



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO.

DESARROLLO DE UN VITRO- ELECTROCERÁMICO EMISOR DE LUZ DE ESTADO SÓLIDO.



FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL

SE PRESENTA EL SIGUIENTE TRABAJO DE **TESIS**
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE **INGENIERO**
CIVIL



PRESENTA: P.I.C. ALEJANDRO PÉREZ MEDINA.

DIRECTOR DE TESIS: Doctor en ciencias, especialidad en materiales. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS.

Hemeroteca pública de la U.M.S.N.H. FEBRERO de 2014.

CIUDAD UNIVERSITARIA, MORELIA, MICHOACÁN.

AGRADECIMIENTOS.

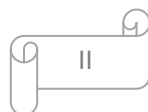
A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

A la Facultad de Ingeniería Civil.

A la coordinación de la investigación científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; es específico al proyecto de investigación 2012-2013 12.11., por el apoyo económico otorgado para la realización de la presente investigación.

Al Instituto de Investigaciones Metalúrgicas por su apoyo en la caracterización micro-estructural del vitro-electrocerámico.

A la sección de Investigación e Innovación en Materiales para la Construcción del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil.



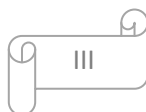
DEDICATORIAS.

Quiero asignar el esfuerzo de este trabajo a todas aquellas personas que hicieron posible la realización del mismo, por medio de su entusiasmo para conmigo así como la fe y la confianza puesta en mí, para que yo pudiera concluir con esta etapa tan importante de mi vida.

Agradezco a Dios por haberme prestado la vida para tener una misión aquí en la tierra. Agradezco de todo corazón a mis padres: a mi padre el Sr. Froilán Pérez Reyes y a mi madre la Sra. Gloria Medina Marín, por todo a su apoyo y esfuerzo incondicional que me proporcionaron cada minuto de mi vida. Gracias por tener calma y paciencia para mí y mis malos momentos y pasos, por darme lo mejor de sí mismos y por los tantos consejos que me dieron para que yo pudiera llegar hasta donde estoy, nunca se los podre pagar por enseñarme lo que ahora sé. A mi hermana Ana Caren por soportar todo lo que he hecho y dicho en los malos ratos, sin embargo sabe que siempre nos apoyaremos.

Doy gracias a mis tíos Raúl Pérez R. y Martha Pérez R. por todo su apoyo durante y después de mi estancia en su casa, a mis tíos Pablo y Melania, a mi abuelo Juan Medina R., a mis tíos por parte de la familia de mi mamá. A mis primos Emigdio, Nancy, Marcos, Alan, Elam, a mi amigo Arturo que me apoyaron para mi traslado y estancia en Morelia.

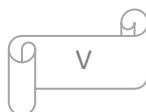
A mi asesor de tesis que me tuvo la calma y paciencia para poder llevar el desarrollo y finalizado de este proyecto, por haberme enseñado tantas cosas de nuevos productos y tecnologías, ampliar la visión de mi futuro para con otros proyectos en mi vida profesional.



INDICE

OBJETIVO GENERAL.	12
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.	13
CAPITULO 2. “ESTADO-DEL-ARTE DEL VIDRIO”	16
2.1. Historia del vidrio	16
2.1.1. El vidrio en México	26
2.2. Materiales para producción	30
2.2.1. Arena de sílice	30
2.2.1.1. Usos industriales y composición	30
2.2.2. Carbonato de sodio	33
2.2.3. Caliza	37
2.2.4. El cloruro de sodio	39
2.2.5. Agentes que intervienen en el vidrio	40
2.2.5.1. Óxidos formadores de vidrios	40
2.2.5.2. Óxidos modificadores de vidrios	40
2.2.5.3. Óxidos intermediarios en vidrios	41
2.2.5.4. Tipos de imperfecciones	41
2.2.5.5. Defectos por masa	41
2.2.5.6. Defectos superficiales	41
2.3. Procesos productivos del vidrio	43
2.3.1. Recepción de materias primas	43
2.3.2. Preparación de las mezclas	43
2.3.3. Fusión de la mezcla y refinación del vidrio (forma automática)	44
2.3.4. Acondicionamiento del vidrio	45
2.3.5. Formación del envase	46
2.3.5.1. Proceso soplo y soplo (s.s.)	47
2.3.5.2. Proceso prensa y soplo (p.s.)	48
2.3.6. Recocido del envase	49

2.3.7. Inspección del envase formado	49
2.3.8. Empaque	50
2.3.9. Almacenamiento y despacho	50
2.3.10. Proceso de fabricación (forma manual o artesanal)	51
2.3.11. Tratamientos superficiales	52
2.3.11.1. Tratamiento en caliente	52
2.3.11.2. Tratamiento en frío	54
2.4. Vidrios comunes	56
2.4.1. Vidrio flotado	56
2.4.1. 1. Proceso vidrio flotado	56
2.5. Vidrios especiales	58
2.5.1. Vidrios de seguridad	58
2.5.1.1. Vidrio templado	58
2.5.1.2. Vidrio laminado	58
2.5.1.3. Vidrio armado	59
2.5.2. Vidrios atérmicos	60
2.5.2.1. Vidrios absorbentes	60
2.5.2.2. Vidrios reflejantes	60
2.5.2.3. Vidrios dobles	61
2.5.3. Vidrios traslucidos	62
2.5.4. Vidrio de borosilicato	63
2.5.5. Vidrio de plomo	64
2.5.6. Vidrio de sílice	64
2.5.7. El vidrio dieléctrico	65
2.5.8. El vidrio conductor	65
2.5.9. El vidrio protector contra el sol	65
2.6. Vidrios coloreados	66



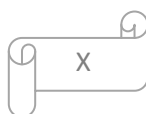
2.6.1. Coloreado por adición de iones	66
2.6.2. Inclusiones de color	69
2.6.3. Color causado por dispersión	69
2.7. Espejos	70
2.7.1. Esquema del proceso	70
2.7.2. Cristales esmaltados	70
2.7.3. Especiales	71
2.8. Proceso de elaboración de vidrio soplado	71
2.9. Usos actuales del vidrio	75
2.9.1. Usos actuales del vidrio	75
2.9.2. Usos futuros	77
2.10. Fibra de vidrio	79
2.10.1. Descripción de sus componentes	79
2.10.2. Proceso de fundición	80
2.10.3. Proceso de formación de la fibra de vidrio	80
2.10.4. Estufa de curado	81
2.10.5. Usos de la fibra de vidrio	82
2.10.6. Propiedades mecánicas del vidrio	88
2.10.6.1. Presencia en la naturaleza	88
2.10.6.2. Torsión	89
2.10.6.3. Compresión	89
2.10.6.4. Tensión	90
2.10.6.5. Flexión	90
2.10.7. Propiedades ópticas	91
2.10.8. Propiedades químicas	91
2.10.9. Propiedades térmicas	94
2.10.10. Propiedades eléctricas	94

2.11. Los conductores más comunes	96
2.11.1. Tipos de conductores eléctricos	96
2.11.2. Peltre	98
2.12. Aerogel	99
2.12.1. Usos	100
2.12.2. Propiedades de Aerogel	103
2.12.3. Propiedades de aerogel con fibra de vidrio	104
2.12.3.1. Aplicaciones	105
2.12.3.2. Instrucciones de elaboración	106
2.13. Sol-gel (xerogel)	108
2.13.1. La polimerización.	110
2.13.2. Catalizadores	111
2.13.3. Aerogeles de un paso frente a aerogeles de dos pasos	112
2.13.4. Maduración y remojo	112
2.13.5. Secado supercrítico	113
2.13.6. Aerogel de sílice catalizado básico de un paso	114
2.13.7. Aerogel de sílice catalizado básico de dos pasos	114
2.14. Nanomateriales	114
2.14.1. Aplicaciones	115
2.15. Viscoelasticidad	118
2.15.1. Viscoelástico lineal	120
2.15.2. Viscosidad no lineal	120
2.16. Comportamiento sísmico y dinámico	121
2.16.1. Vulnerabilidad no estructural	121
2.16.2. Análisis del comportamiento dinámico de vigas de vidrio laminado	121

2.16.3. Caracterización dinámica de los materiales viscoelásticos	122
2.16.4. Caracterización del PVB parte experimental	123
2.17. Reciclado	125
2.17.1. Desarrollo	127
2.17.2. Manera de reciclar el vidrio	127
2.17.2.1. Envases reutilizables y de un solo uso	128
2.17.2.2. El proceso	128
2.17.3. Cadena de reciclado	128
2.17.3.1. Las 3 "r"	129
2.17.3.2. Beneficios	130
2.17.3.3. Explicación breve del proceso de reciclaje	131
2.17.3.4. Áreas de oportunidad	133
2.17.3.5. Propuestas de mejora	134
2.17.3.6. Conclusiones y recomendaciones	136
2.17.3.7. Características	136
2.18. Recuperación y reciclado del vidrio	138
2.18.1. Recolección en la fuente	138
2.18.2. Almacenamiento	139
2.18.2.1. En los contenedores de vidrio <u>no</u> se depositan	139
2.18.2.2. Se depositan	141
2.18.3. Transporte a los centros de almacenamiento	141
2.18.4. Lavado y triturado	141
2.18.5. Procesamiento final	141
2.18.6. Productos de vidrio reciclado	143
2.19. Reciclaje del PVB	144
2.19.1. Antecedentes y problemática medioambiental	144

2.19.2. Resultados esperados	145
2.20. Definición de led	146
2.20.1. Led, un nuevo tipo de lámpara	148
2.20.2. Tipos de leds	151
2.20.3. Aplicaciones de los diodos led	155
2.20.4. Características físicas de los leds	156
2.20.5. Composición de los leds	157
2.20.6. Criterios de elección	158
2.20.7. Diodo orgánico de emisión de luz	161
2.21. Luz	164
2.21.1. Propiedades de las ondas	164
2.21.2. Propiedades de la luz	166
2.21.3. Espectro electromagnético	170
2.21.3.1. Tipos de radiación	171
2.21.4. Fotones	175
2.22. Conductividad	177
2.22.1. Superconductor	177
2.22.2. Materiales aislantes	184
2.22.3. Materiales conductores	188
2.22.4. Materiales semiconductores	191
2.22.5. Electrocerámicos	194
2.23. Fibra óptica	198
2.23.1. Proceso de fabricación	198
2.23.2. Aplicaciones	200
2.23.3. Características	202
2.23.4. Tipos de fibra	205

2.23.5. Componentes de la fibra óptica	206
2.23.6. Tipos de pulido	207
2.23.7. Tipos de conectores	207
2.24. Ley de ohm	214
2.25. Luminosidad	216
2.26. Resina epoxi	217
2.26.1. Propiedades de las resinas epoxi	219
2.26.2. Aplicaciones	220
2.27. Iluminación de estado sólido	223
2.28. Electrocerámicos	224
2.28.1. Ferroelectricidad	224
2.28.2. Dieléctrico	229
2.29. Cambio climático	234
2.29.1. Calentamiento global	235
2.30. Incendios en la construcción	237
2.31. Terrazos	245
 CAPITULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL	 247
 CAPITULO 4. SÍNTESIS DEL MATERIAL VITROCERÁMICO.	 252
4.1. Proceso de recolección	252
4.2. Triturado del vidrio	260
4.2.1. Procedimiento	262
4.3. Primeras pruebas	263
4.4. Inclusión de vidrio triturado	274
4.5. Preparación de adhesivo diferente	277



4.5.1. Procedimiento de elaboración de adhesivo	277
---	-----

CAPITULO 5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DEL VITROCERAMICO.	302
--	-----

5.1. Evaluación mecánica	302
--------------------------	-----

5.1.1. Graficas esfuerzo- deformación	324
---------------------------------------	-----

5.2. Propiedades físicas de los especímenes	349
---	-----

5.3. Propiedades micro-estructurales	350
--------------------------------------	-----

CAPITULO 6. DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL VITRO-ELECTROCERÁMICO EMISOR DE LUZ DE ESTADO SÓLIDO.	377
--	-----

CAPITULO 7. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA	393
--	-----

7.1. Proveedores y/o productores de vidrio de la república mexicana	393
---	-----

7.1.1. Recicladoras	414
---------------------	-----

7.2. Estudio técnico	419
----------------------	-----

7.3. Estudio financiero	423
-------------------------	-----

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	431
--	-----

CAPITULO 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	432
--	-----

RESUMEN DE TESIS

El objetivo general del presente trabajo de investigación es desarrollar un vitro-electroceramico emisor de luz de estado sólido a partir de residuos sólidos urbanos (RSU), el cual genere una innovación de producto para el sector de la industria de la construcción y a su vez desarrolle capacidades y habilidades y/o destrezas en el área de innovación de producto durante el desarrollo del presente prototipo.

El objetivo de este proyecto es ayudar a los estudiantes a desarrollar sus capacidades y habilidades, así como poner en práctica los conocimientos adquiridos antes, durante y después de la licenciatura. Es propósito es llegar a un resultado concreto y finalizado en totalmente a base de investigación, desarrollo y conclusión de un material novedoso, económico y funcional, con los materiales que se encuentran a nuestro alrededor, optimizar y aprovechar al máximo sus cualidades, tratando de conseguir, con materiales ya hechos, la funcionalización de otro.

Palabras clave:

Investigación.

Innovación.

Optimizar.

Aprovechar.

SUMMARY OF THESIS

The overall objective of this research is to develop a electroceramic vitro - emitting solid state from municipal solid waste (MSW), which generates a product innovation for the sector of the construction industry and in turn develop skills and abilities and / or skills in the area of product innovation during the development of this prototype.

The objective of this project is to help students develop their skills and abilities as well as put into practice the knowledge acquired before, during and after graduation . It's purpose is to reach a particular result and ended completely based on research, development and completion of a novel , economical and functional equipment, with materials found around us optimize and maximize their qualities , trying to get , and made with materials , other functionalization .

Keywords:

Research.

Innovation.

Optimize.

Leverage.

OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general del presente trabajo de investigación es desarrollar un vitro-electrocerámico emisor de luz de estado sólido a partir de residuos sólidos urbanos (RSU), el cual genere una innovación de producto para el sector de la industria de la construcción y a su vez desarrolle capacidades y habilidades y/o destrezas en el área de innovación de producto durante el desarrollo del presente prototipo.

El material desarrollado incluyó la incorporación de una planeación estratégica que incorpora las áreas de inteligencia sectorial; vigilancia tecnológica, vigilancia de propiedad intelectual y factibilidad económica. Por último y no menos importante se realizó con los fundamentos y antecedentes económicos-administrativos y de propiedad intelectual la síntesis, caracterización de desarrollo del presente producto.

El **objetivo particular** de este proyecto es ayudar a los estudiantes a desarrollar sus capacidades y habilidades, así como poner en práctica los conocimientos adquiridos antes, durante y después de la licenciatura. Es propósito es llegar a un resultado concreto y finalizado en totalmente a base de investigación, desarrollo y conclusión de un material novedoso, económico y funcional, con los materiales que se encuentran a nuestro alrededor, optimizar y aprovechar al máximo sus cualidades, tratando de conseguir, con materiales ya hechos, la funcionalización de otro.

Se aprovechan las bondades de las materiales que son desechados por la sociedad y que se rescatan a tiempo para poder utilizarlos como materia prima. En otras palabras algunos de los materiales que se utilizan para innovar son reciclados y llevados al laboratorio para su posterior investigación e inclusión en otro producto.

El producto final trata de tener una función particular que pueda tener algún beneficio para la sociedad y que en el mercado no exista algo similar. El producto deberá de realizarse de una manera amigable con el ambiente y con los propios recursos energéticos del consumidor del producto, o sea, que el resultado de la investigación debe realizarse, en lo posible, a temperatura ambiente haciendo que el producto que se desarrolle no sea dependiente de la energía eléctrica o de maquinaria costosa.

“Cuando menos lo esperamos, la vida nos coloca delante un desafío que pone a prueba nuestro coraje y nuestra voluntad de cambio”. **Pablo coelho.**

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Definición de vidrio

El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se encuentra en la naturaleza aunque también puede ser producido por el hombre. El vidrio artificial se usa para hacer ventanas, lentes, botellas y una gran variedad de productos. El vidrio es un tipo de material cerámico amorfo.

El vidrio se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice (SiO_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3) [1].

El vidrio no es ni un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica. El ingrediente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo. La piedra caliza o la dolomita (carbonato de calcio y magnesio) actúan como estabilizante. Otros ingredientes, como el plomo o el bórax, proporcionan al vidrio determinadas propiedades físicas [2].

La arena de Sílice es un compuesta resultante de la combinación del Sílice con el Oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de Oxígeno, formando una molécula muy estable: Si O_2 . Esta molécula es insoluble en agua, y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Si el cuarzo esta cristalizado se denomina Cristal de Roca.

El carbonato de sodio (Na_2CO_3) es un producto que ha acompañado al hombre desde los albores de la humanidad. Su método de obtención ha evolucionado con el correr del tiempo y también su denominación. En el antiguo Egipto su obtención se basaba en la calcinación de ciertas plantas que rodeaban las lagunas saladas.

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca [1].

Producción.

Existen una gran variedad de vidrios y una gran diversidad de procedimientos industriales o artesanales. Según los usos a los que están destinados, se pueden distinguir seis tipos de productos de la industria vidriera: el cristal de vidrio ordinario; el cristal para ventanas, puertas, mobiliario, espejería e industria del automóvil; los “vidrios huecos” para la botellería y la cubiletería; los “vidrios técnicos”, para la óptica, las ampollas, los tubos del televisor, etc.; la fibra de vidrio, utilizada como textil, o utilizada en la forma de paneles que sirven para el aislamiento térmico; y el vidrio trabajado a mano. Todos estos vidrios difieren sensiblemente por su composición, y sobre todo por las técnicas utilizadas para su fabricación.

El vidrio es el más universal de los envases, al no contar con contraindicación de uso alguna. Está presente en la práctica totalidad de los sectores y en algunos de ellos en exclusiva, aunque es la industria agroalimentaria a la que más estrechamente ligado se encuentra.

Dentro de esta industria, lidera de forma absoluta algunos segmentos como vino, cavas o cervezas, conviviendo con el resto de materiales en otros como refrescos, aguas, zumos o conservas.

Es un material de estructura amorfa, que se obtiene por enfriamiento rápido de una masa fundida lo cual impide su cristalización. De aquí surge otra definición que dice que el vidrio es un líquido sobre enfriado. Esto quiere decir, de altísima viscosidad a temperatura ambiente, por lo que parece un sólido. Cuando se encuentra a 1450°C es un líquido de baja viscosidad. A esa temperatura su temperatura su viscosidad es parecida a la de la miel. A temperatura ambiente el vidrio se comporta estructuralmente como un líquido congelado, dicho de otra forma es un líquido que se enfría tan rápidamente que es imposible que se formen cristales. Cuando el vidrio se enfría lentamente se forman cristales de vidrio, fenómeno que se conoce como devitrificación. Los artículos hechos con vidrio devitrificado tienen poca resistencia física.

Para fabricar objetos de vidrio el hombre primitivo fundía bloques macizos, los dejaba endurecer y luego los tallaba como piedra. Más tarde descubrió que el vidrio se trabaja más fácilmente en estado líquido, mientras aun está caliente.

Los fenicios difundieron el vidrio por las costas del Atlántico y Mediterráneo, y en tiempos del imperio romano existían grandes centros de producción en Fenicia y Alejandría. Con las técnicas del vidrio soplado era posible fabricar piezas de gran valor artístico. Antes del siglo X aparecieron los vitrales de color, y hacia el siglo XIV se fabricaban en Venecia cristalerías y lentes de aumento. En las fábricas modernas el vidrio se produce en hornos continuos mecanizados, y se utilizan maquinas especiales de inyección de aire para fabricar objetos huecos [3].

Reciclado.

Reciclaje del vidrio

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 30% con respecto al vidrio nuevo.

Para su adecuado reciclaje el vidrio es separado y clasificado según su tipo el cual por lo común está asociado a su color, una clasificación general es la que divide a los vidrios en tres grupos: verde, ámbar o café y transparente.

El proceso de reciclado después de la clasificación del vidrio requiere que todo material ajeno sea separado como son tapas metálicas y etiquetas, luego el vidrio es triturado y fundido junto con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales[9].

En algunas ciudades del mundo se han implementado programas de reciclaje de vidrio, en ellas pueden encontrarse contenedores especiales para vidrio en lugares públicos.

En ciertos casos el vidrio es reutilizado, antes que reciclado. No se funde, sino que se vuelve a utilizar únicamente lavándolo (en el caso de los recipientes). En acristalamientos, también se puede aprovechar el vidrio cortándolo nuevamente (siempre que se necesite una unidad más pequeña) [4].

CAPITULO 2. “Estado-del-arte del vidrio”

2.1. Historia del Vidrio

El vidrio en la antigüedad

Los primeros objetos de vidrio que se fabricaron fueron cuentas de collar o abalorios, pero las vasijas huecas no aparecieron hasta el 1500 a.C. Es probable que fueran artesanos asiáticos los que establecieron la manufactura del vidrio en Egipto, de donde proceden las primeras vasijas producidas durante el reinado de Tutmosis III (1504-1450 a.C.). La fabricación del vidrio floreció en Egipto y Mesopotamia hasta el 1200 a.C. y posteriormente cesó casi por completo durante varios siglos. Egipto produjo un vidrio claro, que contenía sílice pura; lo coloreaban de azul y verde. Además de vasos hacían figurillas, amuletos y cuentas, así como piezas vítreas para incrustaciones en muebles. En el siglo IX a.C. Siria y Mesopotamia fueron centros productores de vidrio, y la industria se difundió por toda la región del Mediterráneo. Durante la época helenística Egipto se convirtió, gracias al vidrio manufacturado en Alejandría, en el principal proveedor de objetos de vidrio de las cortes reales. Sin embargo, fue en las costas fenicias donde se desarrolló el importante descubrimiento del vidrio soplado en el siglo I a.C. Durante la época romana la manufactura del vidrio se extendió por el Imperio, desde Roma hasta Alemania.

Técnicas en la antigüedad

Antes del descubrimiento del vidrio soplado se utilizaban diferentes métodos para moldear y ornamentar los objetos de vidrio coloreado, tanto translúcidos como opacos. Algunos recipientes eran tallados en bloques macizos de cristal. Otros se realizaban fundiendo el vidrio con métodos parecidos a los de la cerámica y la metalurgia, y utilizando moldes para hacer incrustaciones, estatuillas y vasijas tales como jarras y cuencos. Se elaboraban tiras de vidrio que luego se fundían juntas en un molde y producían vidrio en listones. Se realizaban diseños de gran complejidad mediante la técnica del mosaico, en la que se fundían los elementos en secciones transversales que, una vez fundidos, podían cortarse en láminas. Las superficies resultantes de esos cortes se fundían juntas en un molde para producir vasijas o placas. Se hacían vasos con bandas de oro que presentaban franjas irregulares de vidrios multicolores y con pan de oro incrustado en una franja translúcida.

La mayor parte de las piezas anteriores a los romanos se realizaban con la técnica de moldeado sobre un núcleo, que consistía en fijar a una varilla de metal una mezcla de arcilla y estiércol con la forma que deseaba darse al interior de la vasija. Ese núcleo se sumergía en pasta vítrea o se envolvía con hilos de esa misma pasta, que se recalentaba y pulía sobre una piedra plana para darle forma. La posibilidad de dirigir el hilo de pasta vítrea en varias direcciones sobre el núcleo permitía realizar filigranas decorativas con hilos de uno o varios colores. A continuación se añadían las asas, la base y el cuello, y se enfriaba la pieza. Por último se retiraba la varilla de metal y se extraía el material que conformaba el núcleo. Esta técnica se usaba sólo para hacer vasijas pequeñas, tales como tarros para cosméticos o frascos, como puede apreciarse en los objetos egipcios típicos de las XVIII y XIX dinastías.

Los objetos realizados a partir del siglo VI a.C. con este método de envolver un núcleo, tenían formas que se inspiraban en la cerámica griega.

Vidrio romano

El método del soplado de vidrio, más rápido y más barato, se extendió desde Siria a Italia y a otras zonas del Imperio romano, reemplazó poco a poco a las antiguas técnicas y trajo consigo nuevos estilos. Mientras los primeros procesos de manufactura habían hecho hincapié en el color y el diseño, con la introducción del soplado fue la fragilidad y transparencia del material lo que adquirió importancia, y hacia finales del siglo I d.C. el vidrio incoloro suplantó al vidrio coloreado en la elaboración de los objetos más preciados. La técnica del soplado hizo posible la producción a gran escala y cambió la categoría del vidrio convirtiéndolo en un material de uso frecuente, tanto para cristalerías como para vasos, copas y todo tipo de recipientes.

Es evidente que la estructura del Imperio fomentó el extraordinario desarrollo de la industria del vidrio durante este periodo. La mayor parte de las técnicas decorativas conocidas fueron inventadas por los artesanos romanos. Los objetos de vidrio soplado se realizaban mediante moldes parciales o totales, que permitían formas tan novedosas como los frascos con forma de cabezas, que se producían en grandes cantidades. Una jarra de delicado diseño (siglo I d.C.) que se encuentra en el Museo del Vidrio de Corning (Nueva York) es un ejemplo perteneciente a un extraordinario grupo de objetos de vidrio soplado realizados con molde que llevan el nombre de sus fabricantes. Hay ejemplos de cristal romano con una elaborada decoración de hilos de vidrio y tallado. Los temas decorativos, pintados o sobreimpresos con pan de oro entre dos láminas de cristal blanco, recreaban escenas religiosas o históricas. Los antiguos artesanos vidrieros adaptaron las técnicas de corte, tallado o grabado en piedra al vidrio logrando piezas de considerable belleza. La técnica del cristal de camafeo consiste en unir dos estratos de vidrio de diferente color, tallando después la capa externa para que queden al descubierto partes de la capa interior y establecer una decoración en relieve que resalta por el contraste cromático. El vaso de cristal de camafeo más famoso es el jarrón Portland (siglo I d.C., Museo Británico, Londres), decorado con las figuras mitológicas de Peleo y Tetis. Delicados efectos se lograron en los diatreta, copas en las que se han extraído grandes porciones de la capa externa dejando un entramado decorativo que parece estar apenas sujeto a la capa interior que conforma el recipiente. La famosa copa de Licurgo (siglo IV d.C., Museo Británico) constituye uno de los máximos exponentes de esta técnica.

El vidrio en Occidente

En Occidente la fabricación de vidrio para uso doméstico se redujo mucho después de la caída del Imperio romano.

El vidrio en la edad media

Bajo la influencia de los francos, los vidrieros del norte de Europa y Gran Bretaña continuaron produciendo objetos utilitarios, algunos con formas nuevas y contundentes. La decoración se limitaba a los diseños simples mediante moldes, filigranas y adornos de gotas de vidrio aplicados a la superficie. Presentaban en general una coloración verdosa, resultado de la composición del vidrio hecho con carbonato sódico de plantas marinas traídas del Mediterráneo, como era costumbre desde la época de los romanos. Sin embargo, a finales de la edad media ya no se conseguía carbonato sódico, y los vidrieros del norte recurrieron a la ceniza de la madera de sus propios hornos, que utilizaron como fundente para obtener un vidrio de contenido potásico-cálcico. Dado que las industrias del vidrio estaban situadas en zonas de bosque, de donde obtenían el combustible y la ceniza, a este nuevo tipo de vidrio se le llamó Waldglas (del alemán, 'vidrio de bosque'). El vidrio común del tipo Waldglas continuó fabricándose en Europa hasta la era moderna.

Sin embargo, el mecenazgo de la Iglesia habría de impulsar la producción más importante en este material durante la edad media: los mosaicos de vidrio en la Europa mediterránea y las vidrieras en la zona del norte (véase Mosaico; Vidriera). Los mosaicos se hacían con cubitos de vidrio, o teselas, incrustados en cemento. Las teselas, que se cortaban de bloques sólidos de vidrio, podían ser muy elaboradas y presentar incrustaciones en plomo dorado y plateado. Sobre la producción de mosaicos de vidrio anterior al siglo XIV apenas existen datos.

Ya en documentos del siglo VI se hace referencia a la existencia de vidrieras en las iglesias, aunque los primeros ejemplos conservados datan del siglo XI. Las más apreciadas son las que se realizaron durante los siglos XIII y XIV, principalmente en Francia e Inglaterra. Se cree que las industrias del vidrio de Lorena y Normandía fueron las que produjeron la mayor parte de las vidrieras de las catedrales medievales. El vidrio se coloreaba o se laminaba con color y después se cortaba según las formas que requiriera el diseño. Los detalles se pintaban sobre el cristal con un esmalte pardusco. Las piezas se encajaban en varillas de plomo y se colocaban en una estructura de hierro. El arte de la fabricación de vidrieras decayó a finales del renacimiento pero volvió a recuperarse en el siglo XIX.

Del renacimiento al siglo XVIII

Aunque el vidrio ya se fabricaba en Venecia desde el siglo X, el cristal veneciano más antiguo que conocemos data del siglo XV. Concentrada en la isla de Murano, la industria veneciana dominó el mercado europeo hasta el año 1700. La contribución más importante de los venecianos fue el desarrollo de un vidrio sódico duro y refinado de gran ductilidad. Incoloro y de gran transparencia, el vidrio veneciano era semejante al cristal de roca y era conocido como cristallo.

Las primeras piezas de cristallo tenían formas sencillas y estaban decoradas con diseños esmaltados semejantes a joyas. También se hacían en cristal coloreado y opaco. Hacia finales del siglo XVI las formas se hicieron más ligeras y delicadas. Los sopladores de vidrio explotaron la ductilidad del material para producir auténticas maravillas. Desarrollaron un tipo de filigrana de vidrio que sería muy imitada y que consistía en incorporar hebras de vidrio blanco opaco dentro de un cristal transparente, trabajándolas con un complicado diseño que producía el efecto de un encaje.

Algunas vasijas estaban realizadas por completo en vidrio blanco opaco soplado que más tarde se pintaba con esmalte a la manera de la porcelana china. También en Murano fue donde surgieron muchos estilos diferentes para lámparas de cristal, aunque fue la factoría de Nevers, en Francia, la que adquirió mayor fama en la fabricación de estas piezas durante el siglo XVII. Particularmente adecuada para el vidrio sódico fue la práctica del grabado al diamante, técnica predilecta de los artesanos holandeses durante el siglo XVII, que martilleando la punta de diamante, lograban elaborados diseños de efecto punteado.

Todos los fabricantes de vidrio de Europa intentaron copiar las técnicas, materiales y decoraciones de los venecianos. La información se difundió a través de las propias piezas, del libro “El arte del vidrio” (1612) de Antonio Neri y de los sopladores de vidrio veneciano. Aunque existía una ley que prohibía a los artesanos vidrieros abandonar Venecia y divulgar los secretos de su arte, muchos emigraron de Murano, abandonaron Italia y abrieron talleres en otros países europeos. Cada país desarrolló su propia façon de Venise adaptando el modelo veneciano a las formas y decoraciones de preferencia propia. La influencia italiana acabó desapareciendo en el siglo XVII al surgir nuevos métodos para la fabricación de vidrio en Alemania e Inglaterra.

El vidrio potásico que se fabricaba en Alemania, más grueso y más duro que el cristal, era muy apropiado para la decoración grabada con rueda giratoria. Caspar Lehmann fue uno de los responsables del gran desarrollo del grabado a principios de la década de 1600 en la corte del emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, Rodolfo II en Praga. Los talladores y grabadores de vidrio de Nuremberg y Potsdam se hicieron famosos por sus hábiles diseños de estilo barroco, mientras que las fábricas alemanas continuaron produciendo el tradicional vidrio esmaltado y pintado en frío.

Otro descubrimiento que sirvió para disminuir la influencia veneciana en Europa fue el del vidrio de protóxido de plomo, cuya fórmula inventó George Ravenscroft en Inglaterra. Más suave, brillante y duradero que el frágil cristal, el cristal de plomo inglés fue considerado el de mayor calidad en el siglo XVIII. La cristalería inglesa de mesa dominó los mercados europeos y coloniales y se convirtió en el modelo para los productores europeos. Entre las innovaciones introducidas por los ingleses a mediados del siglo XVIII están las copas con pies decorados con burbujas de aire o espirales de esmalte opaco y los prestigiosos candelabros de vidrio tallado. El cristal de plomo, el vidrio que mejor se adaptaba al tallado, alcanzó su apogeo con las piezas neoclásicas del periodo angloirlandés (1780-1830).

Cristal español

La industria del vidrio tuvo en Cataluña su máximo esplendor en el siglo XVI, cuando se produjeron piezas comparables a los mejores modelos venecianos. Además de los objetos utilitarios, los vidrieros catalanes hacían infinidad de pequeños objetos decorativos que vendían el primero de enero de cada año en la feria del vidrio que se celebraba en el paseo del Borne. La manufactura catalana más importante fue la de Mataró, y las formas más típicas de vidrios eran el florero de cuerpo oval con dos pequeñas asas, el confitero con forma de gran copa, los fruteros de pie y la

botella. La decadencia de la industria vítrea catalana y la pérdida de su alta calidad se iniciaron a mediados del siglo XVII. En Andalucía fue notable la producción, en la misma época, de la manufactura de Castril de la Peña. En Castilla fueron centros importantes, con abundantes ejemplos de tipo intermedio entre los catalanes y andaluces, Recuenco, en la provincia de Cuenca, y en la de Toledo, San Martín de Valdeiglesias y, sobre todo, Cadalso de los Vidrios, que en 1645 contaba con tres hornos que producían gran diversidad de objetos finísimos, de bellos colores y de forma muy graciosa.

Hacia 1750, algunos decoradores holandeses se establecieron en el Levante español e iniciaron la producción de vidrio. De producción por entero valenciana son algunas composiciones escultóricas en pasta de vidrio de tema religioso como Santa Eulalia y un ángel y La degollación de un santo que se conservan en el Museo de Barcelona.

Siglos XIX y XX

El desarrollo del vidrio durante el siglo XIX se caracteriza por los rápidos avances tecnológicos de esta industria y por el redescubrimiento y adaptación de métodos antiguos.

Hasta 1850 las piezas se moldeaban y decoraban por prensado con esquemas de complicados encajes que enturbiaban el cristal en el momento en que éste entraba en contacto con el molde frío. A partir de la década de 1840 se popularizaron en todo tipo de piezas los diseños más sencillos, conocidos por vidrio prensado decorado. Al ser más cara la producción de vidrio tallado que la del vidrio prensado, aquélla decayó, pero hacia 1880 recobró parte de su antigua popularidad con la aparición de un elaborado tallado 'brillante', resultado de un gran virtuosismo técnico que explotaba las propiedades refractarias del vidrio de calidad.

A finales del siglo XVIII se volvieron a utilizar algunas técnicas romanas adaptadas al gusto neoclásico. En Europa se fabricó un tipo de vidrio laminado con panes de oro que se llamó Zwischengoldglas. También se intentó conseguir el efecto de camafeo con sulfuros incrustados, y los artesanos vidrieros lograron recuperar la auténtica técnica de tallado y grabado de cristal de camafeo, que alcanzó su apogeo en las piezas de Thomas Webb&Sons (fundada en 1837), elaboradas en Stourbridge, Inglaterra.

A partir de 1845 lograron gran popularidad los pisapapeles con decoración millefiori (mil flores) semejante al vidrio de mosaico antiguo, y a finales del siglo XIX el cristal de roca del renacimiento sirvió de inspiración para una técnica de grabado y pulido.

Bohemia mantuvo la primacía en la decoración tallada a la rueda gracias a artesanos como DominikBiemann, y también practicó otras técnicas, como la del cristal encajado, que copiaron las fábricas europeas y estadounidenses. Los avances químicos facilitaron el desarrollo de nuevos vidrios coloreados opacos semejantes a piedras semipreciosas. Se decoraron piezas con aplicaciones de pintura y esmaltes transparentes como analogía al renacimiento de las vidrieras góticas.

Inspirados por el resurgimiento de los métodos antiguos de trabajo del vidrio y estimulados por los logros de la nueva tecnología química, los artesanos vidrieros comenzaron a crear hacia 1880 nuevos estilos artesanales que se denominaron vidrio artístico. Solían ser piezas nuevas con fines decorativos, producto de la reacción contra los objetos producidos en serie. Los estilos de moda entre 1890 y 1910 reflejaban la influencia del movimiento Art Nouveau a nivel internacional, y sus principales exponentes fueron Louis Comfort Tiffany en los Estados Unidos y Émile Gallé y la empresa DaumFrères (fundada en 1889) en Francia. Todos ellos producían cristales con formas naturalistas, líneas sinuosas, colores exóticos y superficies de inusitados efectos, como el cristal iridiscente favrile inventado por Tiffany.

Después de la I Guerra Mundial surgieron nuevos intereses en las texturas y formas decorativas, como queda reflejado en los diseños de René Lalique y Maurice Marinot. En la década de 1930 comenzaron a adquirir prestigio los cristales de plomo incoloros y de exquisita transparencia, por lo general con dibujos grabados, producidos por fábricas escandinavas y estadounidenses.

Con la década de 1960 se inició una nueva época en la elaboración del vidrio liderada por los estadounidenses Harvey Littleton y Dominick Labino. Los artesanos empezaron a experimentar con el vidrio como medio artístico en pequeños hornos instalados en sus estudios, y en la actualidad se desarrollan técnicas decorativas y formas de escultura innovadoras en talleres de artistas de todo el mundo.

El vidrio en los países no occidentales

El vidrio no ha tenido una tradición tan fuerte en los países islámicos y del Lejano Oriente como en Occidente. Las formas y técnicas desarrolladas por estos países reflejaban sus propias culturas y, a su vez, influyeron en las formas occidentales.

El vidrio en los países islámicos

La historia del vidrio en los países islámicos entre los siglos VIII y XIV se centra en el Oriente Próximo. La antigua tradición Sasánida de tallado del vidrio fue continuada por los artesanos musulmanes que realizaron vasijas en altorrelieve, muchas de ellas con motivos animales. También fabricaron vidrio incoloro de gran calidad con diseños tallados a la rueda. Las posibilidades decorativas se incrementaron con la introducción de la técnica de esmaltado al fuego y con la del dorado, en las que destacaron los artesanos vidrieros de Alepo y Damasco. De Egipto proviene el descubrimiento de coloraciones vidriadas que creaban brillantes efectos metálicos en castaño, amarillo y rojo tanto en cerámica como en vidrio. Las lámparas de las mezquitas, los cuencos, tazas y botellas se pintaban con motivos de ritmo geométrico propios del islam. Sus formas y decoraciones influyeron en la producción occidental posterior, sobre todo en las de Venecia y España.

El vidrio en la India

Aunque en la India ya se fabricaba vidrio en el siglo V a.C., no se hizo de manera industrial hasta el periodo mogol y de forma muy especial en el siglo XVII. Se fabricaron soportes de narguiles (pipas para fumar), aspersores y fuentes, normalmente dorados o esmaltados con motivos florales. En el siglo XVIII la Compañía de las Indias Orientales vendió grandes cantidades de vidrio inglés en el mercado indio que más tarde fue grabado a la rueda por artesanos locales.

El vidrio en el Lejano Oriente

Entre los objetos procedentes de las excavaciones arqueológicas de la dinastía Zhou (1122 a.C.-221 a.C) se han encontrado piezas de vidrio con la forma característica de globo ocular o incrustaciones de cuentas de cristal con forma de ojo. Los primeros objetos de vidrio, fundidos a menudo a partir de panes de vidrio importados, eran pequeños y estaban tallados del mismo modo que las gemas. La utilización del cristal para simular piedras semipreciosas para su uso en joyería y más tarde para frascos de opio, es una práctica recurrente en el vidrio chino. Se conocen pocas vasijas de cristal anteriores a la construcción del palacio imperial de Pekín en 1680. Con la influencia de los jesuitas en la corte pequinesa se fabricaron vasijas de vidrio soplado al estilo occidental europeo. Sin embargo, el cristal trabajado al modo chino dominó la producción de los siglos XVIII y XIX con objetos de rico colorido con decoración tallada y esmaltada. Los chinos dominaron el arte del cristal de camafeo. Las vasijas chinas de vidrio se caracterizan por tener formas simples inspiradas en la porcelana y por ser gruesas, multilaminadas y con superficie con brillo de cera.

No existe ninguna evidencia de que en Japón se fabricara vidrio antes del año 200 a.C. Se supone que algunas vasijas con forma de relicarios budistas y algunas urnas cinerarias datan de los periodos Asuka y Nara (552-784 d.C.), pero parece que la fabricación de vidrio se interrumpió en el siglo XIII y hasta alrededor de 1750 no se volvió a emprender.

El amplio abanico de aplicaciones de este material ha hecho que se desarrollara un gran número de tipos diferentes de vidrio.

Vidrio de ventanas

El vidrio para las ventanas se utiliza desde el siglo I d.C. y al principio se hacía por colado o soplado de cilindros huecos que luego se cortaban y apisonaban formando una lámina. El proceso del vidrio de corona es posterior y consistía en el soplado y moldeado de la masa vítrea para convertirla en un globo aplastado o corona. Después se apoyaba la parte plana sobre una base y se retiraba la caña de soplar. El agujero que dejaba la caña se agrandaba al centrifugar la corona recalentada sobre la base y se iba ampliando por la fuerza centrífuga hasta acabar aplastándose y dando paso a una gran lámina circular. Luego se retiraba la base, que dejaba una marca o diana. Hoy casi todos los vidrios de ventana se hacen a máquina mediante el procedimiento de estirado vertical de la masa vítrea procedente de un horno de fusión. En el procedimiento Foucault la lámina de vidrio se estira a través de un cilindro refractario encajado por debajo de la superficie de la cuba de vidrio y después se pasa a una cámara de recocido vertical, para finalmente emerger en un piso superior donde se corta en hojas.

Vidrio de luna

El vidrio común de ventana no posee un grosor uniforme debido a su proceso de fabricación y esas variaciones de grosor distorsionan la visión de los objetos a través de las hojas de vidrio.

El método tradicional para solucionar tales defectos ha sido utilizar vidrio de luna esmerilado y pulido. El vidrio de luna se produjo por primera vez en San Gobain, Francia, en 1668, vertiendo vidrio fundido sobre una mesa de hierro y alisándolo luego con un rodillo. Después de una recocción se le daba el acabado final puliendo ambas caras. Hoy se fabrican mediante un alisado continuo con un doble rodillo laminador situado al final de un horno de cuba. Al salir de la galería de recocido ambas caras se someten a un acabado continuo y simultáneo.

En la actualidad, el esmerilado y pulido han sido sustituidos por el proceso de vidrio flotante, que es más económico. Mediante este proceso se forman superficies planas en ambas caras haciendo flotar una lámina continua de vidrio sobre una cuba con estaño fundido. La temperatura es lo bastante alta como para eliminar las imperfecciones gracias al continuo fluir del vidrio; y descendiendo gradualmente a medida que el vidrio atraviesa la cuba de estaño, al final la lámina vítrea entra en una larga galería de recocido.

Los vidrios laminados sin pulir, que suelen presentar superficies con dibujos realizados por diseños grabados en los rodillos, se usan en la construcción arquitectónica. En los vidrios de malla metálica se introduce la malla en el vidrio fundido antes de que éste pase entre los rodillos laminadores. Se usan para evitar que el vidrio se haga añicos al romperse. El vidrio inastillable o de seguridad, que se utiliza en los parabrisas de los coches, está compuesto de dos placas de vidrio adheridas de forma hermética a un plástico intercalado entre ambas que sirve para retener los fragmentos incluso en caso de rotura.

Historia de los espejos

En épocas remotas, los espejos eran chapas convexas de plata o de cobre fundido con estaño. Pero muy pronto estos espejos de metal se volvían oscuros y opacos por la acción del aire. Los primeros espejos de vidrio fueron inventados en Murano (Italia) por dos artesanos conocidos con los nombres de Dominico y Andrea. El invento se habría producido hacia el año 1507.

Fue tal el interés que despertaron los espejos, pese a su precio elevado que, 57 años después, los fabricantes se constituyeron en gremio. Durante muchos años los venecianos guardaron muy celosamente el secreto de su fabricación: de acuerdo con las leyes vigentes de la ciudad de las lagunas, que entonces era una república, se amenazaba y castigaba con pena de muerte a todo ciudadano que revelara a un extranjero el sistema de fabricación de los espejos.

En la actualidad, los espejos tienen aplicaciones que superan ampliamente el marco estético. Ciencias como la astronomía no hubiesen podido desarrollarse sin la utilización de los espejos, base estructural de la mayoría de los telescopios. Estas y otras menos importantes aplicaciones hacen del espejo un elemento imprescindible, sin el cual el mundo de fin de siglo presentaría un aspecto verdaderamente diferente del que hoy vemos.

Vitrales

Los vitrales emplomados, un arte que se remonta a la Edad Media, resurgen con nuevos bríos para ocupar un destacado lugar en la arquitectura y la decoración contemporáneas.

Todos hemos disfrutado alguna vez de la fiesta de luz de un vitral artístico: la mayoría de ellos están instalados en templos y antiguos edificios religiosos, pero muchos otros adornan construcciones públicas, hoteles, museos, restaurantes y residencias particulares.

Las primeras vidrieras coloreadas fueron hechas en Europa en el siglo XI, para la catedral de Augsburgo, pero las más célebres, inigualadas todavía a pesar de los años transcurridos, datan de los siglos XII y XIII: son las que iluminan las catedrales francesas de Chartres y Saint Denis, y la Sainte Chapelle de París. Se trata de vitrales de una belleza sin par, contruidos con decenas de miles de pequeños fragmentos de vidrios de colores, en los que se representan escenas bíblicas y pasajes de la vida de Cristo o los Santos de la Iglesia.

En aquellos tiempos, cuando la lectura era privilegio de los nobles y los libros verdaderas rarezas, estos vitrales tenían no sólo un fin decorativo sino también educativo: era la forma en que los fieles podían rememorar, una y otra vez, los momentos culminantes de la historia cristiana.

Antes y ahora, los vitrales se construyen con piezas de vidrio pintado o coloreado, a veces de formas regulares, otras asimétricas, unidas entre sí por una cañuela de plomo en forma de "H", que sujeta los vidrios por ambos lados. De ahí el origen del término "emplomado".

En tiempos pasados, los trozos de vidrio eran pequeños y la gama de colores limitada, debido a los escasos conocimientos técnicos.

Muchas veces, para superar estas restricciones, los vitralistas completaban las imágenes pintando con óleo sobre el vidrio, con lo que podían detallar los rostros, los ropajes y otros rasgos de los personajes o paisajes representados.

Aunque la mayoría de los vitrales de antaño se colocaron en las iglesias, otros adornaron edificios públicos y casas palaciegas, y en estos casos los motivos eran civiles: dibujos heráldicos, escenas de leyendas, pinturas bucólicas, motivos guerreros o temas de caballería.

Con el andar del tiempo y los progresos técnicos, los vitrales europeos, y también los que luego se instalaron en América, se pudieron hacer con planos de vidrio más grandes, gruesos y traslúcidos, y en una mayor variedad de colores, que incluía los muy buscados tonos rojo rubí y amarillo de plata.

Así, el vitralismo ganó en brillo y variedad, lo que se puede observar, por ejemplo, en la catedral de Milán, que data del siglo XV, donde aparecen todavía enriquecidos por los pinceles de talentosos pintores renacentistas.

Una vez que las grandes catedrales góticas estuvieron terminadas, tanto la arquitectura civil como la religiosa buscaron otros caminos y los vitrales fueron relegados a un segundo plano. Así, los vitralistas perdieron terreno ante los pintores y los grandes ventanales de iglesias y palacios se

cubrieron ya no con emplomados artísticos sino con sencillas cristalerías planas, cuando mucho adornadas con alguna guarda o dibujo geométrico.

La historia sagrada, por su parte, pasó a representarse sobre los muros, en las bóvedas, y sobre telas o tablas que luego se colgaban en los altares y retablos.

Los años del esplendor de los vitrales nunca regresaron, pese a que hubo varias iniciativas interesantes.

En el siglo pasado, la fábrica de porcelanas de Sévres abrió un taller de vitrales y contrató a pintores de la talla de Ingres y Dellacroix para que diseñaran los cartones. En Inglaterra, un poco más tarde, William Morris realizó vitrales para uso eclesiástico y doméstico con dibujos de los pintores Rossetti y Burne Jones, pero estos intentos no pasaron de ser flamazos aislados que no hicieron escuela.

Quizá el resurgimiento más notable del vitralismo tuvo lugar a fines del siglo XIX y principios del XX, cuando el movimiento artístico denominado "art nouveau" encontró en los vitrales un medio que se prestaba estupendamente para sus estilizadas representaciones de figuras femeninas, flores y motivos de ramas y hojas envolventes.

Louis Comfort Tiffany, un diseñador y decorador norteamericano, hizo probablemente el mayor aporte, al introducir un nuevo tipo de vidrio iridiscente, de bellos colores y acabado satinado. Diseñó y produjo muchas lámparas de mesa, famosas por sus motivos de nenúfares y magnolias, donde el vidrio empleado cobra aún más vida gracias a la luz eléctrica. También creó obras, que incluye tanto objetos de uso cotidiano como piezas de gran tamaño.

Una magnífica prueba de estas últimas es el maravilloso telón de vidrio que todavía decora y cubre la boca del escenario del teatro del Palacio de Bellas Artes, en la ciudad de México, que es uno de los más grandes del mundo y fue regalado a ese país. El diseño del telón, que reproduce el valle de México con los volcanes al fondo, se debe al talento del pintor mexicano Gerardo Murillo, el Dr. Atl.

La técnica del vidrio llegó a estas tierras americanas mucho antes, tal como lo demuestran los documentos coloniales: en 1542, un español llamado Rodrigo Espinosa instaló en Puebla el primer taller para fabricar vidrio soplado. Después siguieron otras fábricas, principalmente las que los artesanos europeos abrieron en Texcoco y Guadalajara, México, varias de las cuales todavía subsisten [5].

2.1.2. EL VIDRIO EN MÉXICO

En la historia de México dos civilizaciones han vivido y combatido en su territorio y en el alma de cada mexicano. Una originaria de estas tierras y otra venida de fuera, pero enraizada tan profundamente que se confunde con el ser mismo del pueblo mexicano. En el inigualable momento de la Conquista, mucho tuvieron que aprender unos de otros, y la manufactura del vidrio fue uno de los aprendizajes que los españoles dieron a los mexicanos en el siglo XVI.

Aun cuando poseían sustancias para su elaboración, como sílice, óxidos alcalinos y cal, nuestros antepasados indígenas no fabricaban vidrio. Sólo se admiraban ante los minerales cristalinos por naturaleza, que se parecían al vidrio en aspecto y transparencia, pero que eran muy distintos en su dureza y en la forma de trabajarlos.

El único vidrio utilizado por nuestros antepasados antes de la Conquista fue el vidrio volcánico oscuro, llamado por los tarascos *tzinapu*, por los mexicas *itztli*, y por nosotros obsidiana.

La obsidiana se ha utilizado en nuestro país desde hace miles de años en la elaboración de herramientas como puntas de flecha, lanzas y cuchillos; después empezó a tallarse y a utilizarse como adorno (figura 2.1). Aun cuando en el México prehispánico no se sabía cómo fabricar el vidrio a partir de arcillas empleando hornos especiales, los aztecas lo usaban y lo trabajaban para crear utensilios de guerra y ornamentales; nunca se imaginaron que la obsidiana fuera un vidrio. Sin ir muy lejos, hoy mucha gente no sabe que lo es.

Antes de la llegada de los españoles, los aztecas no soñaban ni remotamente con la tecnología y la industria ya establecidas en Europa. La filosofía de los indígenas consideraba al tiempo como un perpetuo recomenzar de la vida que giraba en torno al círculo trazado por los dioses. El tiempo no era inerte, era un material ofrecido por las divinidades como una especie de *pastel de vida* que había que disfrutar. Plasmaban en el arte toda su ideología y no había interés por la industria. Claro ejemplo de ello es la mujer azteca dando a luz, estatuilla de jade con incrustaciones de obsidiana que representa a la diosa de los placeres sexuales, conocida por los aztecas como comedora de basura, y que aparece en la figura 2.1.1., dando a luz al dios del maíz, también vinculado con la penitencia y el sacrificio.



Figura 2.1.1. Mujer azteca dando a luz [6].

Tampoco faltaron jamás los temas macabros en el arte azteca. La calavera humana, símbolo del dios de la muerte Mictlantecuhltli, fue tratada muchísimas veces en las formas y los materiales más diversos. Existe un ejemplar de cristal de roca (que casualmente posee el British Museum) que no es solamente una proeza técnica, pues no hay que olvidar que semejante trabajo fue ejecutado con instrumentos de piedra y cobre, taladros de madera y arena mojada, sino que también es una obra de arte, pues posee una fuerza impresionante y una belleza siniestra (figura 2.1.2.). Pero el cristal de roca, aunque lo parece, no es un vidrio; es un ejemplo de los minerales que utilizaron y que se parecían a él.



Figura 2.1.2. Calavera azteca de cristal de roca [6].

El único vidrio que trabajaron fue la obsidiana, que en México se encuentra en varias tonalidades: rojiza, azulada, verde oscuro y negra. Todas pueden ser utilizadas, pero las que más se trabajaron fueron la verde oscuro y la negra. Esta roca puede encontrarse en el suelo abierto sin ninguna dificultad, pero si se quiere obtener obsidiana de mejor calidad hay que buscarla a más profundidad en la tierra. Sabiendo esto, los indígenas explotaron minas como la del Cerro de las Navajas, en el estado de Hidalgo, para abastecer al valle de Anáhuac de obsidiana con características óptimas de color, tenacidad y homogeneidad.

La obsidiana se trabajó con gran habilidad para formar cuchillos. Para lograr esto se presionaban piezas grandes de las cuales se desprendían esquirlas con forma de cuchillo, que tenían un buen filo y que, aunque duraban poco, podían utilizarse para labrar piedras, trabajar pieles, cortar el cabello y afeitar, en intervenciones quirúrgicas y para los sacrificios humanos. Los conquistadores españoles no ocultaron su perplejidad al descubrir la templanza y la dulzura de las costumbres de los aztecas y la crueldad de sus ritos. Eran capaces de utilizar la obsidiana tanto para vencer a la muerte mediante intervenciones quirúrgicas, como para ayudarla a triunfar con los sacrificios a los dioses.

Vidrio mineral consolidado por obra del súbito enfriamiento de la lava volcánica, la obsidiana se convirtió en mercancía suntuaria para la creación de máscaras y la decoración de calaveras humanas (figura 2.1.3.). Además, muy bien pulida servía de espejo. Éste siempre ha llamado la atención en la historia de la humanidad, porque es la única forma de saber cómo nos ven físicamente los demás.



Figura 2.1.3. Calavera humana con incrustaciones de turquesa, obsidiana y pirita. Corresponde a Tezcatlipoca, dios azteca de la Osa Mayor [6].

Existen orejeras, máscaras, vasos, estatuillas y diversas figuras hábilmente talladas en este translúcido mineral, que está formado por silicatos de alúmina y metales. El más hermoso ejemplo sobreviviente se encuentra en el Museo Nacional de Antropología, y es el recipiente con relieve de mono (figura 2.1.4). Cuando vayas al Museo y lo veas, piensa que está hecho de obsidiana y que la obsidiana fue el único vidrio que utilizaron los mexicanos antes de la Conquista.



Figura 2.1.4. Vasija de obsidiana, cultura azteca [6].

En el siglo XVI, Rodrigo Espinosa emprendió una larga travesía por el océano en busca de fama y fortuna, como todos los hombres de su generación. Arribó a las Indias y se instaló en la ciudad de Puebla de los Ángeles. Allí fundó su taller y devastó los bosques circundantes para alimentar el fuego de sus hornos. La calle del

Venado, donde se asentaba la factoría, llegó a ser célebre porque su producción se exportaba hasta las distantes tierras de Guatemala y del Perú. La calidad de sus redomas, botellas, vasos y vinateras no conoció competencia hasta 1728, cuando el maestro Antonio Prado fincó una nueva fábrica en la misma ciudad angelina.

Las destilerías exigían una producción mayor y los vidrieros apenas disponían de tiempo para cumplir con los pedidos. Igual que pasó en Europa y Asia, las técnicas rudimentarias que se empleaban en estas fábricas no podían elaborar el vidrio plano para puertas y ventanas. Casi ninguna casa de la época se podía dar el lujo de tener vidrio en sus construcciones, carencia que se subsanaba con tela pintada en vivos colores, que adquirían dureza gracias al barniz de cera fundida con el que se les daba terminado.

Con los años, la fabricación de vidrio en México se convirtió en una sólida fuente de ingresos. Puebla cedió su lugar a la ciudad de México y a la de Monterrey. Esta última desarrolla la industria del vidrio como un apoyo a la industria cervecera; era necesario alcanzar la autosuficiencia en la manufactura de los envases de vidrio (figura 2.1.5).

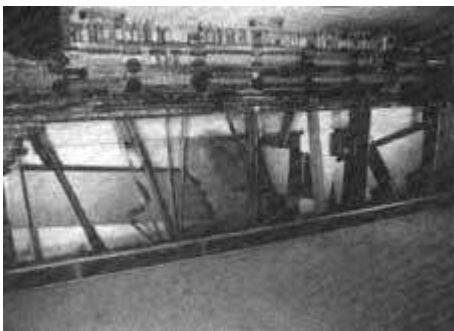


Figura 2.1.5. La industria del vidrio; botellas y vasos de uso común [6].

En 1889 Camilo Ávalos Razo, después de un primer intento en Puebla, instala una pequeña fábrica en las inmediaciones del barrio comercial por excelencia de la capital mexicana: La Merced. En la calle de Carretones elige él que será, con los años, el más prestigioso surtidor de vidrio soplado en México. Don Camilo fue el primer vidriero de

origen netamente mexicano. Sus descendientes continuaron con la tradición y la expandieron por rumbos diversos. Uno de sus hijos se trasladó a Guadalajara, donde las destilerías de tequila demandaban envases para su producto, y Ávalos se encargó de proporcionárselos. Con los años, las necesidades industriales, resueltas de manera mecánica, dejaron libre el camino para que en la fábrica de Carretones de la familia Ávalos se explorara la producción artesanal. La artesanía encontró un desarrollo que, aunque más modesto, ha mantenido una continuidad que perpetúa hasta nuestros días las ancestrales técnicas de fabricación con vidrio soplado. Los Ávalos introdujeron nuevos diseños y la excelencia de su trabajo llegó, incluso, a las salas de exposición del Museo del Palacio de Bellas Artes, donde en los años sesenta se dio cabida a las tinajas, vitroleros, copas y floreros salidos de las manos de expertos que, al igual que los antiguos egipcios, extraen del horno el vidrio que se transformará en objetos que aúnan sentido práctico y belleza.

Hoy en día la fábrica de Carretones conserva la pureza de una sólida tradición. Cuatro ventanales, con sus vitrales de estilo *art nouveau*, reciben al visitante en el edificio del siglo XIX que alberga una treintena de obreros y a una población de palomas que desciende sobre las jacarandas del patio central como una oleada viva.

Cada uno de los objetos que proliferan en los anaqueles: esferas, copas de formas y nombres extravagantes, platones y candelabros, jarras, vasos y ceniceros, se hace de acuerdo con el mismo proceso. El equipo de trabajo está formado por un número aproximado de ocho hombres: el bebentero, el soplador, el apuntilador, el piecero, el molicero, el caldeador, el pasador y el maestro. De uno a otro pasa el vidrio viscoso que cobra forma y se solidifica en cada paso del procedimiento. El horno contiene varios crisoles alimentados por un fogonero, que deposita en su interior de barro la pedacería de vidrio; cada receptáculo contiene la sustancia específica que le brindará su coloración a la pieza terminada, pero en el interior del fogón, todo refulge con un matiz blanco que parece tener encerrado al Sol. El trabajo culmina en manos del maestro acabador, quien imprimirá su forma definitiva al producto.

Igual que en el cuento de Andersen, donde la botella recuerda el horno en llamas en que había nacido, y la manera como la habían soplado y formado de una masa líquida e hirviente, el vidrio se declarará vencido ante una voluntad creadora expresada a fuerza de giros, golpes y pulimentos. Antes de salir al mundo, la pieza reposará en un lecho de arena durante un día entero. Las arcas de enfriado albergarán el quebradizo tesoro que mostrará al mundo los esplendores del vidrio soplado mexicano.

México dedica una rama de la industria vidriera a los niños. Lo primero que se ve son montes de arena silíceo, arcilla, de la cual ya platicamos. La meten en un horno. Sale un líquido al cual hay que dejar enfriar de tres a cinco horas y después dejarlo salir, y cortarlo con unas tijeras. Lo dejan caer libremente a unos rodillos con surcos que siempre están dando vueltas y que son los que le dan la forma esférica al vidrio. Las canicas bajan por una rampa y terminan de enfriarse, con lo cual se vuelven más resistentes. También se utilizan botellas rotas y desperdicios de vidrios para hacerlas transparentes, brillantes y juguetonas canicas. México es el principal productor de canicas del mundo. Se hacen de cinco a seis millones por día y se exportan a Alemania, Francia, Inglaterra, Estados Unidos, Colombia y Argentina. Todo el mundo las quiere porque son las más redondas. México les dice a los demás países del mundo "*¡chiras pelas!*" y gana la partida [6].

2.2. Materiales para producción

2.2.1. Arena de sílice (SiO_2)

2.2.1.1. USOS INDUSTRIALES Y COMPOSICIÓN

Los usos industriales del sílice derivan de sus importantes propiedades físicas y químicas, destacándose especialmente su dureza, resistencia química, alto punto de fusión, piezoelectricidad, piroelectricidad y transparencia.

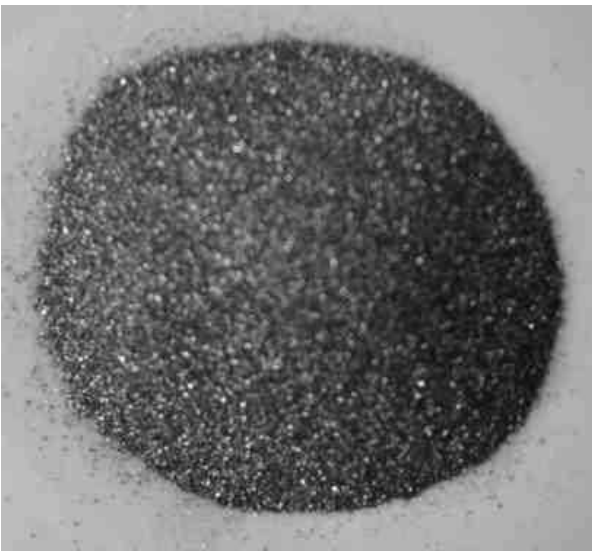
Es la materia prima fundamental para la fabricación del vidrio (aproximadamente el 70 % de su composición es de sílice) y de la porcelana. Sus arenas son utilizadas especialmente como lecho filtrante para depuración y potabilización de las aguas (para la retención de los flóculos de tamaños muy pequeños que no son separados por decantación), y por su dureza son utilizados para la fabricación de lejías, abrasivos industriales y arenados.

Es una materia prima muy importante en la composición de las fórmulas de detergentes, pinturas, hormigones y morteros especiales, y constituyen la materia prima básica para la obtención del silicio, así mismo son la base para la fabricación de refractarios de sílica y arenas de modelo, dado su alto punto de fusión.

A partir de las arenas silíceas se pueden producir fracciones granulométricas específicas destinadas a mercados industriales tan diversos como:

Filtros de agua, perforaciones, fundición, vidrio, morteros, plantas potabilizadoras, arenados, pisos de cerámica, pinturas, resinas, loza, epoxi, campos deportivos (fútbol, golf, paddle, tenis, etc.), piletas de natación.

El término "cristal" es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto en el ámbito científico debido a que el vidrio es un sólido amorfo (sus moléculas no están dispuestas de forma regular) y no un sólido cristalino [7].



Presenta un brillo metálico y color grisáceo, aunque es un elemento relativamente inerte y resiste la acción de la mayoría de los ácidos, reacciona con los halógenos y álcalis diluidos.

Figura 2.2.1.1. Arena sílice [4].

El silicio constituye un 28% de la corteza terrestre. No existe en estado libre, sino que se encuentra en forma de dióxido de silicio y de silicatos complejos.

Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40% de todos los minerales comunes, incluyendo más del 90% de los minerales que forman rocas volcánicas [4].

CARACTERÍSTICAS DEL SÍLICE	
Nombre de la roca, mineral o piedra	Sílice
Tipo básico	Sedimentario
Grupo de Strunz	Óxidos y Silicatos
Sistema Cristalino / Estructura	Cristaliza en sistema hexagonal
Dureza	7
Textura	Dura y Cristalina
Densidad	2.65
Brillo	Blanco, transparente, amarillo, rosa, etc.

Tabla 2.2.1.1. Características del sílice [8].

La composición química que presenta es de dióxido de silicio o de sílice SiO_2 . Los principales minerales silicosos son el cuarzo, la calcedonia y el ópalo. Se encuentra cuarzo en la mayoría de las rocas magmáticas sedimentarias y metamórficas. Es un elemento característico de los granitos, los neises y las cuarcitas.

Las propiedades que presenta el sílice es un anhídrido de ácido característico por su gran estabilidad que puede adoptar varias formas cristalinas [8].

EXTRACCION DE ARENA SÍLICE

En la concesión "Santa Rosa" en Perú.

El método de explotación a utilizarse es el de manado superficial por el sistema de Tajo Abierto Canteras, que tiene el siguiente ciclo:

Perforación.- Identificado el frente de trabajo se inicia la perforación utilizando un corte adecuado con personal especializado, de forma manual y con maquinas perforadoras y barrenos integrales.

Voladura.- Después del carguío de los taladros con explosivos se inicia la voladura, con la utilización de Dinamita y ANFO.

Limpieza.- consiste en trabajos secundarios que realizan los equipos mecánicos para dejar el talud y rampa en condiciones.

El sistema de explotación Tajo Abierto-Cantera consiste en cortar tajadas de 10 metros de altura de banco con disparos, se aprovechará la fuerza hidráulica del agua que será abastecida mediante canales con abundancia que sea capaz de ser depositada por gravedad en la plataforma de carguío inferior, será acarreado a través de las canaletas para realizar el lavado del material roto.

La explotacion minera se realizara empleando el minado superficial, cuyas características son las siguientes [9]:

Minaral No Metalico	Oxido de sílice
Ancho minimo de rampa	12 metros
Gradiente de Rampa	0 a 12%
Ancho de Berma	5 metros
Altura de bancos	10 metros
Angulo de banco	30°
Angulo de talud final	22°

Tabla.2.2.1.2. Características del oxido de sílice [9].

ESTRUCTURA ATOMICA

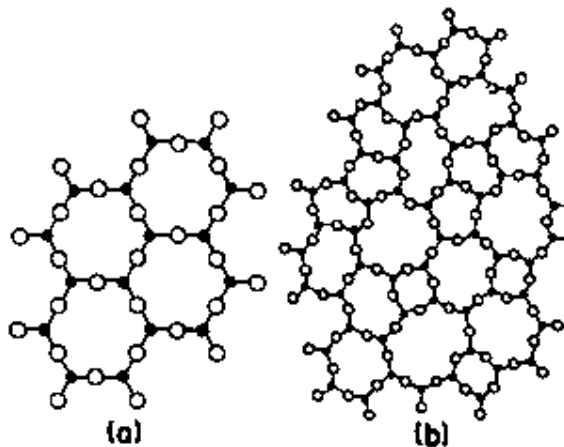


Figura 2.2.1.2. Estructuras atómicas del sílice.

Las estructuras vítreas se producen al unirse los tetraedros de sílice u otros grupos iónicos, para producir una estructura reticular no cristalina, pero sólida (figura 1).

2.2.2. Carbonato de sodio (Na_2CO_3)



Figura 2.2.2.1. Carbonato de sodio [10].

El carbonato de sodio (Na_2CO_3) es un producto que ha acompañado al hombre desde los albores de la humanidad. Su método de obtención ha evolucionado con el correr del tiempo y también su denominación. En el antiguo Egipto su obtención se basaba en la calcinación de ciertas plantas que rodeaban las lagunas saladas. De esta forma de obtención prevalece hoy en día su denominación internacional "soda ash" (ash en inglés significa ceniza). Evidentemente esta forma de producción artesanal, no permite la obtención de las cantidades necesarias de carbonato de sodio que, por sus múltiples aplicaciones, la sociedad industrial necesita. En

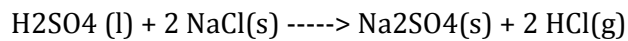
1783 Nicolas Leblanc diseñó un método de obtención revolucionario que producía Na_2CO_3 a partir de cloruro de sodio, ácido sulfúrico, carbón y piedra caliza (CaCO_3). Este método resultó ser muy contaminante, luego fue modificado y resultó más limpio, aunque no del todo. Ernest Solvay en 1863 desarrolla el proceso industrial de obtención del carbonato sódico, a partir de dos materias primas naturales ampliamente extendidas como son el cloruro sódico (sal) y el carbonato cálcico (caliza), mediante el proceso al amoniaco. Luego del descubrimiento de este proceso de obtención el Na_2CO_3 se comienza a denominar también soda Solvay, en honor a su descubridor. Gracias a estos hallazgos la sociedad industrial ha podido lograr el desarrollo que hoy en día ha alcanzado en muchas de sus áreas. Pero actualmente la mayor parte del Na_2CO_3 se obtiene de un Mineral denominado "trona". En cuanto a lo que se refiere a su presentación, el carbonato sódico se presenta al mercado como un producto sólido, de color blanco y en dos formas según su granulometría y peso específico carbonato sódico ligero, pulverulento, y carbonato sódico denso, granular. Para aquellas aplicaciones que requieren un grado de pureza máximo se ha desarrollado el Carbonato Químicamente Puro.

Propiedades Físicas:
Apariencia: Polvo Blanco Inodoro
Punto de Fusión: 851 °C
Masa molecular: 106 g/mol.
Estabilidad: Es estable siempre y cuando no se lo junte con: Metales Alcalinos Térreos.
Aluminio.
Compuestos orgánicos nitrogenados.
Óxidos no metálicos.
Acido Sulfúrico concentrado.
Óxidos del Fosforo.
Toxicología: Irritante de la piel y los ojos.
Origen de la Materia Prima: NaCl

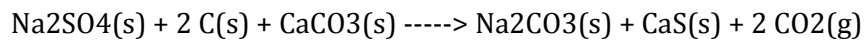
Tabla 2.2.2.1. Propiedades del carbonato de sodio [10].

Como mencionamos en la presentación su obtención ha variado con el correr del tiempo. En sus comienzos era obtenido gracias a la calcinación de plantas que habitaban las cercanías de lagunas salobres. De aquí obtenemos una de sus denominaciones internacionales: "soda ash" ya que ceniza en inglés significa ash. Por los años 1750 la demanda de carbonato de sodio superaba ampliamente su oferta, como es de suponer la creciente industria textil necesitaba mucho del carbonato para blanquear y únicamente calcinando plantas no debía satisfacer la demanda. En 1746 John Roebuck perfeccionó la técnica de obtención de ácido sulfúrico a bajo precio, ya vamos a ver como esto influyó en el nuevo proceso de obtención de Na_2CO_3 .

En 1775 la Academia de Ciencias Francesa ofreció un premio al que diseñara un método de obtención de Na_2CO_3 con el uso de cloruro de sodio. En 1790 Nicolas Leblanc ganó el premio. Su método de obtención consistía en los siguientes pasos:

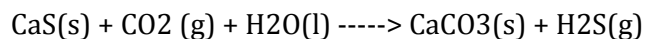


Se calentaba cloruro de sodio junto a ácido sulfúrico concentrado a una temperatura que rondara los 800-900 grados centígrados. Luego como segundo paso el sulfato de sodio era molido y mezclado con carbón y piedra caliza y devuelta calentado.

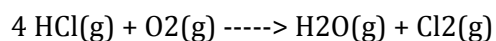


El dióxido de carbono se iba por la chimenea y quedaba la mezcla de carbonato de sodio y sulfuro de calcio. El sulfuro de calcio al ser soluble en agua se lavaba la mezcla y como el Na_2CO_3 es insoluble en agua quedaba solamente el último. Luego se calentaba para evaporar el agua restante y así se obtenía el Na_2CO_3 .

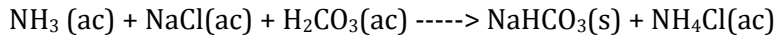
Pero este método de obtención tenía grandes desventajas. El ácido clorhídrico producido devastaba toda vegetación alrededor de la planta productora, luego se disolvió el HCl en agua y vertido a una cuenca acuífera, pero solo se cambió polución del aire por polución del agua. Y el sulfuro de calcio lentamente iba reaccionando en dióxido sulfúrico, un gas sumamente tóxico y se agregó el siguiente paso para evitar dicha reacción:



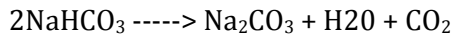
Para evitar la contaminación por HCl se implementó el siguiente tratamiento:



En 1863 Ernest Solvay, un químico belga, diseñó un proceso por el cual se obtenía Na_2CO_3 de una manera más económica, limpia y eficiente que la desarrollada por Leblanc. La reacción se realiza con cloruro de sodio, CaCO_3 y amoníaco. Se mezcla el amoníaco con la sal y se burbujea CO_2 para producir el ácido carbónico.

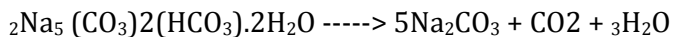


El bicarbonato de sodio se separa de la solución y se calienta para producir carbonato de sodio.



Este método se sigue usando, pero debido al creciente costo del amoníaco y sus problemas de contaminación derivados llevaron a buscar otras fuentes del producto.

Actualmente se obtiene, de una manera barata y simple, del mineral llamado “trona”. Este mineral se muele y se calienta se descompone así:



El carbonato de sodio que se obtiene, se disuelve en agua y se filtra para eliminar las impurezas, luego se calienta para obtener Na_2CO_3 anhidro puro.

A continuación daremos una breve descripción sobre el proceso industrial y despliegue de ingeniería para la obtención del Na_2CO_3 a través del proceso Solvay que se implementa en la actualidad. Este proceso involucra un tipo de maquinaria llamada Turbocompresores, que aumentan el rendimiento de las reacciones y en fin tratan de ahorrar hasta el último centavo en el proceso industrial.

Los turbocompresores (TC) son turbo máquinas térmicas generadoras en las que, por aportación de energía mecánica desde el exterior, se aumenta la energía del fluido que atraviesa la máquina.

El Turbocompresor Centrífugo es un tipo de turbocompresor que puede presentar un flujo radial, diagonal, o una combinación de ambos. Por lo tanto, las velocidades periféricas de las secciones medias de entrada y salida son sustancialmente diferentes.

Al aumentar la capacidad de las plantas industriales, aumenta la demanda de los TCC, en sustitución del compresor alternativo. Algunas aplicaciones del TCC son:

TC para gas natural en gasoductos, en plantas de licuefacción, así como en sistemas de inyección para obtener un aumento de producción en los campos petrolíferos.

TC para amoníaco, campo hasta hace unos años reservado al compresor alternativo, en las grandes centrales de refrigeración y en la fabricación de goma sintética.

TC para gases de síntesis tales como la mezcla nitrógeno-oxígeno para producir amoníaco, impulsión de gas en el proceso Solvay, circulación de los gases de síntesis en el proceso de obtención de productos básicos para materiales artificiales. Turboplantes de circulación de gases en las centrales nucleares.

Usos:

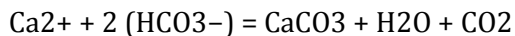
- Siderurgia: El Carbonato de sodio es usado para tostar (calentar bajo una ráfaga de aire) el cromo y otros extractos y disminuye el contenido de azufre y fósforo de la fundición y del acero.
- Reciclado: El Carbonato de sodio es usado para el reciclado de baterías viejas.
- Vidrio: El Carbonato de sodio y sus derivados se usan para bajar el punto de fusión del silicio y poder trabajarlo mejor, también aporta el sólido necesario para formar la red vítrea.
- Detergentes: En la fabricación de detergentes, el carbonato sódico es indispensable en las formulaciones al objeto de asegurar el correcto funcionamiento del resto de sustancias que lo componen, enzimas, tensioactivos, etc. durante las diferentes fases del lavado.
- Regulador de Ph: No es de menos importancia el empleo del carbonato sódico en aquellos procesos en los que hay que regular el pH de diferentes soluciones, nos referimos al tratamiento de aguas de la industria, así como en los procesos de flotación.
- Otros Usos: Cerámica, Jabones, limpiadores, Ablandador de aguas duras, Refinación de petróleos, producción de aluminio, Textiles, pulpa y papel. Procesamiento metalúrgico, Preparación de farmacéuticos, Soda Cáustica, Bicarbonato de Sodio, Nitrato de Sodio y varios otros usos [10].

2.2.3. Caliza (CaCO_3).

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

Por su aspecto blanco son muy distinguibles. Las calizas se forman en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales, en aquellas zonas en las que los aportes detríticos son poco importantes. Dos procesos, que generalmente actúan conjuntamente, contribuyen a la formación de las calizas:

Origen químico: El carbonato de calcio se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen gas carbónico disuelto (CO_2), debido a la alta solubilidad del bicarbonato cálcico, como compuesto intermedio. Pero para el caso contrario, en entornos en los que aguas cargadas de CO_2 se liberan bruscamente a la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso, según la siguiente reacción:



Esa liberación de CO_2 se produce, fundamentalmente, en dos tipos de entornos: en el litoral cuando llegan a la superficie aguas cargadas de CO_2 y, sobre los continentes, cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie.

Origen biológico: Sedimentación calcárea marina actual.

1: Plataformas carbonatadas; 2: Arrecifes coralinos.

Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes.

Actualmente limitada a unas cuantas regiones de las mareas tropicales, la sedimentación calcárea fue mucho más importante en otras épocas. Las calizas que se pueden observar sobre los continentes se formaron en épocas caracterizadas por tener un clima mucho más cálido que el actual, cuando no había hielo en los polos y el nivel del mar era mucho más elevado. Amplias zonas de los continentes estaban en aquel entonces cubiertas por mares epicontinentales poco profundos. En la actualidad, son relativamente pocas las plataformas carbonatadas, desempeñando los arrecifes un papel importante en la fijación del carbonato de calcio marino.

Utilización de la caliza: Disolución de una roca caliza por efecto del agua.

Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para «enjalbegar» (pintar) superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera.

Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre [11].



Figura 2.2.3.1. Piedra Caliza diluida por efecto del agua [11].

2.2.4. EL CLORURO DE SODIO

Su importancia en nuestro mundo:

El cloruro de sodio es una de las materias primas principales de la industria química. Casi todos los compuestos que contienen sodio o cloruro son de algún modo derivados de la sal. Las sustancias químicas importantes producidas mediante el uso de cloruro incluyen el metal sodio, el gas cloro, el ácido clorhídrico (el ácido para las piscinas), el carbonato de sodio (sosa comercial), el bicarbonato de sodio (bicarbonato de sosa), el hipoclorito de sodio (blanqueador a base de cloro) y el hidróxido de sodio (sosa cáustica o lejía). Además, la sal es un elemento importante en la fabricación de jabones y tintes; se utiliza en la metalurgia del estaño, en la cerámica vidriana y para teñir pieles.

Históricamente, la sal ha jugado un papel importante en el desarrollo del comercio y la economía mundial. Pues que la sal es un ingrediente indispensable de la dieta humana y que desde la antigüedad ha demostrado ser un conservador alimenticio útil, se la ha dado un gran valor y se ha utilizado en el comercio. La sal proveniente de las minas de Europa central se comercio extensamente por toda Europa, el medio y el lejano oriente. Las primeras rutas comerciales son mencionadas a veces como “rutas de la sal”: de hecho la palabra “salario” deriva de la palabra latina salarium, que se refiere al dinero que se les daba a los soldados romanos con el propósito de comprar sal. A pesar de que la sal constituye una parte importante de la industria química, en la actualidad es menos valioso que en tiempos antiguos porque ya existe una variedad de métodos para obtenerla [11.1].

Todos estamos familiarizados con el cloruro de sodio como sal de mesa. Es un compuesto iónico típico, un sólido quebradizo con punto de fusión alto (801°C) que conduce la electricidad en el estado fundido y en solución acuosa. La estructura del NaCl se muestra en la figura:

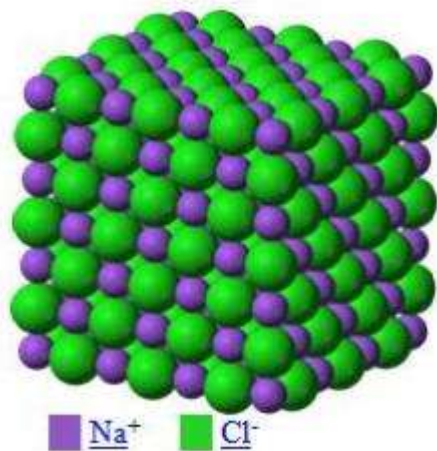


Figura 2.2.4.1. Estructura del NaCl, extraída de [11.2].

Una de las fuentes del cloruro de sodio es la sal de roca que se encuentra en depósitos subterráneos que suelen alcanzar varios metros de espesor.

También se obtiene de agua de mar o de la salmuera (una solución concentrada de NaCl) por evaporación solar. También se encuentra en el mineral llamado halita.

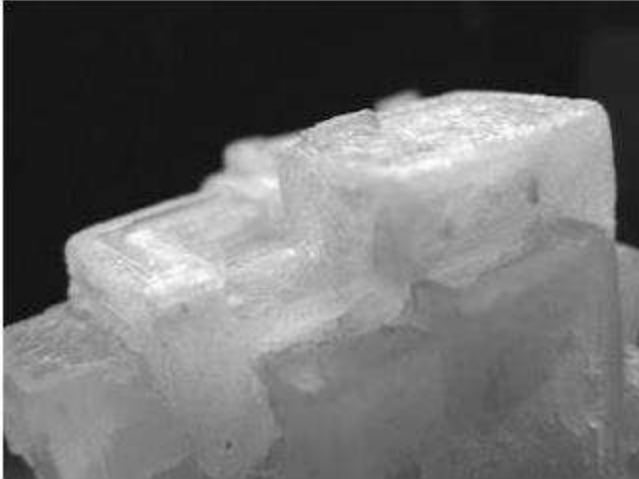


Figura 2.2.4.2. Del cloruro de sodio en estado sólido extraída de [11.3].

El cloruro de sodio se utiliza más que cualquier otro material en la manufactura de compuestos químicos inorgánicos. El consumo mundial de esta sustancia es de unas 150 millones de toneladas anuales. El cloruro de sodio se utiliza principalmente en la producción de otros compuestos químicos inorgánicos, como cloro

gaseoso, hidróxido de sodio, sodio metálico, hidrógeno gaseoso y carbonato de sodio. También se utiliza para fundir hielo y nieve en autopistas y caminos.

Sin embargo, como el cloruro de sodio es dañino para la vida vegetal y promueve la corrosión de los automóviles, su uso para este fin puede representar un riesgo para el medio ambiente [11.4].

2.2.5. AGENTES QUE INTERVIENEN EN EL VIDRIO

2.2.5.1. ÓXIDOS FORMADORES DE VIDRIOS

Los tetraedros SiO_4 se encuentran fusionados compartiendo vértices en una disposición regular produciendo un orden de largo alcance. En un vidrio corriente de sílice los tetraedros están unidos por vértices formando una red dispersa sin orden de largo alcance.

El óxido de boro B_2O_3 , es un óxido formador de vidrio y forma sub-unidades que son triángulos planos con el átomo de boro ligeramente fuera del plano de los átomos de oxígeno. No obstante, en los vidrios de boro silicato a los que han adicionado óxidos alcalinos y alcalinotérreos, los triángulos de óxido de BO_3 - pueden pasar a tetraedros BO_4 -, en los que los cationes alcalinos y alcalinotérreos proporcionan al electrón neutralidad necesaria. El óxido de boro es un aditivo importante para muchos tipos de vidrios comerciales, como vidrios de boro silicato y aluminio boro silicato. El óxido aluminico también es un óxido formador.

2.2.5.2. ÓXIDOS MODIFICADORES DE VIDRIOS

Los óxidos que rompen la red de vidrio se conocen como modificadores de red. Óxidos alcalinos como Na_2O y K_2O y óxidos alcalinotérreos como CaO y MgO son incorporados a los vidrios de sílice para reducir su viscosidad y así conseguir trabajar y modelar más fácilmente. Los átomos de oxígeno de estos óxidos entran en la red de la sílice en los puntos de unión de los tetraedros, rompiendo el *entramado* y produciendo átomos de oxígeno con un electrón desapareado. Los iones Na^+ y K^+ del Na_2O y K_2O no entran en la red pero permanecen como iones metálicos enlazados

iónicamente en *intersticios* de la red. Estos iones promueven la cristalización del vidrio al llenarse algunos de los *intersticios*.

2.2.5.3. ÓXIDOS INTERMEDIARIOS EN VIDRIOS

Algunos óxidos no pueden formar vidrios por sí mismos, pero pueden incorporarse a una red existente. Estos óxidos son conocidos como: óxidos intermediarios. Los óxidos intermedios son adicionados al vidrio de sílice para obtener propiedades especiales. Por ejemplo, los vidrios de aluminio silicato pueden resistir mayores temperaturas que el vidrio común. El óxido de plomo es otro óxido intermediario que se incorpora a algunos vidrios de sílice. Dependiendo de la composición del vidrio, hay óxidos intermedios que deben actuar a veces como modificadores de la red, y otras como parte constitutiva de la red del vidrio.

2.2.5.4. TIPOS DE IMPERFECCIONES

Las Imperfecciones que presentan los vidrios, originadas en su proceso de obtención. Son normalmente causados por el hombre y estos son defectos de afino, homogeneidad, vitrificación y recocido.

Después de una ardua búsqueda se pudimos determinar que los 2 defectos son por masa o superficiales. Y clasificando dichos defectos se obtiene lo siguiente:

2.2.5.5. DEFECTOS POR MASA

- **ESCORIAS**

Son los granos de cualquier sustancia contenida en el vidrio y que no se han fundido en el curso de la fabricación. Pueden ser granos de materias primas que por un defecto de fusión no han salido del estado sólido o pueden ser cuerpos extraños.

- **VETAS**

Son causadas por la falta de homogeneidad del vidrio, debida a diferencias de composición o de enfriamiento. Se clasifican según la forma de presentarse (ondas, hilos y estrías).

- **BURBUJAS**

Son espacios gaseosos en el interior del vidrio y tienen forma esférica, ovoidal o *lenticular* según el procedimiento de fabricación.

2.2.5.6. DEFECTOS SUPERFICIALES

- **PICADURAS**

Es causado cuando un grano del *abrasivo* grueso utilizado ha hecho una erosión profunda que no se elimina ni con el pulido.

- **RAYADO**

Defecto producido por deficiencias en el pulido o como causa de roces con cuerpos duros durante el almacenado o en el transporte.

- **AGUAS**

Se encuentra en los vidrios planos no pulidos, a causa de la imperfección en lo plano de las superficies.

- **MERMAS O CRECES**

Defectos o excesos de dimensiones en los vidrios moldeados.

- **REBABAS**

Imperfecciones causadas por el mal encaje en las juntas de los moldes en el momento de la fabricación.

- **GRIETAS**

Fisuras de diferentes longitudes y profundidades, causadas principalmente por el enfriamiento radical bruto a partir de una temperatura inferior al punto de reblandecimiento o bien por la presión excesiva del *émbolo* en productos moldeados.

2.3. PROCESOS PRODUCTIVOS DEL VIDRIO

El proceso para la elaboración del vidrio se puede dividir en las siguientes etapas:

2.3.1. Recepción de Materias Primas:

En esta etapa se garantiza un control operativo y técnico en las materias primas para verificar su calidad físico - química, para la producción del vidrio.

La operación esencial en esta etapa es la realización de los análisis físicos y químicos realizados a la materia prima, los cuales verifican el cumplimiento de las especificaciones. Primero se debe cumplir con el requisito de la granulometría, es decir, el tamaño de los granos de cada material, el cual, debe estar entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de milímetro. Para el feldespato y la arena se debe cumplir unos requisitos, tales como tener una composición química estable y determinada. La arena no debe contener arcillas y su contenido de óxidos de hierro debe ser lo más bajo posible. De acuerdo al resultado del análisis, si el producto está conforme con las especificaciones se define su disposición para ser utilizado posteriormente; si la materia prima no cumple con las especificaciones se procede a darles el manejo preestablecido como productos no - conformes.



Figura 2.3.1.1. Recepción y control de materias primas [15].

2.3.2. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS:

La preparación de la mezcla se puede dividir en cuatro partes:

- **Almacenamiento:** consiste en ubicar las distintas materias primas en diferentes sitios de almacenamiento en donde permanecerán hasta su utilización.
- **Pesaje:** siguiendo la formulación previamente establecida se pesa cada uno de los componentes mediante mecanismos automáticos y en las proporciones determinadas.
- **Mezclado:** Luego de ser pesadas cada una de las materias primas, son enviadas a las mezcladoras en donde, por un tiempo previamente establecido y con una adición específica de agua, los componentes son mezclados totalmente.

****** La composición aproximada de un vidrio de ventanas es $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$. El vidrio lo fabricaban ya los egipcios 1400 años A. de C.; en su elaboración añadían un óxido básico (procedente del natrón o de las cenizas de madera) a la arena (donde se encuentra la sílice). Esto permitía rebajar el punto de fusión de la mezcla y mantener por más tiempo el estado viscoso del vidrio, es decir,

prolongar el tiempo de fabricación. El vidrio así obtenido era soluble en agua. Añadiendo a la preparación silicatos terrosos o metálicos (piedras calcáreas o plomo) se creó el vidrio que hoy conocemos. Rápidamente los artesanos variaron sus colores e incorporaron limadura de hierro, agua marina y corteza de abedul, cuerno de vaca, carbón, azufre y también antimonio.

Componentes del Vidrio

La sílice (arena cuárcica), mezclada con óxido de sodio y cal, es el componente básico del vidrio de uso corriente. Si se reemplaza el sodio por potasio, se obtiene el cristal de Bohemia, que tiene más brillo y dureza. La mezcla de sílice, potasio y óxido de plomo, se caracteriza por su pureza, brillo y mayor densidad [12].**

- Transporte: Finalmente la mezcla es enviada por medio de elevadores y transportadores hasta los silos donde queda finalmente lista para ser cargada al horno.

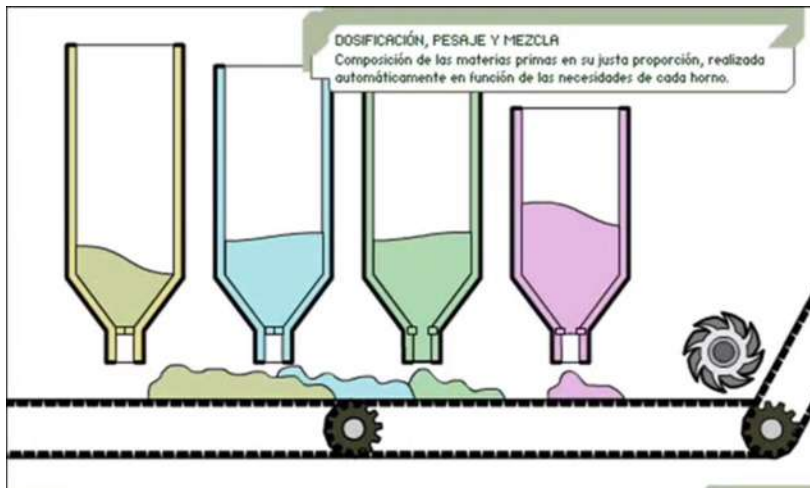


Figura 2.3.1.2.Dosificación, pesaje y mezcla [15].

2.3.3. FUSION DE LA MEZCLA Y REFINACION DEL VIDRIO (forma automática):

El horno es el sitio donde se lleva a cabo la fusión de las materias primas. Consiste en un recipiente rectangular construido con materiales refractarios resistentes al desgaste producido por el vidrio líquido y las llamas. El horno utiliza como combustible el Crudo de Castilla para producir el calor, por medio de dos quemadores, los cuales funcionan alternadamente veinte veces cada uno. Por uno de sus extremos se carga la mezcla, mientras que por el otro se extrae el vidrio fundido. Posteriormente hay una entrada de aire de 1000°C, con el fin de enfriar el vidrio que se encuentra dentro del horno. Los gases producidos por el horno son expulsados por los regeneradores (1300°C).

El primer proceso que se identifica claramente en el horno es el de *fusión*; aquí todas las materias primas no son propiamente fundidas, sino que al suministrarles calor primero se descomponen y después reaccionan; así pues los componentes que poseen menor punto de fusión se vuelven líquidos más rápido que los que tienen mayor punto de fusión (para la sílice es mayor de 1600°C, y para el casco entre 1050 y 1100°C); a medida que va aumentando la temperatura estos últimos también se funden y desaparecen como materiales cristalinos.

A continuación se realiza el proceso de refinación, en el cual se eliminan las “semillas” (gran número de pequeñas burbujas que se originan a partir de las reacciones de las materias primas); este proceso empieza casi simultáneamente con el proceso de fusión y continúa hasta que la mezcla de materias primas esté completamente líquida.

Luego el vidrio fundido pasa a un segundo tanque, llamado tanque de refinación, donde se intenta igualar la temperatura del vidrio en toda su extensión, para posteriormente repartirlo a las máquinas formadoras por medio de los canales.

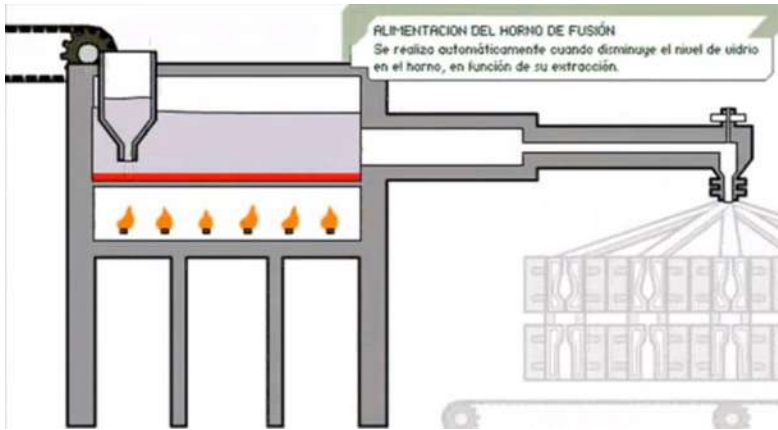


Figura 2.3.1.3. Alimentación del horno de fusión [15].

2.3.4. ACONDICIONAMIENTO DEL VIDRIO:

El canal es el encargado de enviar el vidrio desde el horno hasta el lugar donde están las máquinas formadoras de envases. Durante este trayecto se disminuye la temperatura del vidrio gradualmente (con lo cual aumenta su viscosidad), de tal manera que al final del canal se obtenga el vidrio en un estado en el que se pueda modelar, correspondiendo a una cierta temperatura para fabricar una botella determinada.

Se denomina acondicionar el vidrio al hecho de controlar la temperatura en el flujo del vidrio que está dentro de la canal desde refinación hasta el orificio refractario y se forme la gota.

La homogeneidad de la mezcla del vidrio se mide revisando las temperaturas existentes desde el fondo hasta la superficie y de lado a lado a la entrada del tazón (última sección del canal antes de las máquinas I.S.); estas temperaturas afectan directamente la distribución del vidrio en la botella, la forma de la gota, y su cargue en la máquina, por esto una falla en esta parte del proceso puede resultar en la formación de botellas deformes, con una masa mal distribuida y, por lo tanto más frágiles. Para obtener una temperatura uniforme en el vidrio se deben tener en cuenta las pérdidas de calor existentes a través del techo, las paredes y el piso del canal, así como el calor suministrado por los quemadores. Igualmente para acondicionar el vidrio, es necesario tener en cuenta el color del vidrio, la cantidad de vidrio que extrae cada máquina, la forma de la botella, la cantidad de aire disponible para enfriar el equipo de moldura de la máquina y la velocidad de fabricación de la máquina.

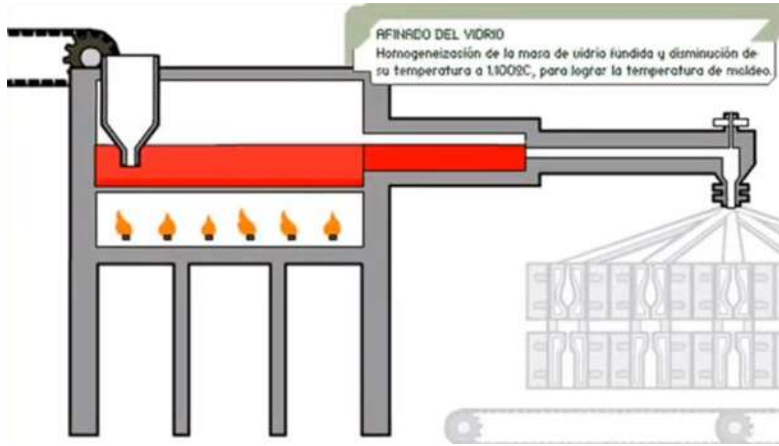


Figura 2.3.1.4. Afinado del vidrio [15].

2.3.5. FORMACION DEL ENVASE:

Una vez se ha acondicionado el vidrio, en el alimentador se forma la gota de vidrio con el peso correcto y la forma deseada por medio de un sistema de partes

refractarias compuesto por: un tubo que controla el flujo de vidrio hacia el orificio, una aguja que impulsa intermitentemente el vidrio hacia el orificio, que determina la cantidad de vidrio que tendrá la gota. Para formar la gota el flujo de vidrio se corta por el sistema de tijera.

Posteriormente, la gota se hace llegar a la máquina I.S. mediante el equipo de entrega, que consiste en de una cuchara, encargada de recibir la gota, un canal por donde la gota resbala hacia cada sección y un deflector que la entrega al equipo de moldura. La sigla I.S. significa máquinas de secciones independientes, en estas una sección se puede parar sin afectar el funcionamiento de las otras o de la máquina completa. Las empresas vidrieras utilizan en la actualidad máquinas de 6, 8, 10 y 12 secciones. Cada sección puede fabricar una botella (gota sencilla) o dos botellas (doble gota).

Para formar una botella se necesita de la moldura; que generalmente está hecha de fundición o en aleaciones metálicas especiales (el valor de cada molde está alrededor de los cien mil dólares). Las piezas usadas son: la camisa, la aguja y la boquilla para formar el terminado; el premolde, la tapa y el embudo para formar el palezón o preforma de la botella; y el molde, el fondo y la sopladora, para formar la botella. Las pinzas se encargan de sacar la botella del lado del molde hacia la plancha muerta en donde se traslada hacia el transportador, mediante los barredores, el cual finalmente la llevará al archa de recocido.

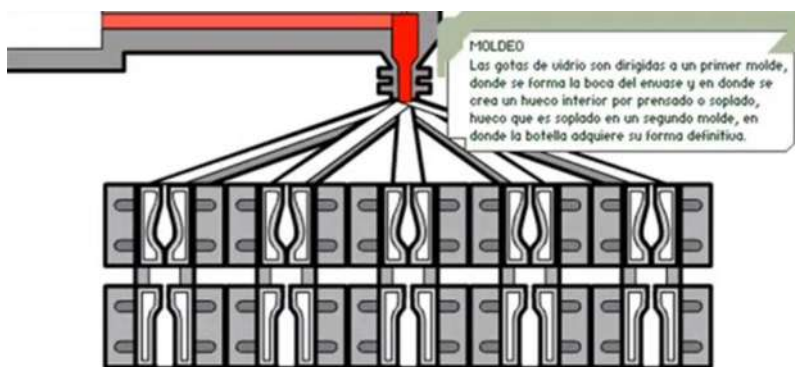


Figura 2.3.1.6. Moldeo en un primer proceso [15].

Las botellas se pueden fabricar en dos procesos básicos: Soplo y Soplo (S.S.) y Prensa y Soplo (P.S.).

2.3.5.1. PROCESO SOPLO Y SOPLO (S.S.):

Después de lograr el cargue de la gota (1) en el premolde se utiliza aire comprimido para empujar el vidrio y formar el terminado (2. soplo inicial); Después con aire comprimido se sopla el vidrio hacia arriba, formándose así la burbuja y el palezón, de una forma limitada por el premolde y la tapa (3 Contrasoplo). Luego el palezón se transfiere al molde (4) y nuevamente con aire comprimido a través de la sopladora se infla el palezón hasta llenar la cavidad del molde (5 Soplo final). Después de esto la botella es retirada del molde (6) y puesta sobre el transportador de línea, mediante los barredores, quién se encarga de llevarla al archa de recocido.

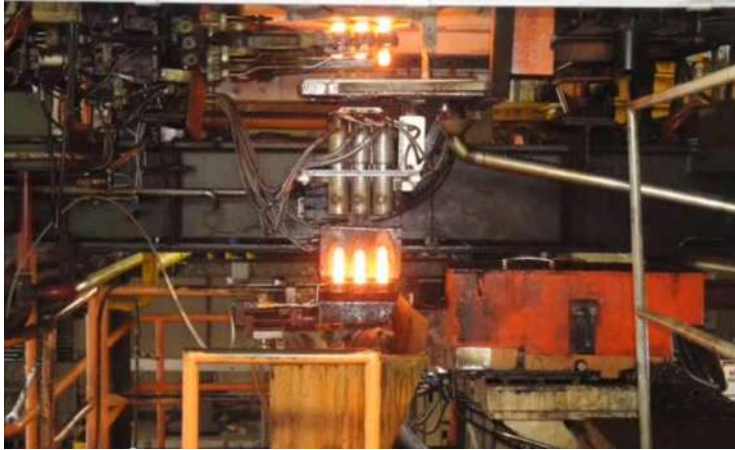


Figura 2.3.1.7. Salido del molde, para pasar a la plancha [12].

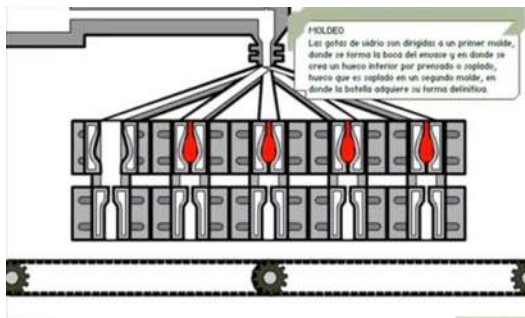


Figura 2.3.1.8. Premolde con gota de vidrio llamado palezón [15].

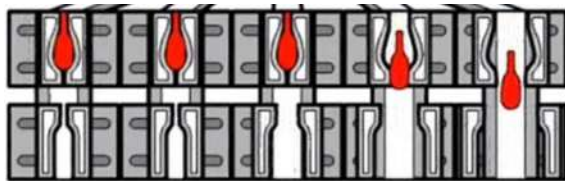


Figura. 2.3.1.9. Moldeo en un primer paso, pasando a la forma definitiva [15].



Figura 2.3.1.10. Molde final, terminación de la botella, en caliente [15].



Figura 2.3.1.11. Modelo de botellas salidas de los moldes con maquinaria programada [12].

2.3.5.2. PROCESO PRENSA Y SOPLO (P.S.):

El proceso de prensa y soplo se ha desarrollado para obtener botellas de boca ancha (proceso tradicional) o de boca estrecha (proceso conocido como NNPB).

El mecanismo utilizado para el mecanismo de prensa y soplo es el mismo que se utiliza para el mecanismo de soplo y soplo, cambiando algunos aditamentos que lo hacen funcionar de manera diferente. La principal diferencia radica en que la acción que realiza el contrasoplo es efectuada por un macho, el cual se encarga de dar la preforma a la gota para formar el palezón; las demás etapas son similares.

La gota de vidrio cae en el premolde (1). Inmediatamente el vidrio entra al premolde, la tapa baja. El macho empieza a subir, a una presión controlada, forzando al vidrio a llenar todos los vacíos, incluyendo la cavidad de la boquillera, formándose así el palezón (2). Luego, el macho baja, la tapa sube y el premolde abre. Enseguida, el palezón es transferido al molde (3). El palezón continúa su recalentamiento y estiramiento en el lado del molde. A continuación, se aplica aire comprimido para soplar el vidrio hasta llenar la cavidad del molde; también se aplica vacío para reforzar el contacto del vidrio con el molde (4). Este contacto con el molde más la circulación del aire del Soplo final enfrían el vidrio. Después de abrir el molde, las pinzas trasladan el envase hasta la plancha muerta (5) y el mecanismo barredor lo ubica sobre el transportador. Con el aire de enfriamiento de los alrededores del envase continúa el proceso de remoción de calor hasta que el vidrio alcanza una temperatura que asegura la estabilidad de su forma.

2.3.6. RECOCIDO DEL ENVASE:

Cuando se forma la botella, el vidrio se enfría muy rápido, creándose una gran cantidad de esfuerzos internos, que debilitan la botella. El archa de recocido es la encargada de aliviar esas tensiones.

En el archa se calienta de nuevo la botella ya formada a una temperatura de unos 550°C, durante unos diez minutos, disminuyendo luego lenta y controladamente la temperatura, teniendo como base una curva de temperatura que garantiza alivio de tensiones y el surgimiento de nuevos esfuerzos en la botella.

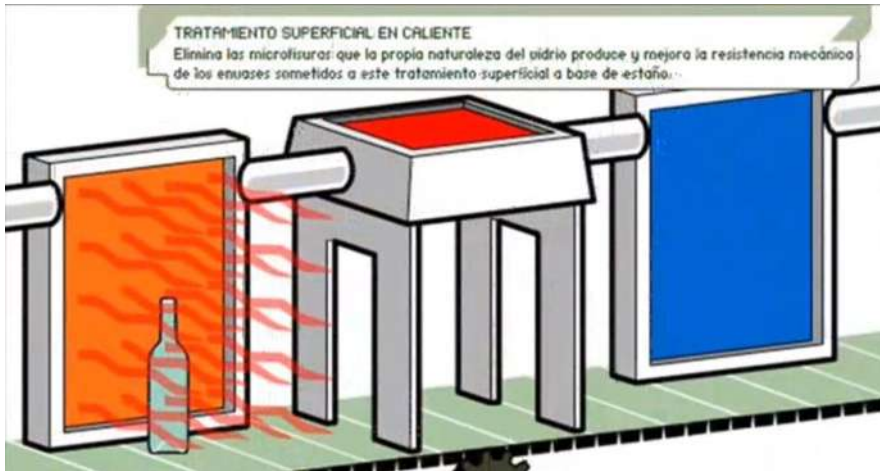
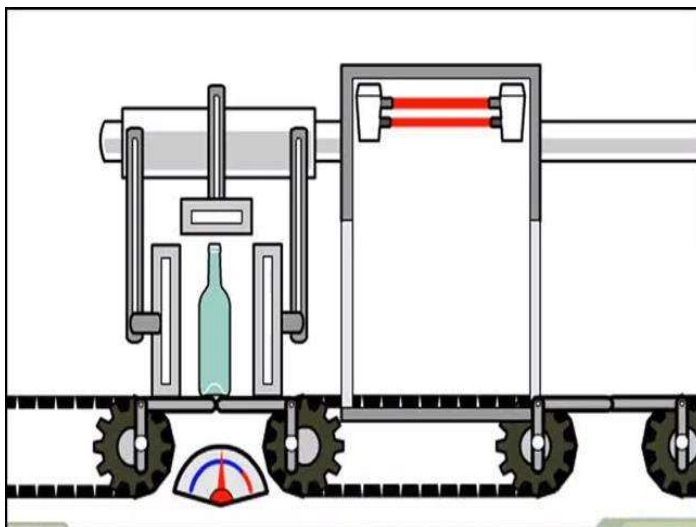


Figura 2.3.1.12. Recocido del envase para evitar choque térmico [15].

2.3.7. INSPECCION DEL ENVASE FORMADO:



Después las botellas son conducidas por medio de bandas transportadoras hacia una zona de revisión, compuesta por una gran cantidad de dispositivos automáticos, dotados de sistemas capaces de detectar defectos provenientes de la formación de la botella; ahí se retiran de la línea de producción todas aquellas botellas que tengan defectos de forma y/o dimensionales, grietas, arrugas, distribución irregular del vidrio en las paredes del envase y resistencia, entre otros, garantizando así que la producción que se enviará al cliente sea de excelente calidad.

Figura 2.3.1.13. Se hace el recocido para evitar grietas en los envases [15].



Figura 2.3.1.14. Manera automatizada de revisar detalles de la botella. Revisan altura, diámetro y espesor.

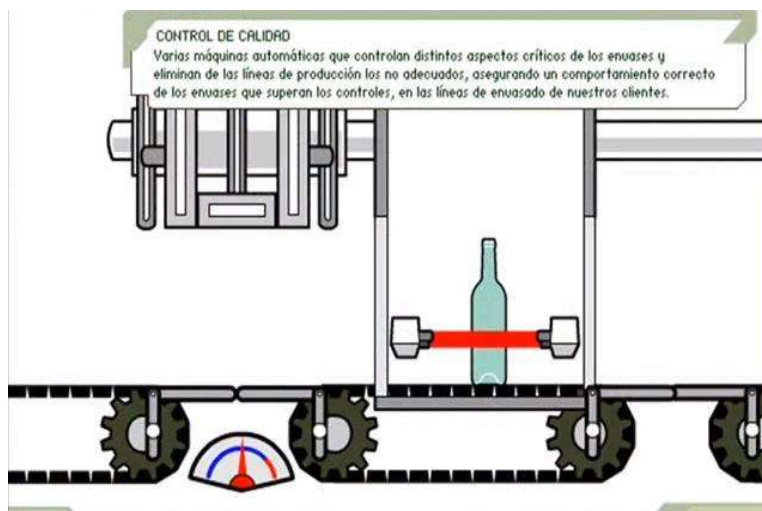


Figura 2.3.1.15. Control de calidad, inspección minuciosa. Se revisa que no tenga burbujas, inclusiones, grietas u otras discontinuidades [15].

2.3.8. EMPAQUE:

En esta etapa, los envases son empacados de acuerdo al requerimiento del cliente por medio de diferentes métodos, como son: el termoencogido, el paletizado y el encanastado en cajas plásticas (que hacen en la misma planta).

2.3.9. ALMACENAMIENTO Y DESPACHO:

Luego de que el envase ha sido empacado, es transportado a las bodegas de almacenamiento, en donde queda listo para ser despachado al cliente respectivo.

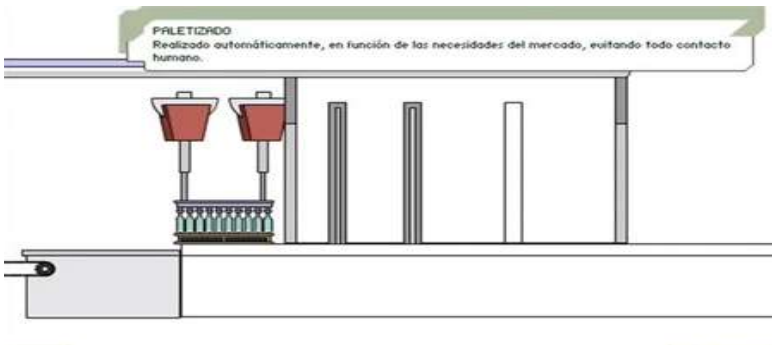


Figura 2.3.1.16. Paletizado, evitando el contacto humano [15].

#	entradas	salidas
1	Materia prima	Materia prima descompuesta
2	Materia prima descompuesta	Materia prima liquida
3	Materia prima liquida	Vaciar vidrio e igualar temperatura
4	Vaciar vidrio e igualar la temperatura	Vaciar gota de vidrio en molde
5	Vaciar gota de vidrio en molde	Controlar presión
6	Controlar presión	Transferir palezon al molde
7	Transferir palezon al molde	Recalentar y estirar en molde
8	Recalentar y estirar en molde	Aplicar aire comprimido
9	Aplicar aire comprimido	Trasladar a plancha muerta
10	Trasladar a plancha muerta	Enfriar y desmoldar (vidrio).

Tabla 2.3.9.1. Cronología de actividades para el formado de las botellas [14].

2.3.10. Proceso de Fabricación (forma manual o artesanal)

El proceso comienza con la trituración de los silicatos. La fusión del polvo obtenido se realiza entre 1350 y 1550 °C en cubas a las que el trabajador accede mediante conductos cerrados por ventanillas. Cuando la mezcla ha pasado al estado líquido, el recipiente se aleja ligeramente del fuego, para conseguir que el vidrio alcance, entre los 1000 y 1100 °C, un estado viscoso suficiente para el moldeado. Es entonces cuando el artesano hunde su caña en el recipiente y el vidrio que va a moldear durante un tiempo limitado por el enfriamiento de la materia. Al llegar a los 700 °C esta deja de ser maleable. Si el enfriamiento es demasiado brusco el vidrio estalla, si es demasiado lento hay riesgo de desvitrificación.

Para el moldeo, el obrero utiliza la caña (tubo de hierro que sirve también para el soplado), un mármol (sobre el que va a redondear e igualar la bolita luminosa que se ha enganchado en la caña), los machotes (molde de madera en los cuales se redondea u ovala el vidrio), los hierros y las tijeras (para precisar los perfiles) y, finalmente, un puntel. En efecto, el vidrio pasa poco a poco de un rojo oscuro al verde: es la señal de enfriamiento, y el momento de volver a calentarlo y de añadir una pastilla de vidrio viscoso fijada en el extremo de una varilla de hierro (el puntel) a la mezcla que formará la base del vidrio. Se puede separar el vidrio moldeado de la caña y continuar el trabajo con la pinza, que permitirá, por ejemplo, poner las asas, moldear ciertos elementos, o colocar varillas muy finas (filigranas). El vidrio puede también recibir una decoración de relieve por el procedimiento de tallado en frío o de grabado (con diamante, rueda, ácido o incluso arena). Finalmente se puede decorar con pintura o esmalte, aplicados directamente o sobre láminas de oro y plata.

2.3.11. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

2.3.11.1. TRATAMIENTO EN CALIENTE

Razones para utilizar los Tratamientos Superficiales

El vidrio es el único material que se puede moldear para producir envases higiénicos y transparentes, ideales para el empaque de productos alimenticios para el consumo humano. Sin embargo una de sus mayores desventajas es la de romperse fácilmente (su fragilidad).

Aunque no es muy conocido, muy pocos materiales se aproximan a la resistencia que alcanza el *vidrio prístino* (que tiene la gran pureza de su estado original). Una fibra de vidrio prístino resiste una concentración de esfuerzos cercana a un millón de psi, cifra que está muy por encima de la resistencia de muchos materiales. Pero durante el proceso de formación de la botella, esta altísima resistencia se pierde fácil y rápidamente.

La pérdida de resistencia puede ser ocasionada por un inadecuado diseño, por la manera en que se fabrica la botella, por un mal recocido, etc., pero las mayores pérdidas de resistencia son causadas por la formación de microgrietas y/o rayaduras en la superficie del vidrio cuando las botellas recién producidas se tocan entre sí o cuando hacen contacto con alguna parte metálica. Estos daños superficiales producen una drástica reducción en la resistencia del envase de vidrio.

Para reducir esas pérdidas de resistencia, hace muchos años se producían botellas con paredes mucho más gruesas y por lo tanto más pesadas.

Con la aparición de otros materiales para empaque (cartón, metales y principalmente plásticos), se hizo importante que la botella fuera más liviana pero que se mantuviera la resistencia de las antiguas botellas. Como una retribución a este cambio, se consiguen algunos ahorros en proceso de fusión del vidrio y aumentos en la velocidad de producción de las botellas. De esta manera se hizo necesario desarrollar algún tipo de proceso para mejorar, los *Tratamientos Superficiales*.

En el caso del *Tratamiento Superficial en Caliente*, la botella es recubierta con óxido de estaño, el cual desempeña dos funciones, ambas con miras a conservar la resistencia:

Evitar que la superficie sea rayada

Intentar “tapar” las microgrietas

Además se consigue el aumento de cerca del 20% en la presión interna, es decir, que una botella liviana con recubrimiento tendrá una resistencia equivalente a la de una botella pesada.

Tipos de Tratamientos Superficiales en Caliente

Se emplean diferentes tipos de recubrimientos en caliente como cloruro de estaño anhidro (Sn Cl_4), cloruro de estaño pentahídrico ($\text{Sn Cl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y el OZ 120, un producto orgánico de estaño. Todos llegan en forma de vapor a una cabina por donde se hacen pasar las botellas en su camino desde la máquina hacia el archa, en donde se atomiza.

Como Trabajan los Tratamientos Superficiales en caliente

Básicamente, el *Tratamiento en Caliente* se aplica como una deposición de vapor químico sobre la botella (muy caliente). Las botellas, que deben estar a una temperatura por encima de los 500°C , entran en contacto con el TC - 100 vaporizado dentro de una cabina de diseño especial. La cabina se coloca sobre la extensión del transportador de la máquina formadora. En cuestión de segundos (entre 2 y 3), se forma sobre la superficie de la botella una delgada capa de óxido de estaño. Esta es la capa que ayuda al vidrio a conservar su resistencia.

Después la capa de óxido de estaño es la base para lograr una buena adhesión del *tratamiento superficial en frío*, el cual se aplica sobre esa primera capa. Este recubrimiento hace que la superficie de la botella sea más resbalosa. El bajo coeficiente de fricción resultante disminuye las fuerzas de contacto entre las botellas.

La cantidad de gas utilizado para el recubrimiento es tal que debe alcanzar de 29 a 60 C.T.U. (Coating Thickness Units, unidades de espesor de recubrimiento). Según A.G.R. un C.T.U. es aproximadamente un Å (Amstrong, 10^{-7} mm).

El nivel óptimo deseado es de 40 C.T.U., si se obtiene un espesor mayor, se desperdicia un material muy costoso y si es menor, la resistencia de la botella no será adecuada. Cuando se utiliza en demasía se obtiene botella de aspectos nacarados o iridiscentes, que pueden ser rechazadas en el proceso de selección.

Para *Tratamientos en Caliente* también se utilizan óxidos de titanio, que son más baratos que el estaño pero el efecto nacarado aparece con espesores de recubrimiento menores que los obtenidos con el estaño, siendo un tratamiento más difícil de mantener bajo control.

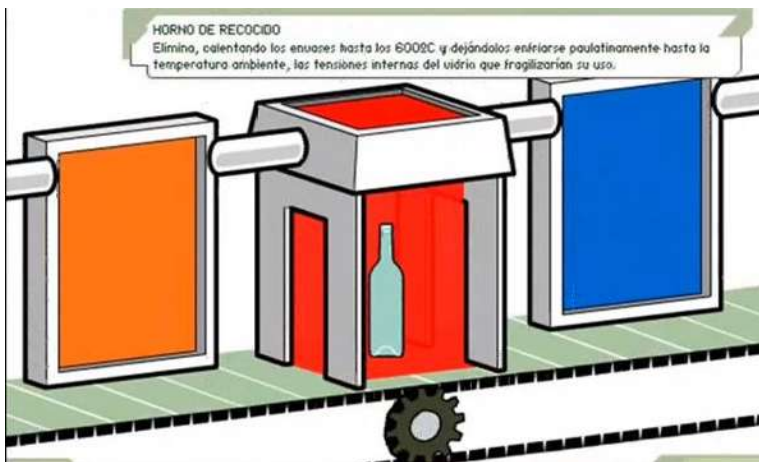


Figura 2.3.1.17. Recocido del envase para evitar choque térmico a 600 °C y enfriados paulatinamente hasta temperatura ambiente [15].

El Espesor del Recubrimiento y su Resistencia

La medida del espesor del recubrimiento se hace en el área de Control de Calidad con un aparato que dispara una luz infrarroja sobre la botella, la cual absorbe una determinada cantidad de luz, la luz reflejada se relaciona con el espesor de la capa, pues es proporcional a esta. Esta lectura se hace en menos de un minuto.

También se puede determinar el espesor de la capa por medios químicos pero este proceso dura alrededor de dos días, donde se necesitan altos niveles de precisión.

La resistencia a la rayadura se puede determinar colocando dos botellas una contra la otra en el punto de contacto y ejerciéndoles una fuerza graduable conocida. Si la fuerza no es lo suficientemente alta, al mover lentamente una contra la otra se producirá una rayadura. Esta resistencia a la rayadura puede ir desde una fuerza ínfima, en el caso de las botellas que no tienen recubrimiento, hasta una fuerza de 500 N para botellas con tratamiento superficial. Generalmente se hacen solo hasta 450 N, pues la botella se quiebra antes de rayarse.

¿Son materiales peligrosos?

El problema es básicamente causado por los vapores de HCl. El límite permitido es de 5 ppm, esto es partes de ácido clorhídrico por un millón de partes de aire.

Este límite no debe sobrepasarse, excepto dentro de la cabina, por ningún motivo. Se ha comprobado que 5 ppm es el máximo que puede soportar el ser humano sin que le ocasione daños. Sin embargo, si alguien va a estar expuesto por un largo periodo de tiempo a altos niveles, debe utilizar un respirador para gas ácido.

2.3.11.2. TRATAMIENTO EN FRÍO

Papel de un tratamiento en frío

Estos materiales son vaporizados sobre las botellas, a la salida del archa, con el objetivo principal de mejorar su manejo en las líneas de empaque de las fabricas de botellas y, más importante aún, en las líneas de llenado de los clientes, debido a que las botellas sin tratamiento se "agarran" unas a otras, formándose "trancones" en las líneas de llenado. Además sin adecuado recubrimiento en frío el recubrimiento en caliente se cae fácilmente. Los *tratamientos superficiales en frío* suministran mayor lubricidad y duración cuando se aplican sobre un recubrimiento en caliente de alta calidad.

Se debe tener en cuenta que:

Para conseguir un buen tratamiento en frío se debe hacer sobre una superficie tratada en caliente.

Los tratamientos en frío ayudan a evitar la presencia de esfuerzos en la botella.

Tipos de Tratamiento en Frío

Puesto que existe una gran cantidad de botellas para diferentes clientes y usos, también se han desarrollado una gran variedad de materiales para hacer *tratamientos en frío*, según las necesidades de recubrimiento requeridos pero tratando siempre de cumplir las exigencias de cada cliente. Se pueden mencionar, entre otros, el Carbowax, el ácido oleico, el R - 200 y el RP - 40 y el RP - 40 LT.

El ácido oleico es de procedencia orgánica, aceitoso y de color amarillento a temperatura ambiente, cuando se calienta sus vapores se conducen a una flauta situada debajo de la malla del archa, en lugar tal que las botellas no hayan pasado por debajo de los ventiladores de enfriamiento rápido, pues se necesita que las botellas se encuentren un poco por encima de los 100°C. Así, los valores se condensan sobre la superficie del envase produciéndose el recubrimiento. Con el ácido oleico se consigue una menor lubricación que con otros materiales siendo muy difícil de controlar el espesor de la capa [13].



Figura 2.3.1.18. Tratamiento en frio [13].

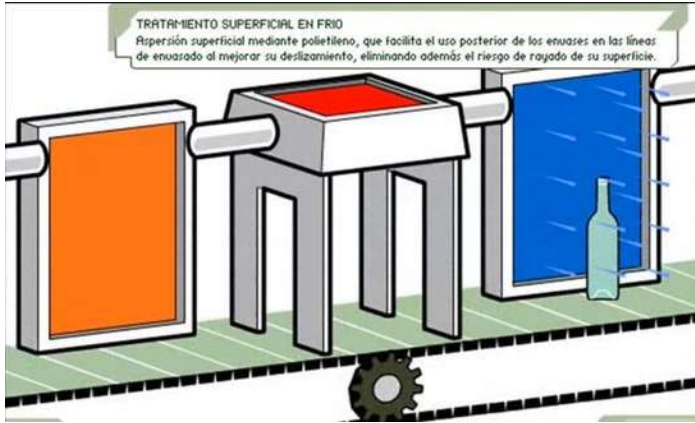


Figura 2.3.1.19. Tratamiento superficial en frío [15].

- **VIDRIOS AL PLOMO**

El óxido de plomo es normalmente un modificador de la red de la sílice, pero además puede actuar como un formador de la red. Los vidrios al plomo con altos contenidos de óxido de plomo son de baja fusión y se utilizan para soldar vidrios de

cierre herméticos. Los vidrios de alto contenido en plomo son usados para proteger de la radiación de alta energía y encuentra aplicación para ventanas de radiación, carcasas de lámparas fluorescentes y lámparas de televisión. Por sus altos índices de refracción, los vidrios al plomo se emplean para algunos vidrios ópticos y para algunos vidrios decorativos.

- **VIDRIOS DE BOTELLA**

De composición parecida a la del vidrio común, pero con cierto porcentaje de óxido de hierro.

- **VIDRIOS DE CRISTAL**

Con adición de plomo o bario, lo que le confiere elevado brillo, mucho peso y sonido metálico, y el óptico, de transparencia, inalterabilidad, homogeneidad e isotropía tales que permiten su uso en la fabricación de lentes, prismas, espejos.

- **VIDRIOS SÍLICO-SÓDICO-CÁLCICOS**

Los vidrios sílico-sódico-cálcicos utilizados en la construcción recibe este nombre porque tienen en su composición los siguientes elementos (figura 2.3.1.20):

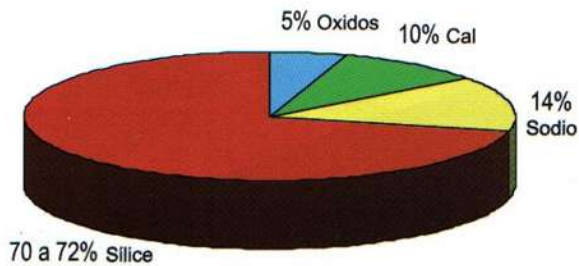


Figura 2.3.1.20. Porcentajes de composición [27].

Sílice, un cuerpo vitrificante introducido en forma de arena (70 a 72%). Sodio, un fundente en forma de carbonato y sulfato (aprox. 14%). Cal, un estabilizante en forma de caliza (alrededor 10%). Diversos óxidos, como los de aluminio y los de magnesio, que mejoran las propiedades físicas del vidrio sobre todo su resistencia a la acción de los agentes atmosféricos (alrededor 5%).

- **VIDRIOS DE SÍLICE FUNDIDO**

Es el vidrio de composición simple más importante, presenta una alta transmisión espectral y no está sujeto a daño de radiación que origina coloración en otros vidrios. Es casi siempre el vidrio ideal para las lunas de vehículos espaciales y túneles aerodinámicos y para sistemas ópticos en dispositivos espectrofotométricos. A veces, los vidrios de sílice son caros y difíciles de procesar [27].

2.4. VIDRIOS COMUNES.

2.4.1. VIDRIO FLOTADO.

Float es un cristal plano elaborado por la tecnología del flotado.

Se caracteriza por estar libre de distorsiones y tener sus caras paralelas con sus superficies brillantes. Es de espesor constante, masa homogénea y buena transparencia.

Se supera la calidad del cristal obtenido por desbaste y pulido mecánico, no presentando las bandas de distorsión del vidrio estirado. El 90% del cristal utilizado en el mundo es elaborado mediante el proceso float.

2.4.1. 1. Proceso float:

Sale del horno de fusión y flota a lo largo de la superficie de un baño de estaño liquido.

En el baño la masa permanece confinada en un ambiente de atmosfera controlada químicamente y durante un tiempo que le permite eliminar irregularidades y nivelar sus superficies tornándolas planas.

Debido a la superficie del estaño es plano, la del cristal obtenido también lo es. La lámina es luego enfriada mientras sigue avanzando sobre el estaño hasta que sus superficies estén suficientemente endurecidas.

Tabla 4.2. Características y propiedades

Características físicas					
Espesor nominal		Tolerancia espesor (mm)	Medida estándar (mm)	Medida máxima no estándar (mm)	Peso aproximado (Kg/m ²)
estándar	no estándar				
2	-	1,9 - 2,1	3200 x 2100	-	5,2
3	-	2,8 - 3,2	3600 x 2500	-	7,5
4	-	3,8 - 4,2	3600 x 2500	-	10,0
5	-	4,8 - 5,2	3600 x 2500	-	12,5
6	-	5,8 - 6,2	3600 x 2500	5500 - 3600	15,0
10	-	9,7 - 10,3	3600 x 2500	5500 - 3600	25,0
-	8	7,7 - 8,3	3600 x 2500	5500 - 3600	20
-	12	11,7 - 12,3	3600 x 2500	5500 - 3600	30,0
-	15	14,5 - 15,5	3600 x 2500	5500 - 3600	37,5
-	19	18,0 - 20,0	3600 x 2500	5500 - 3600	47,5

Tabla 4.3. Propiedades de transmisión de luz.

Propiedades de transmisión	Espesores (mm)									
	2	3	4	5	6	8	10	12	15	19
Transmisión de luz visible (%)	92	90	89	88	87	85	84	82	80	77
Transmisión total de calor solar (%)	87	87	85	84	83	80	77	75	72	68
Coeficiente total de sombra	1,00	1,0	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,83	0,78
Transmisión térmica K (W/m ² C)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4	5,3	5,2	5,2	5,1
Aislación acústica promedio (dB)	-	24	25	26	27	29	30	31	33	34

En la mayor parte de los casos el cristal FLOAT de 10 mm provee una efectiva aislación contra el ruido del tránsito automotor.

El empleo de mayores espesores de FLOAT simple o laminado como parte de unidades de dos o más cristales incrementa la capacidad de aislación acústica de dichos componentes [17].

La composición aproximada del vidrio es de 72% silicio, 14% sodio, 9-12% calcio, el resto algunos otros componentes que le transfieren alguna propiedad, como el oxido de magnesio, alúmina, potasio, etc.

Que es el que se utiliza comúnmente en la elaboración de las botellas de vidrio así como de vidrio flotado.

2.5. VIDRIOS ESPECIALES.

2.5.1. VIDRIOS DE SEGURIDAD

2.5.1.1. Vidrio TEMPLADO:

Se obtiene al someter la lámina de vidrio a un tratamiento térmico (calentamiento a 650°C y enfriamiento brusco) con lo cual aumenta la tensión superficial y modifica sus propiedades:

- Aumento de la resistencia al impacto (hasta 6 veces más)
- Aumenta la resistencia al choque térmico (diferencia de temperatura entre ambas caras hasta 4 veces más.
- Su rotura se produce en pequeños fragmentos, no cortantes.

Precaución: el vidrio templado no puede ser cortado, perforado ni pulido, pues al vencer la tensión superficial la pieza se rompe totalmente. Estas operaciones deben realizarse antes del tratamiento térmico.

En el proceso de elaboración se diferencia el templado vertical del horizontal porque el primero determina marcas de las pinzas de procesamiento.

	Vidrio templado
Tensión admisibles	Tensión superficial de compresión menor a 100n/mm2
Resistencia mecánica	4 veces menor al vidrio común
Choques térmicos	Cambios bruscos 6 veces mayor que el vidrio común Temp. máxima 300 °C.

Tabla 2.5.1.1. Características del vidrio templado [17].

2.5.1.2. Vidrio LAMINADO:

Se produce mediante la unión de dos o más laminas de vidrio con una o más láminas de elementos plásticos de alta resistencia como refuerzo, lo que permite que al romperse la pieza los trozos de vidrio queden adheridos a ella.

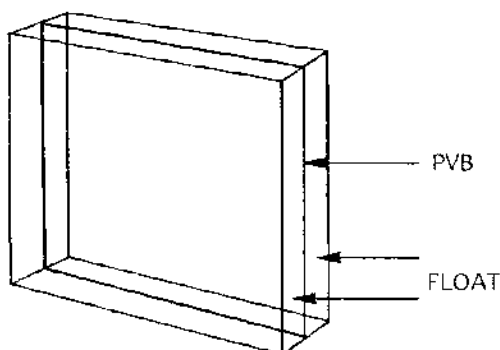


Figura 2.5.1.1. Estructura de vidrio Laminado [17].

Está compuesto por 2 o más hojas de vidrio flota unidas íntimamente por interposición de laminas de PVB (polivinilo de Butiral) incoloro o coloreado.

Según el número y naturaleza de sus componentes brinda propiedades que van desde una seguridad simple hasta una protección antibala.

En caso de rotura los trozos quedan unidos por polivinilo, impidiendo la caída y mantenimiento del conjunto, sin interrumpir el cerramiento ni la visión.

Posee buenas propiedades desde el punto de vista del aislamiento acústico.

Se pueden curvar con radio mínimo 50cm.

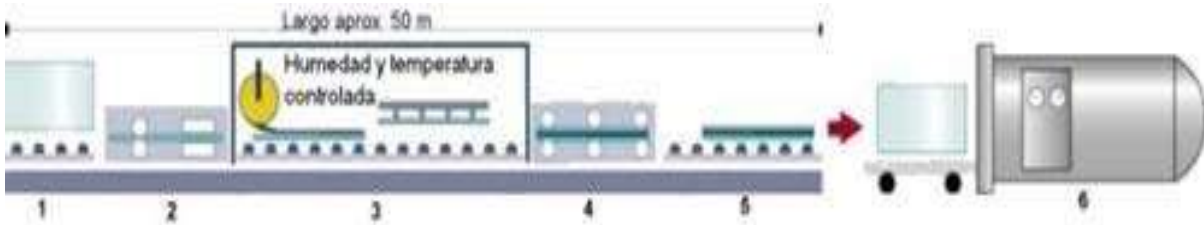
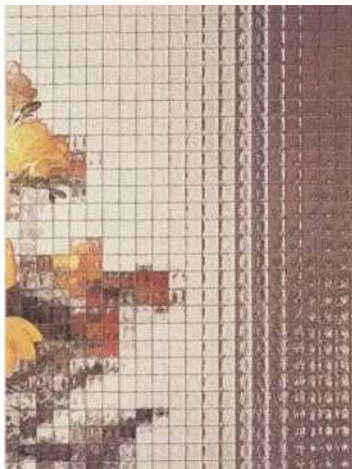


Figura 2.5.1.2. Proceso de vida del vidrio laminado [17].

Proceso de fabricación de cristal laminado.

1. cristal flotado.
2. lavado y secado
3. laminado con PVB
4. aplicación del color
5. enfriamiento
6. calor y presión en autoclave.

2.5.1.3. Vidrio ARMADO:



En este caso se incorpora como alma una malla metálica electrosoldada o torsionada, con un efecto similar al citado anteriormente.

Figura 2.5.1.3. Vidrio armado, con malla [17].

Es un vidrio traslucido incoloro al que se incorpora una malla metálica de acero generalmente de 12 x 12 mm. Esta actúa como soporte temporario del vidrio en caso de rotura.

Aplicado en aberturas permite retardar la propagación del fuego entre 30 y 60 minutos.

Los bordes deben tener un corte neto, perfectamente arenado.

Espesor 6mm.

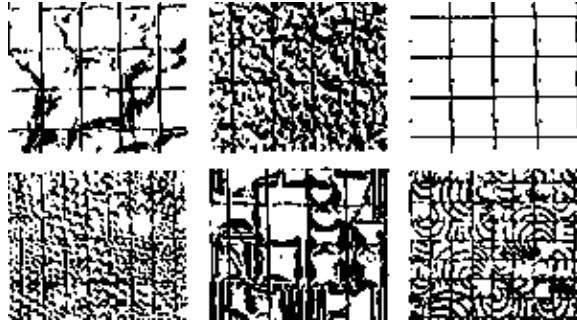


Figura 2.5.1.4. Vidrio *Security* para puertas y ventanas [16].

2.5.2. VIDRIOS ATERMICOS:

2.5.2.1. Vidrios ABSORBENTES. Aumentan el coeficiente de absorción de la radiación solar, llegando hasta un 78% (vidrio común = 15%).

2.5.2.2. Vidrios REFLEJANTES. Elevan el coeficiente de reflexión de la radiación solar, alcanzándose valores de hasta un 57% (vidrio común = 7%).

Los vidrios que combinan ambos factores limitan la transmisión de energía a un mínimo de 11%, contra un 85% de un vidrio común. Asimismo se ve reducida sensiblemente la cantidad de luz que permiten pasar.

Se utiliza para proteger láminas, cuadros, fotos.

Tienen sus superficies levemente texturada, atenúan las molestias que causan los reflejos sobre un vidrio de caras brillantes.

Se fabrica en espesor de 2.3mm.

La separación máxima con respecto a la imagen es de 20mm.

La cara texturada se coloca al exterior.

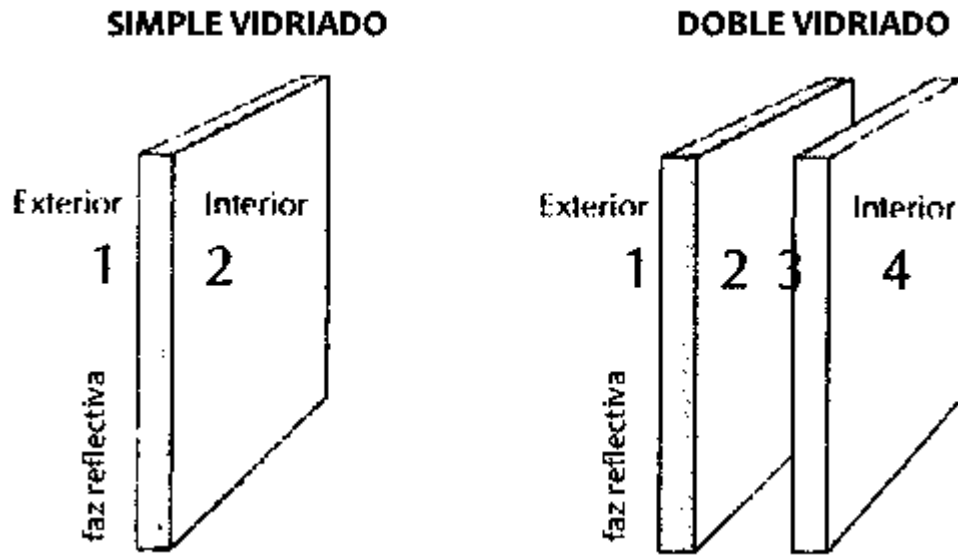


Figura 2.5.2.1.1. Diferencia entre vidrios según su reflexión de luz [17].

En particular el cristal flotado reflectivo posee una de sus caras un revestimiento reflectivo aplicado mediante un proceso pirolítico. Se produce simultáneamente con la fabricación del Flota incorporando en caliente sobre una de sus caras reflectivas en base a óxidos metálicos con el vidrio aun en estado viscoso.

2.5.2.3. Vidrios DOBLES. Son dispositivos compuestos por dos láminas de vidrio separados por una cámara de aire sellada, estanca y rellena de gas deshidratado, para evitar condensación al interior de la misma. Aumentan notoriamente la resistencia térmica.

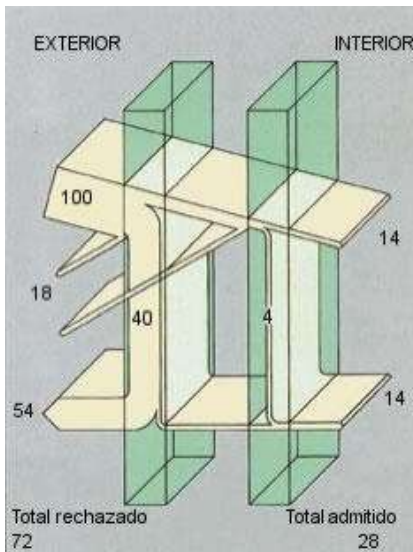


Figura 2.5.2.1.2. Resistencia térmica de vidrios dobles [17].

En este caso:

- Vidrio exterior- reflejante 6mm.
- Cámara de aire-12m
- Vidrio interior- low emisión 6mm.

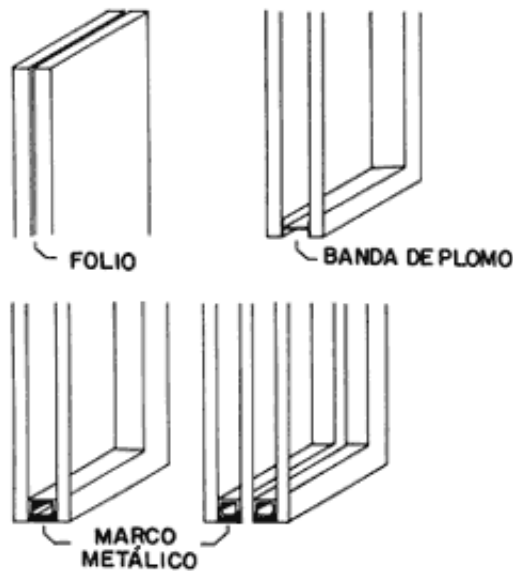


Figura 2.5.2.1.3. De forma que los espacios intermedios permanezcan herméticamente cerrados y deshumidificados para que conduzcan lo menos posible el calor. En los bordes del vidrio se colocan nervios distanciadores soldados con estaño [16].

2.5.3. VIDRIOS TRASLUCIDOS:

Puede ser incoloro o coloreado en su masa. Tiene en una o ambas caras una textura decorativa que transmite la luz en forma difusa e impide la visión clara.

Según los dibujos su translucidez y privacidad es de diferente grado.

Según la profundidad del dibujo su índice de transmisión de la luz varía entre 70 y 80%.

Hay algún tipo de dibujos que son aptos para templar.

Es recomendable estudiar las condiciones de uso cuando se desea tener privacidad.

Proceso de fabricación.

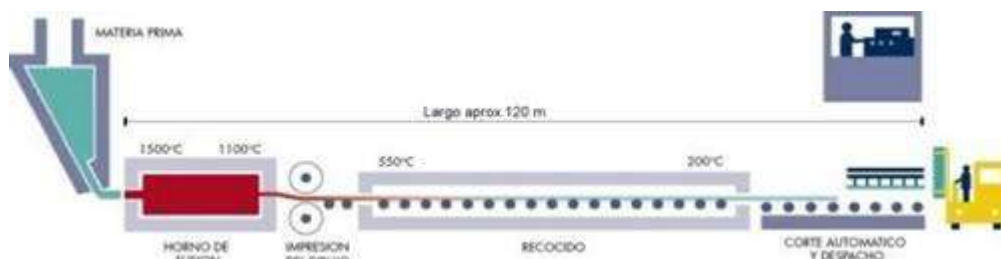


Figura 2.5.3.1. Proceso de fabricación de vidrio translucido [17].

a) Vidrio FANTASIA. Se producen mediante la impresión en una o ambas caras de un dibujo cualesquiera, lo que produce una distorsión de la visión sin afectar sustancialmente la transmisión de luz.

b) Vidrio ESMERILADO. Se obtiene un efecto similar al anterior mediante un tratamiento superficial de una de las caras del vidrio mediante ácidos o la proyección de un chorro de arena, confiriéndole una terminación mate, difusora de la luz.

c) Vidrio OPAL u opalinas. En este caso se modifican las materias primas, incluyendo fosfatos o fluoruros cuyas partículas van a oficiar de dispersantes de la luz en la masa del vidrio.

2.5.4. VIDRIO DE BOROSILICATO:

Mediante la sustitución del óxido de calcio por óxido bórico se disminuye el coeficiente de dilatación térmica y se aumenta considerablemente la resistencia a altas temperaturas y al ataque de ácidos (ej. vidrio Pyrex®).

PROPIEDADES QUÍMICAS

El vidrio de borosilicato tiene gran estabilidad al ataque químico, con contenido bajo de álcalis. Resiste los ataques del agua y de casi todos los ácidos en el campo de temperaturas general de trabajo; resiste las esterilizaciones repetidas -húmedas o secas- sin empañarse. Su contenido relativamente bajo de álcalis deja el valor pH de los medios virtualmente invariable.

Estas ventajas, en unión de la de tener una dilatación térmica baja, hacen al vidrio sin rival para trabajos científicos.

COMPOSICIÓN:

No contiene elementos del grupo alcalino-térreo, ni zinc, ni metales pesados.

La composición aproximada es:

Sílice..... 80,6 %

Oxido de Sodio..... 4,2 %

Oxido Bórico..... 12,6 %

Alúmina..... 2,2 %

PROPIEDADES FÍSICAS

Debido a su dilatación térmica sumamente baja, no sólo resiste las tensiones de los choques térmicos repetidos, sino que permite fabricar materiales más gruesos y robustos que los que son generalmente posibles con vidrio.

Densidad: 2,23 g/cm³

Coeficiente lineal de dilatación térmica: 33×10^{-7} por °C entre 20 y 400 °C.

Calor específico: El calor específico entre 0 y 250 °C se puede representar por $C_t = 0,174 + 0,00036 t$, en la que C_t es el valor específico a la temperatura t °C. [17]

2.5.5. VIDRIO DE PLOMO:

Se sustituye en este caso el óxido de calcio por óxido de plomo, con lo cual el vidrio resultante posee una mayor densidad, mayor brillo y luminosidad y mayor aptitud para el tallado, conocido como cristal cortado [19].

Su coeficiente de dilatación calorífica es muy elevado, lo cual quiere decir que se expande mucho cuando se aumenta la temperatura y por lo tanto no tiene gran resistencia al choque térmico. Posee excelentes propiedades aislantes, que se aprovechan cuando se emplea en la construcción de los radares y en el radio. Absorbe considerablemente los rayos ultravioletas y los rayos X, y por eso se utiliza en forma de láminas para ventanas o escudos protectores.

Es un vidrio blando a baja temperatura que permanece con cierta plasticidad en un rango de temperatura, lo cual permite trabajarlo y grabarlo con facilidad. Las piezas del material conocido como cristal cortado están hechas con este vidrio. Asimismo, se utiliza en la elaboración de vidrios ópticos, para lo cual se añade óxido de lantano y tono. Estos vidrios dispersan la luz de todos los colores. Son excelentes lentes para cámaras fotográficas porque con una corrección mínima dan luz de todos los colores y la enfocan de manera uniforme en el plano de la película. Si no fuera así, unos colores serían más intensos que otros en una fotografía, y no se lograrían imágenes tan reales. El vidrio de plomo también tiene una proporción de potasio. El potasio hace que el material sea más quebradizo, pero el plomo resuelve el problema [16].

2.5.6. VIDRIO DE SILICE

Vidrio con contenidos mínimos de óxidos alcalinos, que determina una mayor permeabilidad de la radiación ultravioleta del sol y posibilita su aplicación con fines terapéuticos [19].

También existe otra novedosa técnica en cuya primera etapa se utiliza vidrio de borosilicato que se funde y se forma, pero con dimensiones mayores a las que se desea que tenga el producto final. Este artículo se somete después a un tratamiento térmico, con lo cual se transforma en dos fases vítreas entremezcladas, es decir, en dos tipos de vidrios diferentes entremetidos uno en el otro. Uno de ellos es rico en álcali y óxido de boro, además de ser soluble en ácidos fuertes (clorhídrico y fluorhídrico) calientes. El otro contiene 96% de sílice, 3% de óxido de boro y no es soluble. Esta última es la composición final del vidrio de sílice. Los vidrios que contienen 96% de sílice tienen una estabilidad tan grande y una temperatura de reblandecimiento tan elevada (1 500°C).

Por todas estas propiedades se utilizan en la fabricación de material de laboratorio, que requiere una resistencia excepcional al calor, como sucede con los crisoles, los tubos de protección para termopares, los revestimientos de hornos, las lámparas germicidas y los filtros ultravioletas [16].

2.5.7. EL VIDRIO DIELECTRICO

A los materiales que pueden polarizarse en presencia de un campo eléctrico se les conoce como dieléctricos. Polarizar quiere decir que las moléculas o los átomos se convierten en dipolos, acomodando todas sus cargas negativas hacia un lado y las positivas hacia otro. Los dipolos eléctricos se acomodan en la misma dirección que el campo eléctrico local que los produce. Son importantes porque una vez formados son capaces de conducir la electricidad, pero antes no. Un vidrio dieléctrico se obtiene a partir de arcillas ricas en plomo y se utiliza para fabricar cintas para los condensadores electrónicos. Estos materiales necesitan una gran resistencia, por lo que se suele utilizar también vidrio de 96% de sílice y cuarzo fundido.

2.5.8. EL VIDRIO CONDUCTOR

Para que un vidrio tenga una conductividad eléctrica apreciable, en su elaboración se tiene que elevar la temperatura a 500°C, o recubrirlo con una película conductora de metales, óxidos alcalinos o aleaciones, en cuyo caso el que conduce es el metal que se le pone y no tanto el vidrio.

2.5.9. EL VIDRIO PROTECTOR CONTRA EL SOL

Este vidrio refleja la luz del Sol. La capa de recubrimiento que lleva incorporada, además de reflejar puede presentar diversas tonalidades de color, como plateado, bronce, verde o gris. Se coloca en el espacio intermedio y en la capa interior de la placa externa. De esta forma se hace el vidrio polarizado y el de tipo espejo. Los espejos que se instalan en las ventanas de los edificios modernos son precisamente para proteger contra el Sol.

Éstos son algunos ejemplos de los vidrios que existen y de las aplicaciones que se les pueden dar. Desde luego, no esperamos abarcar todos los usos porque éstos dependen de la capacidad imaginativa del hombre, que es ilimitada. Sin embargo, creemos que es una muestra de todo lo que se puede hacer con este caprichoso material [17].

2.6. VIDRIOS COLOREADOS

La presencia de determinados agregados ocasiona en el vidrio una coloración, que puede ser involuntaria si estos se encuentran como impurezas o voluntaria se es controlada. Ejemplo: el óxido de hierro otorga coloración azul, amarilla o verde; el óxido de cromo coloración rojiza.

Existen principalmente tres formas de darle color al vidrio. Una es por medio de los *colores de solución*, donde el color se produce porque el óxido metálico presente absorbe la luz de la región visible del espectro, y deja pasar la que corresponde a algunos colores, que son los que se ven. De esta forma el cobre absorbe la luz con longitudes de onda que pertenecen a todos los colores, menos la vinculada al color rojo rubí, cuando está en estado de oxidación +1, o al verde, cuando su estado de oxidación es +2. Por eso un vidrio que contenga Cu^{+1} se verá rojo rubí, y con Cu^{+2} será verde. El cobalto siempre absorbe la luz con todas las longitudes de onda menos la que produce el color azul, y así, de la misma manera, el vanadio, el manganeso, el titanio, el cromo, el hierro y el níquel producen sus propios colores. Por ejemplo, el selenio combinado con sulfuro de cadmio produce partículas en el vidrio que dispersan toda la luz, menos la de color rojo. Aquí el color depende de la concentración y el tamaño de las partículas, no tanto del elemento por el que están formadas. El color rubí se puede producir con oro y cobre en su estado elemental, o por seleniuros y sulfuros en solución.

Cuando el cobre se calienta con la sílice a temperaturas muy altas se deposita en forma de escamas y produce también el color rubí, pero ahora por medio de partículas macroscópicas, que es la tercera forma de darle color al vidrio. Con esta misma técnica se puede producir el vidrio opaco, porque las escamas que se forman dentro provocan que la luz se difracte en el interior del vidrio, quitándole transparencia. También se forma un tipo de vidrio alabastro, que es como un mármol translúcido, generalmente con visos de colores. Las estructuras internas que se forman para producir estos efectos son poco conocidas, pero esto no impide que se utilicen en aparatos de alumbrado de luz difusa y en artículos de ornato [18].

2.6.1. Coloreado por adición de iones

El vidrio ordinario de sosa-caliza parece incoloro a simple vista cuando es fino, a pesar de que las impurezas de óxido de hierro producen un tinte verdoso que se puede ver en las piezas gruesas o con la ayuda de instrumentos científicos. Otros metales y óxidos metálicos se pueden agregar al vidrio durante su fabricación para cambiar su color, que puede aumentar su atractivo estético. Algunos ejemplos de estos aditivos se enumeran a continuación:

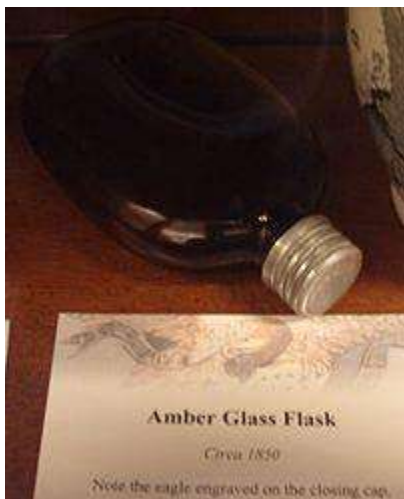


Figura 2.6.1.1. Color ámbar usado generalmente en botellas de la rama farmacéutica y cervecera [18].



Figura 2.6.1.2. Vidrio de uranio brillando bajo luz UV [18].



Figura 2.6.1.3. Vidrio de cobalto para decoración [18].

- Óxido de hierro (II): se puede agregar al vidrio, resultando un vidrio de color azul verdoso que se utiliza con frecuencia en las botellas de cerveza. Unido al cromo produce un color verde más intenso, que se utiliza para las botellas de vino.
- Azufre, junto con sales de hierro y carbono: se utiliza para formar polisulfuros de hierro y productos de vidrio color ámbar que van desde el amarillo a casi el negro. En el vidrio de borosilicato rico en boro, el azufre le imprime un color azul. Con calcio se obtiene un color amarillo intenso.
- Manganeso: se puede añadir en pequeñas cantidades para eliminar el tinte verde dado por el hierro, o en concentraciones más altas para dar al vidrio un color amatista. El manganeso es uno de los aditivos más antiguos del vidrio y el vidrio de manganeso violeta se viene utilizando desde principios de la civilización egipcia.
- Dióxido de manganeso: de color negro, se utiliza para quitar el color verde del vidrio, en un proceso muy lento que lo convierte en permanganato de sodio, un compuesto de color morado oscuro. En Nueva Inglaterra, algunas casas construidas hace más de 300 años tienen cristales en sus ventanas con un toque de color violeta debido a este cambio químico, y estos paneles de vidrio son muy apreciados como antigüedades.
- Cobalto: Pequeñas concentraciones de cobalto (0,025 a 0,1%) imprimen al cristal un color azul. Los mejores resultados se obtienen cuando se utilizan vidrios que contienen potasa. Cantidades muy pequeñas se pueden utilizar como decolorante.
- Óxido de cobre: Un 2 a 3% de óxido de cobre producen un color azul turquesa.
- Níquel: dependiendo de la concentración, produce cristales de color azul o violeta, e incluso negro. El cristal de plomo, si se le agrega níquel, adquiere color violáceo. El níquel, junto con una pequeña cantidad de cobalto se utiliza para decoloración del vidrio de plomo.
- Cromo: es un agente muy poderoso para colorear, proporcionando un color verde oscuro o en concentraciones más altas, incluso color negro. Junto con óxido de estaño y arsénico proporciona al vidrio un color verde esmeralda. La aventurina de cromo, en la que se conseguía la aventurescencia mediante el crecimiento paralelo de grandes láminas de óxido de cromo (III), se hizo también a partir de vidrio con cromo agregado.

- Cadmio: junto con azufre da como resultado un vidrio de color amarillo intenso, a menudo utilizado en los esmaltes. Sin embargo, el cadmio es tóxico.
- Titanio: produce vidrio de color marrón amarillento. El titanio, que rara vez se utiliza por sí solo, es más a menudo empleado para intensificar y aclarar otros aditivos de colorear.
- Uranio: se puede agregar en concentraciones del 0,1 al 2% para obtener un vidrio de color amarillo o verde fluorescente. El vidrio de uranio es radiactivo pero no lo suficiente para ser peligroso. Si se muele en forma de polvo, por ejemplo, cuando es pulido con papel de lija, y posteriormente este polvo se inhala, puede ser cancerígeno. Cuando se utiliza con vidrio de plomo con una proporción muy alta de plomo, produce un color rojo intenso.

Vidrios llamativos



Figura 2.6.1.4. Ensaladera de vidrio Cranberry (uranio con vidrio de plomo) [18].



Figura 2.6.1.5. Lente fotocromática para gafas. La coloración se consigue con nanopartículas de plata [18].

Los "vidrios llamativos" (striking glasses) o "**vidrios coloidales**" son diferentes de los vidrios coloreados por la adición de iones, principalmente por la absorción de casi cuantitativa de la luz blanca. Su color varía si se les somete a procesos cíclicos de calentamiento y enfriamiento, que reavivan esos colores.

- El selenio, como el manganeso, puede ser utilizado en pequeñas concentraciones para decolorar el vidrio, o en concentraciones más altas para dar un color rojizo, causado por las nanopartículas dispersas de selenio en el vidrio. Es un agente muy importante para fabricar vidrio de color rosa y rojo. Cuando se utiliza junto con sulfuro de cadmio, se obtiene un color rojo brillante conocido como "selenio rubí".
- El cobre metálico puro produce un vidrio opaco color rojo muy oscuro, que a veces se utiliza como un sustituto del oro en la producción de vidrio color rubí.
- El oro metálico, en una concentración muy pequeña (alrededor del 0,001%), produce un vidrio color rubí intenso ("Oro rubí"), mientras que las bajas concentraciones produce un rojo menos intenso, a menudo publicitado como "vidrio arándano". El color es causado por el tamaño y la dispersión de partículas de oro. El vidrio oro rubí está generalmente fabricado a partir de vidrio de plomo con estaño agregado.
- Los compuestos de plata como el nitrato de plata y los haluros de plata pueden producir una gama de colores que van del naranja-rojo al amarillo. La forma en que el vidrio se calienta y se enfría puede afectar significativamente a los colores producidos por estos compuestos.

También las lentes fotocromáticas y el vidrio fotosensible se basan en la adición de partículas de plata.

2.6.2. Inclusiones de color

El óxido de estaño con los óxidos de antimonio y arsénico producen un vidrio opaco blanco (vidrio opalino), que se utilizó por primera vez en Venecia para producir una imitación de la porcelana. Del mismo modo, algunos vidrios ahumados se pueden basar en inclusiones de color oscuro, pero con la coloración iónica también es posible producir colores oscuros.

2.6.3. Color causado por dispersión

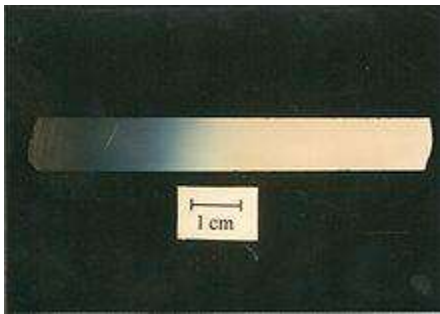


Figura 2.6.1.6. Gradiente de tamaño de poro en el vidrio poroso (poros grandes a la derecha); coloración basada en el efecto Tyndall [18].

Los vidrios que poseen dos o más fases con diferentes índices de refracción muestran colores basados en el efecto Tyndall que pueden ser explicados por la teoría de Mie, si las dimensiones de las fases son similares o mayores que la longitud de onda de la luz visible. La luz dispersada es azul y violeta, como se ve en la imagen, mientras que la luz transmitida es de color amarillo y rojo.



Figura 2.6.1.7. Vidrio dicroico [18].

Un pendiente fabricado con cristal dicroico

El vidrio dicroico tiene una o varias capas de rango nanométrico (por ejemplo metales, óxidos metálicos, o nitruros) que dan al cristal dicroico sus peculiares propiedades ópticas. También el aspecto azul de algunos parabrisas de automóvil está causado por dicroísmo [18].

2.7. ESPEJOS

Son láminas de vidrio en las que se aplica en una de sus caras una lámina de metal fundido o un depósito químico, generalmente de estaño o plata [16].

Ejemplos de metales reflectantes son la plata y el cobre. El revestimiento protector que en lo común comprende una capa de pintura base disolvente, sirve en parte para prevenir la erosión del metal reflectante, pero lo más importante proporciona al metal resistencia a la corrosión. Si no se proporciona esta resistencia a la corrosión el metal reflectante tiende a sufrir oxidación o ataque por los contaminantes atmosféricos, con el resultado de ensuciado y decoloración y por tanto reducción de las propiedades de reflexión especular del espejo. El riesgo de corrosión aumenta si el espejo es utilizado bajo condiciones de humedad.

La pintura es aplicada convenientemente por medio de un aparato revestidor por cortina, a través del cual la hoja de vidrio es conducida a una velocidad uniforme y controlada por un plano horizontal con el revestimiento de metal reflectante arriba, y en el que cae por gravedad una cortina de pintura en película continua a través de una rendija alargada formada en la base de un depósito de pintura sobre el revestimiento de metal reflectante.

2.7.1. Esquema del proceso

- 1 Entrada del espejo al proceso a través de cinta transportadora
- 2 Preparación de la superficie del espejo
- 3 Pintado Color Rojo (Capa base)
- 4 Horno de Secado
- 5 Pintado Color Azul (Acabado)
- 6 Salida del espejo Pintado
- 7 Horno de Secado.

2.7.2. CRISTALES ESMALTADOS

Se reviste una de sus caras con un esmalte cerámico vitrificado. Ha sido desarrollado como cerramiento de los antepechos y zonas de encuentro con los entrepisos en los muros cortina. Se generan zonas de no visión.

Se utilizan como vidrio templado porque tiene que tener mayores resistencias al “stress térmico”.

También se lo denomina templado opaco. La fusión del esmalte se realiza en el proceso de templado.

2.7.3. *Especiales*

Sílice Vítreo: Son vidrios hechos casi exclusivamente de sílice. Son necesarias temperaturas de fusión sobre 1.500 °C.

Vidrios de Aluminosilicato: Contienen cerca de un 20 % de óxido de aluminio (Al_2O_3), además de óxido de calcio, óxido de magnesio y óxido de boro en cantidades relativamente pequeñas.

Vidrios de Sílice Álcali – Bario: Contiene una cantidad mínima de óxidos de plomo, bario o estroncio.

Vidrio de Borato: Contienen pequeñas cantidades o nada de sílice. Son usados para soldar vidrios, metales o cerámicas, a relativamente bajas temperaturas.

Vidrio de Fosfato: Consisten principalmente en mezclas de pentóxidos de vanadio (V_2O_5) y pentóxido de fósforo (P_2O_5) [22].

2.8. PROCESO DE ELABORACIÓN DE VIDRIO SOPLADO

1. El proceso de elaboración del vidrio soplado comienza con la recolección de lo que será la materia prima que se conforma de botellas y envases de vidrio que han sido utilizados y desechados.
2. Los envases y botellas se seleccionan por colores (trasparente, ámbar, verde y otros colores) esto para evitar que al fundir el vidrio transparente este se contamine con los otros colores.
3. Las botellas y envases se lavan para separar el lodo y las etiquetas, también se retiran las tapas, plásticos y otros objetos que pueden contaminar el vidrio en el proceso de fundición.
4. Los envases y botellas se rompen en pequeños pedazos para que ocupe menos espacio en los contenedores y el proceso de fundición sea más rápido.
5. El vidrio limpio, se almacena en contenedores de metal, para posteriormente llevarlos al horno.
6. El vidrio ya limpio, seleccionado y roto se carga en el horno de manera manual por medio de paleo.
7. El horno está diseñado de tal manera que la materia prima se carga de un lado y se extrae en el otro extremo del horno, esto para que al momento de tomar el vidrio para trabajar, este se encuentre en las condiciones de temperatura y viscosidad necesarias.
8. El vidrio fundido se extrae con la caña de soplar que es un tubo de 100 a 150 cms, que en uno de sus extremos tiene una boquilla.
9. En este momento se decide si se soplara una pieza con posta (filo de color) o sin color.

a) Para elaborar una posta se toma una pequeña cantidad de vidrio y se le da una forma cónica y se pica para posteriormente soplar y que se reviente por el lado más delgado, se gira la caña en el banco de trabajo para darle forma cónica a la posta.

b) Para elaborar una pieza de color o de gran tamaño, se sopla un bebente que es una esfera de vidrio con una forma similar a la de un huevo.

10. Una vez que se tiene la posta o el bebente se sumerge en agua durante 1 o 2 segundos tapando la boquilla de la caña para evitar que el calor suba por ella.

11. La posta o el bebente se utiliza para tomar una cantidad de vidrio mayor para poder elaborar la pieza

12. La masa de vidrio se enfría en la cochina que es un crisol lleno de periódico y cartón mojado para evitar que se queme. Es necesario enfriar un poco la masa de vidrio para que el soplador pueda moldearla fácilmente.

13. Ya que el soplador enfrió lo suficiente la masa de vidrio la marmolea sobre la plancha que es una gruesa placa de metal. El marmoleo sirve para darle uniformidad a la masa de vidrio.

14. Al momento del marmoleo, al mismo tiempo se sopla por la caña, para que la masa de vidrio se infle.

15. Si la pieza a elaborar requiere molde se sopla en el molde, por ejemplo una botella, un vaso, de lo contrario si se va a soplar una pieza como una jarra o una esfera esta se sopla a pulso y utilizando solo la experiencia del maestro soplador.

16. Durante el proceso de soplado el maestro va acinturando la pieza en el extremo más cercano a la caña ya que en ese lugar será donde se degollara la pieza, poniendo una pequeña cantidad de agua.

17. Una vez degollada la pieza, se deposita en un recipiente que contiene carbón y se puntila por la parte de abajo, con una puntillera que es un tubo que en uno de sus extremos tiene una punta de vidrio caliente.

18. La pieza puntilada se caldea que es recalentar la boca de la pieza en el horno, para reblandecer el vidrio y poder acabarla el caldeo se hace girando la pieza en una base de la boca del horno.

19. La pieza caldeada se pasa al maestro acabador quien con su destreza y conocimiento le da el acabado final a la pieza.

20. Una vez que la pieza es terminada por el maestro acabador, se lleva al arca de templado donde la temperatura bajara gradualmente, la pieza permanecerá en el arca de templado hasta el día siguiente.

21. Una vez que la pieza se ha templado se saca del arca para seleccionarla calidad de las piezas y quitarle la ceba que es el excedente de vidrio que queda en el área donde se puntilo la pieza.

22. Las piezas seleccionadas y limpias, se lavan para ser disfrutadas por los clientes.

Una vez realizadas las operaciones de conformado, los objetos de vidrio obtenidos, pueden pasar a través de una serie de procesos secundarios y de acabados, entre los cuales podemos citar los siguientes

- Requemado: Ciertos productos se someten a esta operación, destinada a eliminar los rebordes cortantes de vidrio, utilizándose para ello un combustible gaseoso.
- Recocido: El proceso de recocido es utilizado para liberar las tensiones internas del material que causa una extrema fragilidad del producto, que se producen debido al rápido e irregular enfriamiento de la pieza de vidrio durante la operación de formado. Para ello la pieza es vuelta a calentar y luego enfriada lentamente.

La operación se realiza utilizando para ello un horno túnel de recocido, que consiste básicamente en una serie de quemadores dispuestos en un horno largo, a través del cual son llevadas las piezas de vidrio.

- Templado: Es un tratamiento térmico que permite fortalecer la pieza de vidrio.
- Pintado: Además de su función decorativa, el pintado es utilizado para darle al vidrio nuevas propiedades físicas, químicas y ópticas.
- Decorado: La operación de decorado puede incluir un trabajo mecánico sobre la pieza de vidrio, lo que se hace sacando o añadiendo material de su superficie. También se puede deformar la pieza tras un calentamiento previo [20].

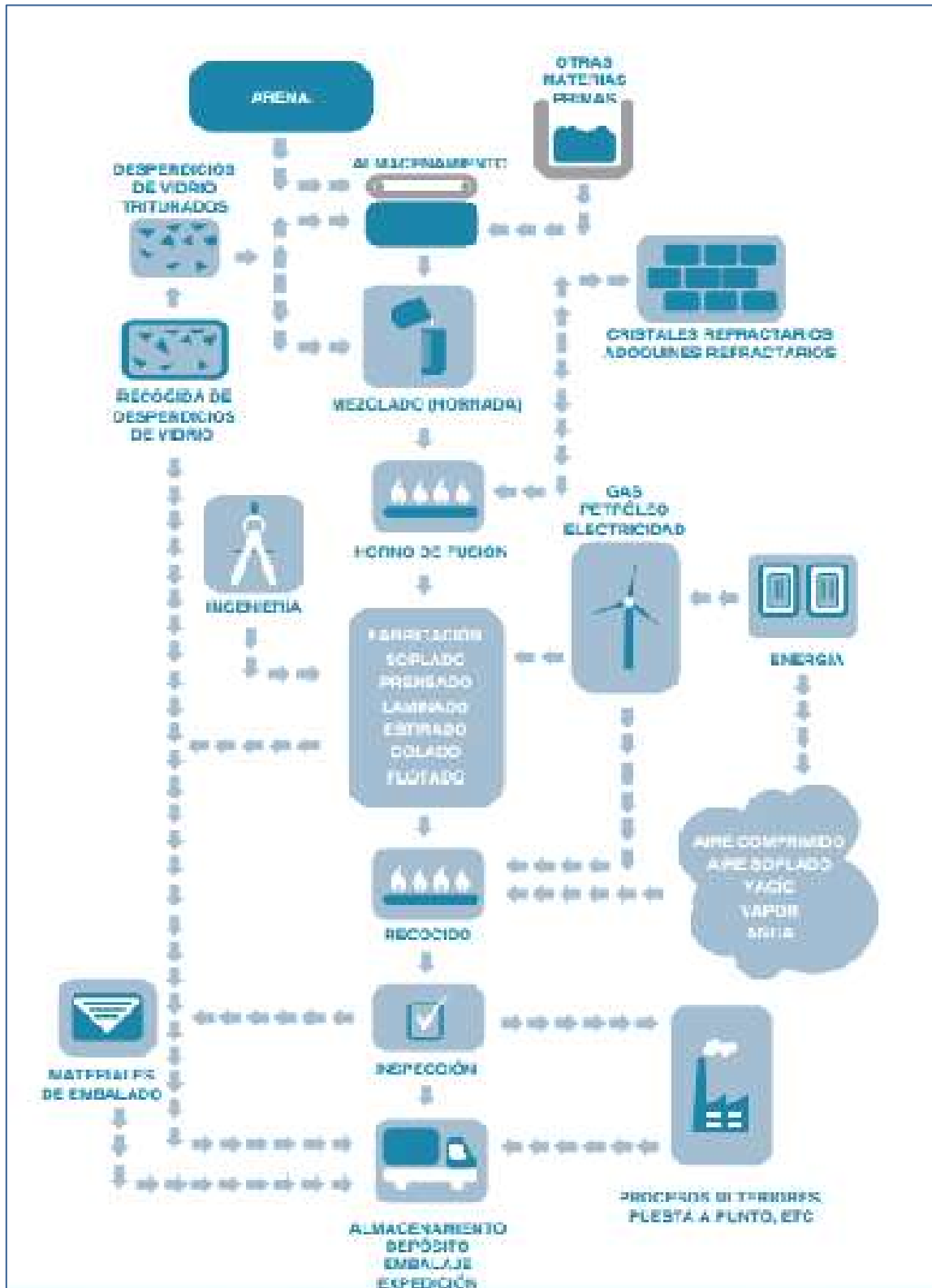


Figura 2.8.1. Proceso ilustrativo del procesado del vidrio y su reutilización [51].

2.9. USOS DEL VIDRIO

2.9.1. USOS ACTUALES DEL VIDRIO

Los vidrios hoy en día se encuentran muy presentes en nuestra vida de manera radical debido a que se pueden observar con sólo echar un vistazo al propio entorno.

Uno de los usos es para vidrio de ventana, botella, automóvil, etc.; para nuestro fin y tendencia del trabajo describiremos los usos actuales más importantes de acuerdo a nuestro material y los más importantes que se relacionan para así complementar el uso actual del material y su relación con la vida del ser humano.

Como proyecto de materiales y después de haber estipulado las propiedades de los vidrios en general y sus diferentes clasificaciones se prosigue a exponer datos importantes sobre un material interesante por sus usos, el vidrio “UVIOL®”.

El vidrio uviol es ocupado en lámparas de uso médico principalmente en tratamientos dermatológicos debido a que en estos tipos de tratamientos es necesaria la presencia de radiaciones en longitudes de onda que ayuden en fines positivos para la piel.

Una de las ventajas del vidrio uviol es que no es susceptible a las influencias de las radiaciones, la refracción y la coloración de las atribuciones externas, sólo permite la energía de los iones y el ultravioleta de los rayos del sol.

El uviol es científicamente clasificado dentro de los vidrios foto-termo-refractivo (PTR). El uso en los invernaderos ayuda de manera positiva ya que se manifestó que las áreas expuestas al frío lo transforman para conservar la temperatura interna de dicho invernadero.

Y ¿Cuál es la diferencia entre el la estructura de vidrio sulfato-fosfato?, pues este material muestra considerablemente una promesa sobre el estado sólido de los electrones en fuentes químicas de corrientes eléctricas, y la diferencias entre el uviol y el vidrio con estructura de sulfato-fosfato es que el uviol se manifiesta dentro de los rayos propiciados por el sol y el sulfato-fosfato por conducción de corriente eléctrica, claro está que si los dos se usan para lo mismo, es obvio que proporcionaría mayor conductividad debido a que el PTR se encarga de conducción y conservación de temperatura y radiaciones solares, y en precios es más conveniente el vidrio uviol.

Dentro de los usos innovadores que abundan en nuestro entorno es la aplicación de los vidrios como parte de los dientes, por ello se hizo el estudio científico de todos los tipos de vidrios y su propiedad dentro de la humedad de la saliva humana, a lo que se llegó la conclusión que el vidrio es fuerte medio para la utilización dentro de la boca del hombre y esto trajo como consecuencia que el uviol no es un material muy conveniente debido a que retendría cierta energía calorífica que afecte al ser humano, como puede ser la retención de calor que podría quemar hasta cierto punto, es por eso que se aplica mas los cationes K⁺ y Na⁺. Y esto ayuda al desempeño y el estudio de posibles mejoras en dentaduras para diferentes personas.

Los vidrios en particular dentro de los típicos como son el silicato y el boro silicato tienen cierta tendencia a resistir radiación y la relación con la foto inducción que tenga el material como propiedad propia y a su vez con los demás tipos de vidrio ya sean de estructuras complejas, es decir, los vidrios en especial los de alta propiedad eléctrica pueden ser utilizados de acuerdo a su

estructura interna, y da un gran paso al proceso del efecto invernadero debido al aprovechamiento que puede darse de la luz del sol e inclusive el propio fuego, que a su vez es aprovechada para así generar una energía, la cual se puede almacenar y tomar ventajas en temperaturas muy altas, para así tomar energía auxiliar para los efectos y necesidades en la temporada de invierno.

Los vidrios de ventana son muy utilizados en grandes construcciones debido a que permiten el paso de la luz hacia el interior de los edificios y significan una economización de los recursos como lo es la luz eléctrica.

La propiedad de resistencia a la presión del aire de los vidrios de ventana, logra que los vidrios resistan a grandes presiones, inclusive vientos de huracanes; el problema se presenta en su propiedad de resistencia a golpes, pues normalmente en un huracán los vidrios no son rotos por los vientos sino por fragmentos u objetos que son arrastrados por los vientos y aprovechan esta diferencia de propiedades físicas de los vidrios, como es el caso de la destrucción masiva de vidrios en cadena que se dio en el huracán Alicia, en la ciudad de Houston en 1983; donde grandes edificios perdieron miles de cristales e incluso gente resulto herida por el desprendimiento de miles de pequeños objetos en un edificio cercano al área de rascacielos.

Usos del vidrio. Las botellas de PVC o PET no tienen la misma apariencia de frescura del vidrio, por lo que se han buscado diferentes presentaciones como la apariencia de marmoleado, el ponerle asa, o adaptador especial de verte, lo cual da sensación de comodidad o utilidad. También hace parecer al envase más lleno como en el caso de las mermeladas.

Diseño para el envase de vidrio. Para el diseño de un envase de vidrio, se deben considerar factores tales como: 1) Forma, estética, estabilidad y funcionalidad en sus líneas. 2) El tipo de corona o rosca que se usará, de acuerdo al uso que se le dará. 3) La relación del envase con el contenido. El vidrio tiene resistencia a la compresión y estabilidad en la línea de llenado por lo que se le puede dar cualquier forma en el diseño, teniendo cuidado en la calidad de los moldes y en el proceso de fabricación. Es preciso tener en cuenta el tamaño y la forma de las etiquetas. La mejor superficie para las etiquetas es la cilíndrica, donde se puede alisar la etiqueta en el envase, ya que en una superficie esférica o cóncava, ésta se arrugaría. El diseñador debe investigar las condiciones en que se usará el envase, con el fin de darle el diseño óptimo y funcional. En los envases de vidrio es posible obtener una gran variedad de efectos, por ejemplo, dar la impresión de que el envase está lleno apretadamente con el producto. Las facetitas en el envase, usadas especialmente en perfumes o cosméticos, hacen resaltar la imagen de alta calidad, recordando las joyas o el cristal. En el diseño de un envase debe tomarse muy en cuenta la ergonomía. En este punto cabe mencionar que parte ciertos casos el diseño de una asa adicional hará más manejable un envase. Otro factor importante a considerar son las dimensiones y condiciones del lugar de almacenaje.

El mayor peso del vidrio en relación a los plásticos hace sentir al consumidor que está recibiendo algo a cambio de su dinero, aunque esto aumenta el costo del flete. El diseñador debe estar al corriente de la maquinaria que se usará para fabricar y llenar los envases de vidrio. Puede que los cuellos de las botellas tengan que ser sujetados por la máquina durante el proceso de fabricación, por lo que se debe ser cuidadoso en el diseño para evitar que se rompan. Para realizar la resistencia de las botellas, se acostumbra adornarlas con estrías o texturas, lo que evita roturas por impacto

Es útil para los cosméticos y licores caros ya que las caras planas hacen resaltar la imagen de alta calidad recordando al consumidor las joyas o el cristal. Bebidas como cerveza y vinos, quesos de untar y patés, mermeladas, alimentos en general y en algunos artículos farmacéuticos son

contenidos comunes de vidrio, aunque los últimos tienden a ser envasados en los plásticos y cartones. Aún así el vidrio es difícil de eliminar, sobre todo, del mercado de los cosméticos y perfumes. Clasificación de los envases de vidrio: Envases de primera elaboración, Botellas o Garrafas, Envases de boca angosta, y capacidad de entre 100 y 1500 ml. Botellones: De 1.5 a 20 litros o más. Frascos: De pocos ml a 100 ml. Pueden ser de boca angosta o boca ancha. Tarros: Capacidad hasta un litro o más; tienen el diámetro de la boca igual al del cuerpo. Si la altura es menor que el diámetro se llaman potes. Vasos: Recipientes de forma cónica truncada e invertida. Envases de Segunda Elaboración: Ampolletas: De 1 a 50 ml para humanos, y hasta 200 ml para uso veterinario. La punta se sella por calor. Frascos y Frascos-Ampollas: Viales generalmente para productos sólidos, de 1 a 100 ml.

La resistencia de la botella puede ser aumentada por el uso efectivo de la forma; por ejemplo, las formas esféricas son más resistentes, seguidas de las cilíndricas y las rectangulares. Si se requiere de una botella rectangular, por la razón que sea, se puede incrementar la resistencia añadiéndole aristas o protuberancias en el centro de la botella. En realidad, la resistencia de la botella se incrementará casi un 50% con una buena aplicación de la forma [25].

El vidrio es una sustancia amorfa fabricada sobre todo a partir de sílice (SiO_2) fundida a altas temperaturas con boratos o fosfatos. También se encuentra en la naturaleza, por ejemplo en la obsidiana, un material volcánico, o en los enigmáticos objetos conocidos como tectitas.

El vidrio es una sustancia amorfa porque no es ni un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica.

El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización; el calentamiento puede devolverle su forma líquida. Suele ser transparente, pero también puede ser traslúcido u opaco. Su color varía según los ingredientes empleados en su fabricación.

El vidrio fundido es maleable y se le puede dar forma mediante diversas técnicas. En frío, puede ser tallado. A bajas temperaturas es quebradizo y se rompe con fractura concoidea (en forma de concha de mar).

2.9.2. USOS FUTUROS

Dentro de los usos futuros del vidrio uviol, se puede citar el ejemplo de mayor importancia que tiene dicho material que es el efecto de invernadero. La luz es un fenómeno electromagnético, que puede darse de variadas formas sin dejar de ser lo mismo; el calor es también "luz", llamado radiación infrarroja; cuando hablamos de ultravioleta, el color azul, microondas o señal de radio, estamos hablando de lo mismo. El vidrio es una sustancia transparente, pero no para todas las variedades de radiación. Por ejemplo ofrece una cierta resistencia al paso del infrarrojo dependiendo del material.

En la tierra, la mayor parte de la luz que llega es visible, en un invernadero de vidrio la luz entra, y calienta el interior; ahora lo que era luz se transformó en calor, pero como el vidrio es opaco al calor radiante, este queda atrapado; por eso se calienta tanto un automóvil cerrado al sol: la luz entra, se transforma en calor, y no puede salir. El vapor de agua de la atmósfera, y principalmente el dióxido de carbono (CO_2) actúan como los vidrios de un invernadero. Sin este abrigo nuestra tierra sería tan fría como los -30°C en promedio de Marte, que por casi carecer de efecto invernadero sufre una amplitud térmica de 50°C . Por otro lado, si abrigáramos demasiado la Tierra, podríamos llegar a sufrir los 425°C de Venus, producidos principalmente por su efecto de invernadero más que por su proximidad al Sol.

Existe la problemática en los materiales vidrios en general, sobre todo en el uviol por ser parte de invernaderos, de la exposición a fracturas y rupturas debido a impactos. Actualmente hay investigaciones a largo plazo para reducir la debilidad a impactos que poseen los vidrios, el comienzo de estas investigaciones es el hacer modelos que permitan a los científicos ver los cambios estructurales que sufren los vidrios a la hora del impacto y por consiguiente analizar diversos tipos de elementos que pudieran ser favorables para agregar nuevas propiedades y hacer vidrios super resistentes a impactos tanto bajos como presiones de vientos.

Los modelos anteriormente mencionados se hacen analizando las propiedades de un vidrio que pudiera considerarse estándar acorde a las propiedades de los materiales vidrios; el material elegido fue el vidrio laminado pues es el comúnmente utilizado y el proceso de laminado es utilizado para producción de vidrio uviol el cual se diferencia del vidrio común solamente por sus propiedades de la regulación del paso de luz ultravioleta necesaria para la realización de la fotosíntesis en las plantas. La clave se encuentra en mantener a temperaturas favorables los vidrios.

Otro uso futuro es la adición de materias recicladas para hacer un tipo de vidrio con propiedades específicas de reflexión de luz, por los colores violeta que adquiere, y lo más importante, una propiedad de resistencia muy superior a los ácidos que puedan dañar al cristal, haciendo que en un futuro después de perfeccionarse sirvan para construcciones con necesidades superiores en cuestión de corrosión. El proceso de formación de estos nuevos vidrios es la parte importante; las aguas de desechos de nuestra vida diaria, son tratadas en plantas especiales donde el agua cristalina nueva es vertida en algún río, mientras que los desechos son incinerados y las cenizas que quedan son mezcladas con las materias primas en el proceso de producción del vidrio, haciendo de éste un vidrio con propiedades especiales y de menor costo.

Continuando con las aplicaciones de cara al futuro cabe mencionar debido a su importancia las propiedades que adquieren los vidrios al momento de adicionar titanio al compuesto en el proceso de fabricación, lo cual le da una coloración violeta que conlleva propiedades de absorción en distintas bandas de la luz infrarroja. La propiedad anterior que el titanio proporciona es muy importante en aplicaciones futuras debido al manejo de la transmisión de datos en medios infrarrojos.

Finalmente se considera de mayor importancia la siguiente aplicación, el uso de un tipo especial de vidrios para inmovilizar y aislar altos niveles de radiactividad en desechos; haciendo de los tipos de vidrios nuevos candidatos para estos usos, ya que su precio es más bajo que los materiales normalmente utilizados. La ventaja que tiene los vidrios en este uso es su estructura de cerámico, con propiedades características de los cerámicos y mediante modificaciones en su estructura lograr que el vidrio aisle la radiactividad de desechos que son dañinos para los humanos [21].

2.10. Fibra de vidrio

2.10.1. Descripción de sus componentes

El significado estricto de la frase fibra de vidrio hace referencia a una especie de entelado realizado a partir de diminutos hilos de vidrio entrelazados entre sí generando una malla o trama. El origen del término proviene del idioma inglés "fiberglass" y ha sido adoptado en forma casi textual en el idioma español. Los hilos de vidrio se obtienen mediante el paso, en forma industrial, de vidrio líquido a través de una pieza resistente con pequeños orificios conocido como "espinerette" [23].

La fibra de vidrio no fue inventada sino hasta 1938 por Russell Games Slayter en la Owens-Corning como un material que podría ser usado como aislante en la construcción de edificios. Fue comercializado bajo el nombre comercial Fiberglas, que se convirtió desde entonces en una marca vulgarizada en países de habla inglesa.

La fibra de vidrio se conoce comúnmente como un material aislante. También se usa como un agente de refuerzo con muchos productos poliméricos; normalmente se usa para conformar Plástico Reforzado con Vidrio (GRP) que por metonimia también se denomina fibra de vidrio, una forma de material compuesto consistente en Polímero Reforzado con Fibra (FRP). Por lo mismo, en esencia exhibe comportamientos similares a otros compuestos hechos de fibra y polímero como la fibra de carbono. Aunque no sea tan fuerte o rígida como la fibra de carbono, es mucho más económica y significativamente menos quebradiza [24].

Luego se deja enfriar o solidificar logrando que el producto final permanezca con flexibilidad suficiente como para poder entretejerlo y formar una malla o tela. La fibra de vidrio también es empleada para la producción de fibra óptica (material utilizado para transportar haces luminosos, rayos laser, luz natural, etc.) material ampliamente utilizado para el transporte de datos en las empresas de telecomunicaciones e internet. La fibra de vidrio es conocida con el símbolo GF (glassfiber) o GFK. Su densidad es 1,6 en tanto que la resistencia en relación a la tracción es 400 a 500 N/mm² [23].



Figura 2.10.0.1. La fibra de vidrio es la resultante de mezclar la malla de vidrio con una resina epoxi [23].

La cual inicialmente es líquida para luego solidificar y mantener la forma final o aquella adquirida del molde. Para que la resina solidifique en un periodo de tiempo determinado, se acelera la reacción química mediante el uso de un catalizador o acelerador (Peróxido de Metil-Etil-Cetona).

Atención: el catalizador es altamente tóxico, volátil y reactivo por lo cual se aconseja extremar las medidas de seguridad durante su uso [23].

Las características de la fibra de vidrio son:

- Excelente aislante térmico
- Inerte a muchas sustancias incluyendo los ácidos
- Gran maleabilidad
- Altamente resistente a la tracción

Por las características propias del material, la fibra de vidrio se utiliza en diversos usos industriales y artísticos. Entre los usos más destacados se encuentran: manualidades o bricolaje, piezas náuticas que incluyen tablas de surf, wind-surf, veleros, lanchas, etc. También usado en artística para esculturas y piezas complejas. Por sus propiedades (es moldeable con escasos recursos) hace un material ideal para aquellos que desean trabajar la fibra de vidrio [24].

2.10.2. PROCESO DE FUNDICIÓN

El vidrio que se va a utilizar debe llevar una formulación para obtener un producto de alta calidad, esta formulación es la siguiente.

Dolomita: La mayoría de los yacimientos son de origen secundario, formados por el proceso de alteración de la caliza por aportación de soluciones de magnesio.

Feldespatos: por medio de éste es que se agrega la alumina al vidrio, mas son los de las series de las ortoglasas, las plagioplasas así como anortitas (CaO , Al_2O_3 , 2SiO_2) ya que son compuestos que se funden a temperaturas bajas.

Dióxido de manganeso: Es un decolorante (jabón de vidrieros).

2.10.3. PROCESO DE FORMACION DE LA FIBRA DE VIDRIO

En este proceso se crea un “velo” que es con lo cual se forma la colchoneta de fibra de vidrio. El proceso está basado en que después de haber fundido el vidrio, pasa por el fiberizer el cual está girando a 3, 000 revoluciones por minuto y lo que hace es crear el velo el cual es controlado por una corona que aparte de darle control al velo que se crea, va añadiendo baidner el cual es un aglutínate que se encarga de darle fijación entre los delgados hilos que se forman a la salida del Fiberizer. Posteriormente se lava y pasa por un extractor.

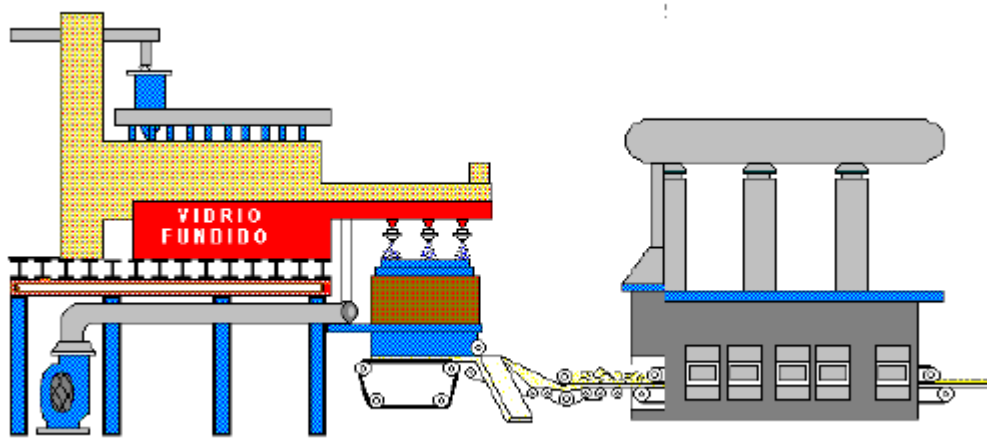


Figura 2.10.3.1. Representación esquemática del proceso de fundición y fabricación de la fibra de vidrio [26].

2.10.4. ESTUFA DE CURADO

Después de formarse la colchoneta se cura por medio de la estufa de curado con el fin de darle una cierta rigidez y firmeza entre hilos de vidrio aglutinado.

Es un horno de garganta profunda el cual funde 72 ton/día de vidrio, la combustión se lleva a cabo por medio de combustión natural y oxígeno el cual se combina en base a la relación estequiométrica 2:1 con una ayuda eléctrica que se compone por 9 electrodos.

Tiene un sistema de enfriamiento en las paredes por aire el cual es generado por un ventilador de tipo centrífugo, el aire es direccionado con manguera metálica flexible, hacia los puntos con mayor radiación o pérdida de calor, esto con el fin de incrementar el tiempo de vida del refractario.

El refractario está fabricado con base en cromo y otras aleaciones. El sistema de bag-house está diseñado específicamente para filtrar los gases que se generan producto de la combustión interna del horno, los cuales contienen CO₂ y los materiales más volátiles que contiene en la materia prima, el polvo que se capta en dicho sistema se mezcla con la materia prima y se regresa a la tolva del horno para ser fundidos ya que en un 60 % estos polvos contienen Borax que es el fundente principal del vidrio [26].

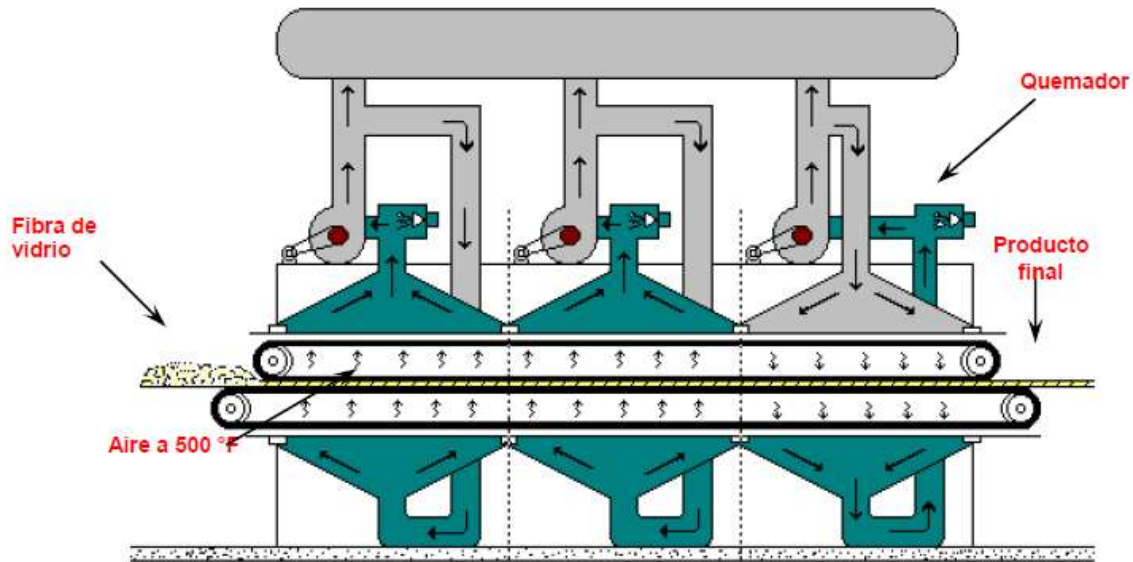


Figura 2.10.4.1. Proceso para consistencia al colchón de fibra de vidrio [26].

Al salir de la estufa de curado, lo que se hace es transportar por las bandas, para después pasar por las cierras de corte las cuales le darán las dimensiones de ancho del producto. Para después enrollarlos para mandarlos al almacén para después ser embarcados para su entrega [26].

2.10.5. USOS DE LA FIBRA DE VIDRIO

1. Los materiales aislantes se usan en construcción para la protección de la vivienda contra la humedad, para disminuir los peligros de incendio y hacerla más confortable disminuyendo los efectos del calor y del frío, para disminuir los ruidos inevitables producidos por las máquinas en ciertas fábricas y oficinas, y contribuir también al mayor rendimiento de las instalaciones de calefacción, hornos y cámaras frigoríficas al impedir o disminuir grandemente la pérdida de calor o frío, según el caso, por radiación. Las funciones de estos materiales son, pues, hidrófugas, antitérmicas, antisónicas e ignífugas.

2. Los materiales aislantes dependen de su naturaleza y de una cualidad común a todos ellos: la *porosidad*. Esta depende de los espacios vacíos de los cuerpos.

3. El coeficiente de porosidad se determina por $V_a - V_r = e$, donde V_a es el volumen aparente, V_r el volumen real y e los espacios vacíos; luego, la porosidad: lo que constituye el llamado coeficiente de porosidad.

A continuación se observa una tabla de coeficientes de porosidad de los materiales usuales en construcción, en orden decreciente.

Ladrillos huecos.....	45%
Ladrillos comunes de media cal.....	45%
Mortero de cemento 1:3.....	38%
Ladrillos comunes de cal.....	36%
Revoque grueso.....	33%
Ladrillos de máquina.....	32.7%
Tejas comunes.....	29%
Maderas blandas.....	25%
Pizarra.....	10%
Mármoles.....	2.3 a 4.5%
Granitos.....	0.6 a 4%
Baldosas de cemento.....	0.46%

4. *Porosidad:* es la propiedad que tienen los cuerpos de dejarse atravesar por aire, agua, calor, sonido y hasta por los microorganismos.

a) *La permeabilidad al aire:* está en razón directa al tamaño de los poros y no a su volumen total. La permeabilidad de un muro puede aumentarse con la presión que el aire ejerza sobre su superficie, debido a la diferencia de temperaturas entre ambos paramentos. Esta presión puede obtenerse con la fórmula de *Long*:

Donde V es el volumen del aire que se infiltra por la pared en metros cúbicos por hora, F la superficie del muro en metros cuadrados, e el espesor del muro en metros y $p = p' - p''$ diferencia entre presiones del aire sobre ambos paramentos, debido a la diferencia de temperaturas. El coeficiente de permeabilidad c al aire, vale para el ladrillo 0.000201, para la mampostería 0.000124 y para el hormigón 0.000258.

b) *La permeabilidad al agua,* es como la anterior, pero en menor grado debido a que algunos materiales permeables al agua no lo son al agua, o lo son en muy pequeña proporción. Esta proporción está basada en los tamaños de los poros y en la capilaridad.

c) *La permeabilidad al calor,* es la propiedad que tienen algunos materiales de transmitir la temperatura de una superficie a la otra, es decir, la que recibe de un lado y la irradia por el opuesto.

5. La cantidad de calor que pasa, por metro cuadrado, por hora y por grado de diferencia entre ambas temperaturas, se llama *coeficiente de conductibilidad*, que se obtiene por la fórmula general

Donde W es la cantidad de calor que transmite en calorías hora, F es el área de dicha superficie, $(t - t_1)$ es la diferencia entre las temperaturas internas y externas, e es la distancia entre t y t_1 , o sea el espesor del material, K el coeficiente de conductibilidad, que es variable según la naturaleza del material, y $1 / K$ es la resistencia.

El *coeficiente de conductibilidad* está relacionado con la propiedad de *permeabilidad al calor*.

6. A continuación se reproduce una tabla de valores correspondientes al coeficiente K para los diversos materiales comunes en construcción, en calorías por metro cuadrado y por hora (solo se coloca el del vidrio).

Superficie	Materiales	K
Vidrio.	Vidrio simple.	5.45
	Vidrio doble.	2.17
	Blocks de vidrio liso de 10 cm de espesor.	2.22

Tabla 2.10.5.1. Coeficiente en calorías por metro cuadro de materiales de vidrio.

La variabilidad del coeficiente K se debe a que los materiales no irradian la totalidad del calor recibido; absorben algo dentro de su masa, absorción que depende de la naturaleza del material. Cuanto más compactos son, menos calor retienen, motivo por el cual se los distingue prácticamente al tacto. Un buen conductor da la sensación de frío, por ejemplo el hierro, sensación que disminuye a medida que son menos conductores, como la madera.

Bajo estas condiciones pueden ser ordenados en forma de creciente: metales, mármoles, granitos, pizarras, vidrios, hormigón armado, yeso, maderas, fibras vegetales, corcho, cerdas, algodón y lanas.

En general la permeabilidad al calor o conductibilidad térmica, está en razón directa con la densidad del material. Los usados corrientemente en construcción, debido a su acentuada densidad, son atravesados con relativa facilidad y en consecuencia originan la disminución de la temperatura interior en invierno y su elevación en verano, con las consiguientes molestias y gastos para contrarrestar estos efectos.

7. Debido a lo expresado en el punto anterior, se hace necesario el empleo de otros materiales que, adicionados en obra, permiten reducir la conductibilidad térmica en muros y techos; estos materiales son conocidos como *antitérmicos*, que la industria provee bajo diversas denominaciones en forma de tablas de dimensiones fáciles de manejar o en polvo, para ser involucrados en la masa de morteros. En un edificio provisto de un buen aislamiento puede evitar el 60% de la pérdida del calor que se produce cuando carece de aislación. La pérdida de calor por puertas y ventanas representa el 45% de la pérdida total, y por paredes y techos el 55%; de este último, la buena aislación evita el 33%, que se traduce en economía en el sistema de calefacción.

Los materiales *antitérmicos* se fabrican con corcho, fibras de caña, de madera, de paja y cartones, aglomerados con sustancias resinosas. Como estas materias primas son porosas, contiene aire en su interior, distribuido en pequeñas celdillas estancas; es decir, sin contacto alguno entre ellas, el cual contribuye mucho a su poder aislante. La porosidad no es uniforme en todos ellos, por lo que debe exigirse el material de acuerdo a las propiedades necesarias al caso.

Las características usuales de estos materiales en forma de tabla son: ancho, 0.90 a 1.20 m; espesor, 12 ½ a 20 mm, esencialmente de 6 ½ mm; coeficiente de conductibilidad térmica 0.003 a 0.0904 calorías hora por metro cuadrado y por grado de temperatura.

Teniendo estos materiales propiedades antisónicas, son empleados también para ese fin.

La industria produce actualmente el *poliestireno expandido*, denominado Telgopor, Aislapor, etc. que se presentan en pequeños gránulos, que colocados en un molde adecuado y sometido al calor expande 40 veces su volumen soldándose entre sí, formando las planchas que ofrece la industria. Es un material extremadamente liviano, inalterable al agua dulce o salada (no mantiene la combustión). Su coeficiente de conductibilidad calorífica es de 0.028.

La *fibra de vidrio* obtenida a partir del hilado, posee grandes condiciones como aislante de temperaturas y sonidos, así como también confiere gran dureza y rigidez a los plásticos P.R.V (plásticos reforzados con fibra de vidrio), también contribuye a su resistencia anticorrosiva, por cuyo motivo es de uso cada vez más intensivo en la construcción y la industria.

La estructura de fibra de vidrio, impregnada con un termoestático o un termo endurente, como las resinas poliéster o las epoxídicas, la industria emplea preferentemente las primeras por su costo menos elevado, aplicando las epoxídicas únicamente en los casos en los que no pueden ser suplidas por los de poliéster. Estas se caracterizan por polimizar mediante el agregado de catalizadores y la aplicación del calor, o por medio de la adición del catalizador y acelerante en el caso de trabajarse a temperatura ambiente, esto ha permitido el desarrollo de los métodos de moldeo por contacto que permiten construir a temperatura ambiente piezas complejas y de gran tamaño.

La industria la provee de muy diversas formas adaptadas a los posibles usos a los que esté destinada. Rollos de 1.10 m por 20 m; paneles de 1.20 m por 0.50 m; fieltros de 1.20 m por 5 m y con espesores de 25 - 38 - 50 mm; para temperaturas de 420° hasta 450° C. Los rollos son de variadas medidas y espesores. Los paneles y colchonetas son las formas usuales para la aislación acústica.

8. *Permeabilidad al sonido*, o más correctamente *conductibilidad del sonido*. La conductibilidad en los materiales de basa primordialmente en su compacidad. Cuanto más compacto es, mayor será la conductibilidad; luego, los materiales porosos son buenos aislantes del sonido y de todo ruido en general. Esta propiedad debe tenerse muy presente al seleccionar los materiales para las obras corrientes, pero más aún si se trata para locales de oficinas y talleres, donde el ruido de las máquinas es ineludible.

Las ondas sonoras se propagan en línea recta, y al encontrar en su trayectoria un cuerpo compacto se desvían, formando con el material el mismo ángulo de incidencia. Esta propiedad del sonido resulta en múltiples ocasiones un serio inconveniente. En efecto, en los teatros y en los

cinematógrafos las ondas sonoras que parten del escenario se transmiten por toda la sala, donde encuentran superficies compactas en las paredes, cielos rasos, pisos o en los antepechos de los balcones y en las columnas, que se comportan, respecto al sonido, como una membrana elástica. No todos los materiales reflejan las ondas sonoras con la misma intensidad; algunos tienen la propiedad de absorber los sonidos, propiedad llamada *poder de absorción*. Si en una sala hay una ventana abierta, ésta absorbe la totalidad del sínodo que incide en ella. Luego, un material poroso que contenga muchas moléculas de aire absorberá los sonidos que inciden en él en mucha mayor proporción que otro más compacto.

En los talleres y oficinas donde los ruidos son continuos, se utiliza revestimientos de materiales porosos, conocidos como *antisónicos*, con los cuales se tornan silenciosos. Se ha comprobado que el rendimiento de empleados y obreros ha aumentado en las salas donde se colocó un revestimiento *antisónico*, pero también se ha llegado a establecer la conveniencia de permitir una pequeña reflexión de sonido, conocida como *reverberación*, porque refuerza los sonidos produciendo una audición correcta y agradable.

La industria provee materiales porosos de diversos grados, de los cuales deben seleccionarse los más convenientes para cada caso. Como ya se ha dicho, los mismos son *antitérmicos* y *antisónicos*.

9. *Higroscopicidad*, es la propiedad que tienen los materiales de absorber la humedad por capilaridad. Esta depende de la porosidad del material; cuanto mayores son los poros menor es la capilaridad. Esta propiedad es la causante de muchas manchas en los muros y cielo rasos.

La protección contra la humedad es importantísima en construcción, y se efectúa con los llamados materiales *hidrófugos*, en su gran mayoría fabricados a base de asfaltos.

Los hidrófugos deben resistir los ataques de la acción atmosférica, agua, calor, frío y agentes químicos; se aplican sobre paredes, techos y pisos, ya sean en estado líquido, o pastosos, o también con otros materiales, como las telas, fieltros, cartones y papeles impregnados en el asfalto.

10. *Ignífugos*: en la construcción de teatros, cinematógrafos, depósitos, etc., deben tomarse precauciones especiales contra el peligro de incendio. Al seleccionar los materiales hay que dar preferencia a aquellos que tengan mayor resistencia a la acción del fuego. Entre los usados corrientemente en la construcción, pueden reconocerse los más resistentes a la acción del fuego de los que no lo son y aún los que son medianamente, en forma muy sencilla, pues la resistencia al fuego está en razón directa en la densidad del material.

Para aumentar la propiedad resistente de estos materiales, o proteger aquellos que son poco resistentes, la industria provee otros denominados *ignífugos*, fabricados con fibras de amianto, lana minera, etc., materias primas y bajo la forma de tablas, bloques, ladrillos, cartones, tubos, cementos, etc.

Los materiales *ignífugos* son empleados también para recubrir cañerías y calderas a fin de mantener sin pérdidas las altas temperaturas indispensables a las industrias o para revestir interiormente hornos y crisoles.

El material *ignífugo* por excelencia es actualmente el *amianto*, que proviene de la descomposición hornablenda. De él existen dos tipos: el llamado Amphibol y el Chrysotile, ambos con alta proporción de sílice; el primero tiene gran proporción de óxido férrico que con el aire contenido en pequeñas celdillas resulta altamente incombustible. El segundo tiene alta proporción de magnesia que le da cierta propiedad lubricante.

Entre los productos fabricados con amianto tenemos el *fibrocemento*. Un ejemplo de las industrias de este material lo tenemos en el *Eternit*, en chapas lisas y acanaladas. Sus características son: de 4 mm de espesor, 1.20 a 2.50 m de largo y 1.20 m de ancho. También se fabrican imitando mármoles de 1.20 por 2.50 m. pueden serrucharse, clavarse, limarse, etc.

Tela de Amianto: tiene muchísimos usos industriales. En construcción se emplea para los telones de teatros y cinematógrafos y como aislante del calor; elaborada con el hilo de amianto en cuya preparación se han combinado fibras vegetales o hilado con alambres metálicos de cobre, metal blanco o plomo, según su destino.

Cartón y papel de amianto: se fabrica con las fibras de amianto y un aglomerante especial. Es una material fuerte y resistente que tiene la suficiente flexibilidad para su aplicación en los diversos usos comerciales.

Los fabricados con magnesia (Chrysotile), ya sea en planchas, tubos, bloques o en polvo, no deben emplearse para más de 260° C; los bloques son de 0.91 por 0.15 y 25 mm de espesor, y su peso 0.85 kg. El *Superex* resiste hasta los 1040° C; entre las fibras lleva agregado carbonato de magnesia o sílice diatomáceo. Los bloques son de las mismas medidas del anterior.

El papel se fabrica en varios espesores; se provee en rollos de 101.6 mm (40") de ancho y desde 9.52 mm (3/8") de espesor. Se emplea el tipo pesado como base del techado asfáltico y bajo tejas y baldosas en su doble propiedad de ignífugo y aislante de calor.

Lana mineral: es un buen aislante, absolutamente incombustible y sin materia que pueda desintegrarse. Se recomienda para temperaturas hasta los 540° C. Se fabrica de fibra pura de piedra de caliza y arcilla. Se emplea para rellenos de paredes huecas y tabiques divisorios dentro de los hornos.

Vidrio aislante: el vidrio hilado en fibras largas, brillantes y de muy poco diámetro resulta completamente incombustible e imputrescible. Muy elástico, soportando fácilmente las dilataciones y contracciones sucesivas. Se emplea con éxito para temperaturas hasta de 500° C. Es también un buen aislante del calor, del frío y del sonido.

Cementos refractarios: estos cementos son altamente incombustibles. Se emplean para asentar los ladrillos refractarios y para revoque interiores en los hornos, crisoles, etc. Generalmente están compuestos por materiales refractarios como la magnesia, mineral de cromo, diásporo, silimanita, cuarcita, etc. crudos o cocidos, y a los cuales se les agrega otros comunes para aumentar su plasticidad y facilitar el fragüe.

Vermiculita: se ha experimentado con este material aplicándolo en morteros para revoques en sustitución de la arena; suministra una protección contra el fuego mayor que los hasta ahora empleados; es altamente incombustible y no se quema en forma alguna. En estado natural es pesado, pero expuesto al calor se expande 16 veces el volumen primitivo, quedando muy liviano; es en esta forma que se emplea como agregado.

Es un complejo hidratado de aluminio, hierro y magnesio. Aplicando directamente la llama del soplete no se produce alteración alguna y la superficie sobre la cual está colocado no llega a calentarse.

Ladrillos refractarios: se emplean para revestimiento interno de hornos, crisoles, etc., es decir, que deben soportar altas temperaturas exigidas por las industrias, resistiendo la acción disolvente de las cenizas y escorias. Entre las cualidades exigidas está su difícil fusibilidad (entre los 1580° C y 1700° C), alta resistencia a los cambios de temperatura e inalterabilidad del volumen a elevadas temperaturas [24].

2.10.6. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL VIDRIO

El ingrediente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo.

En la mayoría de los vidrios, la sílice se combina con otras materias primas en distintas proporciones. Los fundentes alcalinos, por lo general carbonato de sodio o potasio, disminuyen el punto de fusión y la viscosidad de la sílice. La piedra caliza o la dolomita (carbonato de calcio y magnesio) actúan como estabilizante. Otros ingredientes, como el plomo o el bórax, proporcionan al vidrio determinadas propiedades físicas.

2.10.6.1. PRESENCIA EN LA NATURALEZA

Los vidrios en sí no son comunes de encontrarse en la naturaleza por sí solos, ya que para que exista un vidrio, tiene que existir un proceso de fabricación.

Sin embargo sus materias primas, como lo son las arcillas son encontradas en mucha proporción en la tierra pues como anteriormente se mencionó, es el resultado del desgaste con el tiempo de la tierra, e incluso en algunos segmentos la arcilla estorba para procesos.

En México hay muchas minas de *arcillas*, las responsables de la mayoría de la producción de vidrios en nuestro país. (Figura 2.10.6.1.).



Figura 2.10.6.1. Lugares de la República Mexicana donde se puede encontrar arcilla [27].

2.10.6.2. TORSIÓN

La resistencia a la torsión de un material se define como su capacidad para oponerse a la aplicación de una fuerza que le provoque un giro o doblez en su sección transversal. Los vidrios en su estado sólido no tienen resistencia a la torsión, en cambio en su estado fundido son como una pasta que acepta un grado de torsión que depende de los elementos que el sean adicionados. En estado sólido, los vidrios no presentan una elevada resistencia a la torsión, es decir, que no pueden ser doblados en su sección transversal.

2.10.6.3. COMPRESIÓN

El vidrio tiene una resistencia a la compresión muy alta, su resistencia promedio a la compresión es de 1000 MPa o 10.000 kg/cm²; lo que quiere decir que para romper un cubo de vidrio de 1 cm por lado es necesaria una carga de aproximadamente 10 toneladas. La figura (2.10.6.2.) indica los distintos porcentajes de compresibilidad para los distintos vidrios dependiendo de las temperaturas.

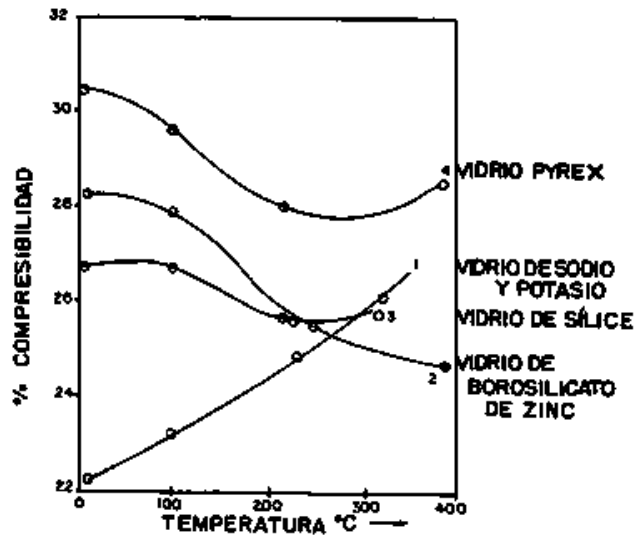


Figura 2.10.6.2. Gráfica de porcentajes de compresibilidad, dependiente de temperaturas en los diversos tipos de vidrios [27].

2.10.6.4. TENSIÓN

Durante el proceso de fabricación del vidrio comercial, el vidrio va adquiriendo imperfecciones (grietas), no visibles, las cuales cuando se les aplica presión acumulan en esfuerzo de tensión en dichos puntos, aumentando al doble la tensión aplicada. Los vidrios generalmente presentan una resistencia a la tensión entre 3000 y 5500 N/cm², aunque pueden llegar a sobrepasar los 70000 N/cm² si el vidrio ha sido especialmente tratado.

Las fuerzas de tracción son fuerzas que actúan en sentidos opuestos tendiendo a estirar o separar los materiales sobre los que actúan. La resistencia que ofrece el vidrio a este tipo de fuerzas depende de varias características:

- Temperatura: A mayor temperatura menor resistencia.
- Duración de la fuerza: si la aplicación de la fuerza es permanente o constante la resistencia a la tracción se reduce.
- Presencia de imperfecciones y estado de los bordes.

Normalmente la resistencia a la tracción del vidrio se encuentra entre 300 y 700 kg/cm².

2.10.6.5. FLEXIÓN

La flexión de los vidrios es distinta para cada composición del vidrio. Un vidrio sometido a flexión presenta en una de sus caras esfuerzos de compresión, y en la otra cara presenta esfuerzos de tensión (Ver figura 2.10.6.3.). La resistencia a la ruptura de flexión es casi de 40 Mpa (N/mm²) para un vidrio pulido y recocido de 120 a 200 Mpa (N/mm²), puede llegar a ser de 3 a 5 veces más para un vidrio templado (según el espesor, forma de los bordes y tipos de esfuerzo aplicado, no son fácilmente rayados por una punta de acero pero en general no resisten bien los golpes, agrietándose y rompiéndose fácilmente en múltiples fragmentos). El elevado valor de la resistencia del vidrio templado se debe a que sus caras están situadas fuertemente comprimidas, gracias el tratamiento al que se le somete.

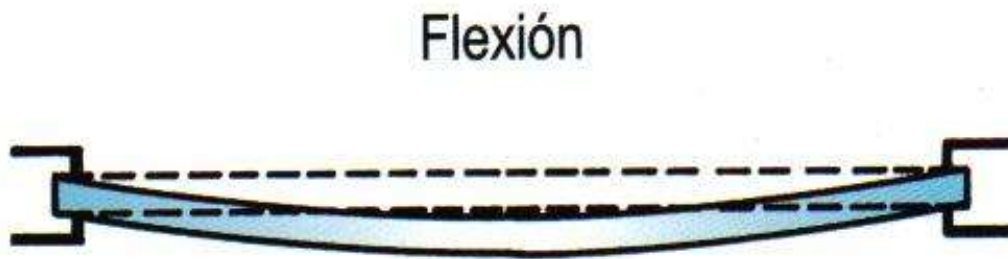


Figura 2.10.6.3. Vidrio sometido a flexión [27].

2.10.7. PROPIEDADES ÓPTICAS

Las propiedades ópticas se pueden decir de manera concisa, que una parte de la luz es “refractada”, una parte es “absorbida”, y otra es “transmitida”.

Cada una de ellas llevara un porcentaje de la totalidad del rayo de luz que hizo contacto con el vidrio. El prisma de color que se crea del otro lado del vidrio va del color rojo al color violeta, de los cuales los extremos dan lugar también a las luces no perceptibles por el ojo humano, infrarrojo y la ultravioleta. Es el color de la luz que “sale” del vidrio la cual pasa a través de este, y todos los demás colores del prisma son absorbidos por el vidrio, claro que, son vidrios muy particulares los cuales logran solamente dejar pasar la luz ultravioleta o la infrarroja, pero gracias a la tecnología actual se han logrado las condiciones precisas para lograr esto.

Las propiedades ópticas del vidrio vienen definidas por la cantidad de luz que dejan pasar, transmitiéndola o refractándola, y la cantidad de luz que absorben.

Según la cantidad de luz que dejen pasar a través suyo, los vidrios son transparentes, translúcidos o semitransparentes u opacos.

2.10.8. PROPIEDADES QUÍMICAS

DENSIDAD

Debido a los distintos tipos de vidrios que pueden ser fabricados, las densidades varían de acuerdo a la sustancia con la que sean complementados; normalmente un vidrio puede tener densidades relativas (con respecto al agua) de 2 a 8, lo cual significa que hay vidrios que pueden ser más ligeros que el aluminio y vidrios que puedan ser más pesados que el acero.

La densidad en un vidrio aumenta al incrementar la concentración de óxido de calcio y óxido de titanio. En cambio si se eleva la cantidad de alúmina (Al_2O_3) o de magnesia (MgO) la densidad disminuye. (Figura 2.10.7.1.).La densidad del vidrio es de $2,5 \text{ kg/dm}^3$, similar a la del aluminio.

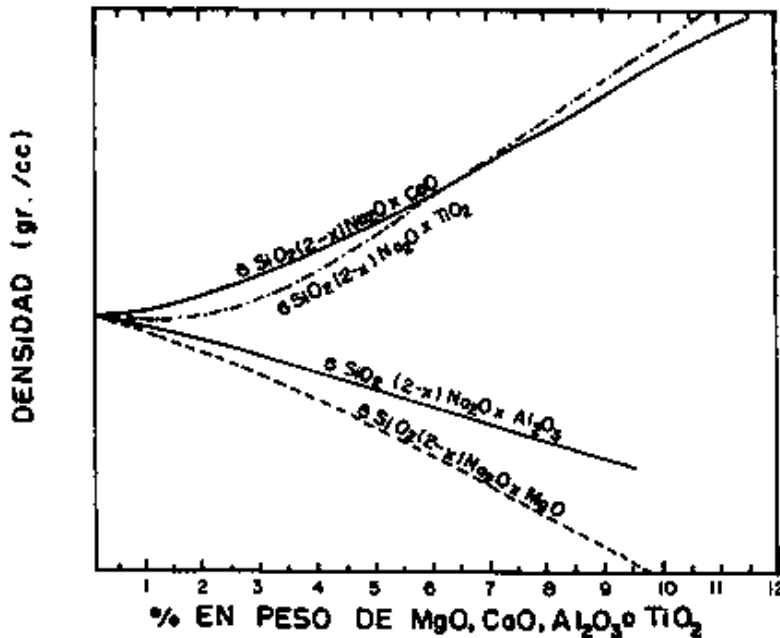


Figura 2.10.8.1. Gráfica de aumentos y disminuciones De densidad de acuerdo al incremento en Porcentajes de sustancias componentes [16].

VISCOSIDAD

La viscosidad es definida como la propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas; generalmente un material viscoso es aquel que es muy denso y pegajoso. La viscosidad en materia de vidrios es muy importante porque esta determinará la velocidad de fusión.

La viscosidad es una propiedad de los líquidos, lo cual parecerá confuso para el estudio del vidrio, pero la realidad es que un vidrio es realmente un líquido sobre enfriado, lo cual significa es un líquido que llega a mayores temperaturas que la de solidificación. La viscosidad va variando dependiendo de los componentes del vidrio (figura 6). Para lograr una mayor dureza, la viscosidad debe ser invariable, que no baje ni suba, así sus moléculas tienen una atracción fija y por lo tanto dureza. Una viscosidad constante aporta dureza al vidrio, mientras que una viscosidad variable se la resta.

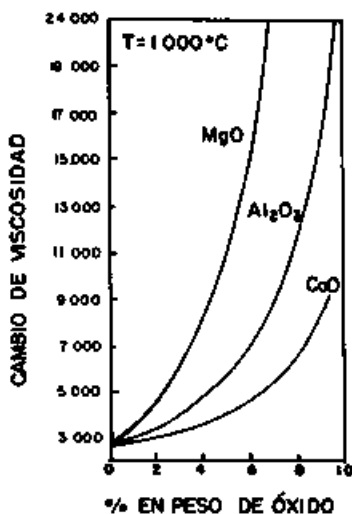


Figura 2.10.8.2. Variación de la viscosidad (en poises) a los 1000 °C, de acuerdo a la composición [16].

CORROSIÓN

El vidrio tiene como característica muy importante la resistencia a la corrosión, en el medio ambiente son muy resistentes y no desisten ante el desgaste, he ahí por lo cual los vidrios son utilizados incluso para los experimentos químicos. Aunque su resistencia a la corrosión es muy buena

no quiere decir que sea indestructible ante la corrosión, existen cuatro sustancias que logran esta excepción.

- Ácido Hidrofluorídrico
- Ácido fosfórico de alta concentración
- Concentraciones alcalinas a altas temperaturas
- Agua “super calentada”

DUREZA

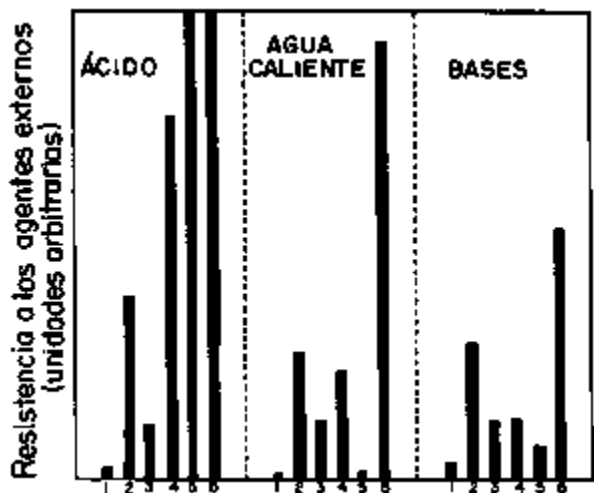
La dureza o resistencia la rayado del vidrio es de 6,5 sobre 10 en la escala MOHS, algo por debajo de la del cuarzo.

DURABILIDAD

La resistencia que ofrece el vidrio al ponerlo en contacto con el agua o con agentes atmosféricos, así como con soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, es una propiedad de gran importancia llamada *durabilidad química*, que lo hace tomar ventaja sobre otro tipo de materiales, como los plásticos, por ejemplo.

Los vidrios comunes parecen ser químicamente inertes, pero en realidad reaccionan con muchas sustancias, lo que sucede es que lo hacen lentamente y por eso se pueden utilizar. Cuando se habla de altas resistencia a reactivos químicos se quiere decir que para que las reacciones ocurran tiene que pasar un tiempo muy largo, por lo que prácticamente no reaccionan. El vidrio tiene una resistencia excelente a los ácidos, excepto al fluorhídrico, y a las soluciones alcalinas frías. Por eso es muy útil como envase de reactivos químicos. También es particularmente adecuado para tuberías transparentes. Por supuesto que tiene el gran inconveniente de su fragilidad y de la poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura, pero en ese caso se puede usar vidrio blindado con fibra de vidrio de poliéster para evitar roturas, teniendo así la ventaja de la resistencia a la corrosión del vidrio y la fuerza estructural del acero.

Los recubrimientos de vidrio son resistentes a todas las concentraciones de ácido clorhídrico a temperaturas menores de 200° C; a todas las concentraciones de ácido nítrico hasta el punto de ebullición; al ácido sulfúrico diluido hasta el punto de ebullición y concentrado hasta 300° C. Existe también un vidrio que aguanta a los ácidos con resistencia mejorada a las bases.



En la figura 2.10.8.3. Se presenta una gráfica de la resistencia que tiene un vidrio comercial a la acción de diferentes ácidos y álcalis. El material fue expuesto a los reactivos durante seis horas. Los números del 1 al 5 son sódico-cálcicos y el 6 es pyrex [16].

En la misma figura se puede observar que todos, menos el *pyrex*, reaccionan con el agua caliente. En contacto con medio acuoso lo que ocurre es un intercambio de iones sodio $[Na^+]$ por iones hidronio $[H_3O^+]$. Los iones hidronio están presentes en el agua en equilibrio con los iones $[OH^-]$. Este intercambio va disolviendo el material.

Por el contrario, cuando el vidrio se mezcla con una base, el intercambio iónico sucede entre los aniones (los que tienen carga negativa) de la estructura $[Al(OH)_4^-]$ y los grupos hidroxilo $[OH^-]$ de la base. Como resultado tendremos una mayor cantidad de $[OH^-]$ dentro de la estructura del vidrio [16].

2.10.9. PROPIEDADES TÉRMICAS

- **CALOR ESPECÍFICO**

Se define como el calor necesario para elevar una unidad de masa de un elemento un grado de temperatura. En los vidrios el calor específico es de 0,150 cal/g °C aproximadamente.

- **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

La conductividad térmica del vidrio es de aproximadamente 0,002 cal/cm seg. °C. Cifra mucho más baja que la conductividad de los metales, no obstante el vidrio tiene una variable que no se aplica a los demás materiales, la radiación causada por el almacenamiento de luz infrarroja y ultravioleta, la cual es muy variable y puede provocar en ocasiones que el vidrio transmita el calor de manera mucho más efectiva que los metales, es por esto que esta característica es raramente tomada a consideración para el diseño.

Es el calor necesario para elevar una unidad de masa de vidrio un grado de temperatura. Este valor varía con la temperatura siendo a 20°C de 720 J/Kg °K o 0,150 cal/g °C. El vidrio presenta una baja conductividad térmica (0,002 cal/cm-seg-°C o 1 w/m²K), lo que le convierte en un mal conductor del calor y, por tanto, un buen aislante térmico.

2.10.10. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Para las propiedades eléctricas se manejan en los vidrios dos medidas especiales las cuales son: La constante dieléctrica y la resistividad eléctrica superficial.

La resistividad eléctrica superficial, es la resistencia que presenta el vidrio al paso de la corriente eléctrica, la cual es muy alta en este material, 108 veces más alta que en el cobre, lo cual hace al vidrio muy popular en el diseño de partes y máquinas eléctricas.

La constante dieléctrica es la capacidad de almacenar energía eléctrica, la *opacidad* y la constante dieléctrica están relacionadas de manera inversamente proporcional, siendo que mientras más transparente sea el vidrio, mayor será su capacidad para almacenar energía.

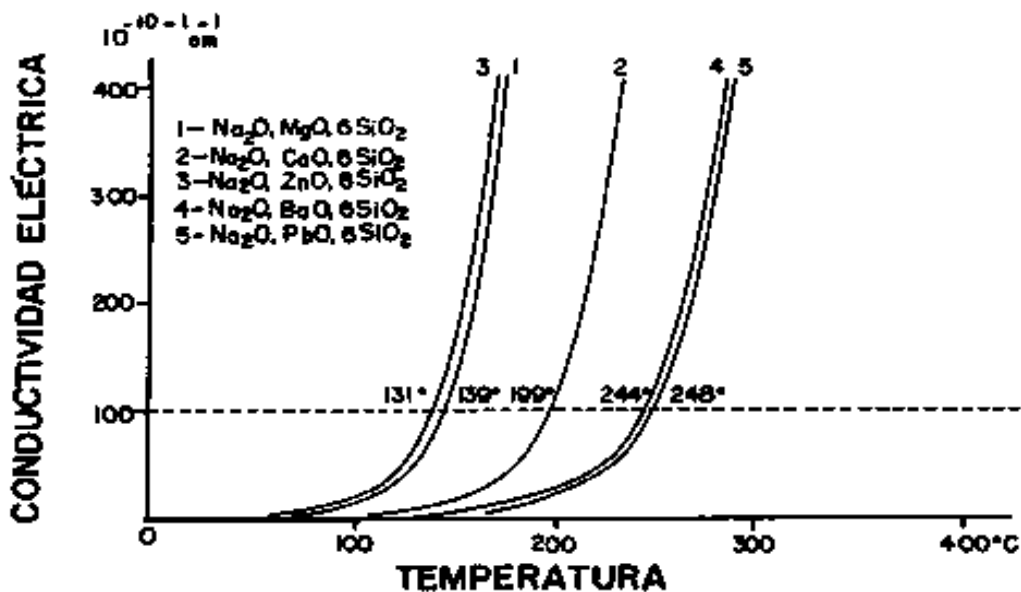
La resistencia a la flexión varía según la composición del vidrio y el tratamiento al que haya sido sometido. La resistencia a la ruptura por flexión de un vidrio pulido y recocido es de cerca de 40 Mpa (N/mm²), mientras que para un vidrio templado puede llegar a ser de 3 a 5 veces más.

Con respecto a las propiedades eléctricas, la conductividad de un vidrio depende de su composición, de su temperatura y de las condiciones atmosféricas que rodean al material. A bajas temperaturas los vidrios multicomponentes son aislantes. A todas las temperaturas son conductores electrolíticos, y de 25 a 1,200°C la resistividad, o resistencia a conducir la electricidad, es variable. La resistividad del vidrio disminuye rápidamente a medida que aumenta la temperatura, y por consiguiente se dice que es un semiconductor. La conducción en este caso no se debe a que los electrones se muevan, sino a iones que emigran a través de la red vítrea.

En la figura 2.10.10.1., se observa que al aumentar la temperatura aumenta la conductividad eléctrica, y a pesar de que es semejante el comportamiento de los vidrios que aparecen en la figura, se puede ver que los que contienen bario (4) y plomo (5) necesitan una temperatura mayor, de 244 y 248°C respectivamente, para comportarse como conductores.

Si nos referimos a la capacidad calorífica del vidrio, sabemos que es mucho más pequeña que la de los metales, pero que puede usarse con éxito en ciertas aplicaciones de transmisión de calor, como en los moldes para cocinar en hornos caseros. La conductividad de diversos vidrios a temperatura ambiente varía mucho, y los valores más altos se encuentran en aquellos que tienen un mayor contenido de sílice [16].

Figura 2.10.10.1. Cambio de la conductividad eléctrica con la temperatura en varios vidrios [16].



2.11. LOS CONDUCTORES MÁS COMUNES

El cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como el grafito o las disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) o cualquier material en estado de plasma. El mejor conductor es la plata, pero debido a su elevado precio, los materiales empleados habitualmente son el cobre (en forma de cables de uno o varios hilos), o el aluminio; metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre, es sin embargo un material tres veces más ligero, por lo que su empleo está más indicado en líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión. A diferencia de lo que mucha gente cree, el oro es levemente peor conductor que el cobre, sin embargo, se utiliza en bornes de baterías y conectores eléctricos debido a su durabilidad y “resistencia” a la corrosión.

La conductividad del cobre recocido medida a 20 °C es igual a 58.0 MS/m. A este valor es a lo que se llama 100% IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa como un cierto porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100% IACS pero existen excepciones como la plata o los cobres especiales de muy alta conductividad designados C-103 y C-110 [28].

Tabla 2.11.1. Lista de conductores eléctricos [29].

Plata pura	Latón	Estaño	Platino	Aire ionizado
Cobre recocido	Níquel	Aceite	Níquel	Oro
Agua	Acero	Mercurio	Galio	Germanio [29].
Aluminio (97.5%) puro	Hierro colado	Cobre endurecido	Plomo, Zinc puro	Bronce con fósforo

2.11.1. TIPOS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS



De alta conductividad:

Figura 2.11.1.1. Plata [30]. Este es el material con menor resistencia al paso de la electricidad pero al ser muy costoso, su uso es limitado. La plata se halla en la naturaleza en forma de cloruros, sulfuros o plata nativa. Este material se caracteriza por ser muy dúctil, maleable y no muy duro y fácil de soldar. Es utilizado en fusibles para cortocircuitos eléctricos porque es muy preciso en la fusión, es inoxidable y posee una conductividad sumamente alta. También se lo usa en contactos de relevadores o interruptores para bajas

intensidades por su elevada conductividad térmica y eléctrica. La plata también es usada en instrumentos eléctricos de medicina como por ejemplo el termocauterio.



Figura 2.11.1.2. Cobre [30]. Este es el conductor eléctrico más utilizado ya que es barato y presenta una conductividad elevada. Este material se encuentra en la naturaleza de manera abundante, en forma de sulfuros, carbonatos, óxidos y en muy pocos casos se halla el cobre nativo. Se caracteriza por ser dúctil y maleable, sencillo de estañar y soldar y es muy resistente a la tracción. Para mejorar sus cualidades mecánicas, el cobre es fusionado con bronce y estaño.



Figura 2.11.1.3. Aluminio [30]. Este ocupa el tercer puesto por su conductividad, luego de los dos anteriores. Su conductividad representa un 63% de la del cobre pero a igualdad de peso y longitud su conductancia es el doble. El aluminio se encuentra en grandes cantidades y se lo extrae de un mineral llamado bauxita. Se caracteriza por no ser muy resistente a la tracción, ser más blando que el cobre y no es fácil de soldar. A pesar de esto, al ser dúctil permite ser trabajado por estirado, laminado, forjado, hilado y extrusión. Para mejorar la resistencia mecánica del aluminio se le agrega magnesio, hierro o silicio.

2. De alta resistividad:



Figura Aleaciones de cobre y níquel [30]. Estas presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica relativamente baja y una fuerza electromotriz elevada en relación al cobre. El níquel representa el 40% y el cobre el 60% restante y es una aleación que no resulta útil para instrumentos de medida de precisión, a pesar de que su coeficiente de temperatura es bajo. Sin embargo, este se puede incrementar añadiéndole zinc.



Figura Aleación de cromo y níquel [30]. Estas se caracterizan por presentar coeficientes bajos de temperatura, un coeficiente de resistividad mayor y una fuerza electromotriz pequeñas con respecto al cobre. Debido a que el conductor está cubierto por una capa de óxido que lo protege del ataque del oxígeno, resulta útil para trabajar a temperaturas que superen los 1000° C.

Los conductores de alta resistividad se caracterizan entonces por perdurar con el paso del tiempo, contar con un punto de fusión elevado, ser fáciles de soldar, ser dúctiles y maleables. Además, su fuerza electromotriz es menor a la del cobre, son resistentes a la corrosión y presentan un coeficiente térmico de conductividad bajo [30].

2.11.2. PELTRE

El **peltre** es una aleación compuesta por estaño, cobre, antimonio y plomo. Es maleable, blando y de color blanco con alguna similitud a la plata, poco reactivo y funde a 320 °C por lo que su utilización para adornos es muy común. Duradero y maleable, con el tiempo adquiere una interesante pátina y puede ser forjado de cualquier forma.

Tradicionalmente con una composición del 85 al 99% de estaño, y restos de 1-4 % de cobre para darle dureza, si se le agregan un pequeño porcentaje de plomo se colorea azulado. Su aspecto es brillante, pulido y parecido a la plata, que al igual que este metal tiende a ennegrecerse por efecto de la oxidación si no recibe tratamiento químico. El peltre es maleable, y se deforma a la forma de la mano cuando se aprieta fuertemente. Tiene un bajo punto de fusión.

Tradicionalmente hay tres tipos de peltre:

- *Fino*: Material de cubiertos. Compuesto de 96-99% de estaño y 1-4% de cobre.
- *Trifle*: También para cubiertos y vajilla rústica. Compuesto de 92% de estaño, 1-4% de cobre y más del 4% de plomo.
- *Lay*: También llamado Ley. Normalmente no es utilizado en cubiertos, por contener más del 15% de plomo y pequeñas cantidades de antimonio.

Popularmente también se llama peltre a los utensilios de metal bañados con una capa cerámica o esmalte cerámico, generalmente blanco [31].

Es un excelente conductor del calor, cualidad que lo hace adecuado para ser usado en la fabricación de utensilios para heladerías y bandejas contenedoras de alimentos. Con el tiempo puede adquirir una apariencia pátina, se deforma fácilmente, no se altera, no se oscurece y se puede limpiar simplemente con agua y jabón [32].

2.12. Aerogel



Figura 2.12.0.1 La flor no se consume bajo el fuego del mechero Bunsen debido a las propiedades aislantes del aerogel [33].

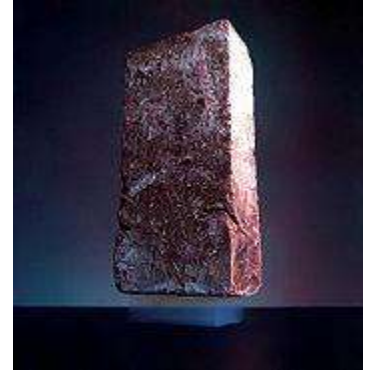


Figura 2.12.0.2. Un ladrillo de 2.5 kilogramos soportado por 2 gr de aerogel [33].

El **aerogel** es una sustancia coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico.

Este material está generalmente compuesto por un 90% a un 99,8% de aire, es mil veces menos denso que el vidrio y unas tres veces más denso que el aire. Familiarmente es denominado **humo helado**, **humo sólido** o **humo azul** debido a su naturaleza semitransparente, sin embargo, tiene al tacto una consistencia similar a la espuma de poliestireno.

Posee un índice de refracción de 1.0, muy bajo para un sólido. La velocidad del sonido a través de él es muy baja, 100 m/s.

Esta sustancia fue creada por Samuel Stephens Kistler en 1931, como resultado de una apuesta entre él y Charles Learned, sobre quién podría reemplazar el líquido de un tarro de mermelada por gas sin que el volumen de este disminuyera.

El aerogel se puede fabricar a partir de muy diferentes materiales; las investigaciones de Kistler consistían en aerogeles basados en sílice, circonio, alúmina, óxido de cromo, estaño y carbono.

2.12.1. USOS

El aerogel tiene varias aplicaciones comerciales, aunque principalmente ha sido utilizado como aislante térmico en las ventanas de los edificios de oficinas, en las que sus propiedades son utilizadas para evitar la pérdida de calor o frío.

Su aspecto es fantasmagórico y tiene una resistencia considerable puesto que soporta más de 1.000 veces su peso.

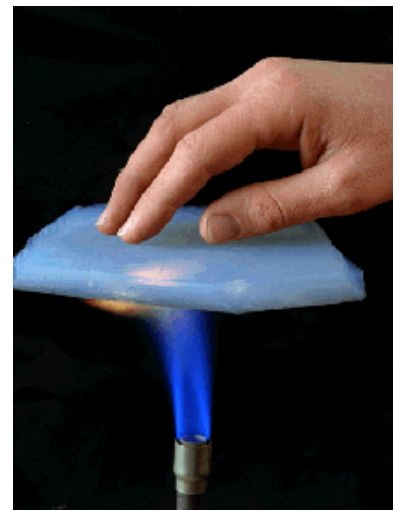
El uso más obvio de los aerogeles es como aislante térmico ultraligero para estructuras aéreas, lo que en teoría permitiría a estas flotar indefinidamente en el aire. El pabellón de los Estados Unidos en la Feria Universal de Montreal es una cúpula geodésica tan ligera, que una diferencia de temperatura entre el aire del interior con el exterior la haría flotar. El gran problema de crear y conservar esta diferencia en una esfera de aproximadamente treinta metros de diámetro se resuelve con un aerogel traslúcido que no permite la fuga de calor y sí la entrada de radiación solar, como un cristal, con lo que se aumenta la flotación indefinidamente mientras le dé el Sol, y dada la ligereza del material de la "piel" de la cubierta, sería masa de flotación en vez de peso. Incrementando el diferencial de temperatura interior-exterior al elevarse en la atmósfera, partiendo desde un punto cálido en la superficie y elevándolo hasta, por ejemplo, los ocho mil metros, se tendrían diferencias de temperatura de 80°C. Una estructura así flotaría y produciría un excedente de energía útil.

El aerogel también puede servir como parachoques en automóviles, pues amortigua los golpes en un 89% de intensidad.



Figura 2.12.1.1. Cubo de aerogel [33].

Figura 2.12.1.2. La mano no sufre quemaduras o sensación de calor [33].



Aerogel México es el representante exclusivo a nivel nacional del aislamiento térmico de Aspen Aerogels, incluyendo Pyrogel™ XT y Cryogel™ Z.

Los aerogeles tienen más de 70 años de existencia. Consisten en sólidos de sílice ligeros, derivados de un gel en el que el elemento líquido ha sido sustituido por aire. Los sólidos de sílice, que son malos conductores, consisten en agrupaciones tridimensionales entrelazadas, muy pequeñas, que conforman sólo el 3% de los sólidos.



Figura 2.12.1.3. Nanoporos de la estructura interna del aerogel [33]. La conducción de volumen a través de los sólidos es por lo tanto muy baja, el 97% restante del volumen está compuesto de aire en nanoporos, es decir, de medidas nanométricas. El aire tiene poco espacio para moverse, lo cual inhibe tanto la convección como la conducción de la fase gaseosa. Estas características hacen que el aerogel sea el sólido de más baja densidad del mundo y el aislamiento térmico más eficaz.

Las extraordinarias propiedades térmicas de los aerogeles han sido estudiadas durante décadas, pero Aspen Aerogels ha desarrollado una forma de aerogel técnica y económicamente viable para usarse como aislamiento industrial. Nuestro proceso exclusivo integra el aerogel en un soporte para crear mantas de aerogel flexibles, resistentes y duraderas con propiedades aislantes superiores y no daña el medio ambiente.

La estricta reglamentación ambiental y el aumento de la conciencia han llevado a la necesidad de materiales de aislamiento que no dañen el medio ambiente. Los aerogeles no son una amenaza química para el medio ambiente. Son a base de sílice, que es esencialmente arena. El Cryogel™ Z y el Pyrogel™ XT no contienen fibras respirables y no requieren agentes espumantes, por lo que están libres de CFC y HCFC. Este aislamiento puede desecharse de forma segura y, puesto que el volumen instalado es considerablemente inferior que el de los materiales competidores, menos residuos irán a los vertederos.

DE PESO LIGERO

Cryogel™ Z y Pyrogel™ XT son más ligeros que cualquier otro aislamiento. Esto permite manipularlos con facilidad y seguridad en el lugar de trabajo. Pueden ser instalados en longitudes mayores que las del aislamiento tradicional, lo que mejora las tasas de instalación. Su peso ligero también reduce la carga total de la tubería y la estructura de soporte del equipo.

DURADERO

El aislamiento Cryogel™ Z y Pyrogel™ XT poseen excelentes propiedades de rebote, aún si son sometidos a fuerzas de compresión de miles de PSI y pueden resistir cargas de impacto altas sin sufrir daños y sin comprometer su funcionamiento. Esto no sucede con el aislamiento rígido, que maneja la carga con poca a ninguna deformación, pero que es desmenuzable y propenso a agrietarse. Esto crea cortocircuitos térmicos y vías de entrada de la humedad. El aislamiento rígido también corre un alto riesgo de romperse durante su transporte e instalación y mientras están en servicio.

RESISTENTE AL FUEGO

El aislamiento Cryogel™ Z y Pyrogel™ XT ofrece una excelente resistencia a la propagación de llamas y a la emisión de humo. En los incendios de hidrocarburos en realidad, protegen las tuberías y los equipos por más tiempo, lo cual es fundamental para aumentar el tiempo de reacción necesario para responder a un evento catastrófico.

Los aerogeles son sólidos nanoporosos inventados en los años 30's, son creados cuando la sílice es gelificada en un disolvente. Cuando se retira el solvente, lo que queda es arena hinchada, con una porosidad de hasta 99%

- Los nanoporos encierran las moléculas de aire, lo cual retarda el flujo de calor.
- Largas cadenas moleculares aumentan la longitud del paso del sólido a través de la sílice, reduciendo la conductividad térmica.

La reducción en el tiempo de manufactura del aerogel y el recubrimiento con fibras para obtener una integridad mecánica del gel en su forma húmeda, son innovaciones que ayudaron a convertir el aerogel en su forma monolítica en un aislamiento industrial.



Figura 2.12.1.4. Aislamiento industrial flexible con barrera integral de vapor para aplicaciones criogénicas y sub-ambientales [33].

El **Cryogel™ Z** es una manta flexible de aerogel para aislamiento con una barrera integral de vapor. Está diseñado para proporcionar protección térmica máxima con un mínimo de peso y espesor y sin traspaso del vapor.

Las propiedades únicas del Cryogel™ Z; conductividad térmica extremadamente baja, flexibilidad superior, resistencia a la compresión, hidrofobicidad y facilidad de uso, lo hacen un aislamiento óptimo para quienes desean lo máximo en protección térmica en aplicaciones criogénicas.

Utilizando nanotecnología patentada, el aislamiento del Cryogel™ Z combina un aerogel de sílice con fibras de refuerzo para proporcionar un funcionamiento térmico líder en la industria en un producto fácil de manejar y ambientalmente seguro.

La conductividad extremadamente baja del Cryogel™ Z reduce el aumento del calor y la evaporación del líquido, su forma de manta minimiza el esfuerzo de instalación y su flexibilidad inherente hace que este aislamiento sea duradero y resistente al uso rudo.

2.12.2. PROPIEDADES DE AEROGEL

Gama de temperatura de servicio: -460°F (-270°C) a 195°F (90°C)

2.12.2.1. Funcionamiento térmico: El Cryogel Z posee la conductividad térmica más baja entre cualquier material utilizado para servicios criogénicos. Por lo tanto, su espesor requerido es extremadamente pequeño en comparación con otros materiales de aislamiento en frío.

En la mayoría de los casos, el espesor de control de la condensación es suficiente para cumplir la limitación de ganancia de calor deseada. El espesor mínimo del Cryogel Z da lugar a un área de superficie más pequeña y una ganancia de calor reducida en comparación con otros materiales para aislamiento. Este “factor de seguridad” de la ganancia de calor maximiza el funcionamiento del sistema al mejorar el control del proceso, lo que da como resultado la optimización de la producción y el ahorro de energía. Además, el Cryogel no se envejece, de modo que su capacidad térmica se mantiene constante a través del tiempo.

2.12.2.2. Humedad y resistencia al vapor: La permeabilidad al agua y al vapor de agua son elementos fundamentales para cualquier sistema de aislamiento que opera a temperaturas criogénicas. El Cryogel Z es hidrofóbico con una excelente resistencia a la humedad. (Sus nanoporos forman una intrincada red de racimos de “callejón sin salida” que resiste la penetración del vapor, la condensación y el hielo.)

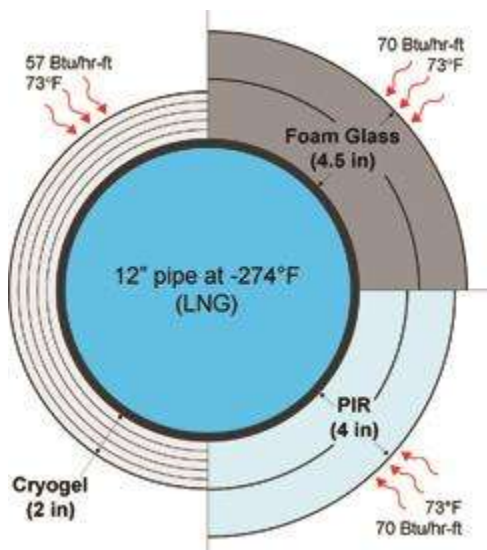


Figura 2.12.2.1. Integridad estructural [33]. Cryogel Z es ideal para aplicaciones criogénicas y por debajo de la temperatura ambiente. En estas condiciones severas, su estructura no experimenta daños, su funcionamiento no se ve afectado y sigue siendo totalmente flexible. Esto es diferente con los materiales rígidos de aislamiento celular que, en las mismas condiciones, experimentan contracción, choque térmico, tensión extrema, daño estructural y degradación de la capacidad de aislamiento.

Estabilidad dimensional. El aislamiento del Cryogel Z tiene un coeficiente de expansión térmica similar al del acero, de modo que hay un movimiento mínimo del sistema de aislamiento. Su bajo índice de contracción y su aplicación de envoltura flexible elimina la necesidad de costosas y laboriosas juntas de expansión/contracción requerida por los sistemas rígidos de aislamiento tradicionales. Los tres diseños cumplen los mismos criterios de control de condensación.

Aislamiento industrial flexible para aplicaciones en altas temperaturas.

El Pyrogel™ XT es un manta de aislamiento para altas temperaturas formada de aerogel de sílice y reforzada con relleno de fibra de vidrio no tejida.

Los aerogeles de sílice poseen la conductividad térmica más baja de cualquier sólido conocido. El Pyrogel™ XT obtiene este rendimiento térmico, líder en la industria, en un producto flexible, ambientalmente seguro y fácil de usar.

Ideal para el aislamiento de tuberías, recipientes, tanques y equipos, el Pyrogel™ XT es un aislamiento imprescindible para los que buscan lo máximo en eficiencia térmica.

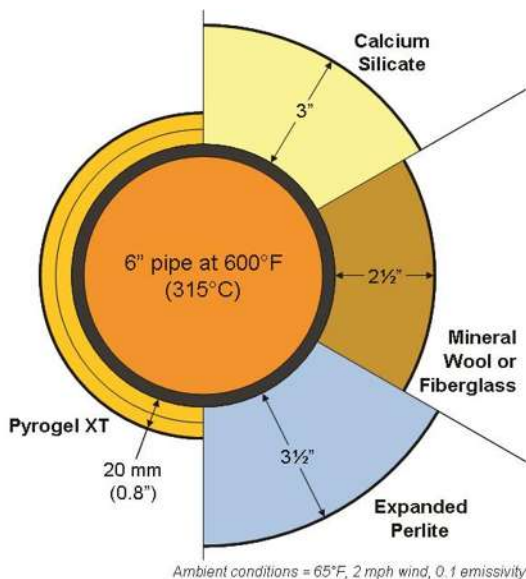
2.12.3. PROPIEDADES DE AEROGEL CON FIBRA DE VIDRIO

Gama de temperatura de servicio: -40°F (-40°C) a 1200°F (650°C).

Funcionamiento térmico: El Pyrogel™ XT tiene el valor de conductividad térmica más bajo entre cualquier material utilizado para servicios en caliente. Por lo tanto, su espesor requerido es 50% a 80% menos que otros materiales para aislamiento de superficies caliente.

Resistencia a la humedad: La humedad es un problema de aislamiento a temperaturas de hasta 200°C. Se puede formar dentro del aislamiento y provocar corrosión debajo del aislamiento (CUI). El Pyrogel™ XT es hidrófobo (repele al agua) en toda la matriz del aislamiento (no sólo en la superficie) y ofrece una excelente resistencia a la humedad. Otros aislamientos tienden a absorber la humedad con el tiempo, lo cual potencialmente corroe el sustrato. El Pyrogel™ XT también está disponible con una barrera de vapor integral (Pyrogel™ XT) que elimina la penetración del vapor de agua. El Pyrogel™ XT también cumple todas las especificaciones de la fisuración por corrosión con tensión del acero inoxidable.

Logística: Desde la adquisición hasta la instalación, Pyrogel™ XT simplifica la logística, debido a su reducida exigencia de volumen. Estas ventajas incluyen ahorros en el flete, el espacio de almacenamiento y un inventario simplificado.



Instalación: El Pyrogel™ XT se instala rápida y fácilmente enrollándolo en la tubería y el equipo. En cambio, los materiales de aislamiento rígido se instalan pieza por pieza en las secciones, lo cual requiere bastante mano de obra. El Pyrogel™ XT también se aplica en longitudes más largas y a un ritmo más rápido que los otros materiales de aislamiento, lo cual acorta el tiempo del proyecto [33].

Figura 2.12.3.1. Los cuatro diseños ofrecen el mismo nivel de rendimiento térmico [33].

Pero lo que más destaca del aerogel es su poco peso. Al fin y al cabo, está compuesto por hasta un 99,8% de aire, lo que le proporciona una densidad mil veces menor a la del cristal, y es solo unas tres veces más denso que el aire. En algunos ámbitos se lo denomina

“humo helado” o “humo sólido”, por su aspecto semitransparente. Al tacto, tiene una consistencia similar a la espuma plástica. A pesar de su fantasmagórico aspecto, tiene una resistencia mecánica muy elevada: puede soportar más de 1000 veces su propio peso.

Actualmente se pueden fabricar distintos tipos de aerogeles, utilizando como base el sílice, la alúmina, el óxido de cromo, el estaño o el carbono. Su uso industrial más difundido es el empleo como aislante térmico en las ventanas de los edificios para evitar la pérdida de calor (o frío). Una pieza de esta extraordinaria sustancia es 99,9% aire y 0,1% Dióxido de Sílice [34].

Para fabricar los aerogeles se comienza de la siguiente forma primero se confecciona un gel basado usualmente en silicio (se puede reemplazar por carbono, titanio, entre otros para modificar las propiedades) y luego se drena el agua del interior de las burbujas. Sometiendo el material a una temperatura concreta y a alta presión, con lo que la tensión superficial del líquido no derrumba la burbuja. Ese es el problema de los aerogeles; su costosa y difícil fabricación. Para complicar las cosas el líquido más apropiado para disolver el material que constituirá la burbuja es el alcohol.

Aún así se han obtenido mejoras en los métodos que apuntan a una gran reducción de costes de fabricación en un futuro no muy lejano. Se puede substituir parte del silicio por otros materiales: carbono, titanio, etc., que le confieren propiedades diferentes:

- Aerogeles basados en titanio de 2 mm de grueso que pueden detener una bala.
- Vasos que tras ser rotos, se disuelven en el agua y no contaminan, pues son básicamente arena.
- Paneles de ventana que aíslan mejor del frío, calor o ruido.
- Contenedores para el combustible de las naves espaciales muy ligeros o placas ablativas para soportar la reentrada atmosférica.

2.12.3.1. Aplicaciones

Marque Krajewski, químico y profesor de la Northwestern University de Illinois, dice que una capa de 18mm de aerogel será suficiente proteger a los astronautas contra las temperaturas tan bajas como -130 °C, el aerogel también se está probando para cubiertas y armaduras a prueba de bombas y explosivos para los vehículos militares. En el laboratorio, una placa del metal cubierta de 6mm de aerogel quedó casi intacta frente a una ráfaga directa de la explosión de 1kg de dinamita. El aerogel, tiene millones de minúsculos poros en su superficie que lo hacen ideal para absorber los agentes contaminantes del agua. Kanatzidis ha creado una nueva versión del aerogel diseñada para absorber el plomo y el mercurio del agua. Otras versiones se diseñan para absorber derramamientos del aceite. Él es optimista que podría ser utilizado para ocuparse de catástrofes ambientales como la del petrolero "sea empress" en 1996, cuando 72.000 toneladas de crudo fueron lanzadas de la costa de Milford en pembrokeshire. Además el aerogel también se está utilizando para usos más cotidianos. Bobstoker, de Nottingham, fue el primer británico en tener su propiedad aislada con aerogel. "la calefacción ha mejorado perceptiblemente. He bajado el termostato cinco grados. Es un cambio notable" dijo. Los montañeros y escaladores también han encontrado aplicaciones a este nuevo material. El año pasado Anneparmenter, una montañera británica, subió al Everest usando unas botas que tenían plantillas de aerogel y sacos de dormir rellenos con este material.

Aplicaciones en la medicina

En áreas como la medicina está siendo utilizado el aerogel para tratamientos médicos como regenerar el hueso humano (en este enlace explican un poco sobre las investigaciones que se están haciendo) [35].



2.12.3.2. Instrucciones de elaboración.

1. Crea una solución. Esto es una suspensión coloidal de partículas sólidas y hay muchas soluciones que pueden hacer aerogel. Por ejemplo, una mezcla de etanol y una silicona alcóxida como tetraetiloortosilicato o tetrametiloortosilicato puede usarse para crear una sílice coloidal.
2. Forma el sílice coloidal con hidrólisis. Las partículas de dióxido de silicona formarán la solución con enlaces de óxidos metálicos que conectarán las partículas suspendidas. Estos enlaces darán a la solución la consistencia de gel.
3. Usa un catalizador para acelerar la formación de los enlaces de óxidos metálicos. El sílice coloidal se convierte en gel una vez que se detiene la circulación de líquido. Un ácido o una base causarán el proceso de interconexión para completar más rápidamente el proceso y también hará el aerogel más transparente.
4. Reemplaza el etanol para más seguridad. Las altas temperaturas y presiones requeridas para el secado supercrítico crean condiciones peligrosas en el proceso. El etanol es reemplazado por la acetona a través de un intercambio de solvente, que es reemplazado por dióxido de carbono líquido. Esto es más seguro porque el carbón se transforma en gas muy fácilmente.
5. Usa el secado supercrítico para retirar los componentes líquidos del gel. Aumenta la temperatura y la presión para forzar al líquido a un estado supercrítico. Luego baja la presión de forma súbita para que el líquido instantáneamente se convierta en gas, preservando así los componentes sólidos frágiles del gel. El material resultante es ahora aerogel [36].

Cómo se Preparan los Aerogeles de Sílice

La discusión posterior se basa en los siguientes términos:

Hidrólisis:

Reacción de un alcoxilo metálico ($M-OR$) con el agua, formándose un hidróxido metálico ($M-OH$).

Condensación:

Una reacción de condensación tiene lugar cuando dos hidróxidos metálicos ($M-OH + HO-M$) se combinan para producir una especie de óxido metálico ($M-O-M$). Esta reacción forma una molécula de agua.

Sol: Solución de varios reactivos que sufren reacciones de hidrólisis y de condensación. El peso molecular del tipo de óxido que se produce no deja de aumentar. A medida que crecen, estas especies suelen empezar a unirse unas a otras formando una red tridimensional.

Punto de gel: Momento en que la red de partículas de óxido unidas abarca el contenedor donde se encuentra el sol. Cuando se alcanza el punto de gel, el sol se convierte en Alcolgel.

Alcolgel (gel húmedo): Cuando se alcanza el punto de gel, la mezcla forma una sustancia rígida denominada alcolgel. El alcolgel puede extraerse del contenedor original donde se encuentra, y mantenerse fuera de éste. Un alcolgel consta de dos partes, una sólida y otra líquida. La parte sólida es la red tridimensional de partículas de óxido unidas. La parte líquida (el solvente original del sol) rellena el espacio libre que queda alrededor de la parte sólida. Aparentemente ambas partes de un alcolgel ocupan el mismo volumen.

Fluido supercrítico: Sustancia que se encuentra por encima de su presión y temperatura críticas. Un fluido supercrítico cuenta con algunas propiedades en común con los líquidos (densidad y conductividad térmica) y otras con los gases (abarca el volumen del contenedor donde se encuentra y no tiene tensión superficial).

Aerogel: Sobrante de un alcolgel cuando se le extrae la parte líquida sin dañar la parte sólida (esto se consigue normalmente mediante la extracción supercrítica). Si se hace correctamente, el aerogel conserva la forma original del alcolgel y como mínimo un 50% (normalmente >85%) del volumen del alcolgel.

Xerogel: Remanente cuando se extrae la parte líquida de un alcolgel mediante evaporación o mediante métodos similares. Los xerogeles pueden conservar su forma original, aunque a menudo se agrietan. Normalmente, en el caso de los xerogeles, la reducción de tamaño que se produce durante el secado es extrema (-90%).

2. 13. Sol-gel (Xerogel)

El sol-gel es una técnica de proceso químico húmedo ampliamente utilizado en los campos de la ciencia de los materiales y la ingeniería de cerámica. Dichos métodos se utilizan principalmente para la fabricación de materiales (típicamente óxidos metálicos) a partir de una coloidal solución (*sol*) que actúa como precursor de una red integrada (o *gel*) o bien de partículas discretas o de red polímeros. Típicos precursores son de metal alcóxidos y sales metálicas (tales como cloruros, nitratos y acetatos), que se someten a diversas formas de hidrólisis y policondensación reacciones.

En este procedimiento químico, el 'sol' (o solución) evoluciona gradualmente hacia la formación de un sistema bifásico similar al gel que contiene tanto un líquido y la fase sólida fase cuyo morfologías variar de partículas discretas continuas a redes poliméricas. En el caso de la coloide, la fracción de volumen de partículas (o densidad de la partícula) puede ser tan baja que una cantidad significativa de fluido puede necesitar ser eliminado inicialmente para las propiedades de tipo gel a ser reconocidas. Esto se puede lograr en cualquier número de maneras. El método más sencillo es para dar tiempo a la sedimentación que se produzca y, a continuación verter el líquido restante. Centrifugación también puede ser utilizado para acelerar el proceso de separación de fases.

La eliminación del líquido restante (disolvente) requiere una fase de secado proceso, que está acompañada típicamente por una cantidad significativa de contracción y densificación. La velocidad a la que el disolvente puede eliminarse en última instancia determinada por la distribución de la porosidad en el gel. La mejor microestructura del componente final claramente se verá fuertemente influenciada por los cambios impuestos a la plantilla estructural durante esta fase del procesamiento.

A continuación, un tratamiento térmico, o disparando proceso, a menudo es necesario para favorecer policondensación y mejorar aún más las propiedades mecánicas y estabilidad estructural a través de final de sinterización, densificación y crecimiento de grano. Una de las ventajas del uso de esta metodología en oposición a las técnicas de procesamiento más tradicionales es que la densificación se realiza generalmente a una temperatura mucho más baja.

El precursor de sol puede ser ya sea depositado sobre un sustrato para formar una película (por ejemplo, por revestimiento por inmersión o revestimiento por rotación), emitidos en un recipiente adecuado con la forma deseada (por ejemplo, para obtener monolíticos de cerámica, vidrios, fibras, membranas, aerogeles), o se utiliza para sintetizar polvos (por ejemplo, microesferas, nanoesferas). El enfoque de sol-gel es una técnica barata y de baja temperatura que permite el control preciso de la composición química del producto. Incluso pequeñas cantidades de agentes de dopado, tales como tintes orgánicos y elementos de tierras raras, pueden ser introducidos en el sol y terminan dispersa uniformemente en el producto final. Se puede utilizar en elaboración de materiales cerámicos y de fabricación como un bastidor de inversión material, o como un medio de producir muy finas películas metálicas de óxidos para diversos fines. Sol-gel materiales derivados tienen diversas aplicaciones en óptica, electrónica, energía, espacio, (bio) sensores, medicina (por ejemplo, liberación controlada de fármacos), material reactivo y la separación (por ejemplo, cromatografía) la tecnología.

El interés en el proceso sol-gel se remonta a mediados de 1980-con la observación de que la hidrólisis de ortosilicato de tetraetilo (TEOS) en condiciones ácidas condujo a la formación de SiO_2 en la forma de fibras y monolitos. El proceso de sol-gel es una técnica en húmedo químico utilizado para la fabricación de ambos materiales vítreos y cerámicos. En este proceso, el sol (o solución) evoluciona gradualmente hacia la formación de una red de tipo gel que contiene tanto una fase líquida y una fase sólida. Precursores típicos son alcóxidos metálicos y cloruros de metal, que se someten a reacciones de hidrólisis y policondensación para formar un coloide. La estructura básica o la morfología de la fase sólida pueden variar desde discretas partículas coloidales a continua-cadena como redes de polímero.

El término *coloide* se utiliza principalmente para describir una amplia gama de sólido-líquido (y / o líquido, líquido-) mezclas, todos los cuales contienen distinta sólido (y / o líquido) partículas que se dispersan en varios grados en un medio líquido. El término es específico para el tamaño de las partículas individuales, que son más grandes que las dimensiones atómicas, pero lo suficientemente pequeño como para exponer el movimiento browniano. Si las partículas son lo suficientemente grandes, entonces su comportamiento dinámico en cualquier período de tiempo dado en suspensión se rige por las fuerzas de la gravedad y la sedimentación. Pero si son lo suficientemente pequeños para ser coloides, entonces su movimiento irregular en suspensión se puede atribuir a la bombardeo colectiva de una gran variedad de moléculas térmicamente agitados en el medio de suspensión líquido, como se describe originalmente por Albert Einstein en su disertación. Einstein llegó a la conclusión de que este comportamiento errático adecuadamente podría describirse mediante la teoría del movimiento browniano, con la sedimentación de ser un posible resultado a largo plazo. Este rango de tamaño crítico (o diámetro de partícula) típicamente del orden de decenas de angstroms (10^{-10} m) a unos pocos micrómetros (10^{-6} m).

- Bajo ciertas condiciones químicas (típicamente en catalizada por base sales), las partículas pueden crecer hasta un tamaño suficiente para convertirse en coloides, que se ven afectados tanto por la sedimentación y la fuerza de la gravedad. Suspensiones estabilizadas de tales sub-micrométricas partículas esféricas eventualmente puede resultar en su auto-ensamblaje rendimiento microestructuras muy ordenados que recuerdan al prototipo de cristal coloidal: precios ópalo.
- Bajo ciertas condiciones químicas (típicamente en catalizadas con ácido sales), las fuerzas inter tener la fuerza suficiente para causar agregación considerable y / o floculación antes de su crecimiento. La formación de una red continua más abierta de baja densidad polímeros presenta ciertas ventajas con respecto a las propiedades físicas en la formación de vidrio de alto rendimiento y vidrio / componentes cerámicos en 2 y 3 dimensiones.

En cualquiera de los casos (partículas discretas o continuas de la red de polímero) el sol evoluciona entonces hacia la formación de una red inorgánica que contiene una fase líquida (gel). La formación de un óxido de metal supone la conexión de los centros de metal con oxo (MOM) o puentes hidroxilo (M-OH-M), por lo tanto, la generación de polímeros de metal-oxo-hidroxilo o metal en solución.

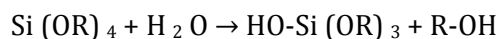
En ambos casos (partículas discretas o continuas de la red de polímero), el proceso de secado sirve para eliminar la fase líquida del gel, produciendo un micro-poroso amorfo vidrio o cerámica micro-

crystalinas. El posterior tratamiento térmico (cocción) se puede realizar con el fin de favorecer la policondensación y mejorar aún más las propiedades mecánicas.

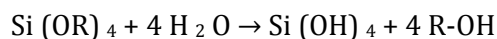
Con la viscosidad de un sol ajustarse en un rango adecuado, tanto en calidad óptica de fibra de vidrio y fibra de cerámica refractaria se puede extraer que se utilizan para sensores de fibra óptica y de aislamiento térmico, respectivamente. Además, polvos cerámicos uniformes de una amplia gama de composición química puede ser formada por precipitación.

2.13.1. La polimerización

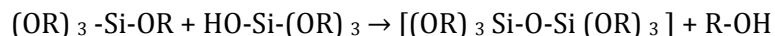
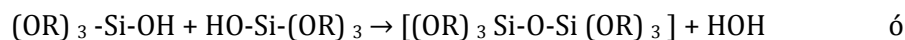
Un alcóxido bien estudiado es tetraetóxido de silicio, ortosilicato de tetraetilo (TEOS). La fórmula química para TEOS está dada por: $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, o $\text{Si}(\text{OR})_4$, donde el grupo alquilo $\text{R} = \text{C}_2\text{H}_5$. Alcóxidos son ideales precursores químicos para la síntesis sol-gel, ya que reaccionan fácilmente con el agua. La reacción se denomina hidrólisis, porque un hidroxilo ion se une al átomo de silicio de la siguiente manera:



Dependiendo de la cantidad de agua y catalizador presente, la hidrólisis puede continuar hasta su finalización, de modo que todos los grupos OR son reemplazados por grupos OH, como sigue:



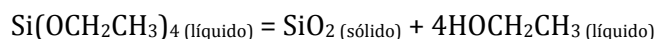
Tal hidrólisis completa de los compuestos organometálicos a menudo requiere un exceso significativo de agua y / o la presencia de catalizadores de hidrólisis tales como ácido acético o ácido clorhídrico. Especies intermedias $[(\text{O})_2\text{-Si}(\text{OH})_2]$ o $[(\text{OR})_3\text{-Si}(\text{OH})]$ puede ser resultado de reacciones de hidrólisis parciales. Además, dos moléculas parcialmente hidrolizadas pueden unir en una reacción de condensación para formar un siloxano $[\text{Si-O-Si}]$ enlace:



Así, la polimerización se asocia con la formación de un 1, 2, o 3 - dimensional red de siloxano $[\text{Si-O-Si}]$ bonos acompañados por la producción de especies de HOH y ROH.

Por definición, la condensación libera una molécula pequeña, tal como agua o alcohol. Este tipo de reacción puede continuar construyendo más y más grandes que contienen silicio moléculas por el proceso de polimerización. Así, un polímero es una molécula grande (o macromolécula) formado a partir de cientos o miles de unidades llamadas monómeros. El número de enlaces que puede formar un monómero que se conoce como su funcionalidad. Polimerización de alcóxido de silicio, por ejemplo, puede conducir a la ramificación del polímero complejo, porque un monómero totalmente hidrolizado $\text{Si}(\text{OH})_4$ es tetrafuncional (puede ramificar o un enlace en 4 direcciones diferentes). Alternativamente, en ciertas condiciones (por ejemplo, concentración de agua baja) de menos de 4 de los grupos OH ó O (ligandos) será capaz de condensación, de manera relativamente poca ramificación va a producir. Los mecanismos de hidrólisis y condensación, y los factores que el sesgo de la estructura hacia estructuras lineales o ramificados que son los problemas más críticos de sol-gel de la ciencia y la tecnología. La reacción se ve favorecida en condiciones básicas y ácidas.

Por lo general, la formación de aerogeles comprende dos pasos principales: la formación de un gel húmedo y el secado del gel húmedo para formar un aerogel. En un principio, los geles húmedos se preparaban mediante la condensación acuosa del silicato de sodio o de un material similar. A pesar del buen funcionamiento de este proceso, la reacción formaba sales dentro del gel que sólo se podían extraer lavando el gel una y otra vez (procedimiento largo y laborioso). Gracias al rápido desarrollo de la química sol-gel durante las últimas décadas, la gran mayoría de los aerogeles de sílice que se preparan en la actualidad utiliza precursores de alcoxilo de silicona. Los más utilizados son el tetrametilortosilicato (TMOS, $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) y el ortosilicatotetraetilo (TEOS, $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_4$). Sin embargo, se pueden utilizar muchos otros alcoxilos que contengan varios grupos funcionales orgánicos para que el gel adquiera propiedades diferentes. La química sol-gel basada en alcoxilos evita la formación de los poco deseados productos derivados de la sal, además de posibilitar un control mucho mayor sobre el producto final. La ecuación química equilibrada para la formación de un gel de sílice a partir de TEOS es:



Esta reacción normalmente se lleva a cabo en etanol; la densidad final del aerogel depende de la concentración de los monómeros de alcoxilo de silicona que hay en la solución. Cabe destacar que la estequiometría de la reacción precisa dos moles de agua por cada mol de TEOS. En la práctica, esta cantidad de agua tiene como consecuencia una reacción incompleta y unos aerogeles débiles y empañados. La mayoría de las fórmulas para preparar aerogeles utiliza por tanto un mayor porcentaje de agua del que aconseja la ecuación equilibrada (entre 4 y 30 equivalentes).

2.13.2. Catalizadores

La cinética de la reacción anterior es poco práctica por su lentitud a temperatura ambiente, por lo que a menudo se necesitan varios días para llevarla a cabo totalmente. Para acortar el proceso se añaden catalizadores ácidos o básicos a la fórmula. Las propiedades microestructurales, físicas y ópticas del producto de aerogel final dependerán de la cantidad y el tipo de catalizador que se emplee.

Los catalizadores ácidos pueden consistir en un ácido prótico cualquiera, como el HCl. Los catalizadores básicos por lo general utilizan amoníaco o amoníaco amortiguado con fluoruro amónico. Los aerogeles preparados con catalizadores ácidos normalmente encogen más durante el secado supercrítico y pueden ser menos transparentes que los aerogeles preparados con un catalizador básico. La descripción precisa de los efectos microestructurales de varios catalizadores es bastante compleja, ya que la subestructura de las partículas primarias de los aerogeles puede ser difícil de distinguir con un microscopio electrónico. Todos contienen unas partículas pequeñas (2-5nm de diámetro), normalmente esféricas o con forma de huevo. Por el contrario, en el caso de los catalizadores ácidos, estas partículas pueden resultar «menos sólidas» (con la apariencia de una bola de cuerda) que las obtenidas en los geles preparados con catalizadores básicos.

A medida que progresan las reacciones de condensación, el sol se convertirá en un gel rígido. Es en este punto cuando normalmente se extrae el gel del molde, aunque hay que mantener cubierto el gel

con alcohol para evitar que evapore el líquido contenido dentro de los poros del gel. La evaporación puede dañar seriamente el gel y disminuir la calidad del aerogel resultante.

2.13.3. Aerogeles de un paso frente a aerogeles de dos pasos

Los geles normales preparados a partir de TEOS con catalizadores ácidos o con catalizadores básicos suelen encuadrarse dentro de los geles «de un paso» (para la reacción sólo se necesita «un recipiente»). Un método desarrollado recientemente emplea TEOS pre-polimerizado como fuente de sílice. El TEOS pre-polimerizado se prepara calentando una solución de etanol de TEOS con una cantidad sub-estoiquiométrica de agua y un catalizador ácido. El solvente se extrae mediante destilación, quedando un fluido viscoso que contiene óxido-alcoxilo de silicona de un peso molecular superior. Este material se redissuelve en etanol y reacciona con el agua restante bajo condiciones básicas hasta que se produce la gelatinación. Los geles que se preparan siguiendo este método se denominan geles catalizados ácidos/ básicos «de dos pasos». El TEOS pre-polimerizado se encuentra disponible en los EEUU y es comercializado por Silbond Corp. (Silbond H-5).

Estas condiciones de procesamiento ligeramente distintas provocan unos pequeños pero importantes cambios en el producto final de aerogel. Normalmente, los aerogeles preparados mediante un catalizador básico de un paso son mecánicamente más fuertes, aunque también más quebradizos, que los aerogeles de dos pasos. Sin embargo, los aerogeles de dos pasos tienen una distribución del tamaño de los poros más pequeña y estrecha, además de ser normalmente más transparentes ópticamente que los aerogeles de un solo paso.

2.13.4. Maduración y remojo

Las reacciones de hidrólisis y de condensación del reactivo alcoxilo de silicona a menudo se consideran completas cuando el sol alcanza el punto de gel, aunque no suele ser este el caso. El punto de gel no es más que el momento en que las especies de sílice que se encuentran bajo el proceso de polimerización abarcan el volumen del contenedor donde está el sol. En ese momento la columna de sílice del gel contiene una importante cantidad de grupos alcoxilos sin reaccionar. De hecho, aún puede darse hidrólisis y condensación hasta que se complete la gelatinación. Uno de los errores más comunes en la preparación de aerogeles de sílice se comete al no tener en cuenta ese aspecto. La solución es fácil, hay que tener paciencia. La red de sílice será más fuerte si se le da el tiempo suficiente. Este proceso puede tener un mejor resultado controlando el pH y el contenido de agua de la solución que cubre el aerogel. Uno de los procedimientos que se suelen utilizar para la maduración de los geles catalizados básicos consiste en remojar el gel en una mezcla de alcohol y agua proporcional al sol original bajo un pH de 8-9 (amoníaco). Es recomendable dejar reposar los geles en esta solución hasta un máximo de 48 horas.

Este paso, así como los posteriores pasos de procesamiento, es controlado mediante difusión. O sea que la introducción o extracción de material dentro o fuera del gel no se ve afectada por convección o mezcla (debido a la solidez de la red de sílice). Sin embargo, la difusión sí se ve afectada por el grosor del gel. En breve, el tiempo necesario para cada paso de procesamiento aumenta de forma radical a medida que aumenta el grosor del gel. Este hecho limita la producción práctica de los aerogeles a piezas de 1 a 2 centímetros de grosor.

Una vez haya madurado el gel y antes de proceder al secado, se debe extraer todo el agua que queda dentro de los poros. Para ello, se debe remojar el gel varias veces en alcohol puro hasta que no

quede nada de agua. Una vez más, el tiempo que se necesita para este proceso depende del grosor del gel. Si se deja agua dentro del gel, ésta no podrá ser extraída mediante el secado supercrítico, por lo que el resultado será un aerogel opaco, blanco y muy denso.

2.13.5. Secado supercrítico

El último proceso y el más importante a la hora de preparar aerogeles de sílice es el secado supercrítico. Durante este proceso se extrae el líquido remanente dentro del gel, dejando sólo la red de sílice entrelazada. El proceso se puede llevar a cabo mediante la evaporación de etanol por encima de su punto crítico (altas temperaturas, o sea muy peligroso) o mediante un intercambio del solvente con CO_2 seguido de una evaporación supercrítica (bajas temperaturas, o sea menos peligroso). Este proceso se debe llevar a cabo en una autoclave especialmente diseñada para este fin (en el caso del secado de CO_2 se pueden utilizar las autoclaves de poco tamaño que emplean los usuarios de microscopios electrónicos para preparar muestras biológicas). El proceso consiste en los pasos siguientes: los alcogeles se colocan en la autoclave (previamente rellena con etanol). Después se presuriza el sistema a una presión de al menos 750-850psi con CO_2 y se enfría hasta alcanzar los 5-10°C. Se introduce CO_2 líquido dentro del recipiente hasta que se haya extraído todo el etanol de dicho recipiente y del interior de los geles. Cuando ya no quede etanol en los geles, se calienta el recipiente hasta una temperatura superior a la temperatura crítica del CO_2 (31°C). A medida que se calienta el recipiente, aumenta la presión del sistema. Se suelta el CO_2 con cuidado para mantener una presión ligeramente superior a la presión crítica del CO_2 (1050psi). El sistema debe mantenerse bajo estas condiciones durante un corto periodo de tiempo. A continuación se suelta de forma lenta y controlada el CO_2 a temperatura ambiente. Como en los pasos anteriores, el tiempo que se necesita para llevar a cabo este proceso depende del grosor de los geles. El proceso puede durar entre 12 horas y 6 días. Tras este proceso se puede abrir el recipiente y admirar así la belleza intrínseca de los aerogeles.

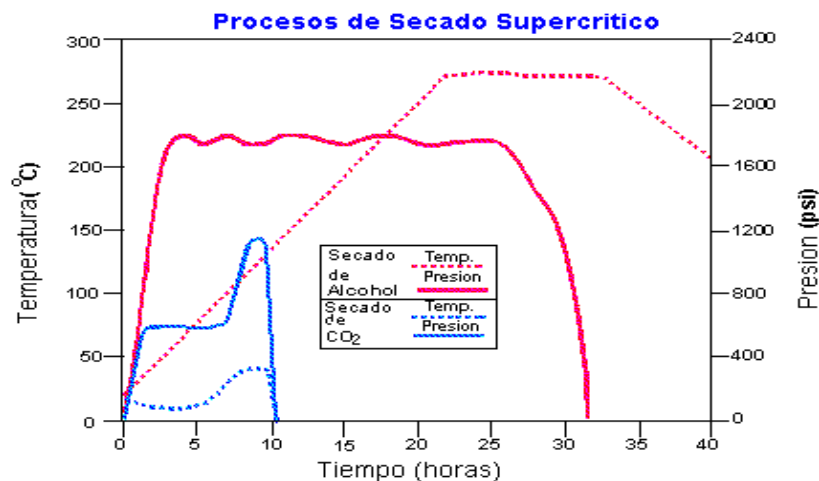


Figura 12.13.5.1. Fórmulas generales. La gráfica siguiente muestra las condiciones del proceso de sustitución/ secado con dióxido de carbono y las del proceso de secado con alcohol [37].

2.13.6. Aerogel de sílice catalizado básico de un paso

Para preparar un aerogel con una densidad aproximada de $0,08\text{g/cm}^3$, el tiempo de gel debería estar entre los 60 y los 120 minutos, dependiendo de la temperatura.

1. Mezclar dos soluciones:
 1. Solución de sílice con 50mL de TEOS y 40mL de etanol.
 2. Solución catalizadora con 35mL de etanol, 70mL de agua, 0,275mL de amoníaco 30% acuoso y 1,21mL de fluoruro amónico de 0,5M.
2. Añadir lentamente la solución catalizadora a la solución de sílice mientras se remueve.
3. Verter la mezcla dentro de un molde apropiado y esperar a que se produzca la gelatinación.
4. Proceder siguiendo los pasos descritos en los apartados anteriores.

2.13.7. Aerogel de sílice catalizado básico de dos pasos

Para preparar un aerogel con una densidad aproximada de $0,08\text{g/cm}^3$, el tiempo de gel debería estar entre los 30 y los 90 minutos, dependiendo de la temperatura.

1. Mezclar dos soluciones:
 1. Solución de sílice con 50mL de sílice precondensada (Silbond H-5, o un equivalente) y 50mL de etanol.
 2. Solución catalizadora con 35mL de etanol, 75mL de agua y 0,35mL de amoníaco 30% acuoso.
2. Añadir lentamente la solución catalizadora a la solución de sílice mientras se remueve.
3. Verter la mezcla dentro de un molde apropiado y esperar a que se produzca la gelatinación.
4. Proceder siguiendo los pasos descritos en los apartados anteriores [37].

2.14. NANOMATERIALES

En el procesamiento de cerámica fina, los tamaños de partículas y formas irregulares en un polvo típico a menudo conducen a no uniformes morfologías de embalaje que resultan en embalaje de densidad de las variaciones en el polvo compacto. Floculación incontrolada de polvos atractivos debido a fuerzas de Van der Waals pueden también dar lugar a inhomogeneidades microestructurales.

Tensiones diferenciales que se desarrollan como resultado de la contracción por secado no uniforme están directamente relacionadas con la velocidad a la que el disolvente puede eliminarse, y por lo tanto muy dependiente de la distribución de la porosidad. Tales tensiones se han asociado con una transición de plástico a quebradizo en cuerpos consolidados, y puede ceder a la propagación de grietas en el cuerpo sin cocer si no se alivia.

Además, las fluctuaciones en la densidad de empaquetamiento compacto en el que se prepara para el horno a menudo se amplifican durante el proceso de sinterización, produciendo densificación no homogénea. Algunos poros y otros defectos estructurales asociados con variaciones de densidad han mostrado que juegan un papel perjudicial en el proceso de sinterización mediante el

crecimiento y limitando de este modo de punto final densidades. Esfuerzos por diferencias derivadas de densificación no homogénea también se han mostrado resultar en la propagación de las fisuras internas, convirtiéndose así en los defectos de control de fuerza.

Por tanto, parece deseable procesar un material de tal manera que es físicamente uniforme con respecto a la distribución de los componentes y de la porosidad, en lugar de utilizar distribuciones de tamaño de partícula que maximicen la densidad en verde. La contención de un conjunto disperso de manera uniforme interactuando fuertemente las partículas en suspensión requiere un control total sobre las interacciones partícula-partícula, monodispersas coloides proporcionar este potencial.

Polvos monodispersas de sílice coloidal, por ejemplo, por lo tanto, se puede estabilizar suficientemente para asegurar un alto grado de orden en el cristal coloidal o policristalino sólido coloidal que resulta de la agregación. El grado de orden parece estar limitado por el tiempo y el espacio permitido para las correlaciones de largo alcance que se establezcan. Tales estructuras policristalinas defectuosos parecen ser los elementos básicos de la ciencia de los materiales a nanoescala, y, por lo tanto, proporcionar el primer paso en el desarrollo de una comprensión más rigurosa de los mecanismos implicados en la evolución microestructural en sistemas inorgánicos tales como nanomateriales cerámicos sinterizados.

2.14.1. APLICACIONES

Los revestimientos protectores

Las solicitudes de sol gel de los productos derivados son numerosas. Por ejemplo, los científicos han utilizado para producir materiales más ligeros del mundo y también algunos de sus más duros cerámica. Uno de las mayores áreas de aplicación es películas delgadas, que pueden ser producidos en un trozo de sustrato mediante recubrimiento por rotación o recubrimiento por inmersión. Recubrimientos protectores y decorativos, y los componentes electro-ópticos se pueden aplicar a vidrio, metal y otros tipos de sustratos con estos métodos. Cuela en un molde, y con posterior secado y tratamiento térmico, cerámica densa o artículos de vidrio con nuevas propiedades se pueden formar que no puede ser creado por cualquier otro método. Otros métodos de recubrimiento incluyen pulverización, electroforesis, de inyección de tinta de impresión o recubrimiento con rodillo.

Las películas delgadas y fibras

Con la viscosidad de un sol ajustarse en un rango adecuado, tanto ópticas y de cerámica refractaria fibras se pueden extraer, que se utilizan para sensores de fibra óptica y el aislamiento térmico, respectivamente. Por lo tanto, muchos materiales cerámicos, tanto vítreos y cristalinos, han encontrado uso en diversas formas de granel componentes de estado sólido a altas formas de área de superficie tales como películas delgadas, revestimientos y fibras.

Polvos nanométricos

Polvos cerámicos ultra-finas y uniformes se pueden formar mediante precipitación. Estos polvos de composiciones de componentes simples y múltiples se pueden producir en un tamaño de partículas a nanoescala para dentales y biomédica aplicaciones. Polvos compuestos han sido patentados para uso como productos agroquímicos y herbicidas. Polvo abrasivos, utilizadas en una variedad de

operaciones de acabado, se realizan mediante un procedimiento de tipo sol-gel. Una de las aplicaciones más importantes de sol-gel de procesamiento es llevar a cabo zeolitasíntesis. Otros elementos (metales, óxidos metálicos) puede ser fácilmente incorporado en el producto final y el silicato de sol formado por este método es muy estable.

Otra aplicación en la investigación es atrapar biomoléculas para sensoriales (biosensores fines) o catalítica, por físicamente o químicamente la prevención de la filtración y, en el caso de la proteína o químicamente unidos a moléculas pequeñas, protegiéndolos del ambiente exterior pero dejando pequeña moléculas a monitorizar. Las principales desventajas son que el cambio en el entorno local puede alterar la funcionalidad de la proteína o molécula pequeña atrapada y que la etapa de síntesis puede dañar la proteína. Para evitar esto, diferentes estrategias han sido explorados, tales como monómeros de proteínas amigables con grupos salientes (por ejemplo, glicerol) y la inclusión de polímeros que estabilizan las proteínas (por ejemplo, PEG).

Otros productos fabricados con este proceso incluyen varias membranas cerámicas de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, pervaporación y ósmosis inversa. Si el líquido en un gel húmedo se eliminó bajo una supercrítico condición, la densidad de un material altamente poroso y de baja extremadamente denominado aerogel se obtiene. El secado del gel por medio de tratamientos de baja temperatura (25-100 ° C), es posible obtener matrices sólidas porosas denominadas xerogeles. Además, un proceso de sol-gel fue desarrollado en la década de 1950 para la producción de radiactivos polvos de UO_2 y ThO_2 para combustibles nucleares, sin la generación de grandes cantidades de polvo.

Opto-mecánico

Elementos macroscópicas ópticos y componentes ópticos activos, así como de grandes superficies calientes espejos, espejos fríos, lentes y divisores de haz todo con la geometría óptima se puede hacer rápidamente ya bajo costo a través de la vía sol-gel. En el procesamiento de los nanomateriales cerámicos de alto rendimiento con mejores propiedades opto-mecánicos bajo condiciones adversas, el tamaño de los granos cristalinos es determinado en gran parte por el tamaño de las partículas cristalinas presentes en la materia prima durante la síntesis o la formación del objeto. Así, una reducción del tamaño de partícula original muy por debajo de la longitud de onda de la luz visible ($\sim 0,5$ micras o nm 500) elimina gran parte de la dispersión de la luz, lo que resulta en un translúcido o incluso de material transparente.

Además, los resultados indican que los poros microscópicos en los nanomateriales cerámicos sinterizados, principalmente atrapados en las uniones de los granos microcristalinos, causar la luz se disperse y evitó la verdadera transparencia. Se ha observado que la fracción de volumen total de los poros nanométricos (tanto porosidad intergranular e intragranular) debe ser menor que 1% de transmisión de alta calidad óptica. Decir, la densidad tiene que ser 99,99% de la densidad teórica cristalino [38].

¿Qué es un mapeo estructural de sílica xerogel utilizando espectroscopia infrarroja?

Es un análisis de dióxido de silicio o sílica gel, (SiO_2), la cual se coloca en recipientes, a diferentes concentraciones, para analizar cómo es su estructura química molecular, sirve para identificar diferentes clases de sílica y para cuantificar cuanto de sílica hay en una o varias muestras. La espectroscopia infrarroja es ampliamente usada en investigación y en la industria como una simple y confiable para realizar mediciones, control de calidad y mediciones dinámicas. Los instrumentos son en la actualidad pequeños y pueden transportarse fácilmente, incluso en su uso para ensayos en terreno. Con una tecnología de filtración y manipulación de resultados en auge, las muestras en solución pueden ser medidas con precisión (el agua produce una absorbencia amplia a lo largo del rango de interés, volviendo al espectro ilegible sin este tratamiento computacional). Algunas máquinas indican automáticamente cuál es la sustancia que está siendo medida a partir de miles de espectros de referencia almacenados.

Al medir a una frecuencia específica a lo largo del tiempo, se pueden medir cambios en el carácter o la cantidad de un enlace particular. Esto es especialmente útil para medir el grado de polimerización en la manufactura de polímeros. Las máquinas modernas de investigación pueden tomar mediciones infrarrojas a lo largo de todo el rango de interés con una frecuencia de hasta 32 veces por segundo. Esto puede realizarse mientras se realizan mediciones simultáneas usando otras técnicas. Esto hace que la observación de reacciones químicas y procesos sea más rápida y precisa [39].

2.15. VISCOELASTICIDAD

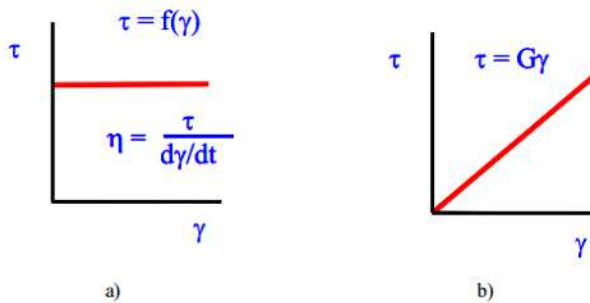


Figura 2.15.0.1. Representación de las leyes de a) Newton y b) Hooke. Concepto de viscoelasticidad y tiempo de relajación [41].

Figura 3.1. Representación de las leyes de a) Newton y b) Hooke.

La teoría clásica de la elasticidad considera las propiedades mecánicas de los sólidos elásticos de acuerdo con la ley de Hooke, es decir, la deformación conseguida es directamente proporcional al esfuerzo aplicado (figura 3.1.a). Por otra parte, la teoría hidrodinámica trata las propiedades de los líquidos viscosos para los que, de acuerdo con la ley de Newton, el esfuerzo aplicado es directamente proporcional a la velocidad de deformación (figura 3.1.b), pero independiente de la deformación misma.

Estas dos categorías son idealizaciones, aunque el comportamiento de muchos sólidos se aproxima a la ley de Hooke (comportamiento elástico) en infinitesimales deformaciones y el de muchos líquidos se aproxima a la ley de Newton (comportamiento viscoso) para velocidades de deformación bajas.

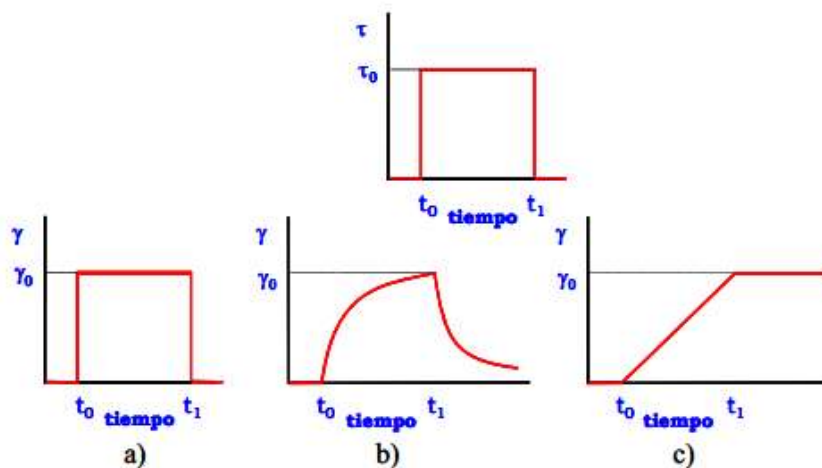


Figura 2.15.0.2. Comportamiento a) elástico b) viscoso y c) viscoelástico [41].

De esta forma si se aplica un esfuerzo sobre un sólido elástico éste se deforma (Figura 2.15.0.2. a) hasta que la fuerza cesa y la deformación vuelve a su valor inicial. Por otra parte, si un esfuerzo es aplicado sobre un fluido viscoso (Figura 2.15.0.2. b) éste se deforma, pero no recupera nada de lo

que se deforma. Un comportamiento intermedio es el comportamiento viscoelástico (Figura 2.15.0.2. c), en el que el cuerpo sobre el que se aplica el esfuerzo recupera parte de la deformación aplicada.

Un parámetro utilizado para caracterizar o clasificar las sustancias de acuerdo a su comportamiento elástico/viscoso/viscoelástico es el número de Deborah (nombre que procede del antiguo testamento, según la cual “las montañas fluirían delante del Señor”), parámetro introducido por el Dr. Reiner, uno de los fundadores de la reología. Éste número se define como:

$$De = \frac{\tau}{t} \quad (3.1)$$

Donde t es un tiempo característico del proceso de deformación al que se ve sometido una determinada sustancia y τ es un tiempo de relajación característico de dicha sustancia; el tiempo de relajación es infinito para un sólido de Hooke y cero para un fluido de Newton. De hecho el tiempo de relajación es del orden de 10^6 (Exp-6) para polímeros fundidos y 10^{12} (Exp-12) para el agua. 3

De acuerdo al valor del número de Débora todas las sustancias pueden ser clasificadas:

$De < 1$ Comportamiento viscoso.

$De > 1$ Comportamiento elástico.

$De \approx 1$ Comportamiento viscoelástico.

Según el concepto del número de Débora todas las sustancias pueden fluir, sólo hay que esperar el tiempo necesario; de esta forma, un material puede comportarse como un sólido de Hooke si tiene un tiempo de relajación muy grande o si es sometido a un proceso de deformación en un tiempo muy bajo.

Y en cuanto a los polímeros, ¿cuál es el orden de magnitud de sus tiempos de relajación? Por ejemplo, entre los polímeros de mayor consumo destacan: LDPE (6 s), PS (1 s), PVC (30 s) o PET (2s).

Y teniendo en cuenta que durante su procesamiento la deformación es impuesta hasta que adoptan la forma deseada en tiempos del orden de varios segundos o minutos, esto da lugar a números de Débora cercanos o del orden de la unidad, lo cual supondría suponer en algunos casos un comportamiento marcadamente viscoelástico [41].

La **viscoelasticidad** es un tipo de comportamiento reológico anelástico (relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir, no existe una relación bien definida entre las tensiones instantáneas y las deformaciones instantáneas [40]) que presentan ciertos materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman.

En un sólido viscoelástico:

- la deformación generalmente depende del tiempo; aún en ausencia de fuerzas, la velocidad de deformación puede ser diferente de cero;
- las tensiones y esfuerzos resistidos dependen tanto de la deformación como de la velocidad de deformación, por tanto la ecuación constitutiva que relaciona tensiones y deformaciones debe tener la forma: $\phi(\sigma_{ij}, \dot{\sigma}_{ij}, \dots, \epsilon_{ij}, \dot{\epsilon}_{ij}, \dots, t) = 0$.

Físicamente las propiedades elásticas son el resultado de desplazar ligeramente los átomos de su posición de equilibrio a lo largo de planos cristalográficos, mientras las propiedades viscosas proceden de la difusión de átomos o moléculas en el interior del material.

2.15.1. VISCOELÁSTICO LINEAL

Un material **viscoelástico lineal** general es un material para el cual existe una relación lineal entre la tensión y sus derivadas y la deformación y sus derivadas, en el caso unidimensional la relación más general posible de un material viscoelástico lineal

Ecuaciones constitutivas de viscoelasticidad lineal

Existen diversos modelos constitutivos para materiales viscoelásticos lineales. Esos modelos incluyen el modelo de Maxwell, el modelo de Kelvin-Voigt y el modelo de sólido viscoelástico lineal estándar que combina los dos modelos anteriores. Todos estos modelos descomponen la tensión y deformación en dos sumandos, uno que representa los efectos elásticos y otro que representa los efectos viscosos, siendo estos modelos, interpretables en términos de muelles y amortiguadores. Cada uno de estos modelos difiere en la disposición de los muelles y amortiguadores.

Otra propiedad interesante es que las ecuaciones constitutivas también pueden ser interpretadas en términos de circuitos eléctricos, en los que la tensión mecánica sería el equivalente del voltaje y la velocidad de deformación sería equivalente a la intensidad de corriente. El módulo elástico sería equivalente a la capacitancia del circuito (que mide la capacidad de almacenaje de energía) y la viscosidad a la resistencia del circuito (que mide la capacidad de disipar energía).

2.15.2. VISCOSIDAD NO LINEAL

La **viscosidad no lineal** ocurre cuando las funciones de Creep y de relajación de carga no se pueden separar. Esto ocurre en deformaciones grandes, si el material cambia sus propiedades durante la deformación, si los tiempos de la deformación son lo suficientemente largos o si interviene algún otro tipo de relajación.

Existe una pléyade de modelos no lineales, dependientes de unas pocas constantes características del material cuyos valores pueden ajustarse al resultado de los experimentos [42].

2.16. COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y DINÁMICO

2.16.1. Vulnerabilidad no estructural

Ventanería.

Los marcos metálicos anclados a la estructura o a los muros no estructurales al ser sometidos a grandes deformaciones se torcerán y sufrirán pandeo, provocando que el vidrio se salga del marco o se quiebre. Este problema se debe a varias causas:

- El vidrio ha sido cortado muy pequeño respecto a la abertura.
- El vidrio ha sido cortado muy grande respecto a la abertura, dejando poco o ningún margen para su adecuación a las deformaciones del marco.
- El vidrio no está bien ajustado al marco, de forma que se presenta movimiento independiente del marco, provocando ruptura o caída.

Debido a lo señalado y a que la estructura no se encuentra debidamente rígida para restringir las deformaciones laterales y la distorsión angular de los vanos en los cuales se encuentran las ventanas, es de esperarse que en caso de un sismo moderado o intenso se rompa un número importante de vidrios por el daño o deformación de los marcos de las ventanas [43].

2.16.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE VIGAS DE VIDRIO LAMINADO

1. INTRODUCCIÓN

El vidrio laminado más común se compone de dos o más placas de vidrio monolítico que se unen entre sí mediante una lámina de PVB (butiral polivinilo). La lámina de PVB tiene un espesor de 0.38 mm o un múltiplo de este valor. Al someter el conjunto a una presión y temperatura elevadas en una autoclave, se produce la adherencia entre la lámina de PVB y las placas de vidrio.

En los últimos años, la aplicación del vidrio laminado en la edificación ha experimentado un gran crecimiento, especialmente en acristalamiento de fachadas, cubiertas, escaleras o escaparates.

La principal ventaja del vidrio laminado sobre el monolítico es la mayor seguridad que aporta en caso de rotura, ya que los fragmentos quedan adheridos a la lámina de PVB, reduciendo así el riesgo de accidente. Además, la capa intermedia aumenta notablemente el amortiguamiento del conjunto, reduciendo de esta forma las vibraciones debidas a cargas de viento o de carácter sísmico.

La simulación del comportamiento dinámico de elementos estructurales de vidrio laminado mediante métodos analíticos o numéricos, requiere la caracterización de los elementos que lo componen. El vidrio se suele caracterizar mediante ensayos estáticos a flexión y el PVB mediante ensayos de relajación o fluencia, estáticos o dinámicos.

El PVB es un termoplástico amorfo que presenta un comportamiento viscoelástico lineal. Una característica fundamental de los materiales viscoelásticos es que sus propiedades mecánicas dependen de la frecuencia (o del tiempo) y de la temperatura. Estas variaciones en las propiedades dificultan el cálculo resistente de elementos con comportamiento viscoelástico.

Por su parte, el vidrio se puede considerar un material elástico-lineal. La presencia de microdefectos superficiales que tienen su origen en la fabricación o la posterior manipulación del vidrio hacen que presente una gran dispersión en los valores de su resistencia mecánica a tracción.

En este trabajo se realiza un estudio analítico del comportamiento dinámico de vigas de vidrio laminado, a partir de las propiedades mecánicas de los materiales que lo componen (vidrio y PVB), por medio del modelo de RKU para vigas sandwich. Posteriormente, las predicciones analíticas se comparan con los resultados obtenidos experimentalmente, mediante la aplicación de análisis modal operacional.

2.16.3. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LOS MATERIALES VISCOELASTICOS

Los materiales viscoelásticos se caracterizan dinámicamente mediante sus módulos complejos. En el caso de carga axial, el modulo complejo de un material viscoelástico $E(\omega)$ se define como:

$$E^*(\omega) = E'(\omega) + iE''(\omega) = E'(\omega) \left[1 + i\eta \frac{\omega}{E'} \right] \quad \dots\dots(1)$$

donde $E'(\omega)$ y $E''(\omega)$ se conocen como módulo de almacenamiento y pérdidas, respectivamente. A la relación entre ambos módulos, $\eta E'$, se le denomina factor de pérdidas.

Análogamente, el comportamiento del material a cizalladura, se define mediante el módulo de cortante complejo $G(\omega)$:

$$G(\omega) = G'(\omega) + iG''(\omega) = G'(\omega) \left[1 + i\eta \frac{\omega}{G'} \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

En el caso de materiales viscoelásticos lineales, la aplicación del principio de correspondencia permite relacionar los módulos en el dominio de la frecuencia, usando la misma expresión que en la teoría de la elasticidad [1], es decir:

$$G^*(\omega) = \frac{E^*(\omega)}{3} \left[\frac{K(\omega)}{K} - \frac{E(\omega)}{E} \right] \quad \dots\dots\dots(3)$$

siendo $K(\omega)$ el módulo volumétrico.

Los módulos complejos de un material viscoelástico lineal, también se pueden obtener de forma indirecta por medio de sus módulos definidos en el dominio del tiempo. A pesar de existir relaciones matemáticas entre ambos módulos, no resulta sencillo calcular su solución exacta y, por tanto, se han desarrollado métodos alternativos de interconversión [2]. Utilizando el modelo de Maxwell generalizado [3], el módulo de relajación $E(t)$ se puede expresar como:

$$E(t) = E_\infty + (E_0 - E_\infty) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Donde e_i y τ_i son los coeficientes de las series de Prony.

A partir de estos coeficientes, el módulo en el dominio de la frecuencia se puede obtener mediante:

$$E'(\omega) = E_{\infty} + \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i^2 \omega^2 e_i}{\tau_i^2 \omega^2 + 1} \quad (5)$$

$$E''(\omega) = E_{\infty} + \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i \omega e_i}{\tau_i^2 \omega^2 + 1} \quad (6)$$

Figura 2.16.3.1. Fórmulas generales [44].

2.16.4. CARACTERIZACIÓN DEL PVB: PARTE EXPERIMENTAL

1. Equipo y descripción de ensayos

Los ensayos para caracterizar el PVB fueron realizados en un analizador dinamo-mecánico. El equipo dispone de una cámara de temperatura controlada, que permite realizar ensayos en un rango de temperaturas de -60 °C a 150 °C.

Para obtener el módulo de relajación a tracción del PVB, se realizaron ensayos cuasi-estáticos de relajación (se somete a la probeta a una deformación constante) de 10 minutos de tiempo a diferentes temperaturas.

A partir de las curvas a diferentes temperaturas, se obtuvo la curva maestra del material a la temperatura de referencia de 20°C, aplicando el principio de superposición temperatura-tiempo (TTS) [[3]]. Los factores de ajuste horizontal para la aplicación del principio TTS, se obtuvieron a través de la ecuación de William, Landel y Ferry (WLF) [[4]].

2. Resultados experimentales y conversiones.

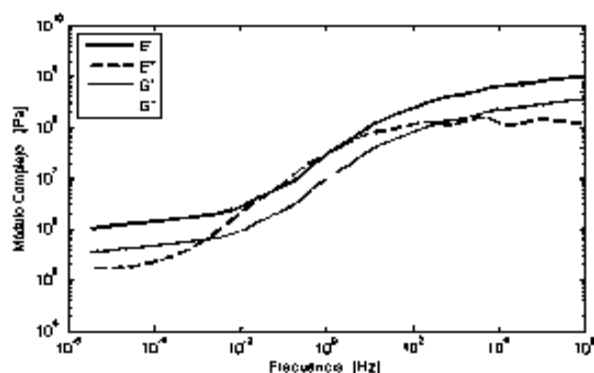


Figura 1. Componentes del módulo complejo axial y a cortadura del PVB a 20°C.

Los parámetros de WLF empleados para obtener la curva maestra de relajación son:
 $C1=49.806$ y

$C2=328.46$.

2.16.3.2. Fórmulas generales [44].

Aplicando las ecuaciones (5) y (6), se obtuvo las componentes del módulo complejo $E'(\omega)$ y $E''(\omega)$, a partir de la curva de relajación en el dominio del tiempo.

Posteriormente, aplicando la ecuación (3) y tomando un valor constante en frecuencia del módulo volumétrico de 2 GPa [5], se obtuvo el módulo complejo a cortadura, Figura 20.2.

4. ANÁLISIS MODAL OPERACIONAL (OMA)

El análisis modal operacional (OMA) es una técnica adecuada para la estimación de parámetros modales en un amplio abanico de aplicaciones [[6]].

La diferencia principal con el análisis modal clásico radica en que no es necesario conocer las cargas que se aplican sobre la estructura para estimar los parámetros modales.

Los ensayos se llevan a cabo midiendo las respuestas de la estructura (aceleraciones) bajo las condiciones de servicio de la misma, como por ejemplo, cargas de viento, oleaje, cargas de tráfico, etc. En el caso de ensayos en laboratorio, se utilizan cargas artificiales de naturaleza aleatoria que simulen las condiciones reales de trabajo de la estructura.

5. PREDICCIÓN ANALÍTICA DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE VIGAS SANDWICH

Las vigas de vidrio laminado pueden considerarse vigas sándwich simétricas. Para el cálculo el vidrio de las capas externas se suele considerar un material elástico-lineal, mientras que la capa intermedia de PVB se considera un material viscoelástico-lineal, siendo sus módulos dependientes de la frecuencia y de la temperatura.

Paredes de metal y de cortina de cristal también han obtenido buenos resultados, probablemente debido a la fortaleza inherente del vidrio, la flexibilidad del conjunto del encuadre, la resistencia de los materiales de vidrio de retención y el relativamente pequeño tamaño de los paneles de vidrio [44].

2.17. RECICLADO.

Hoy en día la protección del medioambiente lleva implícita las palabras "recuperación" y/o "reciclado". Los países industrializados son grandes productores de desechos que no se pueden destruir de una manera sencilla y rápida. Los altos costes de eliminación de residuos obligan a los gobiernos a tomar medidas encaminadas a minimizar esos residuos y reducir su dependencia de las materias primas [45].

El **reciclaje** es un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales, macro económico y para eliminar de forma eficaz los desechos de los humanos que no necesitamos [46].

El reciclaje de una tonelada de periódico impide la liberación de 2,5 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, salva 17 árboles, ahorra 3 metros cúbicos de espacio en un vertedero y suficiente energía para calentar una casa media durante seis meses. Si se reciclan latas de aluminio se ahorra el 95 % de la energía necesaria para fabricar esas mismas latas, para empezar, y además se impide que se liberen a la atmósfera toneladas de dióxido de carbono.

Así que reciclar tiene sentido. Pero sólo puede ser efectivo si la gente además compra productos fabricados con materiales reciclados. Por suerte, hoy en día hay una gran variedad de esos productos.

El cartón y los periódicos reciclados pueden convertirse en cajas, artículos de papelería, pañuelos, toallitas de papel, servilletas, hueveras y servilletas, por ejemplo. El plástico reciclado se usa en productos nuevos, como tuberías de agua, alfombras, aislante para abrigos y sacos de dormir, botellas y recipientes, piezas para el coche y pinceles. El cristal reciclado se usa una y otra vez para nuevos recipientes de cristal y fibra de vidrio. El aluminio reciclado se usa para fabricar latas nuevas.

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan auto gestionarse de una manera fácil su medio ambiente.

Desde el punto de vista de su aplicación, el vidrio se clasifica en industrial (1) y doméstico (2).

(1) Se entiende como vidrio industrial el vidrio que no es utilizado como envase para productos alimenticios (almacenamiento de productos químicos, biológicos, vidrio plano: ventanas, cristales blindados, fibra óptica, bombillas, etc.)

(2) Se entiende como vidrio doméstico el que se emplea para almacenar productos alimenticios (conservas, vinos, yogures, etc.); aunque de una manera más generalizada, es el vidrio que el ciudadano deposita en los contenedores destinados a este fin.

Desde el punto de vista del color los más empleados son:

El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad en este último.

El claro (25%). Usado en bebidas gaseosas, cervezas, medicinales, perfumería y alimentación en general.

El extraclaro (10%). Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.

El opaco o ámbar (5%). Aplicado en cervezas y algunas botellas de laboratorio.

Más del 42 % del vidrio reciclado procede del doméstico, siendo el sector principal de producción de vidrio recuperable.

El reciclaje ha sido practicado por industrias estadounidenses, alemanas, japonesas, canadienses, daneses, francesas, y de otros países hace más de 20 años. En Alemania, el país productor de mayor cantidad de basura en Europa, las leyes obligan a las industrias a reciclar parte de sus desechos.

Como el proceso es muy costoso, las industrias están luchando por conseguir que parte de ese costo sea pagado por el consumidor. El reciclaje exige diversas condiciones, entre otras; los materiales deben estar limpios y separados del resto de la basura; los proveedores deben garantizar un mínimo del producto y éste tiene que ser entregado a plazos fijos.

El no cumplimiento de esas condiciones eleva el costo del reciclaje. En la mayoría de los países industrializados la separación de objetos comienza en el hogar. En sitios estratégicos, como mercados o centros comerciales, las personas depositan en recipientes especiales botellas de vidrio, latas vacías, papel y cartón.

Los productos de mayor demanda para ser reciclados se clasifican en celulósicos como papeles y cartones; fibras textiles de algodón, seda y lino; vidrio, plásticos y metales, principalmente aluminio y hierro. El más solicitado es el papel.

++Es importante señalar que el reciclaje de vidrio necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesitan unas 4.200 kilocalorías de energía. Además el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica que provocaría por el proceso habitual, y disminuye en un 40% la contaminación de agua.

Otro dato, la energía que se ahorra del procesamiento de una botella de cristal puede mantener encendida una bombilla de 100 watts durante 4 horas++.

2.17.1. DESARROLLO

El costo del reciclaje del vidrio es menor que el de cualquier otro por eso es un poco más requerido. Botellas, vasos y recipientes de alimentos son triturados y el material resultante es fundido, lo que permite darle nueva forma.

Las fábricas que practican el reciclaje compran a mejor precio el vidrio de un solo color, aunque actualmente está siendo fabricado, con vidrio de colores, un asfalto empleado en el revestimiento de carreteras. Este material, además de durable, confiere a la carretera un aspecto atractivo.

En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento. Esencialmente dicho proceso consiste en separar los elementos extraños que suelen acompañar al vidrio (papel, plásticos, corchos, piedras, metales, porcelana, etc.). La separación se realiza manualmente y/o con equipos específicos: imanes fijos para el hierro, ciclones para papeles y plásticos detector de metales no férricos por impulsos mecánicos "trimetau", captadores de cerámicas y piedras "sistema trioptic". En la actualidad, ya se está operando con equipo láser para separar todas las impurezas.

Además de la extracción de elementos extraños, el vidrio es inicialmente triturado, lavado y posteriormente cribado.

El objetivo de todos estos tratamientos es mejorar la calidad del vidrio con el fin de conseguir un alto rendimiento en los hornos de cocción.

2.17.2. MANERA DE RECICLAR EL VIDRIO

El primer paso en el proceso de reciclado de vidrio es la limpieza. Aunque el vidrio se encuentre mezclado en distintos colores, no influye para la producción de nuevos envases, ya que al vidrio de color, se le trata con decolorante.

Es por eso la importancia del blanco, ya que es más puro y minimiza el uso de decolorante.

En primer lugar se retira el grueso de plástico que contienen los envases, luego el vidrio es lavado en una especie de "lavarropas", el cual le va quitando los vestigios de tierra o de grasa que pueda poseer. Una vez que está limpio, va pasando por distintos tamices y martillos, en los que se va moliendo hasta lograr la granulometría necesaria. El próximo paso es por un recipiente especial con imanes donde quedan los vestigios de metal. Una vez finalizado este proceso, se funde en un horno a 1.600 grados centígrados en una proporción de 50% de vidrio reciclado y 50% de materia virgen para lograr, como resultado final, los nuevos envases de vidrio. El proceso desde que entra al horno, hasta lograr como resultado final nuevos envases de vidrio, dura 24 horas [45].

2.17.2.1. Envases Reutilizables y de Un Solo Uso

La utilización de envases reutilizables o de un solo uso, es una estricta decisión de mercado. El envase de vidrio, dando muestras de una extraordinaria sensibilidad y capacidad de sintonizar con los problemas de la sociedad actual, ha desarrollado de manera óptima las dos opciones: la reutilizable y la de un solo uso.

Ambas se complementan y, en todo caso, se soportan en un proceso eficaz de reciclado.

Los envases de un solo uso son prácticos para aquellos productos con alto valor añadido y en los que el precio del envase no tiene una gran importancia frente al valor total, tales como productos de alta calidad, destinados a la exportación, etc.

Por lo que se refiere a los reutilizables, se usan especialmente para productos de consumo frecuente, en los que podría ponerse en marcha una logística de distribución descentralizada. Desde ANFEVI siempre se ha defendido el principio de tanto reutilizable como sea posible, tanto de un solo uso como sea necesario.

2.17.2.2. EL PROCESO

La iniciativa pionera del reciclado de envases de vidrio responde a una profunda preocupación del sector vidriero por el medio ambiente. De esta forma, en 1982 la industria vidriera española integrada en ANFEVI puso en marcha, al igual que varios países del ámbito comunitario hicieron años antes, su Programa Nacional de Reciclado de Envases de Vidrio en estrecha colaboración con las Administraciones [48].

2.17.3. Cadena de reciclado

La cadena de reciclado posee varios pasos como lo siguiente:

- **Origen:** que puede ser doméstico o industrial.
- **Recuperación:** que puede ser realizada por empresas públicas o privadas. Consiste únicamente en la recolección y transporte de los residuos hacia el siguiente eslabón de la cadena.
- **Plantas de transferencia:** se trata de un eslabón o voluntario que no siempre se usa. Aquí se mezclan los residuos para realizar transportes mayores a menor costo (usando contenedores más grandes o compactadores más potentes).
- **Plantas de clasificación (o separación):** donde se clasifican los residuos y se separan los valorizables.
- **Reciclador final (o planta de valoración):** donde finalmente los residuos se reciclan (papeleras, plásticos, etc.), se almacenan (vertederos) o se usan para producción de energía (cementeras, biogás, etc.)

Para la separación en origen doméstico se usan contenedores de distintos colores ubicados en entornos urbanos o rurales:

- **Contenedor amarillo (envases):** En éste se deben depositar todo tipo de envases ligeros como los envases de plásticos (botellas, tarrinas, bolsas, bandejas, etc.), de latas (bebidas, conservas, etc.)
- **Contenedor azul (papel y cartón):** En este contenedor se deben depositar los envases de cartón (cajas, bandejas, etc.), así como los periódicos, revistas, papeles de envolver, propaganda, etc. Es aconsejable plegar las cajas de manera que ocupen el mínimo espacio dentro del contenedor.
- **Contenedor verde (vidrio):** En este contenedor se depositan envases de vidrio.
- **Contenedor gris (orgánico):** En él se depositan el resto de residuos que no tienen cabida en los grupos anteriores, fundamentalmente materia biodegradable.
- **Contenedor rojo (desechos peligrosos):** Como celulares, insecticidas, pilas o baterías, aceite comestible o de autos, jeringas, latas de aerosol, etc.

2.17.3.1. Las 3 "R"



Figura 2.17.3.1. Contenedores en donde se deposita, de manera separada la basura [46].

El reciclaje se inscribe en la estrategia de tratamiento de residuos de las Tres R.

- **Reducir**, acciones para reducir la producción de objetos susceptibles de convertirse en residuos.
- **Reutilizar**, acciones que permiten el volver a usar un determinado producto para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente.
- **Reciclar**, el conjunto de operaciones de recogida y tratamiento de residuos que permiten reintroducirlos en un ciclo de vida.

2.17.3.2. Beneficios

El reciclaje tiene tres consecuencias ecológicas principales:

- Reducción del volumen de residuos, y por lo tanto de la contaminación que causarían (algunas materias tardan decenas de años e incluso siglos en degradarse).
- Preservación de los recursos naturales, pues la materia reciclada se reutiliza.
- Reducción de costes asociados a la producción de nuevos bienes, ya que muchas veces el empleo de material reciclado supone un coste menor que el material virgen (como el HDPE reciclado o el cartón ondulado reciclado) [46].

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable, por lo tanto, no tienes que tirarlo a la basura.

Concretamente el envase de vidrio es 100% reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero.

El vidrio se clasifica según su color, entre los más comunes se encuentran el transparente, el verde y el azul. Una tonelada de vidrio reutilizada varias veces ahorra 117 barriles de petróleo.

Aunque el vidrio se elabora con materias primas relativamente baratas y abundantes (arena, sosa, cal), la extracción de los materiales provoca un impacto importante en el paisaje. Reciclar reduce este problema y también aleja el vidrio, un material que no se biodegrada, de los vertederos.

A lo largo de la historia, los restos de vidrio se han reutilizado de forma muy diversa. Por ejemplo, el cristal fundido sirve para hacer bisuterías, cortado en pequeñas piezas, para hacer vidrieras de colores. El creciente interés por el diseño ha hecho renacer la artesanía tradicional. El vidrio también puede reprocesarse en otros materiales; puede sustituir al cuarzo en la fabricación de porcelana de gran resistencia o utilizarse para fabricar aislantes.

Los vidrios que se pueden reciclar se distinguen en tres categorías:

- Botellas de bebidas (gaseosas, jugos, licores, vinos) enteras, es decir sin defectos. Estos pueden ser reutilizados por la misma empresa embotelladora y tienen un valor económico más alto. Esta retornabilidad significa un ahorro de energía, lo que es beneficioso para la empresa y para el medio ambiente.
- Envases (frascos) para cualquier tipo de alimento (conservas, mayonesa, yoghurt, jarabes, medicamentos, etc.), de perfumes o colonias y de aceite. Estos envases tienen que estar intactos también. Todos estos envases tienen su valor propio, por unidad.
- Vidrio roto, se entrega separado por kilo y por color.

Los vidrios que no sirven para el reciclaje son:

- Vidrio (roto) de auto (parabrisas)
- Vidrio (roto) de ventana
- Espejos
- Ampolletas y fluorescentes
- Lozas (que no son de vidrio) [47]

DIAGRAMA ACTUAL DE RECICLAJE DE ENVASES DE VIDRIO EN LA PLANTA DE VIDRIERA GUADALAJARA

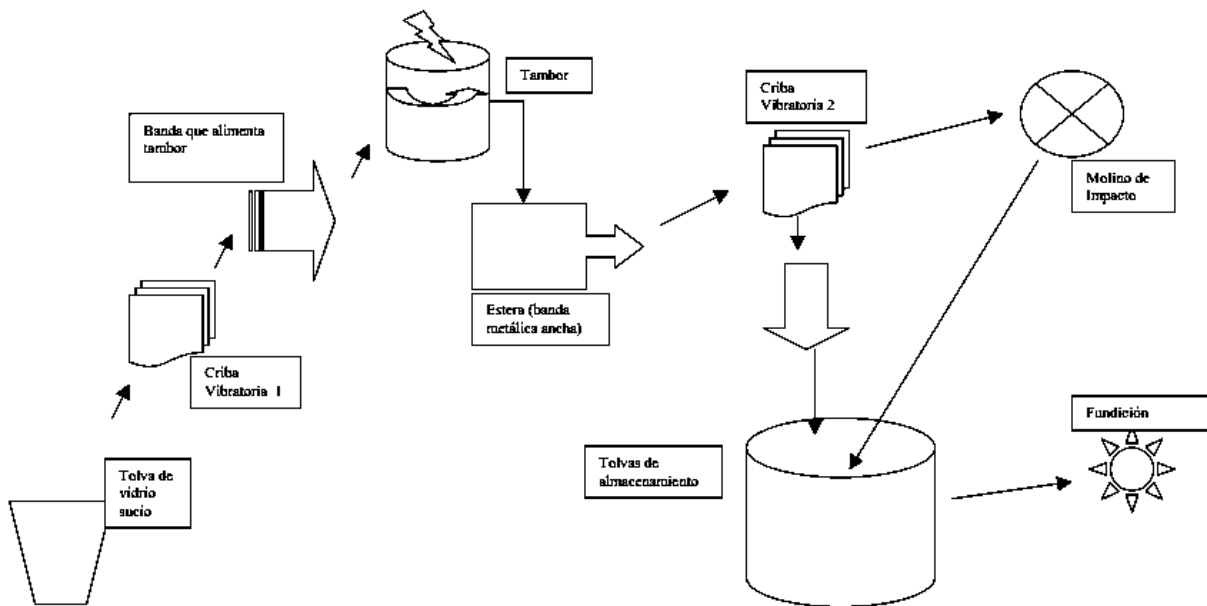


Figura 2.17.3.2. Diagrama del reciclaje [53].

2.17.3.3. EXPLICACION BREVE DEL PROCESO DE RECICLAJE

1.- Tolva de vidrio sucio.- Parte inicial del proceso de reciclaje de vidrio en la cual se deposita por medio de montacargas el vidrio. Las tolvas receptoras de vidrio sucio almacenan aproximadamente 26 toneladas de vidrio cada una; cada tolva cuenta con una compuerta tipo almeja, un vibrador con selector de intensidad para posicionar según se requiera el flujo de vidrio sucio para obtener la calidad y cantidad de vidrio lavado. (Cabe mencionar, que tal vidrio ya está clasificado por color; actividad que realizan los centros de acopio y que surten)

2.- Criba vibratoria 1.- La criba vibratoria es una placa de acero perforada que deberá ser constantemente limpiada, esta limpieza la realiza la persona colocada en esta área, que además lleva a cabo la eliminación de basura detectable fácilmente (estopa entera, cartón, plástico, madera, etc.) así como el quebrado de la botella entera vacía, los envases de vidrio que contienen líquido y están cerrados (refrescos gasificados, cerveza, etc.) no deberán quebrarse manualmente, sino ser desalojados del proceso como basura para evitar posibles accidentes al explotar, los materiales que pasan la malla, caen al interior de la caja de la criba, donde posteriormente son llevados por un gusano o transportador helicoidal hasta el elevador de basura.

3.- Banda que alimenta al tambor.- La alimentación de vidrio al tambor se hace por una banda inclinada, que cuenta con una polea magnética al final, que elimina contaminantes magnéticos.

Estos son enviados por una banda corta hasta la banda que alimenta al elevador de basura, además se cuenta con un ventilador ubicado en la descarga de la banda inclinada a la boca del tambor de lavado, que elimina el papel y material ligero [53].

- El producto menor de 10 mm se da por terminado y pasa a la sección de almacenamiento.

- El producto mayor de 60 mm es triturado en un molino de martillos y posteriormente cribado, separando los objetos de menor densidad (corchos, cápsulas, tapones,...) del resto. El producto obtenido se reenvía al inicio del proceso repetidas veces hasta conseguir separar el vidrio de las impurezas.

- El producto de tamaño comprendido entre 10 y 60 mm. es sometido a un proceso de selección óptica según se detalla a continuación [48].

4.- Tambor.- En el tambor se lleva a cabo el lavado del vidrio sucio, tiene en su interior forma de espiral que: a).- sirve como transportador del vidrio hacia la estera (banda metálica ancha) de pepenado; b).- ayuda a mezclar de una manera eficiente el vidrio con el agua de lavado que recibe a contracorriente; c).- ayuda a quitar los filos en el vidrio al estar el tambor en movimiento, el tambor gira sobre su eje con la ayuda de unos volantes o ruedas de acero. El agua de lavado es limpiada y recirculada por la planta de tratamiento de agua.

5.- Estera (banda de pepenado).- La estera es una banda metálica de aproximadamente 2.30m de ancho, que gira sobre un rodillo en una distancia de 10 m. aprox. En este punto se pepean manualmente los contaminantes que no pudieron ser eliminados en los pasos anteriores. Será responsabilidad de las personas que laboren en esta área separar manualmente todo tipo de contaminante que no sea vidrio (en caso de vidrio cristalino se deberá separar el vidrio de otro color). El material eliminado es llevado por medio de un gusano o transportador helicoidal hasta la banda que alimenta al elevador de basura.

6.- Criba vibratoria 2.- Criba de vidrio lavado es alimentada por la estera de pepenado, que es un transportador de tipo vibratorio que funciona también como un separador de tamaños, pasando por la placa perforada vidrio de dimensiones menores a 1 pulgada (diámetro de los orificios de la placa) que alimenta a la banda de alimentación al elevador de vidrio lavado. El vidrio de dimensiones mayores de 1" pasa a la banda que alimenta al molino de impacto que lo reduce de tamaño.

7.- El vidrio es transportado mediante vibración a través de un canal distribuidor con cuatro salidas, por las que cae en función de su tamaño. A continuación pasa por unos canales de alimentación, donde por medio de vibraciones se orientan los trozos en la posición idónea para ser procesados por las unidades de clasificación óptica.

Las unidades de clasificación óptica distinguen el vidrio roto destinado a ser reutilizado, de los trozos de cerámica, piedras, porcelana y metal no férreo. Cada unidad dispone de unas boquillas de expulsión por aire comprimido, gobernadas por un módulo electrónico capaz de diferenciar la opacidad o transparencia de las partículas que pasan por su campo de acción.

Las partículas de transparencia prefijada se toman como vidrio recuperado y se envían a la sección de almacenamiento. Las partículas rechazadas son sometidas a un segundo escalón de clasificación, dando como resultado material rechazado que se envía al silo correspondiente, o material dudoso que se reenvía al inicio del proceso para su reclasificación [49].

8.- Molino de impacto.- Área en la cual las partes de vidrio mayores de 1 pulgada son reducidas a un área menor a la misma por medio de un juego de paletas metálicas. El vidrio molido pasa por una banda de retorno hasta la banda que alimenta al elevador de vidrio lavado. El personal aquí colocado retira manualmente impurezas que no se hayan logrado retirar en los pasos anteriores.

9.- Tolvas de almacenamiento.- Del elevador de vidrio lavado, el vidrio molido pasa por una banda que alimenta a las tolvas de almacenamiento de vidrio lavado. Estas tolvas tienen una capacidad de aproximadamente 42 toneladas cada una. En ocasiones se coloca una persona en la banda aérea de vidrio lavado que retira manualmente impurezas [53].

La basura recolectada en las diferentes corrientes concurre en la banda de alimentación de basura al elevador que la deposita en la tolva de basura y se desaloja por medio de un camión de volteo a un lugar apropiado.

2.17.3.4. AREAS DE OPORTUNIDAD

1.- Para iniciar, los depósitos de vidrio por parte de los proveedores están muy lejos de las tolvas iniciales del proceso de reciclaje y lavado de vidrio sucio (aproximadamente 100 metros) y el montacargas realiza cada operación en 15 minutos promedio.

2.- La cantidad de flujo de vidrio en todo el proceso de reciclaje no es confiable.

3.- El proceso continua trabajando en todas las partes, aún cuando se interrumpa el abastecimiento.

4.- La cantidad de agua de lavado no se puede regular y el proceso de reciclaje requiere una mejor configuración

5.- Deficiente separación de artículos ajenos al vidrio aún con 8 personas en el proceso (7 pepenadores y un supervisor) y todavía es factible que al final del proceso existan objetos ajenos al vidrio.

6.- Capacidad de ventilador insuficiente en la banda que alimenta al tambor, pues algunos materiales ligeros no los expulsa (probado físicamente).

7.- El molino de impacto no reduce algunas piezas de vidrio a dimensiones por debajo de 1 pulgada

2.17.3.5. PROPUESTAS DE MEJORA

1.- Es conveniente diseñar y acondicionar un área cerrada (no exista contaminación) para depositar el vidrio sucio por parte de los proveedores a una distancia menor de 30 metros a las tolvas de vidrio sucio (el montacargas realizaría el ciclo de descarga en aprox. 5 minutos).

2.- Es conveniente instalar un sistema de automatización (por medio de sensores, o algún otro concepto) a todo el proceso para que éste pueda trabajar en cada fase de toda la operación conforme la cantidad de flujo abastecido en la anterior operación, y que cuando no exista dicho flujo el sistema entre en “stand by”.

3.- Instalar un sistema automático de regulación de agua de lavado de vidrio en función de la cantidad de vidrio.

4.- Es conveniente la instalación de un “bypass” con su respectivo filtro en el proceso del agua de lavado de vidrio para poder detener algún contaminante húmedo y que no se interrumpa el flujo de lavado.

5.- Proponer a los proveedores un mejor precio de compra de residuos de vidrio en función de mejor limpieza y de esta manera eliminar mano de obra en el proceso inicialmente de 30% y evaluar posteriormente el incremento de dicho porcentaje, colocando al inicio del proceso a dicho personal para eliminar las impurezas al principio del flujo y el resto colocado estratégicamente

6.- Investigar a alguna planta recicladora de vidrio que utilice el sistema de equipo láser y realizar análisis de inversión y factibilidad para su aplicación en áreas de eliminación de objetos ajenos al vidrio (principalmente en áreas de esteras)

7.- Urge que se incremente la capacidad del ventilador en la banda que alimenta al tambor, con el motor que actualmente tiene (3 HP) no está siendo eficiente, se propone un motor eléctrico de 5 HP.

8.- Por las fallas que está presentando el molino de impacto se recomienda cambiar las paletas de fierro vaciado a un acero con mejor dureza o una reducción en el período de tiempo para cambiar las paletas (ver análisis costo beneficio en la siguiente página) [53].

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

CONCEPTO	PROPUESTAS DE INVERSIÓN (pesos)				TIEMPO DE RECUPERACIÓN
	INICIAL	3er MES	6o MES	1 AÑO	
1.- Reubicación de área de vidrio sucio cerca de tolvas	8,500	0	0	0	1 año
2.- Instalación de sistema de automatización en el proceso	30,000	4,000	8,000	8,000	3.5 años
3.- Instalar sistema automático de regulación de agua	7,500	2,500	5,000	0	1.5 años
4.- Instalación de "by pass" y filtro en proceso de lavado	6,000	0	0	0	6 meses
5.- Propuesta de precio a proveedores y reducción de mano de obra	0	45,000	45,000	90,000	2 años
6.- Instalación de sistema de equipo láser en áreas de esteras	40,000	0	25,000	25,000	4 años
7.- Instalar motor eléctrico de 5 HP en ventilador	2,000	0	0	0	8 meses
8.- Aplicar tratamiento térmico a paletas de molino (cambio cada 6 meses)	8,000	0	8,000	8,000	1 año
9.- Reducir período de cambio de paletas de 3 meses a 1.5 meses	2,000	10,000	10,000	20,000	No aplicar, puesto que es mejor el punto 8

Tabla 2.17.3.5.1. Análisis de los costos con respecto al reciclado del vidrio [53].

NOTAS:

1.- Las cotizaciones se hicieron con los siguientes participantes:

- a.- Asesoría Técnica y Métodos Automáticos.
- b.- Automatización y robótica industrial.
- c.- Diseños especializados y componentes de orden.
- d.- Marcos Villagrán especialistas.

2.- En el concepto 5, al proporcionar un mejor precio de compra de vidrio a los proveedores nos irá reduciendo la nómina, por lo que; la relación costo/gasto será proporcional

3.- Después del tiempo de recuperación de la inversión, se continuará obteniendo un ahorro considerable con la aplicación de cada uno de los puntos, puesto que se está comparando contra el gasto actual.

2.17.3.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para empezar, el concepto del reciclaje en nuestro país necesita un mejor apoyo e impulso por nuestro gobierno y por cada uno de nosotros; es importante y estamos a tiempo de reflexionar de lo que pudiera representar en el futuro si a partir de este momento iniciáramos una conciencia de reciclaje o de no reciclaje, reflexionemos y hagamos lo que creamos conveniente iniciando por nuestra persona.

En la actualidad el reciclaje de vidrio es acaparado en nuestro país por una pequeña cantidad de centros de acopio; sin embargo las grandes empresas como VITRO regularmente trabajan en campañas de recolección y dicha organización recolecta actualmente en todo México el 24 % del vidrio que se recicla.

Los conceptos de mejora continúan en todos los procesos industriales de nuestro país y en la zona occidental del planeta generalmente no se implantan por una serie de causas que van desde la cultura del personal, el poco involucramiento de la alta dirección, la gerencia media y por consecuencia el nivel operativo. No así en la región oriental en la cual este tipo de prácticas las convierten en hábitos.

Si es difícil la conciencia de reciclaje en México y es difícil la implantación de sistemas de mejora en las organizaciones; imaginemos lo difícil que será la implantación constante de un hábito de mejora continua en un proceso de reciclaje de vidrio. Difícil, pero, de eso se trata el reto a fin de cuentas nadie dijo que fuera sencillo, por lo que, como se comenta al principio de la hoja necesitamos iniciar con una reflexión y concientización.

La investigación sigue avanzando y cada día se preparan a personas en las aulas para atacar el problema de la contaminación de los diferentes productos que pueden ser reciclables pero que no se realiza. Actualmente se está desarrollando un proceso de elaboración de envases en material llamado “fécula de maíz”, a corto o mediano plazo probablemente veremos envasados productos alimenticios en este tipo de material y que por suerte es biodegradable.

Por lo pronto y mientras se desarrollan nuevas tecnologías vamos trabajando en la contribución de nuestras ideas como apoyar a las industrias del reciclaje de cualquier tipo de producto, pensando en un mejor país, una mejor empresa, un mejor ambiente y por consecuencia un mejor lugar para vivir [53].

2.17.3.7. CARACTERÍSTICAS

El reciclado de productos es una de las vías que garantiza firmemente la salvaguarda del medio ambiente. **Reciclar** significa **volver al ciclo**; así, para que el reciclado de un material sea verdaderamente ecológico y garantice la protección del entorno, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Que el material obtenido pueda ser utilizado de nuevo íntegramente.
- Que el nuevo material mantenga al 100% sus cualidades.

- Que el material resultante se utilice para fabricar el mismo producto del que proviene.

Estas condiciones son cumplidas a la perfección por el envase de vidrio. De esta forma, este material es el envase ecológico por naturaleza. Además, el reciclado de envases de vidrio conlleva unos beneficios económicos y sociales, que se pueden resumir en de idénticas características [47].

El proceso de reciclado de envases de vidrio es sencillo. Las botellas y tarros que se producen en la fábrica de envases de vidrio, son trasladados a la planta envasadora donde se llenan y utilizan para contener alimentos y bebidas. Dichos alimentos y bebidas, ya envasados, tienen como destino los canales de distribución. Desde estos lugares, los productos envasados son adquiridos bien directamente por el ciudadano, bien por el sector hostelero teniendo como destino final, en ambos casos, el consumo humano. Una actividad compartida por las plantas envasadoras -a partir de envases reutilizados el número óptimo de veces y posibles roturas, el sector hostelero y los consumidores es el depósito en los iglúes de botellas y tarros que han concluido su ciclo de uso. Todos estos envases de vidrio ponen en marcha el proceso conocido como reciclado, consiste en la recogida de los envases, separación de objetos extraños y triturados del vidrio, obteniendo el "**casco de vidrio**". Este material, como una materia prima, se funde con el resto de la arena, sosa y caliza para la fabricación de idénticos envases de vidrio, de tal forma que las botellas y tarros que incorporan casco de vidrio, siempre son nuevos [48].



Figura 2.17.3.3. Nuevos envases, después de un proceso de reciclado [48].



Figura 2.17.3.4. Circuito del proceso de la restauración y/o reciclado [48].

2.18. Recuperación y reciclado del Vidrio



Figura 2.18.0.1. Proceso de separación y remoción de botellas [52].

El proceso de fabricar vidrio original requiere de una gran cantidad de energía y recursos naturales. Por tal motivo su reutilización o su reciclaje, es ecológico y ambientalmente necesario.

2.18.1. Recolección en la fuente.



Figura 2.18.1.1. Separación primaria de los residuos [52].

Como consumidores responsables debemos empezar el proceso de reciclaje desde nuestras casas, oficinas, sitios de trabajo, parques, centros recreacionales, centros comerciales, etc.



Figura 2.18.1.2. Separación debida de los residuos sólidos [52].

El proceso de reciclado del vidrio comienza con la recolección selectiva del vidrio en el origen o fuente, es decir, antes de su incorporación al depósito o contenedor de residuos.

No importa dónde nos encontremos siempre debemos depositar los envases de vidrio en las bolsas o en los recipientes destinados para ello.

En lo posible:

- El vidrio debe ser clasificado y depositado por colores. De lo contrario, durante el proceso de fundido se pueden producir mezclas de colores.
- Los cuellos y tapas metálicas deben ser removidos, porque contaminan el proceso.

2.18.2. Almacenamiento. Luego de la recogida selectiva los envases son almacenados en unos contenedores especiales en los que los vecinos de cada cuadra, barrio o municipio depositan voluntariamente los envases de vidrio usados. En los sitios en los cuales todavía no se han instalado depósitos especiales, los usuarios deben depositarlos en bolsas debidamente marcadas.

2.18.2.1. EN LOS CONTENEDORES DE VIDRIO NO SE DEPOSITAN:

Reciclar vidrio no es más que convertir los envases usados en otros nuevos. Así de simple. Pero, para conseguirlo, se lleva a cabo un complejo proceso que sería más sencillo si todos pusiéramos algo de nuestra parte.

Para empezar es importante NO arrojar los siguientes elementos a los contenedores o a las bolsas:

- Cristales de ventanas, bombillas eléctricas, fluorescentes o vitrocerámica ya que estos cristales están hechos a partir de mezclas de diferentes materiales por lo que es imposible reciclarlos junto con el vidrio normal.

- Espejos, Lentes, Ceniceros, Cristal de Plomo.
- Farolas de Autos Vidrios de las luces traseras y direccionales de vehículos.
- Ventanas y parabrisas de automóviles o camiones.
- Objetos de vidrio de color fuerte.
- Vidrio revestido de alambre.
- Envases de medicamentos, ampollas, jeringas, cristal de laboratorio.
- Cualquier elemento de vidrio o cristal (vasos, ventanas, etc) que no sea un envase.
- Objetos y adornos de cerámica, porcelanas, ladrillos y piedras (50 grs. de porcelana mezclada con vidrio, puede hacer que todo el vidrio recogido por un camión haya que desecharse). Las cerámicas y el vidrio fluorado (material de muchas vajillas), son un problema ya que aunque son materiales que se funden, lo hacen a una temperatura MAYOR que la del vidrio.

MATERIALES NO APROVECHABLES

VIDRIO

- Lámparas fluorescentes
- Tubos de televisión y monitores de computadoras
- Vidrios de espejos
- Material de laboratorio



Figura 2.18.1.3. Materiales que pueden ser dañinos y no recuperables [52].

- Tapas y tapones
- Monitores de televisión o PC. El tubo de rayos catódicos se divide en vidrio de la pantalla (compuesto de bario y estroncio) y en vidrio cónico del embudo (con alto contenido en plomo). Para la separación y el reciclaje de estos vidrios se utilizan métodos mecánicos y térmicos, combinados con métodos químicos para la recuperación de polvos de metales, los cual sólo es posible en las plantas de reciclaje modernas.

Para una empresa pequeña el separar el vidrio de las impurezas (plomo, bario, estroncio, etc), puede ser más costoso que el beneficio o utilidad a obtener, e implica hacer un juicioso estudio: costo-beneficio. En estos casos es aconsejable llevar dichos elementos directamente a una planta de tratamiento de residuos electrónicos (RAEE).

2.18.2.2. SÍ SE DEPOSITAN:

> Botellas de vidrio.

> Tarros y frascos de vidrio.

2.18.3. Transporte a los centros de almacenamiento: Los depósitos para el vidrio (llamados también iglúes) se recogen periódicamente, llevando el vidrio a las plantas de tratamiento.

En los lugares donde aun no se cuenta con una política adecuada en cuanto a la Gestión de Residuos, la principal fuente de abastecimiento de los tradicionales centros intermediarios para el almacenamiento y acopio de material reciclable continúan siendo (desde hace muchos años) los recicladores informales y “botelleros” que recorren las calles pregonando su oferta de comprar botellas, metales (hierros viejos), papel y cualquier otro elemento usado recuperable.

En Colombia se le paga al reciclador informal entre \$30 y \$50 por kg de vidrio. (Entre 2 y 3 centavos de dólar). Una gran diferencia con el papel, el cual se paga entre \$100 y \$150 por kg. (Entre 5 y 8 centavos de dólar).

2.18.4. Lavado y Triturado. En estas plantas o bodegas, se limpia y se tritura el vidrio, acondicionándolo a una granulometría, que dará como resultado el casco o calcín, que servirá de materia prima para la fabricación de nuevos envases.

2.18.5. Procesamiento Final. El casco o calcín se traslada a la fábricas de envases de vidrio donde, mezclándose con el resto de las materias primas, se funde en los hornos para producir nuevos envases con exactamente las mismas características de los originales.

Así, el material se ha aprovechado al 100%, no ha sufrido pérdidas en el proceso y se utiliza para fabricar el mismo producto.

Por ello, se afirma que el sistema de reciclado del vidrio es totalmente respetuoso con el medio ambiente, ya que posee un reciclado integral, cerrando el ciclo:

Envase -> consumo -> reciclado -> envase

de una manera indefinida en el tiempo.

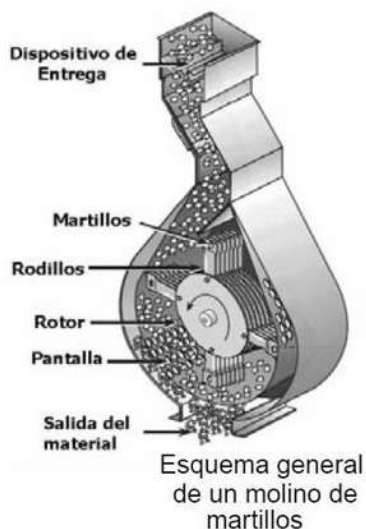


Figura 2.18.1.4. Molino de martillo [52].



Figura 2.18.1.5. Circulo del reciclado del vidrio [52].

Procesamiento final para obtener vidrio reciclado

Figura 2.18.1.6. Procedimiento de reciclado [52].



2.18.6. Productos de vidrio reciclado

Los productos de vidrio reciclado se pueden agrupar en función del sector donde se van a utilizar:

a) Productos para obras civiles.

Construcción (asfaltos, hormigones, pinturas reflectantes para señalización vial horizontal, abrasivos para la limpieza de fachadas).

Mobiliario urbano (bancos, fuentes, alcorques drenantes, pilones para el amortiguamiento de impactos).

b) Productos para la edificación.

Tierras (losetas con propiedades antideslizantes y de baja absorción de humedad, cemento para fabricar pavimentos continuos).

Cubrimientos aislantes (térmico, acústico).

Revestimientos (baldosas de vidrio).

Barandillas.

Encimeras para lavabos.

Picas para lavabos.

c) Productos para otras aplicaciones.

Productos para extinción de incendios (polvo de vidrio).

Resinas sintéticas reforzadas.

No se incluyen los productos que tradicionalmente han incorporado vidrio reciclado como son, por ejemplo, los envases, las cerámicas (porcelanas, baldosas vidriadas, esmaltes, etc.) [49].

En México se producen alrededor de 40 millones de toneladas de basura anuales, del cual solo se recicla en 8 % del total, lo que significa que se recupera 3 200 000 toneladas al año en el país. La basura que Michoacán genera es el 3.1 % del total nacional, lo que equivale a 1 240 000 toneladas anuales, aunque en el estado se recicla el 12 % de vidrio, quiere decir que en el estado se recicla 148 800 toneladas anuales de vidrio.

2.19. Reciclaje del PVB.

2.19.1. Antecedentes y problemática medioambiental

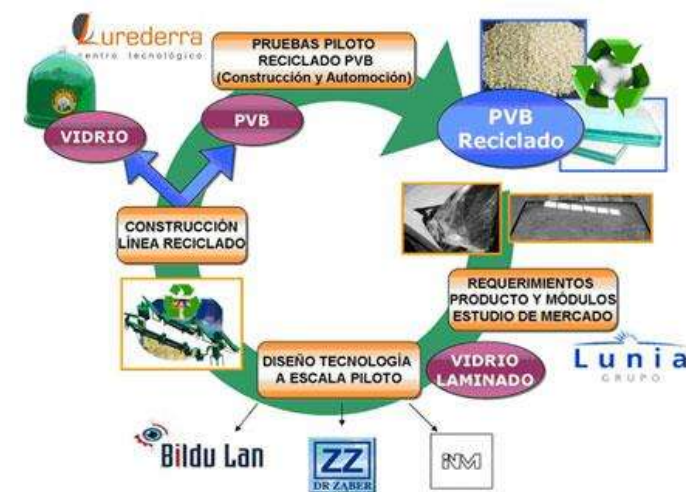
Actualmente, según datos de la Comisión Europea se calcula que entre 8 y 9 millones de vehículos son desechados cada año en Europa. En España, esta cifra alcanza los 800.000 vehículos al año con un incremento anual del 6%. Uno de los aspectos importantes a destacar, relacionado directamente con el proyecto RECYCLED-PVB, es que el vidrio laminado constituye aproximadamente el 3% del material total en los vehículos al finalizar su vida útil. Este vidrio laminado supone un residuo de unas 480.000 toneladas anuales en Europa proveniente sólo de automóviles fuera de uso.

Ante esta situación, el Centro Tecnológico Lurederra detectó un gran vacío en el reciclado del vidrio laminado, que podía ser solucionada mediante la aplicación de nuevas tecnologías avanzadas.

Tras alcanzar exitosos resultados a nivel de laboratorio para el proceso de reciclado y purificación del PVB y debido a la novedad del proceso, Lurederra obtuvo en 2009 una patente a nivel mundial titulada "PROCEDIMIENTO PARA EL RECICLADO DE POLIVINILBUTIRAL".

El desarrollo de la planta piloto demostrativa de reciclado de PVB supone una gran relevancia respecto a diferentes aspectos. En primer lugar, ofrece beneficios económicos ya que el costo de producción del PVB purificado alcanzará valores de 4 y 5 €/Kg, en contrapartida con el costo actual del PVB virgen, que se sitúa entre 9 y 13 €/kg. Otro aspecto destacado es que se obtiene un producto reciclado con similares propiedades técnicas al material virgen y éste puede ser destinado para aplicaciones primarias (fabricación de vidrio laminado), en contraposición a lo que actualmente sucede con la gestión de los residuos de PVB.

Por lo tanto, la planta piloto demostrativa implicará la existencia de una tecnología innovadora para el reciclado de vidrio laminado, que mejorará medioambientalmente todos los procesos existentes, añadiendo un alto valor industrial y una gran eficiencia económica.



Actividades principales y participación de los beneficiarios

Figura 2.19.1.1. Secuencia de reciclado del PVB [50].

2.19.2. Resultados esperados

- Desarrollo y optimización de una planta piloto demostrativa viable técnica y económicamente para el reciclado del PVB procedente de vidrio laminado (sectores: construcción y automovilístico) con capacidad de tratamiento de 20 Kg/h.
- Obtener PVB reciclado, a partir de PVB post-consumo, con las características técnicas adecuadas para su posterior uso en vidrio laminado y con menor coste que el PVB virgen. Para ello durante el proyecto se realizarán pruebas con aproximadamente 30.000 Kg de vidrio laminado lo que supone 3.000 Kg de PVB.
- Adquirir un gran conocimiento del procesado y purificación del PVB post-consumo a escala piloto para su posterior extrapolación a escala semi-industrial.
- Establecer buenas prácticas de gestión y medioambientales a través de la experiencia adquirida durante el desarrollo de la planta piloto demostrativa de reciclado de PVB.
- Contribuir con el medio ambiente cumpliendo la Directiva 2000/53/CE Europea que establece, que el nivel de recuperación de VFU debe ser hasta un 95% en 2015, con un 85% de la pieza y materiales y un 10% de los desechos energéticos [50].



Figura 2.19.1.2. Diferencia entre un PVB usado y el resultado después de su reciclado [50].

2.20. DEFINICIÓN DE LED

INTRODUCCIÓN

Durante más de 120 años las lámparas incandescentes han iluminado nuestras vidas, sobre todo durante las noches, proporcionando luz artificial en calles, fábricas, comercios, hospitales, oficinas e infinidad de sitios más, incluyendo nuestros hogares.

Se puede afirmar que el invento de la lámpara incandescente de Edison en 1878 contribuyó en gran medida al avance de la humanidad, pues a partir de entonces el hombre ha podido mejorar su calidad de vida al prescindir en buena medida de velas, lámparas de gas, o de aceite, para alumbrar las estancias y lugares públicos, tanto de día como de noche, sobre todo en ciudades, poblaciones y zonas agrícolas que cuentan con suministro de corriente eléctrica.

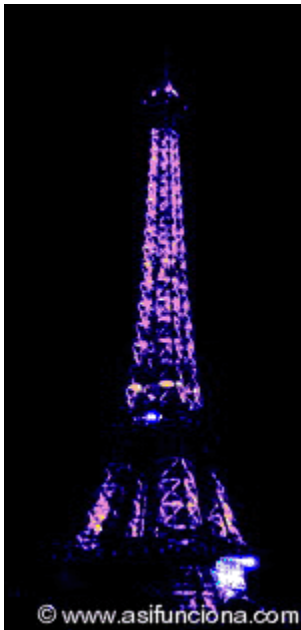


Figura 2.20.1. La torre Eiffel, al igual que otros muchos monumentos y edificios, en la actualidad se ilumina exteriormente por las noches empleando diodos LEDs [76].



Figura 2.20.2. Lámpara incandescente Edison, en vías de extinción desde 2008. Está lámpara está siendo sustituida por otros tipos de menos consumo energético y más eficientes [76].

No obstante haber sido utilizada diariamente desde su invención hasta nuestros días, la lámpara incandescente ha resultado ser extremadamente ineficiente, pues sólo el 10% de la energía que consume se convierte en luz, mientras el 90% restante se pierde, liberándose al medio ambiente en forma de calor con muy poca o casi nula utilidad práctica. Como consecuencia, al consumir las lámparas incandescentes más energía de la necesaria para convertir la electricidad en luz, las

centrales eléctricas tienen que quemar más carbón o petróleo para generar la corriente eléctrica necesaria con el fin de satisfacer la demanda de los consumidores, liberándose por ese concepto una gran cantidad de CO₂ a la atmósfera, lo que incrementa aún más el calentamiento global.



Figura 2.20.3. En la foto se puede ver un tubo fluorescente recto de 20 watt (W) de consumo (equivalente al flujo luminoso propio de una lámpara incandescente de 100 watt). Los tubos rectos y redondos de luz fluorescente tienen aún hoy en día un amplio uso en comercios y hogares en todo el mundo [76].

Sin embargo, el despilfarro energético de las lámparas incandescentes ha preocupado desde hace varios años a la comunidad científica internacional, la que se ha volcado en desarrollar otros tipos de lámparas más eficientes. Las primeras lámparas que cumplieron y cumplen todavía con esa finalidad son las fluorescentes, desarrolladas en el año 1938 con un mayor rendimiento energético en comparación con las incandescentes. Las lámparas fluorescentes proporcionan, además, mayor iluminación con menos consumo energético y sin calentarse tanto como las incandescentes.



Figura 2.20.4. Se creó inicialmente para uso como luces de posición en los aviones de combate, pasando después al ámbito civil. Su principio de funcionamiento es similar al de las lámparas incandescentes, ya que emplean filamento, pero son mucho más eficientes desde el punto de vista de la iluminación que producen y del menor consumo energético [76].

La invención posterior de las lámparas halógenas en la primera mitad de los años 50 del siglo pasado ofreció también la posibilidad de obtener mayor iluminación con algo menos de consumo eléctrico que las incandescentes, pero calentándose tanto como éstas, al poseer también filamento para convertir la corriente eléctrica en luz. En los últimos años del siglo pasado se desarrolló también otro tipo de lámpara fluorescentes ahorradora de corriente eléctrica denominada CFL (*Compact Fluorescent Lamp* – Lámpara Fluorescente Compacta). Esta lámpara es de menor tamaño que las fluorescentes convencionales y se fabrican para proporcionar una variedad de tonalidades de luz similar a la que ofrecen tanto las lámparas incandescentes como las fluorescentes, con la ventaja que la variedad de casquillos y conectores disponibles facilitan que se puedan instalar en cualquier portalámparas para sustituir una incandescente.



Figura 2.20.5. Lámpara CFL con casquillo de rosca. La variedad de lámparas disponibles de este tipo y los diferentes casquillos y conectores con que se pueden encontrar en el mercado facilita que cualquier lámpara incandescente se pueda sustituir por una CFL sin necesidad de cambiar el portalámparas [76].

Tanto las lámparas fluorescente como las ahorradoras CFL, aunque consumen mucho menos energía eléctrica que las incandescentes, tienen el inconveniente de contener mercurio (Hg) en su interior, metal pesado peligroso y altamente contaminante si al romperse el cristal exterior que recubre estas lámparas en un descuido o accidente casual se libera ese elemento químico al medio ambiente.

Con respecto a las lámparas incandescentes, de acuerdo con la normativa de eficiencia energética aprobada en Bruselas en el año 2008, desde ese mismo momento quedó prohibido fabricar más lámparas de ese tipo en lo adelante en la Unión Europea, previéndose que lo que se ha dado por denominar “apagón incandescente” termine en el año 2016. Después de aprobada dicha normativa en 2010 se dejaron de comercializar lámparas de 100 watt de ese tipo y en 2011 de 60 watt. A partir de septiembre de 2012 habrán desaparecido finalmente del mercado para siempre las últimas existentes de 40 y 25 watt.

2.20.1. LED, UN NUEVO TIPO DE LÁMPARA

El LED, acrónimo de “*Light Emitting Diode*”, o diodo emisor de luz de estado sólido (*solid state*), constituye un tipo especial de semiconductor, cuya característica principal es convertir en luz la corriente eléctrica de bajo voltaje que atraviesa su chip. Desde el punto de vista físico un LED común se presenta como un bulbo miniaturizado, carente de filamento o de cualquier otro tipo de elemento o material peligroso, con la ventaja sobre otras tecnologías que no contamina el medio ambiente.

En sus inicios el principal uso del primer diodo LED de luz visible de color rojo que se comercializó estuvo limitado a indicar solamente si un equipo o aparato eléctrico o electrónico se encontraba conectado a la fuente de suministro de corriente eléctrica, o en funcionamiento. Posteriormente este diodo comenzó a formar parte también de paneles informativos, aunque en sus inicios su uso estuvo muy limitado a otras aplicaciones prácticas debido a la escasa variedad de colores disponibles y su baja eficiencia lumínica.



Figura 2.20.6. Panel informativo compuesto por diodos LEDs, situado en una carretera para avisar en esta ocasión a los conductores la existencia de bancos de niebla [76].

En la actualidad los nuevos materiales desarrollados por los investigadores han permitido que se puedan reproducir todos los colores del espectro electromagnético visibles al ojo humano incluyendo el blanco, y los no visibles como el infrarrojo (IR) y el ultravioleta (UV). Al mismo tiempo se ha incrementado en varias veces la eficiencia lumínica de los LEDs hasta tal punto que hoy en día pueden llegar a superar en algunos casos la iluminación que normalmente proporciona una lámpara incandescente de más potencia en watt (W).

El color que emite cada diodo LED en particular depende principalmente del material semiconductor que se haya empleado en su fabricación. Cada compuesto químico propio del material semiconductor utilizado en la fabricación de un diodo LED permite la emisión de una luz de un color específico, correspondiente a una determinada longitud de onda del espectro electromagnético.

También se fabrican diodos LEDs emisores de rayos láser o luz coherente, de color rojo, verde o azul visible. Los dispositivos emisores de luz roja láser se utilizan ampliamente en función de punteros señalizadores en manos de profesores y conferencistas, así como en los equipos de grabación y reproducción de CDs y DVDs. El láser azul, por su parte, tiene un uso muy extendido en los equipos reproductores de películas en discos Blu Ray, que pueden almacenar mucha más información que un DVD, incluso que los que tienen doble capa.

Todos los diodos LEDs poseen una construcción sólida. La principal característica que los diferencia de otras fuentes de luz es que no poseen filamento ni partes frágiles de vidrio, lo que les permite absorber vibraciones extremas y golpes sin llegar a romperse ni estropearse. El chip emisor de luz es la parte principal de un LED y se encuentra encerrado en una envoltura o cápsula de resina epoxi transparente o también tintado del mismo color de la luz que emiten, pudiendo tener formas y tamaños diferentes. Desde el mismo chip que se encuentra encerrado en el interior de la cápsula parten dos terminales que atraviesan su base y salen al exterior para que se puedan conectar a un circuito eléctrico de corriente directa (C.D.), de forma tal que el LED quede polarizado directamente. Cuando el LED es nuevo, el terminal más corto corresponde al polo negativo (-) del chip, mientras el más largo corresponde al polo positivo (+).

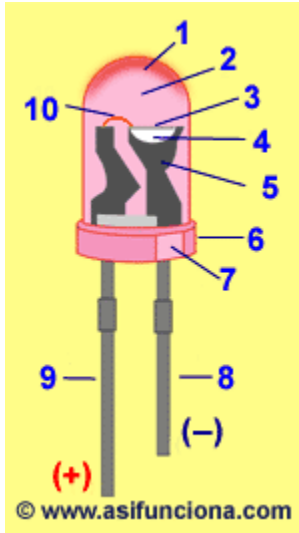


Figura 2.20.7. Partes que componen un LED común. 1.- Lente que forma parte del encapsulado o envoltura protectora del LED. 2.- Encapsulado de resina. epoxy (transparente o del mismo color de la luz que emite el chip). 3.- Chip o diodo semiconductor emisor de luz. 4.- Copa reflectora. 5.- Yunque. 6.- Base. 7.- Marca plana que identifica el terminal correspondiente al cátodo del chip. 8.- Terminal de conexión externa negativo (-) correspondiente al cátodo (de tamaño más corto que el conectado al ánodo). 9.- Terminal de conexión externa positivo (+) correspondiente al ánodo. 10.- Alambre de oro muy fino conectado al ánodo del chip y al terminal positivo de conexión externa [76].

De acuerdo con las características de funcionamiento de cada LED, el chip puede operar con una tensión o voltaje de polarización directa entre 1 y 4 V (volt) aproximadamente, con una corriente que fluctúa entre 10 y 40 mA (miliampere), que puede variar también de acuerdo con el tamaño y color de luz que emite cada uno en particular. La aplicación de un voltaje o corriente de trabajo por encima del valor establecido por el fabricante para cada diodo LED en particular puede llegar a acortar su vida útil, o también destruirlo.

A diferencia de las lámparas incandescentes, fluorescentes, halógenas y CFL que radian la luz en todas direcciones de forma uniforme, los LEDs la emiten a partir de la superficie superior del chip y la proyecta directamente en forma de cono, formando un ángulo entre 120 y 140 grados.

Los diodos LEDs tienen una vida útil extensa, de unas 50 mil horas aproximadamente, comparadas con las mil horas que poseen las lámparas incandescentes y las 10 mil de las fluorescentes. Al generar muy poco calor su eficiencia alcanza cerca del 85% de la energía consumida. Por tanto, por cada kilowatt-hora (kW-h) que consume un LED, las plantas termoeléctricas que generan la electricidad necesaria para satisfacer la demanda de los usuarios dejan de emitir al medio ambiente alrededor de 0,6 kg de CO₂ para obtener la misma iluminación que si utilizamos una lámpara incandescente de mucha mayor potencia y consumo en watt (W).

2.20.2. TIPOS DE LEDs

Los diodos LED se clasifican en cinco variantes:

- 1.- Estándar o común.
- 2.- De alta luminosidad.
- 3.- Agrupados.
- 4.- Matrices de LEDs.
- 5.- Agrupados como fuente de iluminación.

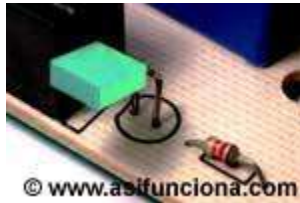


Figura 2.20.8. Diodos LED estándares o comunes. A la izquierda, con forma redondeada; a la derecha, con forma rectangular [76].

1- Estándar o común.- Este tipo diodo LED es el más comúnmente utilizado en la mayoría de los equipos eléctricos y electrónicos. Su forma más habitual es redondeada o cilíndrica con el extremo superior en forma de bóveda. Su diámetro puede variar entre los 3 y los 5 mm, aunque se pueden encontrar también con otras formas, como rectangulares, por ejemplo. Los diodos LEDs más comunes se fabrican, normalmente, de colores rojo, verde y amarillo.

2- De alta luminosidad.- Se asemejan mucho a los LEDs comunes, aunque pueden ser de mayor tamaño y sobre todo poseen más intensidad lumínica. Se fabrican con encapsulado transparente o con colores tenues. Pueden emitir luz roja, anaranjada, amarilla, verde, azul y blanca de acuerdo con la composición del chip. Se fabrican también con casquillo de rosca y bayoneta (presión) para colocarlos directamente en el portalámparas.



Figura 2.20.9. Conjunto de LEDs de alta luminosidad formando parte de una lámpara portátil de campismo [76].

3- Agrupados.- Se componen, generalmente, de dos o más LED's colocados dentro de la misma cápsula, lo que permite obtener variedad de colores en la luz que estos emiten. Cuando se agrupan solamente dos LEDs, cada uno de ellos emite un color independiente si se energizan por separado, pero cuando se encienden los dos juntos emiten otro color diferente. La combinación más frecuente consiste en integrar uno de color rojo y otro de color verde. Este tipo de LED lo encontramos comúnmente instalado, por ejemplo, en los cargadores de baterías. Cuando se coloca una batería para cargarla en uno de estos dispositivos, generalmente el LED emite luz de color rojo al comienzo de la carga, cambiando a luz verde cuando ésta se encuentra ya cargada.

Otra variante agrupada es la que contiene tres LED's para formar una triada "RGB" (*Red-Green-Blue*/Rojo-Verde-Azul). El tipo más común "RGB" tiene amplio uso en iluminación decorativa, pues generalmente se obtienen 16 combinaciones de colores diferentes, incluyendo el blanco. Los colores de este tipo de LED se pueden seleccionar y cambiar manualmente por medio de un mando remoto. En fachadas de edificios, ambientación y otros ornamentos, la variación de colores se puede controlar también por medio de ordenadores. Los diodos agrupados RGB se emplean igualmente para formar pantallas de televisión gigantes (tipo "*Jumbo*"), muy empleadas en espectáculos masivos al aire libre.

4- Matrices de diodos.- Constituyen agrupaciones de LED's colocadas en varias hileras siendo muy utilizadas en paneles informativos alfanuméricos (para formar números y letras). La agrupación más común es la de LED's rojos, aunque las hay que muestran también la información en otros colores. Otra aplicación de las matrices de diodos son los "displays" de 7 segmentos. En algunos equipos de sonido se emplean también matrices de diodos en sustitución del antiguo vúmetro analógico, con la finalidad de medir, de forma digital, los decibeles o niveles de audio, siendo muy utilizado en los mezcladores de sonido.



***Figura 2.20.10.** Display de matriz de diodos numérica, muy utilizada para mostrar la frecuencia sintonizada en los radiorreceptores o mostrar la hora en los relojes digitales [76].*

5- Fuente de iluminación.- De un tiempo a esta parte, la tecnología de los diodos LEDs ha experimentado un gran avance hasta tal punto que actualmente se pueden sustituir las lámparas incandescentes por lámparas LED en una gran variedad de aplicaciones de iluminación en general. En el mercado se pueden encontrar para uso doméstico con potencias que van desde 1 a 25 watt (W), equivalentes a lámparas incandescente entre 10 y 150 watt y con tonalidades o temperatura de color parecidas a las que se obtienen con las lámparas ahorradoras CFL. Para alcanzar la potencia en watt (W) requerida, se agrupan varios LEDs. Las lámparas de este tipo que emiten una luz más potente están provistas con un disipador de calor y con casquillo de rosca, de presión, u otro tipo de conector similar para que se pueda retirar la lámpara incandescente o halógena del porta lámpara y sustituirla directamente por una lámpara LED, sin que sea necesario sustituir el portalámparas ni realizar ninguna otra adaptación previa.

Al igual que las lámparas ahorradoras CFL, las lámparas LED están provistas de un controlador encargado de regular la tensión y corriente que fluye a través de los chips que componen la lámpara.



Figura 2.20.11. Diodos emisores de una intensidad mayor de luz se están empleando actualmente como fuentes de iluminación de uso general. En muchos casos físicamente son muy parecidos a las lámparas incandescentes y halógenas, por lo que se puede sustituir directamente cualquier lámpara de esos tipos por una formada por LEDs. En la foto de la izquierda se puede observar una lámpara incandescente tradicional situada junto a otra formada por un conjunto de LEDs emisores de luz blanca. Ambas utilizan el mismo tipo de casquillo más comúnmente empleado de rosca tipo “Edison” o E-27. En la foto de la derecha aparece otra lámpara del tipo dicroica, integrada también por un conjunto de LEDs emisores de luz blanca y casquillo de rosca tipo E-14, de menor diámetro que el casquillo de rosca común [76].

A continuación se muestran dos tablas. La primera compara los watts de consumo existentes entre una lámpara LED, una incandescente y otra ahorradora CFL para obtener la misma iluminación, así como el correspondiente flujo luminoso en lúmenes (lm). La segunda tabla muestra la clasificación de los diferentes tipos de luz que se pueden encontrar en las lámparas LEDs de alta intensidad para iluminación en general y las tonalidades o temperatura de color de luz blanca correspondiente, medida en grados Kelvin (°K).

TABLA 2.20.1. TABLA DE COMPARACIÓN DE CONSUMO DE LAS LÁMPARAS LED CON OTROS TIPOS DE LÁMPARAS [76].

Consumo del LED en watt (W)	Consumo equivalente de la bombilla incandescente en watt (W)	Consumo equivalente de una bombilla CFL en watt (W)	Flujo luminoso en lúmenes (lm)
1	7	–	50 – 80
3	15	–	120 – 180
5	25	–	155 – 189
7	40	9	180 – 220
10	60	11	500
12	80	15	650 – 750
15	100	20	700
20	150	32	950

TABLA 2.20.2. TABLA DE CLASIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE LUZ EMITIDA POR LOS DIODOS LED Y LA CORRESPONDIENTE TEMPERATURA DE COLOR EN GRADOS KELVIN (°K) [76].

Tipo de luz	Comparación con otras fuentes de iluminación	Temperatura del color en grados kelvin (°K)
Blanco cálido (<i>Warm White</i>)	Aproximadamente como las incandescentes	2600 – 3500
Luz blanca neutra (<i>Neutral White</i>)	Blanca aproximada a las fluorescentes	3500
Luz fría (<i>Cool White</i>)	Azulada	3600 – 4900
Luz del día (<i>Daylight</i>)	Blanca	5000 – 6300
HB (High-brightness)	Blanco brillante	–

2.20.3. APLICACIONES DE LOS DIODOS LED

En la práctica los diodos LEDs poseen un sinnúmero de aplicaciones diferentes, que dista mucho del uso que tenían en un principio cuando se comenzaron a comercializar en la década de los años 60 del siglo pasado. Entre algunas de sus muchas aplicaciones actuales se encuentran:

- Iluminación de interiores (hogares, comercios, hospitales, etc.).
- Iluminación exterior de edificios y fachadas en general.
- Ambientación interior en general.
- Decoración.
- Cabina de ascensores.
- Pasillos interiores de casas, comercios, hospitales, etc.
- Escaleras y sus escalones.
- Calles y parques.
- Estacionamientos de coches en exteriores e interiores.
- Linternas en general.
- Paneles informativos y publicitarios.
- Faros de coches.
- Semáforos de tráfico.
- Juguetes.
- Guirnaldas y adornos navideños.
- Rayo láser (luz coherente de color rojo, verde o azul).
- Retroiluminación de pantallas TFT de televisores.
- Pantallas gigantes de televisión ("Jumbo").



2.20.12. Algunas aplicaciones de los diodos LED: arriba izquierda, semáforos de control de tráfico; también arriba, al centro, LEDs integrados en un juguete. A la izquierda, ambientación de un local de ocio; abajo, derecha, luminaria de alumbrado exterior [76].

2.20.4. Características físicas de los leds

Principio físico

El fenómeno de emisión de luz está basado en la teoría de bandas, por la cual, una tensión externa aplicada a una unión p-n polarizada directamente, excita los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones. Si la energía es suficiente los electrones escapan del material en forma de fotones. Cada material semiconductor tiene unas determinadas características que y por tanto una longitud de onda de la luz emitida.

A diferencia de las lámparas de incandescencia cuyo funcionamiento es por una determinada tensión, los Led funcionan por la corriente que los atraviesa. Su conexión a una fuente de tensión constante debe estar protegida por una resistencia limitadora.

Teoría de bandas

En un átomo aislado los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos pero cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda, existiendo entre ellas huecos, llamados bandas energéticas prohibidas, que sólo pueden salvar los electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente. En los aislantes la banda inferior menos energética (banda de valencia) está completa con los e- más internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (~ 10 eV), imposible de atravesar por un e-. En el caso de los conductores las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones.

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de bandas es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña. Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pasen a la de conducción, dejando en la banda de valencia el hueco correspondiente.

En el caso de los diodos Led los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación que percibimos como luz (fotones).

2.20.5. Composición de los Leds

Para obtener colores distintos en los diodos LED se aplican diferentes composiciones, a continuación haremos una breve descripción de algunas de las distintas posibilidades. Vamos a describir la composición que caracteriza a cada uno de los tres colores más utilizados: el rojo, verde y el amarillo.

Led Rojo

Formado por GaP consiste en una unión p-n obtenida por el método de crecimiento epitaxial del cristal en su fase líquida, en un sustrato. La fuente luminosa está formada por una capa de cristal p junto con un complejo de ZnO, cuya máxima concentración está limitada, por lo que su luminosidad se satura a altas densidades de corriente. Este tipo de Led funciona con baja densidades de corriente ofreciendo una buena luminosidad, utilizándose como dispositivo de visualización en equipos portátiles. El constituido por GaAsP consiste en una capa p obtenida por difusión de Zn durante el crecimiento de un cristal n de GaAsP, formado en un sustrato de GaAs, por el método de crecimiento epitaxial en fase gaseosa. Actualmente se emplea los Led de GaAlAs debido a su mayor luminosidad.

El máximo de radiación se halla en la longitud de onda 660 nm.

Led anaranjado y amarillo

Están compuestos por GaAsP al igual que sus hermanos los rojos pero en este caso para conseguir luz anaranjada y amarilla así como luz de longitud de onda más pequeña, lo que hacemos es ampliar el ancho de la “banda prohibida” mediante el aumento de fósforo en el semiconductor.

Su fabricación es la misma que se utiliza para los diodos rojos, por crecimiento epitaxial del cristal en fase gaseosa, la formación de la unión p-n se realiza por difusión de Zn.

Como novedad importante en estos Leds se mezcla el área emisora con una trampa isoelectrónica de nitrógeno con el fin de mejorar el rendimiento.

Led Verde

El Led verde está compuesto por GaP. Se utiliza el método de crecimiento epitaxial del cristal en fase líquida para formar la unión p-n. Al igual que los Leds amarillos, también se utiliza una trampa isoelectrónica de nitrógeno para mejorar el rendimiento. Debido a que este tipo de Led posee una baja probabilidad de transición fotónica, es importante mejorar la cristalinidad de la capa n. La disminución de impurezas a larga la vida de los portadores, mejorando la cristalinidad.

Su máxima emisión se consigue en la longitud de onda 555 nm.

2.20.6. Criterios de elección

1. Dimensiones y color del diodo

Actualmente los Leds tienen diferentes tamaños, formas y colores. Tenemos Leds redondos, cuadrados, rectangulares, triangulares y con diversas formas. Los colores básicos son rojo, verde y azul, aunque podemos encontrarlos naranjas, amarillos incluso hay un Led de luz blanca. Las dimensiones en los Led redondos son 3mm, 5mm, 10mm y uno gigante de 20mm. Los de formas poliédricas suelen tener unas dimensiones aproximadas de 5x5mm.

2. Ángulo de vista

Esta característica es importante, pues de ella depende el modo de observación del Led, es decir, el empleo práctico de aparato realizado. Cuando el Led es puntual la emisión de luz sigue la ley de Lambert, permite tener un ángulo de vista relativamente grande y el punto luminoso se ve bajo todos los ángulos.

3. Luminosidad

La intensidad luminosa en el eje y el brillo están intensamente relacionados. Tanto si el Led es puntual o difusor, el brillo es proporcional a la superficie de emisión. Si el Led es puntual, el punto será más brillante, al ser una superficie demasiado pequeña. En uno difusor la intensidad en el eje es superior al modelo puntual.

Estructura de un Led

Existen numerosos encapsulados disponibles para los leds y su cantidad se incrementa de año en año a medida que las aplicaciones de los leds se hacen más específicas.

Como vemos el led viene provisto de los dos terminales correspondientes que tienen aproximadamente 2 a 2,5 cm de largo y sección generalmente de forma cuadrada. En el esquema podemos observar que la parte interna del terminal del cátodo es más grande que el ánodo, esto es porque el cátodo está encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo tanto será este terminal el encargado de disipar el calor generado hacia el exterior ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor. Es de notar que esto no es así en todos los leds, solo en los últimos modelos de alto brillo y en los primeros modelos de brillo estándar, ya que en los primeros led de alto brillo es al revés. Por eso no es buena política a la hora de tener que identificar el cátodo, hacerlo observando cual es el de mayor superficie. Para eso existen dos formas más convenientes, la primera y más segura es ver cuál es el terminal más corto, ese es siempre el cátodo no importa que tecnología sea el led. La otra es observar la marca plana que también indica el cátodo, dicha marca plana es una muesca o rebaje en un reborde que tiene los leds. Otra vez este no es un método que siempre funciona ya que algunos fabricantes no incluyen esta muesca y algunos modelos de leds pensados para aplicaciones de clúster donde se necesitan que los leds estén muy pegados, directamente no incluye este reborde.

El terminal que sostiene el sustrato cumple otra misión muy importante, la de reflector, ya que posee una forma parabólica o su aproximación semicircular, este es un punto muy crítico en la fabricación y concepción del led ya que un mal enfoque puede ocasionar una pérdida considerable de energía o una proyección desapareja.

Un led bien enfocado debe proyectar un brillo parejo cuando se proyecta sobre una superficie plana. Un led con enfoque defectuoso se puede identificar porque proyecta formas que son copia del sustrato y a veces se puede observar un aro más brillante en el exterior de circulan, síntoma seguro de que la posición del sustrato se encuentra debajo del centro focal del espejo terminal.

Dentro de las características ópticas del led aparte de su luminosidad esta la del ángulo de visión, se define generalmente el ángulo de visión como el desplazamiento angular desde la perpendicular donde la potencia de emisión disminuye a la mitad. Según la aplicación que se le dará al led se necesitara distintos ángulos de visión así son típicos leds con 4, 6, 8, 16, 24, 30, 45,60 y hasta 90 grados de visión. Generalmente el ángulo de visión está determinado por el radio de curvatura del reflector del led y principalmente por el radio de curvatura del encapsulado. Por supuesto mientras más chico sea el ángulo y a igual sustrato semiconductor se tendrá una mayor potencia de emisión y viceversa.

Otro componente del led que no es muestra en la figura pero que es común encontrarlo en los led de 5mm son los stand-off o separadores, son topes que tienen los terminales y sirven para separar los leds de la plaqueta en aplicaciones que así lo requieren, generalmente si se va colocar varios leds en una plaqueta conveniente que no tenga stand – off ya que de esta forma el encapsulado del led puede apoyarse sobre la plaqueta lo que le dará la posición correcta, esto es especialmente importante en leds con ángulo de visión reducido. Por último tenemos el encapsulado epoxi que es el encargado de proteger al semiconductor de las inclemencias ambientales y como dijimos ayuda a formar el haz de emisión.

Existen básicamente 4 tipos de encapsulado si lo catalogamos por su color; Transparente o clear water (agua transparente): Es el utilizado en leds de alta potencia de emisión, ya que el propósito de estos leds es fundamentalmente iluminar, es importante que estos encapsulados no absorban de ninguna manera la luz emitida.

- Coloreados o tinted: Similar al anterior pero coloreado con el color de emisión de sustrato similar al vidrio de algunas botellas, se usa principalmente en leds de mediana potencia y/o donde sea necesario identificar el color del led aun apagado.

- Difuso o difused: Estos leds tiene un aspecto más opacos que el anterior y están coloreados con el color de emisión, poseen pequeñas partículas en suspensión de tamaño microscópicos que son las encargadas de desviar la luz, este tipo de encapsulado le quita mucho brillo al led pero le agrega mucho ángulo de visión ya que los múltiples rebotes de la luz dentro del encapsulo le otorgan un brillo muy parejo sobre casi todos los ángulos prácticos de visión.

- Lechosos o Milky: Este tipo de encapsulado es un tipo difuso pero sin colorear, estos encapsulado son muy utilizados en leds bicolores o multicolores. El led bicolor es en realidad un led doble con un cátodo común y dos ánodos (3 terminales) o dos led colocados en contraposición (2

terminales). Generalmente el primer caso con leds rojo y verde es el más común aunque existen otras combinaciones incluso con más colores.

Es muy importante hacer notar que en todos los casos el sustrato del led es el que determina el color de emisión y no el encapsulado. Un encapsulado con frecuencia de paso distinta a la frecuencia de emisión del sustrato solo lograría filtrar la luz del led, bajando así su brillo aparente al igual que todo objeto colocado delante de él [76].

	Fluorescente	LED
Contiene Mercurio y metales pesados	SI	NO
Usa cebador	SI/NO(HFP)	NO
Usa balastro	SI	NO
Genera energía reactiva	SI	NO
Consume con tubo fundido	SI	NO
Potencia tubo 60cms	18W	9W
Potencia tubo 120cms	36W	18W
Potencia tubo 150cms	58W	22W
Consumo balastro/driver 1x60cms	3W-7W	1W
Consumo balastro/driver 1x120cms	5W-7W	2W
Consumo balastro/driver 1x150cms	7W-11W	3W
Emite infrarrojos (IR)	SI	NO
Emite ultravioletas (UV)	SI	NO
Temperatura de superficie	80°	40°
Rango de temperatura de trabajo	de 5° a 45°	de -20° a 60°
Peligro por rotura	SI	NO
Tensión de trabajo	240V	12V
Riesgo eléctrico	SI	NO
Vida útil (en horas)	6.000/17.000	50.000
Vida media	8.000/19.000	80.000
Oscurece techos / decolora	SI	NO
Produce parpadeo durante el uso	SI	NO
Encendido instantaneo	NO	SI
Encendido a plena luminosidad	NO	SI
Sobre consumo por encendidos múltiples	SI	NO
Degradación lumínica por cada 3.000 horas	30%	2%

Tabla 2.20.3. Diferencias fundamentales entre la tecnología fluorescente y la iluminación LED [78].

2.20.7. Diodo orgánico de emisión de luz (OLED)

Diodo orgánico de emisión de luz, también conocido como (acrónimo inglés de *organic light-emitting diode*), es un diodo que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan, a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

Existen muchas tecnologías OLED diferentes, tantas como la gran diversidad de estructuras (y materiales) que se han podido idear (e implementar) para contener y mantener la capa electroluminiscente, así como según el tipo de componentes orgánicos utilizados.

Las principales ventajas de las pantallas OLED son: más delgados y flexibles, más contrastes y brillos, mayor ángulo de visión, menor consumo y, en algunas tecnologías, flexibilidad. Pero la degradación de los materiales OLED han limitado su uso por el momento. Actualmente se está investigando para dar solución a los problemas derivados de esta degradación, hecho que hará de los OLED una tecnología que puede reemplazar la actual hegemonía de las pantallas LCD (TFT) y de la pantalla de plasma.

Por todo ello, OLED puede y podrá ser usado en todo tipo de aplicaciones: televisores, monitores, pantallas de dispositivos portátiles (teléfonos móviles, PDA, reproductores de audio...), indicadores de información o de aviso, etc., con formatos que bajo cualquier diseño irán desde unas dimensiones pequeñas (2 pulgadas) hasta enormes tamaños (equivalentes a los que se están consiguiendo con LCD). Mediante los OLED también se pueden crear grandes o pequeños carteles de publicidad, así como fuentes de luz para iluminar espacios generales. Además, algunas tecnologías OLED tienen la capacidad de tener una estructura flexible, lo que ya ha dado lugar a desarrollar pantallas plegables o enrollables, y en el futuro quizá pantallas sobre ropa y tejidos, etc.

Estructura básica

Un OLED está compuesto por dos finas capas orgánicas: una **capa de emisión** y una **capa de conducción**, que a la vez están comprendidas entre una fina película que hace de terminal ánodo y otra igual que hace de cátodo. En general estas capas están hechas de moléculas o polímeros que conducen la electricidad. Sus niveles de conductividad eléctrica se encuentran entre el nivel de un aislador y el de un conductor, y por ello se los llama semiconductores orgánicos.

La elección de los materiales orgánicos y la estructura de las capas determinan las características de funcionamiento del dispositivo: color emitido, tiempo de vida y eficiencia energética.

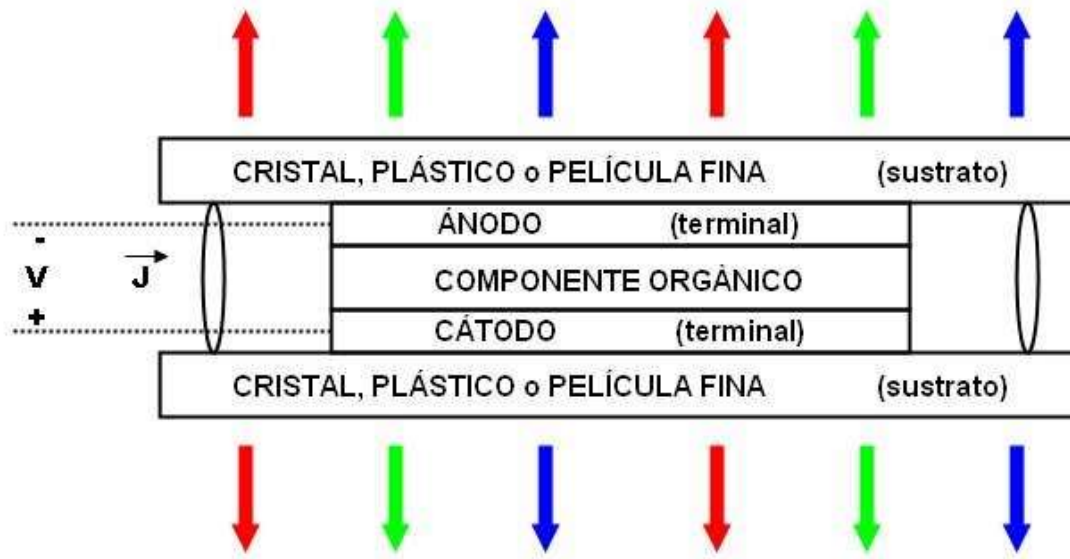


Figura 2.20.13. Estructura de funcionamiento del diodo [79].

Principales ventajas

Los OLED ofrecen muchas ventajas en comparación con los LCD, LED y pantallas de plasma.

Más delgados y flexibles: por una parte, las capas orgánicas de polímeros o moléculas de los OLED son más delgadas, luminosas y mucho más flexibles que las capas cristalinas de un LED o LCD. Por otra parte, en algunas tecnologías el sustrato de impresión de los OLED puede ser el plástico, que ofrece flexibilidad frente a la rigidez del cristal que da soporte a los LCD o pantallas de plasma.

Más económicos: en general, los elementos orgánicos y los sustratos de plástico serán mucho más económicos. También, los procesos de fabricación de OLED pueden utilizar conocidas tecnologías de impresión de tinta (en inglés, conocida como *inkjet*), hecho que disminuirá los costes de producción.

Brillo y contraste: los píxeles de los OLED emiten luz directamente. Por eso, respecto a los LCD posibilitan un rango más grande de colores y contraste.

Menos consumo: los OLED no necesitan la tecnología *backlight*, es decir, un elemento OLED apagado realmente no produce luz y no consume energía, a diferencia de los LCD que no pueden mostrar un verdadero “negro” y lo componen con luz consumiendo energía continuamente. Así, los OLED muestran imágenes con menos potencia de luz, y cuando son alimentados desde una batería pueden operar largamente con la misma carga.

Más escalabilidad y nuevas aplicaciones: a capacidad futura de poder escalar las pantallas a grandes dimensiones hasta ahora ya conseguidas por los LCD y, sobre todo, poder enrollar y doblar las pantallas en algunas de las tecnologías OLED que lo permiten, abre las puertas a todo un mundo de nuevas aplicaciones que están por llegar.

Mejor visión bajo ambientes iluminados: al emitir su propia luz, una pantalla OLED, puede ser mucho más visible bajo la luz del sol, que una LCD.

Desventajas y problemas actuales

Tiempos de vida cortos: las capas OLED verdes y rojas tienen largos tiempos de vida, sin embargo la capa azul no es tan duradera, actualmente tienen una duración cercana a las 14.000 horas (8 horas diarias durante 5 años), este periodo de funcionamiento es mucho menor que el promedio de los LCD que dependiendo del modelo y del fabricante pueden llegar a las 60.000 horas. Toshiba y Panasonic han encontrado una manera de resolver este problema con una nueva tecnología que puede duplicar la vida útil de la capa responsable del color azul, colocando la vida útil por encima de la promedio de la de las pantallas LCD. Una membrana metálica ayuda a la luz a pasar desde los polímeros del sustrato a través de la superficie del vidrio más eficientemente que en los OLED actuales. El resultado es la misma calidad de imagen con la mitad del brillo y el doble de la vida útil esperada.

En el 2007, PLED experimentales pudieron sostener 400 cd/m^2 en brillo por más de 198.000 horas para OLED verdes y 62.000 para los azules.

Proceso de fabricación caro: actualmente la mayoría de tecnologías OLED están en proceso de investigación, y los procesos de fabricación (sobre todo inicialmente) son económicamente elevados, a no ser que se apueste por un diseño que se utilice en economías de escala.

Agua: el agua puede fácilmente estropear en forma permanente los OLED, ya que el material es orgánico, su exposición al agua, tiende a acelerar el proceso de biodegradación, es por esto que el material orgánico de una OLED, suele venir protegido, y aislado del ambiente, por lo que la pantalla es totalmente resistente a ambientes húmedos.

Impacto medioambiental: los componentes orgánicos (moléculas y polímeros) se ha visto que son difíciles de reciclar (alto coste, complejas técnicas). Ello puede causar un impacto al medio ambiente muy negativo en el futuro [79].

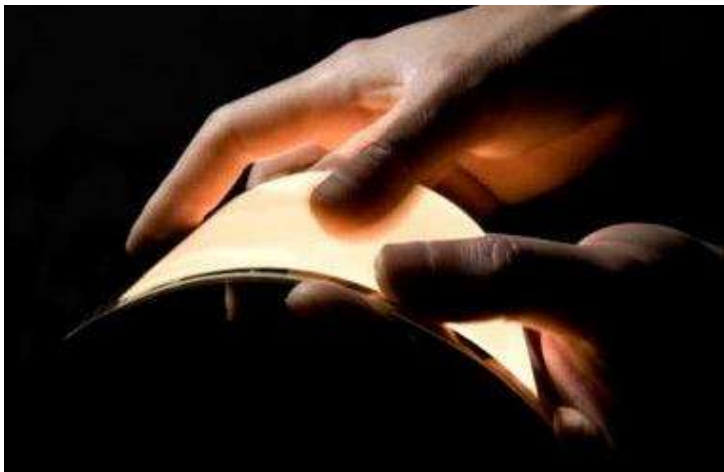


Figura 2.20.14. Estructura de funcionamiento del diodo [79].

2.21. Luz

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas. Las ondas que se pueden propagar en el vacío se llaman ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. La luz es una radiación electromagnética.



Figura 2.21.1. Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío a la velocidad de 300000 km/s, que se conoce como "velocidad de la luz en el vacío" y se simboliza con la letra c ($c = 300000 \text{ km/s}$) [49].

2.21.1. Propiedades de las ondas

La velocidad de la luz en el vacío no puede ser superada por la de ningún otro movimiento existente en la naturaleza. En cualquier otro medio, la velocidad de la luz es inferior.

La energía transportada por las ondas es proporcional a su frecuencia, de modo que cuanto mayor es la frecuencia de la onda, mayor es su energía.

Las ondas electromagnéticas se clasifican según su frecuencia como puede verse en el siguiente diagrama:

El espectro de frecuencias.

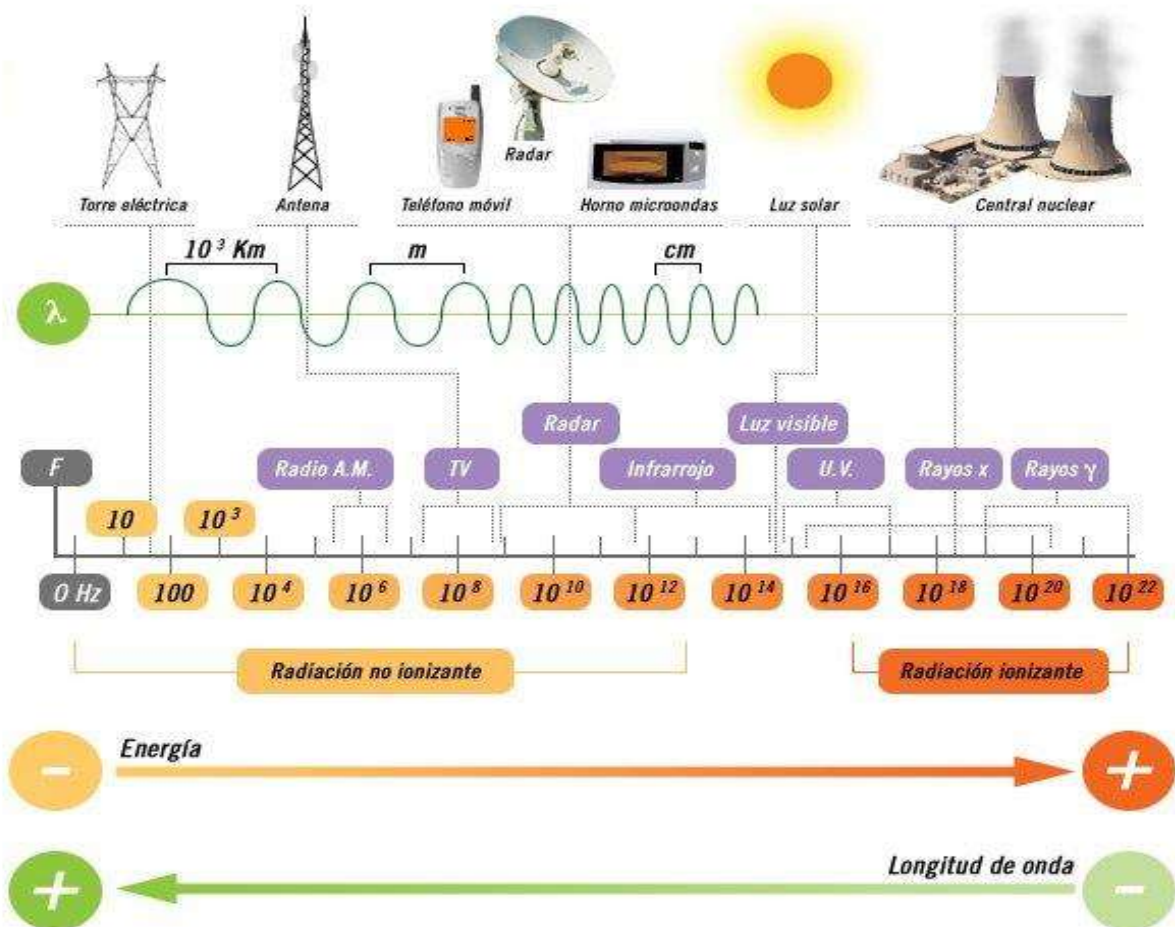


Figura 2.21.2. Las ondas son propagadas en diferentes magnitudes y velocidades [49].

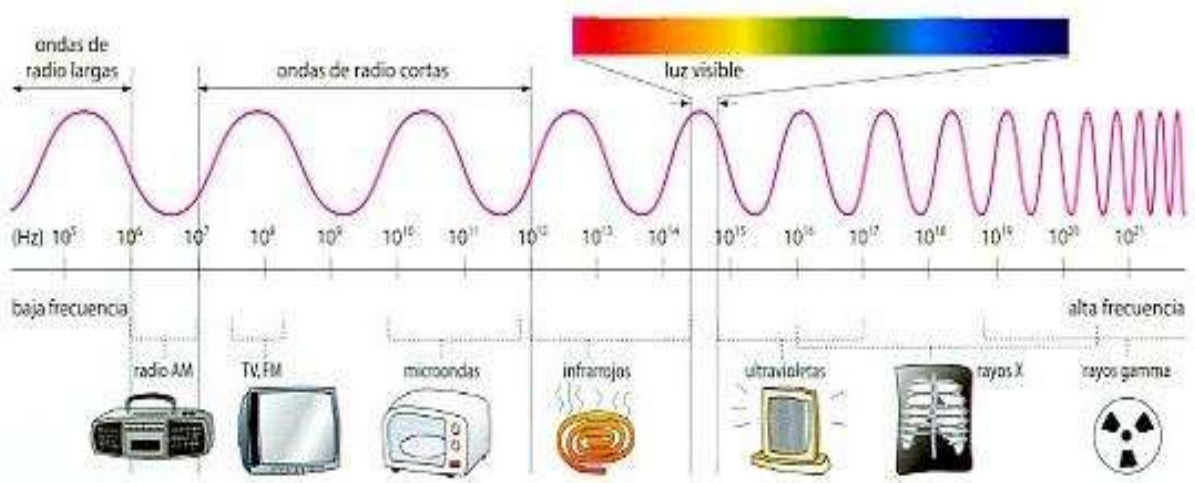


Figura 2.21.3. Las ondas afectan diferentes aparatos, son utilizados en diferentes aplicaciones [49]

2.21.2. Algunas propiedades de la luz

La luz presenta tres propiedades características:

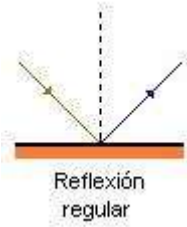
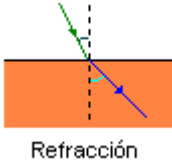
Se propaga en línea recta.	
Se refleja cuando llega a una superficie reflectante.	
Cambia de dirección cuando pasa de un medio a otro (se refracta).	

Figura 2.21.4. Características principales de la luz [49].

1.- La luz se propaga en línea recta.

La línea recta que representa la dirección y el sentido de la propagación de la luz se denomina rayo de luz (el rayo es una representación, una línea sin grosor, no debe confundirse con un haz, que sí tiene grosor).

Un hecho que demuestra la propagación rectilínea de la luz es la formación de sombras. Una sombra es una silueta oscura con la forma del objeto.

Sombras, penumbras y eclipses

- Si un foco, grande o pequeño, de luz se encuentra muy lejos de un objeto produce sombras nítidas.
- Si un foco grande se encuentra cercano al objeto, se formará sombra donde no lleguen los rayos procedentes de los extremos del foco y penumbra donde no lleguen los rayos procedentes de un extremo pero sí del otro.

Este fenómeno de sombra y penumbra es el que tiene lugar en los eclipses.



Figura 2.21.5. Fenómeno de la naturaleza que representa la penumbra [49].

2.- La luz se refleja.

La reflexión de la luz se representa por medio de dos rayos: el que llega a una superficie, rayo incidente, y el que sale "rebotado" después de reflejarse, rayo reflejado.

Si se traza una recta perpendicular a la superficie (que se denomina normal), el rayo incidente forma un ángulo con dicha recta, que se llama ángulo de incidencia.

La reflexión de la luz es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar contra la superficie de los cuerpos. La luz reflejada sigue propagándose por el mismo medio que la incidente.

La reflexión de la luz cumple dos leyes:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano perpendicular a la superficie.
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

¿Por qué vemos los objetos?

Podemos ver los objetos que nos rodean porque la luz que se refleja en ellos llega hasta nuestros ojos.

Existen dos tipos de reflexión de la luz: reflexión especular y reflexión difusa.

Reflexión especular: La superficie donde se refleja la luz es perfectamente lisa (espejos, agua en calma) y todos los rayos reflejados salen en la misma dirección.

Reflexión difusa: La superficie presenta rugosidades. Los rayos salen reflejados en todas las direcciones. Podemos percibir los objetos y sus formas gracias a la reflexión difusa de la luz en su superficie.

Al trazar los rayos, según las leyes de la reflexión, se forma una imagen virtual "detrás del espejo".

Los espejos curvos pueden ser **cóncavos** (superficie curva con la parte central más hundida) o **convexos** (superficie curva con la parte central saliente).

3.- La luz se refracta.

La refracción de la luz es el cambio de dirección que experimentan los rayos luminosos al pasar de un medio a otro en el que se propagan con distinta velocidad. Por ejemplo, al pasar del aire al agua, la luz se desvía, es decir, se refracta.

Las leyes fundamentales de la refracción son:

- El rayo refractado, el incidente y la normal se encuentran en un mismo plano.
- El rayo refractado se acerca a la normal cuando pasa de un medio en el que se propaga a mayor velocidad a otro en el que se propaga a menor velocidad. Por el contrario, se aleja de la normal al pasar a un medio en el que se propaga a mayor velocidad.

La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en un medio en el que pueda propagarse se denomina **índice de refracción (n)** de ese medio: $n = c / v$.

La dispersión de la luz, una manifestación de la refracción.

La luz blanca es una mezcla de colores: si un haz de luz blanca atraviesa un medio dispersor, como, por ejemplo, un prisma, los colores se separan debido a que tienen diferentes índices de refracción.



Figura 2.21.6. El prisma es un medio dispersor de la luz, que después de la refracción, da un efecto colorido [49].

Las lentes

Se emplean para muy diversos fines: gafas, lupas, prismáticos, objetivos de cámaras, telescopios, etc. Existen dos tipos:

- **Lentes convergentes:** Son más gruesas por el centro que por los extremos. Los rayos refractados por ellas convergen en un punto llamado **foco**.
- **Lentes divergentes:** Son más gruesas por los extremos que por el centro. Los rayos refractados no convergen en un punto, sino que se separan.

3) La luz y la materia: los colores de las cosas

La materia se comporta de distintas formas cuando interacciona con la luz:

- **Transparentes:** Permiten que la luz se propague en su interior en una misma dirección, de modo que vuelve a salir. Así, se ven imágenes nítidas. Ejemplos: Vidrio, aire, agua, alcohol, etc.

- **Opacos:** Estos materiales absorben la luz o la reflejan, pero no permiten que los atraviese. Por tanto, no se ven imágenes a su través. Ejemplos: Madera, metales, cartón, cerámica, etc.

- **Translúcidos:** Absorben o reflejan parcialmente la luz y permiten que se propague parte de ella, pero la difunden en distintas direcciones. Por esta razón, no se ven imágenes nítidas a su través. Ejemplos: folio, tela fina, papel cebolla, etc.



Figura 2.21.7. La luz blanca se compone de los diferentes colores del arco iris: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo [49].

En realidad, existen tres colores: **rojo, verde y azul**, llamados **colores primarios**, que al mezclarse en diferentes proporciones dan lugar a todos los demás. Si se mezclan en las mismas cantidades producen luz blanca.

Los colores de los objetos se deben a dos causas distintas:

- **Color por transmisión:** Algunos materiales transparentes absorben toda la gama de colores menos uno, que es el que permiten que se transmita y da color al material transparente. Por ejemplo, un vidrio es rojo porque absorbe todos los colores menos el rojo.



Figura 2.21.8. La transmisión da lugar a que se forme un color en particular, absorbe todos menos el que se observa [49].

- **Color por reflexión:** La mayor parte de los materiales pueden absorber ciertos colores y reflejar otros. El color o los colores que reflejan son los que percibimos como el color del cuerpo. Por ejemplo, un cuerpo es amarillo porque absorbe todos los colores y sólo refleja el amarillo.

Un cuerpo es blanco cuando refleja todos los colores y negro cuando absorbe todos los colores (Los cuerpos negros se perciben gracias a que reflejan difusamente parte de la luz; de lo contrario no serían visibles).

4) El ojo y la vista

El ojo humano es un completo instrumento óptico gracias al cual podemos percibir todos los fenómenos vistos hasta ahora.

Defectos de la vista

Se denomina ojo "emétrope" al ojo normal, es decir, aquél que enfoca bien los objetos lejanos y cercanos. Los defectos más habituales de la visión son:

- **Miopía:** Se produce en ojos con un globo ocular anormalmente grande, el cristalino no enfoca bien y la imagen de los objetos lejanos se forma delante de la retina y no en su superficie. Los miopes ven borrosos los objetos lejanos, pero bien los cercanos. Se corrige con lentes divergentes, que trasladan la imagen más atrás.
- **Hipermetrópia:** El globo ocular es más pequeño de lo normal y la imagen de los objetos cercanos se forma detrás de la retina. Los hipermétropes ven mal de cerca pero bien de lejos. Se corrige usando lentes convergentes.
- **Astigmatismo:** Es un defecto muy habitual que se debe a deformaciones en la curvatura de la córnea. La visión no es nítida [49].

2.21.3. Espectro electromagnético

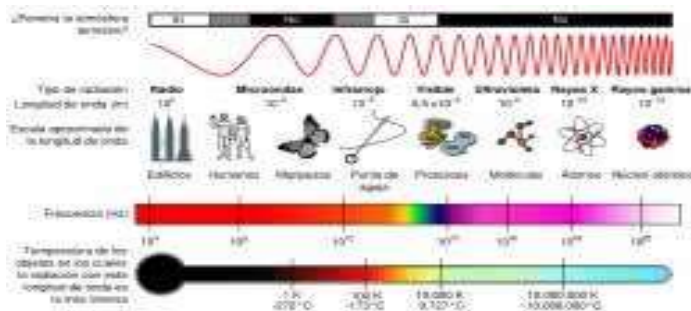


Figura 2.21.9. Diagrama del espectro electromagnético (ampliar) [54].

El **espectro electromagnético** (o simplemente espectro) es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo. Se piensa que el límite de la longitud de onda corta está en las cercanías de la longitud Planck, mientras que el límite de la longitud de onda larga es el tamaño del universo mismo, aunque en principio el espectro sea infinito y continuo.

Rango del espectro

El espectro cubre la energía de ondas electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes. Las frecuencias de 30 Hz y más bajas pueden ser producidas por ciertas nebulosas estelares y son importantes para su estudio. Se han descubierto frecuencias tan altas como $2.9 \cdot 10^{27}$ Hz a partir de fuentes astrofísicas.

La energía electromagnética en una longitud de onda particular λ (en el vacío) tiene una frecuencia asociada f y una energía fotónica E . Así, el espectro electromagnético puede expresarse en términos de cualquiera de estas tres variables, que están relacionadas mediante ecuaciones. De este modo, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y energía alta; las ondas de frecuencia baja tienen una longitud de onda larga y energía baja.

Siempre que las ondas de luz (y otras ondas electromagnéticas) se encuentran en un medio (materia), su longitud de onda se reduce. Las longitudes de onda de la radiación electromagnética, sin importar el medio por el que viajen, son, por lo general, citadas en términos de longitud de onda en el vacío, aunque no siempre se declara explícitamente.

Generalmente, la radiación electromagnética se clasifica por la longitud de onda: ondas de radio, microondas, infrarroja y región visible, que percibimos como luz, rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

El comportamiento de la radiación electromagnética depende de su longitud de onda. Las frecuencias más altas tienen longitudes de onda más cortas, y las frecuencias inferiores tienen longitudes de onda más largas. Cuando la radiación electromagnética interacciona con átomos y moléculas, su comportamiento también depende de la cantidad de energía por cuanto que transporta. La radiación electromagnética puede dividirse en octavas (como las ondas sonoras).

La espectroscopia puede descubrir una región mucho más amplia del espectro que el rango visible de 400 nm a 700 nm. Un espectroscopio de laboratorio común puede descubrir longitudes de onda desde 2 nm a 2500 nm. Con este tipo de aparatos puede obtenerse información detallada sobre las propiedades físicas de objetos, gases o incluso estrellas. La espectrometría se usa sobre todo en astrofísica. Por ejemplo, muchos átomos de hidrógeno emiten ondas de radio que tienen una longitud de onda de 21.12 cm.

2.21.3.1. Tipos de radiación

Aunque el esquema de clasificación suele ser preciso, en realidad existe algo de trasposición entre tipos vecinos de energía electromagnética. Por ejemplo, las ondas de radio a 60 Hz pueden ser recibidas y estudiadas por astrónomos, o pueden ser conducidas a lo largo de cables como energía eléctrica. También, algunos rayos gamma de baja energía realmente tienen una longitud de onda más larga que algunos rayos X de gran energía.

Esto es posible porque "rayo gamma" es el nombre que se le da a los fotones generados en la descomposición nuclear u otros procesos nucleares y subnucleares, mientras que los rayos X son generados por transiciones electrónicas que implican electrones interiores muy energéticos. Por lo tanto, la diferencia entre rayo gamma y rayo X está relacionada con la fuente de radiación más que con la longitud de onda de la radiación. Generalmente, las transiciones nucleares son mucho más

energéticas que las transiciones electrónicas, así que los rayos gamma suelen ser más energéticos que los rayos X. Sin embargo, hay transiciones nucleares de baja energía (p.ej. la transición nuclear de 14.4 keV del Fe-57) que producen rayos gamma que son menos energéticos que algunos de los rayos X de mayor energía.

Radiofrecuencia

Las ondas de radio suelen ser utilizadas mediante antenas del tamaño apropiado (según el principio de resonancia), con longitudes de onda en los límites de cientos de metros a aproximadamente un milímetro. Se usan para la transmisión de datos, a través de la modulación. La televisión, los teléfonos móviles, las resonancias magnéticas, o las redes inalámbricas y de radio-aficionados, son algunos usos populares de las ondas de radio.

Las ondas de radio pueden transportar información variando la combinación de amplitud, frecuencia y fase de la onda dentro de una banda de frecuencia. El uso del espectro de radio está regulado por muchos gobiernos mediante la asignación de frecuencias. Cuando la radiación electromagnética impacta sobre un conductor, se empareja con él y viaja a lo largo del mismo, induciendo una corriente eléctrica en la superficie de ese conductor mediante la excitación de los electrones del material de conducción. Este efecto (el efecto piel) se usó en las antenas. La radiación electromagnética también puede hacer que ciertas moléculas absorban energía y se calienten, una característica que se utiliza en las microondas.

Microondas

La frecuencia super alta (SHF) y la frecuencia extremadamente alta (EHF) de las microondas son las siguientes en la escala de frecuencia. Las microondas son ondas suficientemente cortas como para emplear guías de ondas metálicas tubulares de diámetro razonable. La energía de microondas se produce con tubos klistrón y tubos magnetrón, y con diodos de estado sólido como los dispositivos Gunn e IMPATT. Las microondas son absorbidas por las moléculas que tienen un momento dipolar en líquidos. En un horno microondas, este efecto se usa para calentar la comida. La radiación de microondas de baja intensidad se utiliza en Wi-Fi. El horno microondas promedio, cuando está activo, está en un rango cercano y bastante poderoso como para causar interferencia con campos electromagnéticos mal protegidos, como los que se encuentran en dispositivos médicos móviles y aparatos electrónicos baratos.

Rayos T

La radiación de terahertzios (o Rayos T) es una región del espectro situada entre el infrarrojo lejano y las microondas. Hasta hace poco, este rango estaba muy poco estudiado, ya que apenas había fuentes para la energía microondas en el extremo alto de la banda (ondas submilimétrica o también llamadas ondas terahertzios). Sin embargo, están apareciendo aplicaciones para mostrar imágenes y comunicaciones. Los científicos también buscan aplicar la tecnología de rayos T en las fuerzas armadas, donde podrían usarse para dirigirlas a las tropas enemigas, ya que las ondas de alta frecuencia incapacitan los equipos electrónicos.

Radiación infrarroja

La parte infrarroja del espectro electromagnético cubre el rango desde aproximadamente los 300 GHz (1 mm) hasta los 400 THz (750 nm). Puede ser dividida en tres partes:

* Infrarrojo lejano, desde 300 GHz (1 mm) hasta 30 THz (10 μm). La parte inferior de este rango también puede llamarse microondas. Esta radiación es absorbida por los llamados modos rotatorios en las moléculas en fase gaseosa, mediante movimientos moleculares en los líquidos, y mediante fotones en los sólidos. El agua en la atmósfera de la Tierra absorbe tan fuertemente esta radiación que confiere a la atmósfera efectividad opaca. Sin embargo, hay ciertos rangos de longitudes de onda ("ventanas") dentro del rango opaco que permiten la transmisión parcial, y pueden ser usados en astronomía. El rango de longitud de onda de aproximadamente 200 μm hasta unos pocos mm suele llamarse "radiación submilimétrica" en astronomía, reservando el infrarrojo lejano para longitudes de onda por debajo de los 200 μm .

* Infrarrojo medio, desde 30 a 120 THz (10 a 2.5 μm). Los objetos calientes (radiadores de cuerpo negro) pueden irradiar fuertemente en este rango. Se absorbe por vibraciones moleculares, es decir, cuando los diferentes átomos en una molécula vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio. Este rango es llamado, a veces, región de huella digital, ya que el espectro de absorción del infrarrojo medio de cada compuesto es muy específico.

* Infrarrojo cercano, desde 120 a 400 THz (2500 a 750 nm). Los procesos físicos que son relevantes para este rango son similares a los de la luz visible.

Radiación visible (luz)

La frecuencia por encima del infrarrojo es la de la luz visible. Este es el rango en el que el Sol y las estrellas similares a él emiten la mayor parte de su radiación. No es probablemente una coincidencia que el ojo humano sea sensible a las longitudes de onda que el sol emite con más fuerza. La luz visible (y la luz cercana al infrarrojo) son absorbidas y emitidas por electrones en las moléculas y átomos que se mueven desde un nivel de energía a otro. La luz que vemos con nuestros ojos es realmente una parte muy pequeña del espectro electromagnético. Un arco iris muestra la parte óptica (visible) del espectro electromagnético; el infrarrojo (si pudiera verse) estaría localizado justo a continuación del lado rojo del arco iris, mientras que el ultravioleta estaría tras el violeta.

La radiación electromagnética con una longitud de onda entre aproximadamente 400 nm y 700 nm es detectado por el ojo humano y percibida como luz visible. A otras longitudes de onda, sobre todo al infrarrojo cercano (más largo de 700 nm) y al ultravioleta (más corto que 400 nm) también se les llama luz a veces, sobre todo cuando la visibilidad para los humanos no es relevante. Si la radiación que tiene una frecuencia en la región visible del espectro electromagnético se refleja en un objeto, como por ejemplo un plato hondo de fruta, y luego impacta en nuestros ojos, obtenemos una percepción visual de la escena. El sistema visual de nuestro cerebro procesa la multitud de frecuencias reflejadas en diferentes sombras y matices, y a través de este fenómeno psicofísico que todavía no se entiende completamente, es como percibiríamos los objetos.

En la mayor parte de las longitudes de onda, sin embargo, la información transportada por la radiación electromagnética no es directamente descubierta por los sentidos humanos. Las fuentes naturales producen radiación electromagnética a través del espectro, y nuestra tecnología también puede manipular un amplio rango de longitudes de onda. La fibra óptica transmite luz que, aunque

no es adecuada para la visión directa, puede transportar datos que luego son traducidos en sonido o imagen. La codificación usada en tales datos es similar a lo que se usa con las ondas de radio.

Luz ultravioleta

La siguiente frecuencia en el espectro es el ultravioleta (o rayos UV), que es la radiación cuya longitud de onda es más corta que el extremo violeta del espectro visible. Al ser muy energética, la radiación ultravioleta puede romper enlaces químicos, haciendo a las moléculas excepcionalmente reactivas o ionizándolas, lo que cambia su comportamiento. Las quemaduras solares, por ejemplo, están causadas por los efectos perjudiciales de la radiación UV en las células de la piel, y pueden causar incluso cáncer de piel si la radiación daña las moléculas de ADN complejas en las células (la radiación UV es un mutágeno). El Sol emite una gran cantidad de radiación UV, lo que podría convertir rápidamente la Tierra en un desierto estéril si no fuera porque, en su mayor parte, es absorbida por la capa de ozono de la atmósfera antes de alcanzar la superficie.

Rayos X

Después del ultravioleta vienen los rayos X. Los rayos X duros tienen longitudes de onda más cortas que los rayos X suaves. Se usan generalmente para ver a través de algunos objetos, así como para la física de alta energía y la astronomía. Las estrellas de neutrones y los discos de acreción alrededor de los agujeros negros emiten rayos X, lo que nos permite estudiarlos.

Los rayos X pasan por la mayor parte de sustancias, y esto los hace útiles en medicina e industria. También son emitidos por las estrellas, y especialmente por algunos tipos de nebulosas. Un aparato de radiografía funciona disparando un haz de electrones sobre un "objetivo". Si los electrones se disparan con suficiente energía, se producen rayos X.

Rayos gamma

Después de los rayos X duros vienen los rayos gamma. Son los fotones más energéticos, y no se conoce el límite más bajo de su longitud de onda. Son útiles a los astrónomos en el estudio de objetos o regiones de alta energía, y son útiles para los físicos gracias a su capacidad penetrante y su producción de radioisótopos. La longitud de onda de los rayos gamma puede medirse con gran exactitud por medio de dispersión Compton.

No hay ningún límite exactamente definido entre las bandas del espectro electromagnético. Algunos tipos de radiación tienen una mezcla de las propiedades de radiaciones que se encuentran en las dos regiones del espectro. Por ejemplo, la luz roja se parece a la radiación infrarroja en que puede resonar algunos enlaces químicos [54].

2.21.4. FOTONES

Los físicos han podido establecer que cuando un rayo de luz es absorbido por la materia, la energía que ésta retiene son cantidades finitas, o cuantos. Un cuanto de luz es llamado fotón. El fotón puede definirse también como la partícula de luz más pequeña.

Max Planck y Albert Einstein obtuvieron el Premio Nobel de Física por su descubrimiento de que la luz, que muchas veces se comporta como una onda, a veces se comporta como si estuviera compuesta por un haz de pequeñas partículas o cuantos de energía. La energía E de un fotón se expresa mediante la ecuación $E = h \cdot u$, donde h es una constante universal (la constante de Planck) y u es la frecuencia (número de oscilaciones por segundo) de la luz [55].

Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.

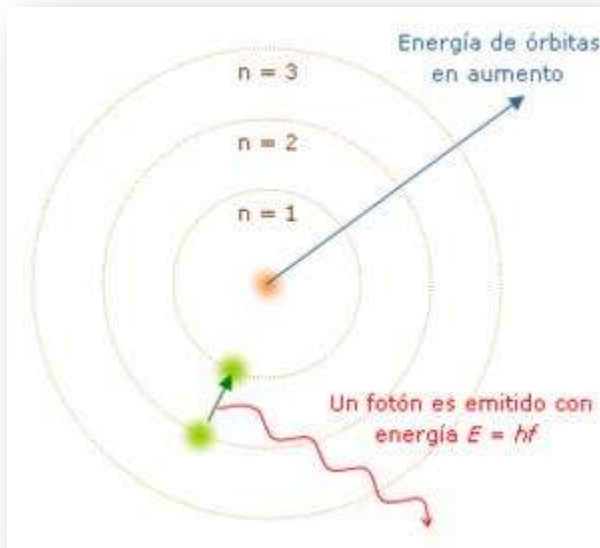


Figura 2.21.10. El fotón tiene masa cero y viaja en el vacío con una velocidad constante c [56].

Como todos los cuantos, el fotón presenta tanto propiedades corpusculares como ondulatorias ("dualidad onda-corpúsculo"). Se comporta como una onda en algunos fenómenos como la refracción que tiene lugar en una lente; o como una partícula cuando interacciona con la materia para transferir una cantidad fija de energía.

Para la luz visible, la energía portada por un fotón es de alrededor de 4×10^{-19} julios; esta energía es suficiente para excitar un ojo y dar lugar a la visión.

Además de energía, los fotones llevan también asociada una cantidad de movimiento o momento lineal, y tienen una polarización. Siguen las leyes de la mecánica cuántica, lo que significa que a menudo estas propiedades no tienen un valor bien definido para un fotón dado. En su lugar se habla de las probabilidades de que tenga una cierta polarización, posición, o cantidad de movimiento.

Por ejemplo, aunque un fotón puede excitar a una molécula, a menudo es imposible predecir cuál será la molécula excitada. La descripción anterior de un fotón como un portador de radiación electromagnética es utilizada con frecuencia por los físicos. Sin embargo, en física teórica, un fotón puede considerarse como un mediador para cualquier tipo de interacción electromagnética.

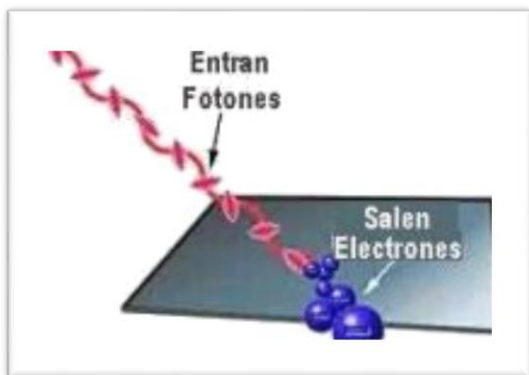


Figura 2.21.11. Transferencia o intercambio de fotones por electrones [56].

Con el modelo de fotón como partícula podían explicarse observaciones experimentales que no encajaban en el modelo ondulatorio clásico de la luz. En particular, explicaba cómo la energía de la luz dependía de la frecuencia (dependencia observada en el efecto fotoeléctrico) y la capacidad de la materia y la radiación electromagnética para permanecer en equilibrio térmico [56].

2.22. CONDUCTIVIDAD

2.22.1. Superconductor

Se denomina **superconductividad** a la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones.

La resistividad eléctrica de un conductor metálico disminuye gradualmente a medida que la temperatura se reduce. Sin embargo, en los conductores ordinarios, como el cobre y la plata, las impurezas y otros defectos producen un valor límite. Incluso cerca de cero absoluto una muestra de cobre muestra una resistencia no nula. La resistencia de un superconductor, en cambio, desciende bruscamente a cero cuando el material se enfría por debajo de su *temperatura crítica*. Una corriente eléctrica que fluye en una espiral de cable superconductor puede persistir indefinidamente sin fuente de alimentación. Al igual que el ferromagnetismo y las líneas espectrales atómicas, la superconductividad es un fenómeno de la mecánica cuántica.

La superconductividad ocurre en una gran variedad de materiales, incluyendo elementos simples como el estaño y el aluminio, diversas aleaciones metálicas y algunos semiconductores fuertemente dopados. La superconductividad, normalmente, no ocurre en metales nobles como el cobre y la plata, ni en la mayoría de los metales ferromagnéticos. Pero en ciertos casos, el oro se clasifica como superconductor; por sus funciones y los mecanismos aplicados.

Aunque la propiedad más sobresaliente de los superconductores es la ausencia de resistencia, lo cierto es que no podemos decir que se trate de un material de conductividad infinita, ya que este tipo de material por sí sólo no tiene sentido termodinámico. En realidad un material superconductor de tipo I es perfectamente diamagnético. Esto hace que no permita que penetre el campo, lo que se conoce como efecto Meissner.

El campo magnético distingue dos tipos de superconductores: los de tipo I, que no permiten en absoluto que penetre un campo magnético externo (lo cual conlleva un esfuerzo energético alto, e implica la ruptura brusca del estado superconductor si se supera la temperatura crítica), y los de tipo II, que son superconductores *imperfectos*, en el sentido en que el campo realmente penetra a través de pequeñas canalizaciones denominadas vórtices de Abrikosov, o fluxones.

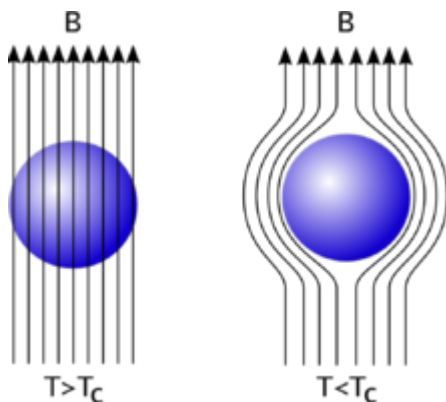


Figura 2.22.1. Comportamiento magnético [57].

Comportamiento eléctrico

La aparición del *superdiamagnetismo* es debida a la capacidad del material de crear **supercorrientes**. Éstas son corrientes de electrones que no disipan energía, de manera que se pueden mantener eternamente sin obedecer el Efecto Joule de pérdida de energía por generación de calor. Las corrientes crean el intenso campo magnético necesario para sustentar el efecto Meissner. Estas mismas corrientes permiten transmitir energía sin gasto energético, lo que representa el efecto más espectacular de este tipo de materiales. Debido a que la cantidad de electrones superconductores es finita, la cantidad de corriente que puede soportar el material es limitada. Por tanto, existe una **corriente crítica** a partir de la cual el material deja de ser superconductor y comienza a disipar energía.

Cómo obtener materiales superconductores

Debido a las bajas temperaturas que se necesitan para conseguir la superconductividad, los materiales más comunes se suelen enfriar con helio líquido (el nitrógeno líquido sólo es útil cuando se manejan superconductores de alta temperatura). El montaje necesario es complejo y costoso, utilizándose en muy contadas aplicaciones como, por ejemplo, la construcción de electroimanes muy potentes para resonancia magnética nuclear.

Sin embargo, en los años 80 se descubrieron los superconductores de alta temperatura, que muestran la transición de fase a temperaturas superiores a la transición líquido-vapor del nitrógeno líquido. Esto ha abaratado mucho los costos en el estudio de estos materiales y abierto la puerta a la existencia de materiales superconductores a temperatura ambiente, lo que supondría una revolución en la industria del siglo XXI. La mayor desventaja de estos materiales es su composición cerámica, lo que lo hace poco apropiado para fabricar cables mediante deformación plástica, el uso más obvio de este tipo de materiales. Sin embargo se han desarrollado técnicas nuevas para la fabricación de cintas como IBAD (deposición asistida mediante haz de iones). Mediante esta técnica se han logrado cables de longitudes mayores de 1 kilómetro.

Aplicaciones

Los imanes superconductores son algunos de los electroimanes más poderosos conocidos. Se utilizan en los trenes maglev, en máquinas para la resonancia magnética nuclear en hospitales y en el direccionamiento del haz de un acelerador de partículas. También pueden utilizarse para la separación magnética, en donde partículas magnéticas débiles se extraen de un fondo de partículas menos o no magnéticas, como en las industrias de pigmentos.

Los superconductores se han utilizado también para hacer circuitos digitales y filtros de radiofrecuencia y microondas para estaciones base de telefonía móvil.

Los superconductores se usan para construir uniones Josephson, que son los bloques de construcción de los SQUIDS (dispositivos superconductores de interferencia cuántica), los magnetómetros conocidos más sensibles. Una serie de dispositivos Josephson se han utilizado para definir el voltio en el sistema internacional (SI). En función de la modalidad de funcionamiento, una unión Josephson se puede utilizar como detector de fotones o como mezclador. El gran cambio en la

resistencia a la transición del estado normal al estado superconductor se utiliza para construir termómetros en detectores de fotones criogénicos.

Están apareciendo nuevos mercados donde la relativa eficiencia, el tamaño y el peso de los dispositivos basados en los superconductores de alta temperatura son superiores a los gastos adicionales que ellos suponen.

Aplicaciones futuras prometedoras incluyen transformadores de alto rendimiento, dispositivos de almacenamiento de energía, la transmisión de energía eléctrica, motores eléctricos (por ejemplo, para la propulsión de vehículos, como en vactrains o trenes maglev) y dispositivos de levitación magnética. Sin embargo la superconductividad es sensible a los campos magnéticos en movimiento de modo que las aplicaciones que usan corriente alterna (por ejemplo, los transformadores) serán más difíciles de elaborar que las que dependen de corriente continua [57].

Puede decirse que existen tres tipos de aplicaciones de la superconductividad:

1) *La producción de grandes campos magnéticos.* Al decir grandes nos referimos tanto a una gran intensidad del campo magnético como al espacio en el cual se crea el campo.

2) *La fabricación de cables de transmisión de energía.* Aunque éstos ya se manufacturan a partir de los superconductores convencionales (no de los nuevos superconductores cerámicos), actualmente no son competitivos comercialmente con respecto a los cables aéreos normales, a menos de que cubran una gran distancia (de cientos de kilómetros). En los casos en que las líneas de transmisión deben ser subterráneas, habría cierta ventaja económica con la utilización de los cables superconductores.

3) *La fabricación de componentes circuitos electrónicos.* Estos dispositivos electrónicos fueron ideados originalmente con la intención de utilizar la transición de estado normal a estado superconductor como un interruptor, más resultaron decepcionantes con respecto a los logros alcanzados por los transistores de películas delgadas y se ha abandonado su uso en este aspecto. Este panorama puede cambiar con el descubrimiento de los nuevos materiales superconductores cerámicos. Cabe mencionar que son de gran interés los dispositivos basados en la utilización del llamado efecto Josephson (que es el efecto de "tunelamiento" conocido por la mecánica cuántica, pero de corriente de superconductividad aun en ausencia de un voltaje aplicado). Resultan superiores a otras tecnologías y tienen un gran campo de aplicación que va desde la detección de señales del infrarrojo lejano que provienen del espacio exterior, hasta pequeñísimos campos magnéticos que se producen en el cerebro humano. También la corriente Josephson a voltaje cero depende fuertemente de un campo magnético aplicado, lo que lleva a la posibilidad de tener un interesante interruptor para circuitos lógicos en las computadoras.

La aplicación más importante, en cuanto a la cantidad de material empleado, es y será por mucho tiempo la producción de campos magnéticos, que se emplean, principalmente, en los laboratorios de física con fines de investigación, y es común ver pequeños electroimanes superconductores que sirven para producir campos magnéticos con intensidades del orden de 10^3 Oersted. Dentro de la

investigación en el campo de la física, también se utilizan electroimanes superconductores para generar campos magnéticos altamente estables, útiles en los estudios de la resonancia magnética nuclear y la microscopía electrónica de alta resolución. Son muy utilizados en las cámaras de burbujas que sirven para la detección de partículas y que requieren campos magnéticos muy intensos.

Por otro lado, se espera que los motores y generadores superconductores tendrán enormes consecuencias en lo social y económico, en unos años más, pues para su elaboración se utilizan campos magnéticos intensos. También se desea utilizar electroimanes superconductores para la levitación de trenes de transporte de pasajeros o de carga.

Es conveniente señalar las propiedades que se requieren en los superconductores comerciales:

- 1) La mayor temperatura crítica posible. Esto se debe a que, cuanto mayor sea, más elevada podrá ser la temperatura de operación del dispositivo fabricado, reduciéndose de esta manera los costos por refrigeración requeridos para alcanzar el estado superconductor en operación.
- 2) El mayor campo magnético crítico posible. Como se pretende utilizar el superconductor para generar campos magnéticos intensos, mientras mayor sea el campo magnético que se quiere generar, mayor tendría que ser el campo crítico del material superconductor.
- 3) La mayor densidad de corriente crítica posible. A mayor densidad de corriente crítica que la muestra pueda soportar antes de pasar al estado normal, más pequeño podrá hacerse el dispositivo, reduciéndose, de esta manera, la cantidad requerida de material superconductor y también la cantidad de material que debe refrigerarse.
- 4) La mayor estabilidad posible. Es muy común que los superconductores sean inestables bajo cambios repentinos de corriente, de campos magnéticos, o de temperatura, o bien ante choques mecánicos e incluso por degradación del material al transcurrir el tiempo (como ocurre en muchos de los nuevos materiales superconductores cerámicos). Así que, si ocurre algún cambio súbito cuando el superconductor está en operación, éste podría perder su estado superconductor. Por eso es conveniente disponer de la mayor estabilidad posible.
- 5) Facilidad de fabricación. Un material superconductor será completamente inútil para aplicaciones en gran escala si no puede fabricarse fácilmente en grandes cantidades.
- 6) Costo mínimo. Como siempre, el costo es el factor más importante para considerar cualquier material utilizado en ingeniería y deberá mantenerse tan bajo como sea posible.

ALGUNAS APLICACIONES DE LOS ELECTROIMANES SUPERCONDUCTORES

Algunas de las aplicaciones más importantes de los electroimanes superconductores, sin que la lista pretenda ser exhaustiva, es la siguiente:

1) *Aplicaciones biológicas.* Se sabe desde hace mucho tiempo que los campos magnéticos intensos afectan el crecimiento de plantas y animales. Así, se han utilizado electroimanes superconductores para generar campos magnéticos intensos y estudiar sus efectos en el crecimiento de plantas y animales y, además, analizar su efecto en el comportamiento de estos últimos.

2) *Aplicaciones químicas.* Es un hecho conocido que los campos magnéticos pueden cambiar las reacciones químicas y ser utilizados en la catálisis.

3) *Aplicaciones médicas.* Se han aplicado campos magnéticos para arreglar arterias, sacar tumores y para sanar aneurismas sin cirugía. También se estudia la influencia de los campos magnéticos en las funciones vitales del cuerpo humano.

4) *Levitación.* Una aplicación muy importante es en el transporte masivo, rápido y económico. La idea de usar una fuerza magnética para hacer "flotar" vehículos de transporte ha estado en la mente de los científicos por casi un siglo y la posible aplicación de la superconductividad a este problema lo ha renovado y actualizado. Hay, esencialmente, dos métodos posibles para conseguir la levitación. Uno corresponde a la utilización de un sistema atractivo y el otro a un sistema repulsivo. Describiremos muy brevemente los principios de funcionamiento de cada uno.



Figura 2.22.2. Dibujo que muestra un tren levitado por campos magnéticos producidos por corrientes superconductoras [58].

El sistema atractivo ha sido investigado, principalmente, en Alemania y Estados Unidos. Como es sabido, la fuerza magnética entre un material ferromagnético colocado en el seno de un campo magnético y la fuente que genera al campo magnético es siempre atractiva. El peso del vehículo es sostenido por esta fuerza atractiva. Las características básicas de este sistema son:

a) el campo magnético necesario puede ser generado por electroimanes convencionales hechos de metales normales, a causa de la presencia de material ferromagnético;

b) el uso de electroimanes de metal normal requiere una pequeña brecha de alrededor de 1 cm entre el material ferromagnético y los electroimanes. Aun con un diseño óptimo, utilizando metal normal, el costo es mucho menor cuando se utilizan electroimanes superconductores;

c) la fuerza magnética aumenta cuando la brecha se hace más pequeña y disminuye cuando aumenta, lo cual significa que el sistema es inherentemente inestable, y para lograr su estabilización es necesario que tenga un mecanismo de retroalimentación que le permita regular la corriente y, por tanto, la fuerza atractiva.

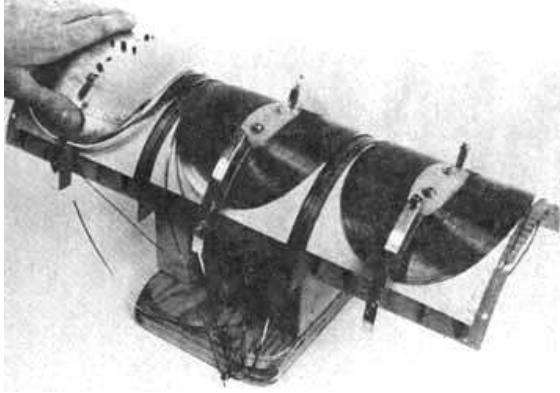


Figura 2.22.3. Tipo de bobinas superconductoras para el transporte *levitado* (aplicación del Efecto Meissner) [58].

Aunque no se puede hacer ninguna conclusión negativa acerca del sistema atractivo, éste presenta, al menos, dos desventajas cuando se trata de velocidades superiores a 250 km/h. La primera es la pequeña brecha en la cual debe operar. Una razón fundamental por la que el tren convencional de ruedas y rieles no puede viajar a velocidades superiores a 300 km/h es que su posición vertical tiene que ser mantenida dentro de una variación no mayor de 2 milímetros sobre una distancia de 10 metros. La segunda razón es que el sistema es intrínsecamente inestable con respecto al movimiento vertical. Estas dos desventajas, si bien no hacen imposible la operación a alta velocidad, si requieren una gran cantidad de energía eléctrica para lograr mantener una brecha del tamaño adecuado para velocidades mayores que 250 km/h. Se ha sugerido que los electroimanes de metal normal sean sustituidos por electroimanes superconductores para que sea posible construir una brecha de mucho mayor tamaño. La contraparte de este beneficio radica en la dificultad de controlar las corrientes necesarias para estabilizar la posición vertical.

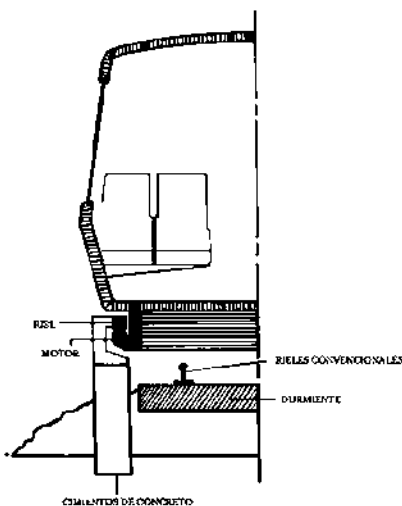


Figura 23. Esquema del sistema de *levitación* por atracción.

2.22.4. Esquema del sistema de *levitación* por atracción [58].

En lo que se refiere al sistema de levitación por repulsión se puede decir que presenta mejores perspectivas. Este sistema funciona como una aplicación de la ley de Lenz de inducción de corrientes eléctricas al tener campos magnéticos que varían con el tiempo, en cuyo seno existe una espira de material conductor.

El campo magnético que genera la corriente inducida da lugar a un campo magnético que tiene una polaridad opuesta al campo magnético original, creándose una repulsión entre ambos campos magnéticos.

Un aspecto importante del sistema repulsivo es la disipación de energía que se da en el conductor; es una pérdida por la resistencia eléctrica del material conductor. Esta disipación depende de la frecuencia de excitación y tiene un máximo para cierto valor de la frecuencia. Sin embargo, tiende a cero conforme la frecuencia de excitación crece hacia valores más grandes.

La característica más importante del sistema repulsivo, en lo que se refiere a transportación masiva, es la utilización de electroimanes superconductores para proporcionar los campos magnéticos requeridos. Los electroimanes superconductores hacen posible generar un campo magnético intenso en un volumen grande y esto tiene profundos efectos en el diseño del sistema. Los puntos sobresalientes del sistema son:

a) La brecha entre los electroimanes y el material conductor puede ser, al menos, de una magnitud mayor que para el caso atractivo. Esto es fundamental para el diseño de operación de vehículos de alta velocidad.

b) Un campo magnético intenso, generado sobre un gran volumen por los electroimanes superconductores, puede incorporarse fácilmente a un mecanismo de propulsión y de esta manera los mecanismos de suspensión (o levitación) y los de propulsión son compatibles.

A menos que investigaciones posteriores indiquen lo opuesto, parece que no existen problemas técnicos fundamentales con este sistema. Sin embargo, se requieren algunas innovaciones técnicas antes de poder completar un diseño comercial.

El descubrimiento de materiales superconductores cerámicos con una elevada temperatura crítica hace aún más atractiva la idea de la utilización de materiales superconductores para la transportación masiva. Cuando menos ya no se requerirá enfriar a temperatura de helio líquido, bastará con la refrigeración que proporciona el nitrógeno líquido. Claro que aún sigue la búsqueda de materiales cerámicos superconductores de temperatura crítica superior a la temperatura ambiente y, si se logra hallarlos, ya no será necesaria la refrigeración del sistema, reduciéndose así los costos de construcción y operación.

5) *Generación de energía.* Utilización de imanes superconductores para lograr "botellas magnéticas" que sirvan para la generación de energía nuclear por fusión que no presenta problemas de desechos radiactivos, como sucede con los actuales generadores de energía nuclear por fusión.

6) *Separación magnética.* Ésta se aplica comercialmente para separar materiales paramagnéticos y materiales ferromagnéticos: en la industria del caolín, para separar sustancias magnéticas de la arcilla; para la limpieza magnética selectiva del carbón, o sea, separar sustancias minerales de sustancias orgánicas.

7) *Limpieza de aguas contaminadas.* Por medio de campos magnéticos se pueden separar las impurezas que al estar disueltas en agua quedan ionizadas y al fluir a través de un campo magnético pueden ser desviadas por éste y ser apartadas del agua.

8) *Blindaje y modelaje de campos magnéticos.* Puede lograrse por medio de planos superconductores que ya han sido utilizados para este fin en sistemas de producción de energía.

9) *Aceleradores de mucha energía.* Se han podido desarrollar electroimanes dipolares y cuadrupolares oscilantes de materiales superconductores, capaces de generar los campos magnéticos más intensos de la historia para su utilización en aceleradores de partículas de energía muy grandes [58].

2.22.2. MATERIALES AISLANTES

AISLANTES:

Se denomina aislante eléctrico al material con escasa conductividad eléctrica. El comportamiento de los aislantes se debe a la barrera de potencial que se establece entre las bandas de valencia y conducción que dificulta la existencia de electrones libres capaces de conducir la electricidad a través del material, el aislante es el que posee más de 4 electrones en su última capa de valencia.

TIPOS Y CARACTERISTICAS:

Aislantes Sólidos: Un buen aislante entre vueltas de las bobinas de transformadores es el cartón prensado, el cual da forma a estructuras de aislamiento rígidas. En los sistemas de aislamiento de transformadores destacan las cintas sintéticas, que se utilizan para envolver los conductores magnéticos de los bobinados.

Aislantes Líquidos: Los fluidos o líquidos dieléctricos cumplen la doble función de aislar los bobinados en los transformadores y disipar el calor al interior de estos equipos. El líquido dieléctrico más empleado es el aceite mineral. El problema es que es altamente inflamable. Fluidos dieléctricos sintéticos, (hidrocarburos) con alto punto de inflamación.

Aislantes Gaseosos: Los gases aislantes más utilizados en los transformadores son el aire y el nitrógeno, este último a presiones de 1 atmósfera. El aire y otros gases tienen elevadísima resistividad y están prácticamente exentos de pérdidas dieléctricas.

El comportamiento de los aislantes se debe a la barrera de potencial que se establece entre las bandas de valencia y conducción que dificulta la existencia de electrones libres capaces de conducir la electricidad a través del material (para más detalles ver semiconductor).

Los materiales aislantes son mejor conocidos como aquellos que tienen sus electrones de valencia relativamente fijos formando enlaces no conductores eléctricos.

Ejemplos: Oxígeno, azufre, diamante.

El aislante perfecto para las aplicaciones eléctricas sería un material absolutamente no conductor, pero ese material no existe. Los materiales empleados como aislantes siempre conducen algo la electricidad, pero presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta $2,5 \times 10^{24}$ veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre. Estos materiales conductores tienen un gran número de electrones libres (electrones no estrechamente ligados a los núcleos) que pueden transportar la corriente; los buenos aislantes apenas poseen estos electrones. Algunos materiales, como el silicio o el germanio, que tienen un número limitado de electrones libres, se comportan como semiconductores, y son la materia básica de los transistores.

En los circuitos eléctricos normales suelen usarse plásticos como revestimiento aislante para los cables. Los cables muy finos, como los empleados en las bobinas (por ejemplo, en un transformador), pueden aislarse con una capa delgada de barniz. El aislamiento interno de los equipos eléctricos puede efectuarse con mica o mediante fibras de vidrio con un aglutinador plástico. En los equipos electrónicos y transformadores se emplea en ocasiones un papel especial para aplicaciones eléctricas. Las líneas de alta tensión se aíslan con vidrio, porcelana u otro material cerámico.

La elección del material aislante suele venir determinada por la aplicación. El polietileno y polietileno se emplean en instalaciones de alta frecuencia, y el millar se emplea en condensadores eléctricos. También hay que seleccionar los aislantes según la temperatura máxima que deban resistir. El teflón se emplea para temperaturas altas, entre 175 y 230 °C. Las condiciones mecánicas o químicas adversas pueden exigir otros materiales. El nylon tiene una excelente resistencia a la abrasión, y el neopreno, la goma de silicona, los poliésteres de epoxi y los poliuretanos pueden proteger contra los productos químicos y la humedad.

¿Cuál es la diferencia existente entre conductor, semiconductor y aislante?

Es sencillo, los conductores son todos aquellos que poseen menos de 4 electrones en la capa de valencia, el semiconductor es aquel que posee 4 electrones en la capa de valencia y el aislante es el que posee más de 4 electrones en la capa de valencia.



»**Figura 2.22.5. Vinilo:** tienen como función principal aislar y empalmar cables de baja tensión (usualmente máximo hasta 600 Volts). También son usados como respaldo y protección contra UV (instalaciones tipo exterior) en las chaquetas de cables de media tensión [60].

Caucho: aísla conductores eléctricos y permiten empalmes con la particularidad de que se pueden consolidar como una sola pieza de caucho después del enrollado, lo que adicionalmente protege contra la humedad.



» **Figura 2.22.6. Tela de vidrio:** aísla eléctricamente cables en baja tensión pero con una aplicación para temperaturas altas, usualmente superiores a los 150°C e inferiores a 300°C. Por otro lado, una aplicación común de estas cintas es el amarre mecánico, ya que su tensión de ruptura puede ser hasta 10 veces superior a la de las cintas de vinilo [60].

Clasificación de Materiales Aislantes:

Se clasifican de acuerdo a 2 formas: a) De acuerdo a substancia y materiales, b) De acuerdo a su temperatura

a) Clasificación de Materiales Aislantes de acuerdo a substancia y materiales:

(i) Materiales Aislantes Sólidos (Inorgánicos y Orgánicos)

Mica, madera, vidrio, porcelana, goma, algodón, seda, rayón, terileno, papel y celulosa, etc.

(ii) Materiales Aislantes Líquidos

Aceites minerales de hidrocarburos refinados, aceite de linaza, varníces sintéticos y espirituosos.

(iii) Materiales Aislantes Gaseosos

Aire seco, Dióxido de Carbono, Argón, Nitrógeno, etc.

b) Clasificación de Materiales Aislantes de acuerdo a su temperatura:

Los materiales aislantes son clasificados principalmente de acuerdo a su límite térmico. La performance de su aislamiento depende de su temperatura de operación. Mientras más alta es la temperatura, mas alto será el rango de su degradación térmica, por lo tanto, más baja será su vida útil. Si se espera una vida de aislamiento larga razonable, su temperatura de operación debe ser mantenida baja. Entonces es necesario determinar los límites de temperatura para el aislamiento, que asegurara operación segura a través de la duración de su expectativa de vida.

Entonces los materiales aislantes se agrupan en diferentes clases: Y, A, B, y C con temperaturas límite de 90°C, 105°C y 130°C para las primeras tres clases y sin límite especificado para la clase C. Las clases Y y A cubren varios materiales orgánicos con y sin impregnación respectivamente. Mientras que las clases B y C cubren materiales inorgánicos, respectivamente con y sin aglutinante. Con el advenimiento de materiales nuevos, por ejemplo, los plásticos y las siliconas durante los años 50, se necesito reorganizar la clasificación de los materiales aislantes. Esto llevo a la IEC (International Electrotechnical Commision) a producir nuevas categorías a saber:

Clase Y: 90° C Papel, algodón, seda, goma natural, Clorido de Polivinilo, sin impregnacion.

Clase A: 105° C Igual a la clase Y pero impregnado, mas nylon.

Clase E: 120° C Polietileno de teraftalato (fibra de terileno, film melinex) triacetato de celulosa
Enamel-acetato-polivinilo

Clase B: 130° C Mica, fibra de vidrio (Borosilicato de alumino libre de alcalinos), asbestos
bituminizados, baquelita, enamel de poliester.

Clase F: 155° C Como los de la clase B pero con alkyd y resinas basadas en epoxy, poliuretano.

Clase H: 180° C Como los de clase B con algutinante resinoso de siliconas, goma siliconada
poliamida aromatica (papel nomex y fibra), film de poliamida (enamel, varniz
y film) y enamel de estermida.

Clase C: >180° C Como la clase B pero con aglutinantes inorgánicos apropiados (Teflon
Mica, Mecanita, Vidrio, Ceramicos, Politetrafluoroetileno) [60].

2.22.3. MATERIALES CONDUCTORES

Un conductor es un material a través del cual puede fluir la corriente eléctrica. Para ser un conductor, un material debe contener cargas eléctricas libres. Hay muchos tipos de conductores, y difieren en el tipo de cargas libres disponibles y en cómo son creadas.

En materiales como los metales, algunos electrones no se hallan ligados a sus átomos individuales, sino que son libres de moverse a través del material: en efecto son compartidos por todos los átomos.

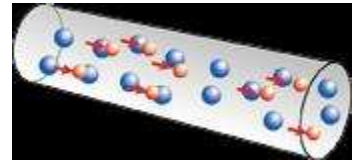
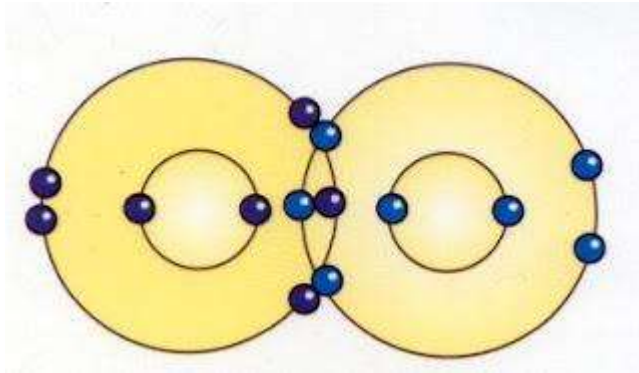


Figura 2.22.7. Esas partículas sueltas reciben el nombre de electrones de “conducción”. En un metal como el cobre, aproximadamente un electrón por átomo es de ese tipo. Los metales son los conductores más comúnmente usados [59].



Figura 2.22.8. Para que un material que transporte electricidad sea asequible, debe ser barato y buen conductor eléctrico, por lo cual el cobre es ideal ya que reúne esas dos características. Por ello es el conductor más usado, como por ejemplo en los cables eléctricos de las casas [59].

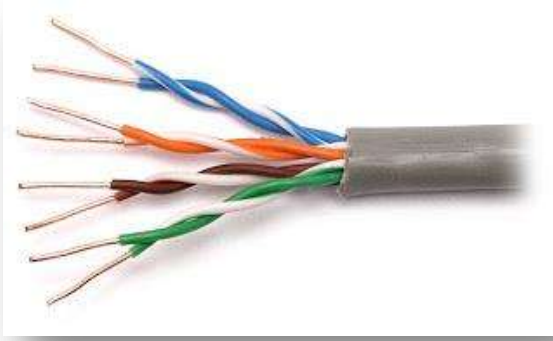


Figura 2.22.9. El aluminio es también usado ocasionalmente con esa finalidad, pero no es tan buen conductor como el cobre. En situaciones en las que el coste no es una objeción, como en los satélites espaciales, en los circuitos eléctricos se usa el oro y la plata porque son ligeramente mejores conductores que el cobre, aunque son mucho más caros [59].

Conductores: En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

Conductores sólidos: *Metales*

Características físicas:

- estado sólido a temperatura normal, excepto el mercurio que es líquido.
- opacidad, excepto en capas muy finas.
- buenos conductores eléctricos y térmicos.
- brillantes, una vez pulidos, y estructura cristalina en estado sólido.
- dureza o resistencia a ser rayados;
- resistencia longitudinal o resistencia a la rotura;
- elasticidad o capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación;
- maleabilidad o posibilidad de cambiar de forma por la acción del martillo; (puede batirse o extenderse en planchas o laminas)
- resistencia a la fatiga o capacidad de soportar una fuerza o presión continuadas
- ductilidad: permite su deformación forzada, en hilos, sin que se rompa o astille.

Características químicas:

- Valencias positivas: Tienden a ceder electrones a los átomos con los que se enlazan.
- Tienden a formar óxidos básicos.

- Energía de ionización baja: reaccionan con facilidad perdiendo electrones para formar iones positivos o cationes.

Características eléctricas:

- mucha resistencia al flujo de electricidad.
- todo átomo de metal tiene únicamente un número limitado de electrones de valencia con los que unirse a los átomos vecinos.
- superposición de orbitales atómicos de energía equivalente con los átomos adyacentes
- La elevada conductividad eléctrica y térmica de los metales se explica así por el paso de electrones a estas bandas con defecto de electrones, provocado por la absorción de energía térmica.
- Ejemplos de metales conductores: Cobre. Este material es un excelente conductor de las señales eléctricas y soporta los problemas de corrosión causados por la exposición a la intemperie, por eso se usa para los cables. También el aluminio es un buen conductor. La más baja conductividad eléctrica la tiene el bismuto, y la más alta (a temperatura ordinaria) la plata.

Conductores líquidos:

- El agua, con sales como cloruros, sulfuros y carbonatos que actúan como agentes reductores (donantes de electrones), conduce la electricidad.
- Algunos otros líquidos pueden tener falta o exceso de electrones que se desplacen en el medio. Son iones, que pueden ser cationes, (+) o aniones (-).

Conductores gaseosos:

- Valencias negativas (se ioniza negativamente)
- En los gases la condición que implica el paso de una corriente se conoce como el fenómeno de descarga o "ruptura" eléctrica del gas: paso de un comportamiento no conductor (baja corriente) a conductor.
- Tienden a adquirir electrones
- Tienden a formar óxidos ácidos.

Ejemplos: Nitrógeno, cloro, Neón (ionizados)

2.22.4. MATERIALES SEMICONDUCTORES

Material sólido o líquido capaz de conducir la electricidad mejor que un aislante, pero peor que un metal. La conductividad eléctrica, que es la capacidad de conducir la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial, es una de las propiedades físicas más importantes. Por otro lado, ciertos aislantes como el diamante o el vidrio son muy malos conductores. A temperaturas muy bajas, los semiconductores puros se comportan como aislantes. Sometidos a altas temperaturas, mezclados con impurezas o en presencia de luz, la conductividad de los semiconductores puede aumentar de forma espectacular y llegar a alcanzar niveles cercanos a los de los metales. Las propiedades de los semiconductores se estudian en la física del estado sólido.

Semiconductores intrínsecos

Es un cristal de Silicio o Germanio que forma una estructura tetraédrica similar a la del carbono mediante enlaces covalentes entre sus átomos, en la figura representados en el plano por simplicidad. Cuando el cristal se encuentra a temperatura ambiente algunos electrones pueden absorber la energía necesaria para saltar a la banda de conducción dejando el correspondiente hueco en la banda de valencia (1). Las energías requeridas, a temperatura ambiente, son de 0,7 eV y 0,3 eV para el silicio y el germanio respectivamente.

Obviamente el proceso inverso también se produce, de modo que los electrones pueden caer, desde el estado energético correspondiente a la banda de conducción, a un hueco en la banda de valencia liberando energía. A este fenómeno se le denomina recombinación. Sucede que, a una determinada temperatura, las velocidades de creación de pares e-h, y de recombinación se igualan, de modo que la concentración global de electrones y huecos permanece invariable. Siendo "n" la concentración de electrones (cargas negativas) y "p" la concentración de huecos (cargas positivas), se cumple que:

$$n_i = n = p$$

Siendo n_i la concentración intrínseca del semiconductor, función exclusiva de la temperatura y del tipo de elemento.

Ejemplos de valores de n_i a temperatura ambiente (25°C):

$$n_i(\text{Si}) = 1.5 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$$

$$n_i(\text{Ge}) = 2.5 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$$

Los electrones y los huecos reciben el nombre de portadores. En los semiconductores, ambos tipos de portadores contribuyen al paso de la corriente eléctrica. Si se somete el cristal a una diferencia de potencial se producen dos corrientes eléctricas. Por un lado la debida al movimiento de los electrones libres de la banda de conducción, y por otro, la debida al desplazamiento de los electrones en la banda de valencia, que tenderán a saltar a los huecos próximos (2), originando

una corriente de huecos con 4 capas ideales y en la dirección contraria al campo eléctrico cuya velocidad y magnitud es muy inferior a la de la banda de conducción.

Semiconductores extrínsecos

Si a un semiconductor intrínseco, como el anterior, se le añade un pequeño porcentaje de impurezas, es decir, elementos trivalentes o pentavalentes, el semiconductor se denomina extrínseco, y se dice que está dopado. Evidentemente, las impurezas deberán formar parte de la estructura cristalina sustituyendo al correspondiente átomo de silicio. Hoy en día se han logrado añadir impurezas de una parte por cada 10 millones, logrando con ello una modificación del material.

Semiconductor tipo N

Un Semiconductor tipo N se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso negativos o electrones).

Cuando se añade el material dopante aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material donante ya que da algunos de sus electrones.

El propósito del dopaje tipo n es el de producir abundancia de electrones portadores en el material. Para ayudar a entender cómo se produce el dopaje tipo n considérese el caso del silicio (Si). Los átomos del silicio tienen una valencia atómica de cuatro, por lo que se forma un enlace covalente con cada uno de los átomos de silicio adyacentes. Si un átomo con cinco electrones de valencia, tales como los del grupo 15 de la tabla periódica (ej. fósforo (P), arsénico (As) o antimonio (Sb)), se incorpora a la red cristalina en el lugar de un átomo de silicio, entonces ese átomo tendrá cuatro enlaces covalentes y un electrón no enlazado. Este electrón extra da como resultado la formación de "electrones libres", el número de electrones en el material supera ampliamente el número de huecos, en ese caso los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos son los portadores minoritarios. A causa de que los átomos con cinco electrones de valencia tienen un electrón extra que "dar", son llamados átomos donadores. Nótese que cada electrón libre en el semiconductor nunca está lejos de un ion dopante positivo inmóvil, y el material dopado tipo N generalmente tiene una carga eléctrica neta final de cero.

Semiconductor tipo p

Un Semiconductor tipo P se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o huecos).

Cuando se añade el material dopante libera los electrones más débilmente vinculados de los átomos del semiconductor. Este agente dopante es también conocido como material aceptor y los átomos del semiconductor que han perdido un electrón son conocidos como huecos.

El propósito del dopaje tipo P es el de crear abundancia de huecos. En el caso del silicio, un átomo tetravalente (típicamente del grupo 14 de la tabla periódica) se le une un átomo con tres electrones de valencia, tales como los del grupo 13 de la tabla periódica (ej. Al, Ga, B, In), y se incorpora a la red cristalina en el lugar de un átomo de silicio, entonces ese átomo tendrá tres enlaces covalentes y un hueco producido que se encontrará en condición de aceptar un electrón libre.

Así los dopantes crean los "huecos". No obstante, cuando cada hueco se ha desplazado por la red, un protón del átomo situado en la posición del hueco se ve "expuesto" y en breve se ve equilibrado como una cierta carga positiva. Cuando un número suficiente de aceptores son añadidos, los huecos superan ampliamente la excitación térmica de los electrones. Así, los huecos son los portadores mayoritarios, mientras que los electrones son los portadores minoritarios en los materiales tipo P. Los diamantes azules (tipo IIb), que contienen impurezas de boro (B), son un ejemplo de un semiconductor tipo P que se produce de manera natural.



Figura 2.22.10. La característica común que presentan los semiconductores, como el silicio o el germanio, es la de poseer cuatro electrones en su capa de valencia. Esta estructura electrónica permite la agrupación de los átomos, formando una estructura reticular en la que cada uno de ellos queda rodeado por otros cuatro. Entre dichos átomos se establece un enlace covalente, por compartición de un par de electrones [59].

A bajas temperaturas, la estructura del semiconductor se establece y se comporta como un aislante. No obstante, al aumentar la temperatura y debido a la proximidad de la banda de conducción, algunos electrones abandonan la capa de valencia y pasan a la de conducción. Estos electrones contribuyen a establecer una corriente eléctrica cuando se aplica un campo eléctrico exterior.

Al mismo tiempo, su paso a la banda de conducción origina un hueco en la banda de valencia. Ese hueco permite que los electrones de la capa de valencia adquieran cierta movilidad al desplazarse para rellenarlo, produciéndose así nuevos huecos. Existe, por tanto, una conducción por «huecos». Dado que el hueco representa la falta de un electrón, su movimiento puede considerarse equivalente al de una carga +e positiva. Se establece, por tanto, una doble conducción en el semiconductor: por un lado, la correspondiente a los electrones que han saltado a la banda de conducción, y por otro, la que corresponde al movimiento de los huecos en la banda de valencia. A esta conductividad de los semiconductores se le denomina conductividad intrínseca, por ser propia del semiconductor.

Para evitar el efecto de la temperatura se modifica la conductividad de los semiconductores de una forma más estable, añadiendo pequeñas cantidades de otro elemento, denominadas impurezas, mediante un proceso denominado dopado del semiconductor [59].

2.22.5. ELECTROCERÁMICOS

La cerámica electrónica es un término genérico que describe una clase de los materiales inorgánicos, no-metálicos utilizados en la industria de electrónica. Aunque las cerámicas electrónicas o electrocerámicas, incluyendo los cristales amorfos y los singulares, pertenecen generalmente a los sólidos inorgánicos policristalinos, abarcando a los cristales orientados de forma aleatoria (granos) enlazados íntimamente. Esta orientación al azar de pequeños cristales (micrómetros) da lugar a las características equivalentes que poseen de las cerámicas isotrópicas en todas las direcciones. El carácter isotrópico se puede modificar durante la operación de la sinterización en las altas temperaturas o al enfriarse a temperatura ambiente por técnicas de procesamiento tales como el conformado en caliente en un campo eléctrico o magnético.

Las características de las electrocerámicas se relacionan con su microestructura de cerámica, el tamaño y la forma de grano, orientación y límites o bordes del grano. La cerámica electrónica se combina a menudo con los metales y los polímeros para resolver los requisitos de un amplio espectro de los usos, las computadoras, las telecomunicaciones, los sensores (qv), y los actuadores de la alta tecnología. En línea general, el mercado electrónico de la cerámica se puede dividir en seis porciones iguales según lo demostrado en el cuadro 2. 22.11. Además de fibras ópticas y de exhibiciones a base de SiO_2 , la cerámica electrónica abarca una amplia gama de materiales y de familias de la estructura cristalina usada como aisladores, los condensadores, piezoeléctricos, magnéticos, los sensores de semiconductores, los conductores, y los superconductores de alta temperatura recientemente descubiertos. El amplio alcance e importancia de la industria electrónica de la cerámica, que exhibe esquemáticamente los componentes electrocerámicos utilizados en la industria del automóvil. Actualmente, el crecimiento de la industria de cerámica electrónica es conducido por la necesidad del trazado de circuitos integrados que da lugar a nuevos progresos en materiales y procesos. El desarrollo de los paquetes de múltiples capas para la industria de la microelectrónica, integrados por los órdenes de cerámica tridimensionales de funcionamiento múltiples llamados la cerámica monolítica (MMC), continúa el proceso de la miniaturización comenzado hace varias décadas para proporcionar una nueva generación de productos robustos y baratos.

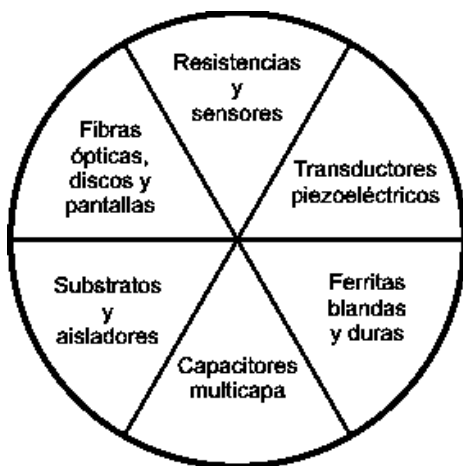


Figura 2. 22.11. Mercado electrónico de la cerámica [72].

Función	Material	Productos
Aislantes	Porcelana, vidrio, Steatita	Aislamiento de alto voltaje
Embalaje	Al_2O_3 , BeO, AlN	Substratos de circuitos integrados, paquetes (MMC: Monolithic Multi-Components Ceramic)
Capacitores (almacenamiento de energía)	BaTiO_3 , SrTiO_3 , TiO_2	Capacitares multicapa y de barrera
Piezoeléctricos	$\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$, SiO_2 (cuarzo)	Vibradores, osciladores, filtros, motores y accionadores
Magnéticos	$(\text{BaLa})\text{TiO}_3$, V_2O_3 , $\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$, ZnO- Bi_2O_3	Inductores, transformadores, dispositivos de memoria
Semiconductores	$\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$, CdS, SiC	PTC, Termostatos NTC, varistores, sensores de pH, sensores de humedad, celdas solares, calentadores eléctricos.
Conductores	RuO_2 , $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$, $\text{Zr}_{1-2x}\text{Y}_{2x}\text{O}_{2-x}$, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	Resistencias (film delgado), electrolitos sólidos, sensores de oxígeno, superconductores.

Tabla 2.22.1. Funciones de cerámica electrónicas y productos [72].

Relaciones entre la estructura y las propiedades

Una descripción de los fenómenos atómicos y electrónicos utilizados en la tecnología de las electrocerámicas se da en la figura 2.22.12. Discusiones más detalladas de sus familias y de las relaciones entre la estructura y las propiedades se pueden encontrar en otros artículos.

Los condensadores de múltiples capas, los transductores piezoeléctricos, y los termistores positivos del coeficiente de la temperatura (PTC) hacen uso de las características ferroeléctricas del titanato (IV) de bario, de BaTiO_3 , y del titanato del zirconato del plomo. Al enfriarse de altas temperaturas, esta cerámica experimenta transformaciones de fase a las estructuras polares que tienen patrones complejos del dominio. Los picos grandes en la constante dieléctrica acompañan las transiciones de la fase donde están especialmente activos los momentos de dipolo eléctrico a los campos eléctricos. Consecuentemente, las composiciones modificadas del titanato del bario, BaTiO_3 , se utilizan extensamente en la industria de múltiples capas del condensador y la mayoría de los transductores piezoeléctricos se hacen del titanato de la zirconia del plomo, la cerámica (PZT). La aplicación de un campo grande de la C.C. ("el poling") alinea los dominios y forma el piezoeléctrico de cerámica. La designación PZT es una marca registrada de Vernitron, inc.

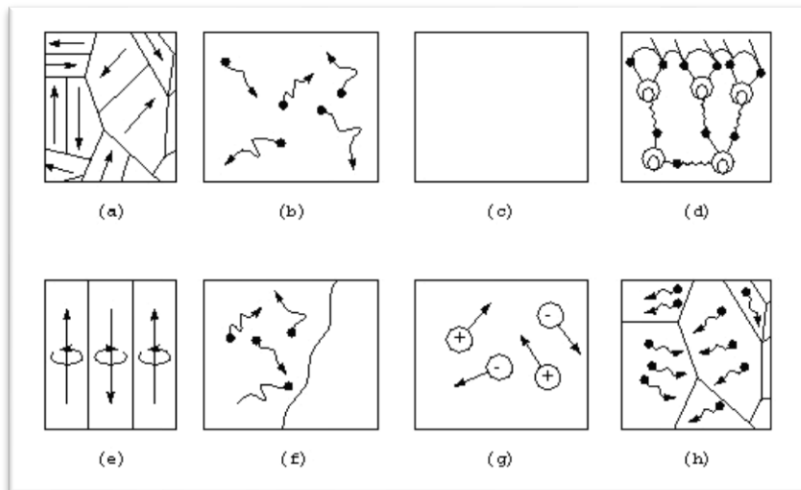


Figura 2.22.12. Una descripción de los mecanismos atómicos implicados en componentes electrocerámicos y en las aplicaciones correspondientes: (a) dominios ferroeléctricos: condensadores y piezoelectrónicos, termistores del PTC; (b) conducción electrónica: termistor de NTC; (c) aisladores y substratos; (d) conducción superficial: sensores de la humedad; (e) dominios

ferromagnéticos: imanes duros y suaves de la ferrita, cinta magnética; (f) transición del metal-semiconductor: termistor crítico de la temperatura NTC; (g) conducción iónica: sensores y baterías del gas; y (h) fenómenos del límite de grano: varistores, condensadores de la capa de límite, termistores del PTC [72].

Los fenómenos similares del dominio se observan en cerámicas ferromagnéticas del óxido tal como ferrita del manganeso, MnFe_2O_4 , y $\text{BaFe}_{11}\text{O}_{17}$, pero el mecanismo subyacente es diferente. Los “spines” desapareados de los iones giran, dando lugar a los momentos de dipolos magnéticos que interaccionan vía los iones vecinos del oxígeno con estupendo mecanismo de intercambio. Los dipolos magnéticos se orientan aleatoriamente en el estado paramagnético de alta temperatura, pero al enfriarse con la temperatura de curie, T_C , se alinean para formar dominios magnéticos dentro de los granos de cerámica. El pico en la permeabilidad magnética en el T_C es análogo al pico en la constante dieléctrica de la cerámica ferroeléctrica. Las paredes del dominio se mueven fácilmente en las ferritas suaves (qv) como MnFe_2O_4 y $\text{g-Fe}_2\text{O}_3$, que se utilizan en transformadores y cinta magnética. En la ferrita del bario, las vueltas se traban firmemente al eje hexagonal, haciéndola útil como imán permanente.

Varias clases de mecanismos de conducción son operativos en termistores de cerámica, resistores, varistores, y sensores químicos. Los termistores negativos del coeficiente de temperatura (NTC) hacen uso las características semiconductoras de los óxidos metálicos de transición dopados tales como tipo- n $\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ y tipo-p $\text{Ni}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}$. Los resistores de la película gruesa también se hacen de soluciones sólidas de óxidos metálicos.

Las transiciones de la fase están implicadas en termistores críticos de la temperatura. El vanadio, VO_2 , y el trióxido del vanadio, V_2O_3 , tienen transiciones de semiconductor- metal, en las cuales la conductividad disminuye varios órdenes de magnitud al enfriarse. Las transiciones electrónicas de fase también se observan en cerámicas superconductoras como $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, pero aquí los aumentos de la conductividad se agudizan al enfriarse con la transición de la fase.

La conductividad iónica se utiliza en sensores del oxígeno y en las baterías (qv). La zirconia estabilizada, $\text{Zr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{O}_{2-x}$, tiene un número muy grande de las vacantes del oxígeno y el b-Alúmina muy alto de la conductividad, $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$, es un conductor excelente del catión debido a la alta

movilidad de los iones de Na^+ . La cerámica del b-Alúmina se utiliza como el electrolito en baterías de sodio-azufre.

La conducción superficial se supervisa en la mayoría de los sensores de humedad con el uso de la cerámica porosa de $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ que fijan las moléculas de agua por absorción que después disocian, bajando la resistencia eléctrica.

Los fenómenos del borde de grano están implicados en varistores, condensadores de la capa de límite, y termistores del PTC. La formación de las finas capas de aislante entre los granos que conducen es crucial en la manipulación de los tres componentes. La interrupción eléctrica reversible en varistores se ha remontado a hacer un túnel mecánico del cuántum a través de las barreras aisladores finas. En un termistor de BaTiO_3 -PTC, la polarización eléctrica asociada a la transición ferroeléctrica de la fase neutraliza las barreras aisladores, haciendo que la cerámica pierda mucha de su resistencia bajo los condensadores de la capa de límite del TC. Tener barreras algo más gruesas que no puedan ser superadas, hacen de la cerámica un aislante del resto. Sin embargo, el movimiento de cargas dentro de los granos de cerámica que conducen levanta la constante dieléctrica y aumenta la capacitancia.

La importancia de substratos electrocerámicos y de los aislantes no deben ser pasados por alto. Aquí uno se esfuerza en señalar la grandeza de la interrupción eliminando los mecanismos interesantes de la conducción apenas descritos. Los enchufes de chispa, los aisladores de alto voltaje, y los substratos y los paquetes electrónicos se hacen de cerámica como la alúmina, la mullita y la porcelana [72].

2.23. FIBRA OPTICA

2.23.1. Proceso de fabricación.

Una vez obtenida mediante procesos químicos la materia de la fibra óptica, se pasa a su fabricación. Proceso continuo en el tiempo que básicamente se puede describir a través de tres etapas; la fabricación de la preforma, el estirado de esta y por último las pruebas y mediciones. Para la creación de la preforma existen cuatro procesos que son principalmente utilizados.

La etapa de fabricación de la preforma puede ser a través de alguno de los siguientes métodos:

- *M.C.V.D Modified Chemical Vapor Deposition*

Fue desarrollado originalmente por Corning Glass y modificado por los Laboratorios Bell Telephone para su uso industrial. Utiliza un tubo de cuarzo puro de donde se parte y es depositado en su interior la mezcla de dióxido de silicio y aditivos de dopado en forma de capas concéntricas. A continuación en el proceso industrial se instala el tubo en un torno giratorio. El tubo es calentado hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 1.400 °C y 1.600 °C mediante un quemador de hidrógeno y oxígeno. Al girar, el torno, el quemador comienza a desplazarse a lo largo del tubo. Por un extremo del tubo se introducen los aditivos de dopado, parte fundamental del proceso, ya que de la proporción de estos aditivos dependerá el perfil final del índice de refracción del núcleo. La deposición de las sucesivas capas se obtienen de las sucesivas pasadas del quemador, mientras el torno gira; quedando de esta forma, sintetizado, el núcleo de la fibra óptica. La operación que resta es el colapso, se logra igualmente con el continuo desplazamiento del quemador, solo que ahora a una temperatura comprendida entre 1.700 °C y 1.800 °C. Precisamente es esta temperatura la que garantiza el ablandamiento del cuarzo, convirtiéndose así el tubo en el cilindro macizo que constituye la preforma. Las dimensiones de la preforma suelen ser de un metro de longitud útil y de un centímetro de diámetro exterior.

- *V.A.D Vapor Axial Deposition*

Su funcionamiento se basa en la técnica desarrollada por la Nippon Telephone and Telegraph (N.T.T), muy utilizado en Japón por compañías dedicadas a la fabricación de fibras ópticas. La materia prima que utiliza es la misma que el método M.C.V.D, su diferencia con este radica, que en este último solamente se depositaba el núcleo, mientras que en este además del núcleo de la FO se deposita el revestimiento. Por esta razón debe cuidarse que en la zona de deposición axial o núcleo, se deposite más dióxido de germanio que en la periferia, lo que se logran a través de la introducción de los parámetros de diseño en el software que sirve de apoyo en el proceso de fabricación. A partir de un cilindro de vidrio auxiliar que sirve de soporte para la preforma, se inicia el proceso de creación de esta, depositándose ordenadamente los materiales, a partir del extremo del cilindro quedando así conformada la llamada "preforma porosa". Conforme su tasa de crecimiento se va desprendiendo del cilindro auxiliar de vidrio. El siguiente paso consiste en el colapsado, donde se somete la preforma porosa a una temperatura comprendida entre los 1.500 °C y 1.700 °C, lográndose así el reblandecimiento del cuarzo. Quedando convertida la preforma porosa hueca en su interior en el cilindro macizo y transparente, mediante el cual se suele describir la preforma.

Comparado con el método anterior (M.C.V.D) tiene la ventaja de que permite obtener preformas con mayor diámetro y mayor longitud, a la vez que precisa un menor aporte energético. El inconveniente más destacado es la sofisticación del equipamiento necesario para su realización.

- *O.V.D Outside Vapor Deposition*

Desarrollado por *Corning Glass Work*. Parte de una varilla de substrato cerámica y un quemador. En la llama del quemador son introducidos los cloruros vaporosos y esta caldea la varilla. A continuación se realiza el proceso denominado síntesis de la preforma, que consiste en el secado de la misma mediante cloro gaseoso y el correspondiente colapsado de forma análoga a los realizados con el método V.A.D, quedando así sintetizados el núcleo y revestimiento de la preforma.

Entre las ventajas, es de citar que las tasas de deposición que se alcanzan son del orden de 4.3 g/min, lo que representa una tasa de fabricación de FO de 5 km/h, habiendo sido eliminadas las pérdidas iniciales en el paso de estirado de la preforma. También es posible la fabricación de fibras de muy baja atenuación y de gran calidad mediante la optimización en el proceso de secado, porque los perfiles así obtenidos son lisos y sin estructura anular reconocible.

- *P.C.V.D Plasma Chemical Vapor Deposition*

Es desarrollado por Philips, se caracteriza por la obtención de perfiles lisos sin estructura anular reconocible. Su principio se basa en la oxidación de los cloruros de silicio y germanio, creando en estos un estado de plasma, seguido del proceso de deposición interior.

La etapa de estirado de la preforma

Sea cualquiera que se utilice de las técnicas que permiten la construcción de la preforma es de común a todas el proceso de estirado de esta. Consiste básicamente en la existencia de un horno tubular abierto, en cuyo interior se somete la preforma a una temperatura de 2.000 °C, logrando así el reblandamiento del cuarzo y quedando fijado el diámetro exterior de la FO. Este diámetro se ha de mantener constante mientras se aplica una tensión sobre la preforma, para lograr esto precisamente la constancia y uniformidad en la tensión de tracción y la ausencia de corrientes de convección en el interior del horno, son los factores que lo permiten. En este proceso se ha de cuidar que en la atmósfera interior del horno esté aislada de partículas provenientes del exterior para evitar que la superficie reblandecida de la FO pueda ser contaminada, o se puedan crear microfisuras, con la consecuente e inevitable rotura de la fibra. También es aquí donde se aplica a la fibra un material sintético, que generalmente es un polimerizado viscoso, el cual posibilita las elevadas velocidades de estirado, comprendidas entre 1m/sg y 3m/sg, conformándose así una capa uniforme sobre la fibra totalmente libre de burbujas e impurezas. Posteriormente se pasa al endurecimiento de la protección antes descrita quedando así la capa definitiva de polímero elástico. Esto se realiza habitualmente mediante procesos térmicos o a través de procesos de reacciones químicas mediante el empleo de radiaciones ultravioletas.

2.23.2. Aplicaciones

Su uso es muy variado: desde comunicaciones digitales y joyas, pasando por sensores y llegando a usos decorativos, como árboles de Navidad, veladores y otros elementos similares. Aplicaciones de la fibra monomodo: Cables submarinos, cables interurbanos, etc.



Figura 2.23.1. Joya en Fibra óptica oro blanco y diamantes ganadora de competencia de design en Tokio, 1998 [61].

Comunicaciones con fibra óptica

La fibra óptica se emplea como medio de transmisión para las redes de telecomunicaciones, ya que por su flexibilidad los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de vidrio, y algunas veces de los dos tipos. Para usos interurbanos son de vidrio, por la baja atenuación que tienen.

El FTP

La fibra óptica posee una variante llamada FTP (No confundir con el protocolo FTP)

El FTP, o Par trenzado de fibra óptica en español, es la combinación de la fiabilidad del par trenzado y la velocidad de la fibra óptica, se emplea solo en instalaciones científico-militares gracias a la velocidad de transmisión 10gb/s, no está disponible para el mercado civil actualmente, su costo es 3 veces mayor al de la fibra óptica.

Para las comunicaciones se emplean fibras multimodo y monomodo, usando las multimodo para distancias cortas (hasta 500 m) y las monomodo para acoplamientos de larga distancia. Debido a que las fibras monomodo son más sensibles a los empalmes, soldaduras y conectores, las fibras y los componentes de éstas son de mayor costo que los de las fibras multimodo.

Sensores de fibra óptica

Las fibras ópticas se pueden utilizar como sensores para medir la tensión, la temperatura, la presión y otros parámetros. El tamaño pequeño y el hecho de que por ellas no circula corriente eléctrica le da ciertas ventajas respecto al sensor eléctrico.

Las fibras ópticas se utilizan como hidrófonos para los sismos o aplicaciones de sónar. Se ha desarrollado sistemas hidrofónicos con más de 100 sensores usando la fibra óptica. Los hidrófonos son usados por la industria de petróleo así como las marinas de guerra de algunos países.

La compañía alemana Sennheiser desarrolló un micrófono que trabajaba con un láser y las fibras ópticas.

Los sensores de fibra óptica para la temperatura y la presión se han desarrollado para pozos petrolíferos. Estos sensores pueden trabajar a mayores temperaturas que los sensores de semiconductores.

Otro uso de la fibra óptica como un sensor es el giroscopio óptico que usa el Boeing 767 y el uso en microsensores del hidrógeno.

Iluminación

Otro uso que le podemos dar a la fibra óptica es el de iluminar cualquier espacio. Debido a las ventajas que este tipo de iluminación representa en los últimos años ha empezado a ser muy utilizado.

Entre las ventajas de la iluminación por fibra podemos mencionar:

- Ausencia de electricidad y calor: Esto se debe a que la fibra sólo tiene la capacidad de transmitir los haces de luz además de que la lámpara que ilumina la fibra no está en contacto directo con la misma.
- Se puede cambiar de color la iluminación sin necesidad de cambiar la lámpara: Esto se debe a que la fibra puede transportar el haz de luz de cualquier color sin importar el color de la fibra.
- Con una lámpara se puede hacer una iluminación más amplia por medio de fibra: Esto es debido a que con una lámpara se puede iluminar varias fibras y colocarlas en diferentes lugares.

Más usos de la fibra óptica

- Se puede usar como una guía de onda en aplicaciones médicas o industriales en las que es necesario guiar un haz de luz hasta un blanco que no se encuentra en la línea de visión.
- La fibra óptica se puede emplear como sensor para medir tensiones, temperatura, presión así como otros parámetros.
- Es posible usar latiguillos de fibra junto con lentes para fabricar instrumentos de visualización largos y delgados llamados endoscopios. Los endoscopios se usan en medicina para visualizar objetos a través de un agujero pequeño. Los endoscopios industriales se usan para propósitos similares, como por ejemplo, para inspeccionar el interior de turbinas.
- Las fibras ópticas se han empleado también para usos decorativos incluyendo iluminación, árboles de Navidad.
- Líneas de abonado

- Las fibras ópticas son muy usadas en el campo de la iluminación. Para edificios donde la luz puede ser recogida en la azotea y ser llevada mediante fibra óptica a cualquier parte del edificio.
- También es utilizada para trucar el sistema sensorial de los taxis provocando que el taxímetro (algunos le llaman cuentafichas) no marque el costo real del viaje.
- Se emplea como componente en la confección del hormigón translúcido, invención creada por el arquitecto húngaro Ron Losonczy, que consiste en una mezcla de hormigón y fibra óptica formando un nuevo material que ofrece la resistencia del hormigón pero adicionalmente, presenta la particularidad de dejar traspasar la luz de par en par.

2.23.3. Características

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas.

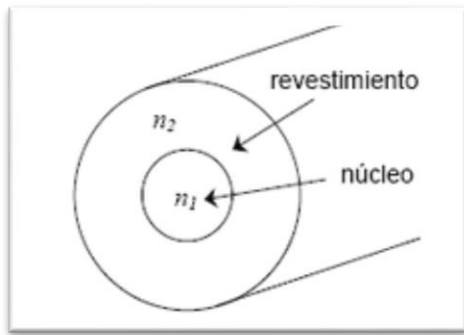


Figura 2.23.2. Núcleo y revestimiento de la fibra óptica [61].

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

A lo largo de toda la creación y desarrollo de la fibra óptica, algunas de sus características han ido cambiando para mejorarla. Las características más destacables de la fibra óptica en la actualidad son:

- Cobertura más resistente: La cubierta contiene un 25% más material que las cubiertas convencionales.

- Uso dual (interior y exterior): La resistencia al agua y emisiones ultravioleta, la cubierta resistente y el funcionamiento ambiental extendido de la fibra óptica contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la fibra.
- Mayor protección en lugares húmedos: Se combate la intrusión de la humedad en el interior de la fibra con múltiples capas de protección alrededor de ésta, lo que proporciona a la fibra, una mayor vida útil y confiabilidad en lugares húmedos.
- Empaquetado de alta densidad: Con el máximo número de fibras en el menor diámetro posible se consigue una más rápida y más fácil instalación, donde el cable debe enfrentar dobleces agudos y espacios estrechos. Se ha llegado a conseguir un cable con 72 fibras de construcción súper densa cuyo diámetro es un 50% menor al de los cables convencionales.

Funcionamiento

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.

Ventajas

- Una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del Ghz).
- Pequeño tamaño, por lo tanto ocupa poco espacio.
- Gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente.
- Gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional.
- Inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo...
- Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad.
- No produce interferencias.
- Insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metro). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.

- Atenuación muy pequeña independiente de la frecuencia, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios. Puede proporcionar comunicaciones hasta los 70 km. antes de que sea necesario regenerar la señal, además, puede extenderse a 150 km. utilizando amplificadores láser.
- Gran resistencia mecánica (resistencia a la tracción, lo que facilita la instalación).
- Resistencia al calor, frío, corrosión.
- Facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la telemetría, lo que permite detectar rápidamente el lugar y posterior reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.
- Con un coste menor respecto al cobre.

Desventajas

A pesar de las ventajas antes enumeradas, la fibra óptica presenta una serie de desventajas frente a otros medios de transmisión, siendo las más relevantes las siguientes:

- La alta fragilidad de las fibras.
- Necesidad de usar transmisores y receptores más caros.
- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable.
- No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.
- La necesidad de efectuar, en muchos casos, procesos de conversión eléctrica-óptica.
- La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.
- No existen memorias ópticas.

La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.

Las moléculas de hidrógeno pueden difundirse en las fibras de silicio y producir cambios en la atenuación. El agua corroe la superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.

Incipiente normativa internacional sobre algunos aspectos referentes a los parámetros de los componentes, calidad de la transmisión y pruebas.

2.23.4. TIPOS DE FIBRA.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

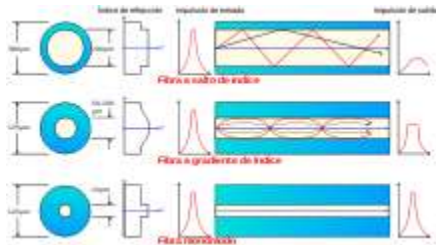


Figura 2.23.3. Tipos de fibra óptica [61].

Fibra multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- Índice escalonado: en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- Índice gradual: mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales.

Además, según el sistema ISO 11801 para clasificación de fibras multimodo según su ancho de banda se incluye el formato OM3 (multimodo sobre láser) a los ya existentes OM1 y OM2 (multimodo sobre LED).

- OM1: Fibra 62.5/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usan LED como emisores.
- OM2: Fibra 50/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usan LED como emisores.
- OM3: Fibra 50/125 μm , soporta hasta 10 Gigabit Ethernet (300 m), usan láser (VCSEL) como emisores.

Bajo OM3 se han conseguido hasta 2000 MHz·Km (10 Gbp/s), es decir, una velocidades 10 veces mayores que con OM1.

Fibra monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

Tipos según su diseño. De acuerdo a su diseño, existen dos tipos de cable de fibra óptica

Cable de estructura holgada

Es un cable empleado tanto para exteriores como para interiores que consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo y provisto de una cubierta protectora. Cada tubo de fibra, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o estar llenos de un gel hidrófugo que actúa como protector antihumedad impidiendo que el agua entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable. Su núcleo se complementa con un elemento que le brinda resistencia a la tracción que bien puede ser de varilla flexible metálica o dieléctrica como elemento central o de hilaturas de aramida o fibra de vidrio situadas periféricamente.

Cable de estructura ajustada

Es un cable diseñado para instalaciones en el interior de los edificios, es más flexible y con un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada.

Contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, todo ello cubierto de una protección exterior. Cada fibra tiene una protección plástica extrusionada directamente sobre ella, hasta alcanzar un diámetro de 900 μm rodeando al recubrimiento de 250 μm de la fibra óptica. Esta protección plástica además de servir como protección adicional frente al entorno, también provee un soporte físico que serviría para reducir su coste de instalación al permitir reducir las bandejas de empalmes.

2.23.5. COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

Dentro de los componentes que se usan en la fibra óptica caben destacar los siguientes: los conectores, el tipo de emisor del haz de luz, los conversores de luz, etc.

Transmisor de energía óptica. Lleva un modulador para transformar la señal electrónica entrante a la frecuencia aceptada por la fuente luminosa, la cual convierte la señal electrónica (electrones) en una señal óptica (fotones) que se emite a través de la fibra óptica. Detector de energía óptica. Normalmente es un fotodiodo que convierte la señal óptica recibida en electrones (es necesario también un amplificador para generar la señal). Su componente es el silicio y se conecta a la fuente luminosa y al detector de energía óptica. Dichas conexiones requieren una tecnología compleja.

2.23.6. TIPOS DE PULIDO

Los extremos de la fibra necesitan un acabado específico en función de su forma de conexión. Los acabados más habituales son:

- Plano: Las fibras se terminan de forma plana perpendicular a su eje.
- PC: (Physical Contact) Las fibras son terminadas de forma convexa, poniendo en contacto los núcleos de ambas fibras.
- SPC: (Super PC) Similar al PC pero con un acabado más fino. Tiene menos pérdidas de retorno.
- UPC: (Ultra PC) Similar al anterior pero aún mejor.
- Enhanced UPC: Mejora del anterior para reducir las pérdidas de retorno.
- APC: (Angled PC) Similar al UPC pero con el plano de corte ligeramente inclinado. Proporciona unas pérdidas similares al Enhanced-UPC.

2.23.7. TIPOS DE CONECTORES

Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores disponibles son muy variados, entre los que podemos encontrar se hallan los siguientes:

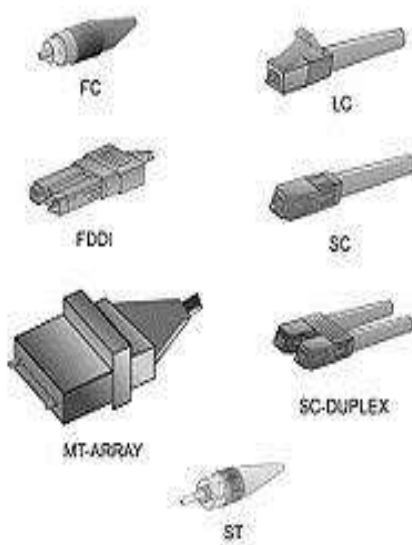


Figura 2.23.4. Tipos de conectores de la fibra óptica [61].

- FC, que se usa en la transmisión de datos y en las telecomunicaciones.
- FDDI, se usa para redes de fibra óptica.
- LC y MT-Array que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos.
- SC y SC-Dúplex se utilizan para la transmisión de datos.
- ST o BFOC se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

Emisores del haz de luz

Estos dispositivos se encargan de convertir la señal eléctrica en señal luminosa, emitiendo el haz de luz que permite la transmisión de datos, estos emisores pueden ser de dos tipos:

- LEDs. Utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad es lenta, solo se puede usar en fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande, además de ser económicos.
- Lasers. Este tipo de emisor usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su uso es difícil, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los LEDs y también son mucho más costosos.

Conversores luz-corriente eléctrica

Este tipo de dispositivos convierten las señales luminosas que proceden de la fibra óptica en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de onda de la señal moduladora.

Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductora P-N.

Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.

Hay dos tipos de detectores: los fotodiodos PIN y los de avalancha APD.

- **Detectores PIN:** su nombre viene de que se componen de una unión P-N y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (I), la cual mejora la eficacia del detector.

Se utiliza principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.

- **Detectores APD:** los fotodiodos de avalancha son fotodetectores que muestran, aplicando un alto voltaje en inversa, un efecto interno de ganancia de corriente (aproximadamente 100), debido a la ionización de impacto (efecto avalancha). El mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón.

Estos detectores se pueden clasificar en tres tipos:

- de silicio: presentan un bajo nivel de ruido y un rendimiento de hasta el 90% trabajando en primera ventana. Requieren alta tensión de alimentación (200-300 V).
- de germanio: aptos para trabajar con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y con un rendimiento del 70%.
- de compuestos de los grupos III y V.

Cables de fibra óptica

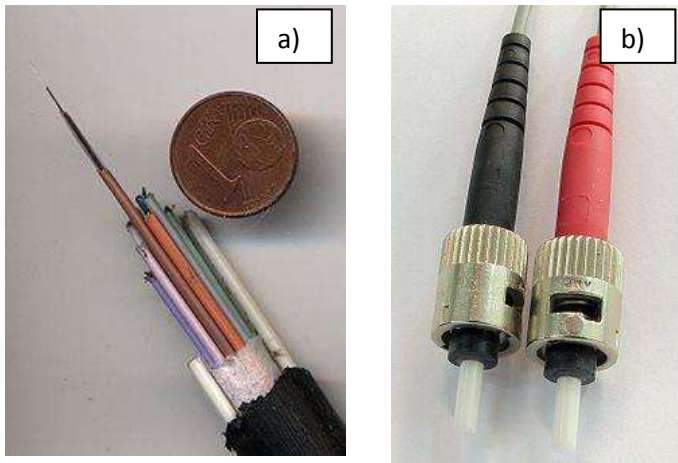


Figura 2.23.5. a) Sección de un cable de fibra óptica.

b) Conectores de cable de fibra óptica tipo ST [61].

Un cable de fibra óptica está compuesto por un grupo de fibras ópticas por el cual se transmiten señales luminosas. Las fibras ópticas comparten su espacio con hiladuras de aramida que le confieren la necesaria resistencia a la tracción.

Los cables de fibra óptica proporcionan una alternativa sobre los coaxiales en la industria de la electrónica y las telecomunicaciones. Así, un cable con 8 fibras ópticas tiene un tamaño bastante más pequeño que los utilizados habitualmente, puede soportar las mismas comunicaciones que 60 cables de 1623 pares de cobre o 4 cables coaxiales de 8 tubos, todo ello con una distancia entre repetidores mucho mayor.

Por otro lado, el peso del cable de fibra óptica es muchísimo menor que el de los coaxiales, ya que una bobina del cable de 8 fibras antes citado puede pesar del orden de 30 kg/km, lo que permite efectuar tendidos de 2 a 4 km de una sola vez, mientras que en el caso de los cables de cobre no son prácticas distancias superiores a 250 - 300 m.

La “fibra óptica” no se suele emplear tal y como se obtiene tras su proceso de creación (tan sólo con el revestimiento primario), sino que hay que dotarla de más elementos de refuerzo que permitan su instalación sin poner en riesgo al vidrio que la conforma. Es un proceso difícil de llevar a cabo, ya que el vidrio es quebradizo y poco dúctil. Además, la sección de la fibra es muy pequeña, por lo que

la resistencia que ofrece a romperse es prácticamente nula. Es por tanto necesario protegerla mediante la estructura que denominamos cable.

Las funciones del cable

Las funciones del cable de fibra óptica son varias. Actúa como elemento de protección de la(s) fibra(s) óptica(s) que hay en su interior frente a daños y fracturas que puedan producirse tanto en el momento de su instalación como a lo largo de la vida útil de ésta. Además, proporciona suficiente consistencia mecánica para que pueda manejarse en las mismas condiciones de tracción, compresión, torsión y medioambientales que los cables de conductores. Para ello incorporan elementos de refuerzo y aislamiento frente al exterior.

Instalación y explotación

Referente a la instalación y explotación del cable, nos encontramos frente a la cuestión esencial de qué tensión es la máxima que debe admitirse durante el tendido para que el cable no se rompa y se garantice una vida media de unos 20 años.

Técnicas de empalme: Los tipos de empalmes pueden ser:

- Empalme mecánico con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0,5 dB.
- Empalme con pegamentos con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0,2 dB.
- Empalme por fusión de arco eléctrico con el cual se logran pérdidas del orden de 0,02 dB.

Elementos y diseño del cable de fibra óptica

La estructura de un cable de fibra óptica dependerá en gran medida de la función que deba desempeñar esa fibra. A pesar de esto, todos los cables tienen unos elementos comunes que deben ser considerados y que comprenden: el revestimiento secundario de la fibra o fibras que contiene; los elementos estructurales y de refuerzo; la funda exterior del cable, y las protecciones contra el agua. Existen tres tipos de “revestimiento secundario”:

- “Revestimiento ceñido”: Consiste en un material (generalmente plástico duro como el nylon o el poliéster) que forma una corona anular maciza situada en contacto directo con el revestimiento primario. Esto genera un diámetro externo final que oscila entre 0’5 y 1 mm. Esto proporciona a la fibra una protección contra microcurvaturas, con la salvedad del momento de su montaje, que hay que vigilar que no las produzca ella misma.
- “Revestimiento holgado hueco”: Proporciona una cavidad sobredimensionada. Se emplea un tubo hueco extruido (construido pasando un metal candente por el plástico) de material duro, pero flexible, con un diámetro variable de 1 a 2 mm. El tubo aísla a la fibra de vibraciones y variaciones mecánicas y de temperatura externas.

- “Revestimiento holgado con relleno”: El revestimiento holgado anterior se puede rellenar de un compuesto resistente a la humedad, con el objetivo de impedir el paso del agua a la fibra. Además ha de ser suave, dermatológicamente inocuo, fácil de extraer, autorregenerativo y estable para un rango de temperaturas que oscila entre los 55 y los 85 °C. Es frecuente el empleo de derivados del petróleo y compuestos de silicona para este cometido.

Elementos estructurales

Los elementos estructurales no son cable y tienen como misión proporcionar el núcleo de no alrededor del cual se sustentan las fibras, ya sean trenzadas alrededor de él o dispersándose de forma paralela a él en ranuras practicadas sobre el elemento a tal efecto.

Elementos de refuerzo

Tienen por misión soportar la tracción a la que éste se ve sometido para que ninguna de sus fibras sufra una elongación superior a la permitida. También debe evitar posibles torsiones. Han de ser materiales flexibles y, ya que se emplearán kilómetros de ellos han de tener un coste asequible. Se suelen utilizar materiales como el acero, Kevlar y la fibra de vidrio.

Funda

Por último, todo cable posee una funda, generalmente de plástico cuyo objetivo es proteger el núcleo que contiene el medio de transmisión frente a fenómenos externos a éste como son la temperatura, la humedad, el fuego, los golpes externos, etc. Dependiendo de para qué sea destinada la fibra, la composición de la funda variará. Por ejemplo, si va a ser instalada en canalizaciones de planta exterior, debido al peso y a la tracción bastará con un revestimiento de polietileno extruido. Si el cable va a ser aéreo, donde sólo importa la tracción en el momento de la instalación nos preocupará más que la funda ofrezca resistencia a las heladas y al viento. Si va a ser enterrado, querremos una funda que, aunque sea más pesada, soporte golpes y aplastamientos externos. En el caso de las fibras submarinas la funda será una compleja superposición de varias capas con diversas funciones aislantes.

Pérdida en los cables de Fibra Óptica

A la pérdida de potencia a través del medio se conoce como Atenuación, es expresada en decibelios, con un valor positivo en dB, es causada por distintos motivos, como la disminución en el ancho de banda del sistema, velocidad, eficiencia. La fibra de tipo multimodal, tiene mayor pérdida debido a que la onda luminosa se dispersa originada por las impurezas. Las principales causas de pérdida en el medio son:

- Pérdidas por absorción
- Pérdida de Rayleigh
- Dispersión cromática
- Pérdidas por radiación

- Dispersión modal
- Pérdidas por acoplamiento

Pérdidas por absorción. Ocurre cuando las impurezas en la fibra absorben la luz, y esta se convierte en energía calorífica; las pérdidas normales van de 1 a 1000 dB/Km.

Pérdida de Rayleigh. En el momento de la manufactura de la fibra, existe un momento donde no es líquida ni sólida y la tensión aplicada durante el enfriamiento puede provocar microscópicas irregularidades que se quedan permanentemente; cuando los rayos de luz pasan por la fibra, estos se difractan haciendo que la luz vaya en diferentes direcciones.

Dispersión cromática. Esta dispersión sólo se observa en las fibras tipo unimodal, ocurre cuando los rayos de luz emitidos por la fuente y se propagan sobre el medio, no llegan al extremo opuesto en el mismo tiempo; esto se puede solucionar cambiando el emisor fuente.

Pérdidas por radiación. Estas pérdidas se presentan cuando la fibra sufre de dobleces, esto puede ocurrir en la instalación y variación en la trayectoria, cuando se presenta discontinuidad en el medio.

Dispersión modal. Es la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz.

Pérdidas por acoplamiento. Las pérdidas por acoplamiento se dan cuando existen uniones de fibra, se deben a problemas de alineamiento.

Conectores

Los conectores más comunes usados en la fibra óptica para redes de área local son los conectores ST, LC, FC Y SC.

El conector SC (Set and Connect) es un conector de inserción directa que suele utilizarse en conmutadores Ethernet de tipo Gigabit. El conector ST (Set and Twist) es un conector similar al SC, pero requiere un giro del conector para su inserción, de modo similar a los conectores coaxiales.

Estándar y protocolo de canal de fibra

Estándar

El estándar Fibre Channel FCS por sus siglas en inglés, define un mecanismo de transferencia de datos de alta velocidad, que puede ser usado para conectar estaciones de trabajo, mainframes, supercomputadoras, dispositivos de almacenamiento, por ejemplo. FCS está dirigido a la necesidad de transferir a muy alta velocidad un gran volumen de información y puede reducir a los sistemas de manufactura, de la carga de soportar una gran variedad de canales y redes, así mismo provee de un solo estándar para las redes, almacenamiento y la transferencia de datos.

Protocolo UNI

Es la interfaz entre el protocolo SCSI y el canal de fibra.

Las principales características son las siguientes:

- Lleva a cabo de 266 megabits/seg. a 4 gigabits/seg.
- Soporta tanto medios ópticos como eléctricos, trabajando de 133 Megabits/seg a 1062 Megabits con distancias de arriba de 10 km.
- Soporte para múltiples niveles de costo y performance.
- Habilidad para transmitir múltiples juegos de comandos, incluidos IP, SCSI, IPI, HIPPI-FP, audio y video.

El canal de fibra consiste en las siguientes capas:

- FC-0 – La interface hacia la capa física
- FC-1- La codificación y decodificación de los datos capa de enlace.
- FC-2- La transferencia de tramas, secuencias e intercambio, comprende el protocolo de unidad de información (PDU's).
- FC-3- Servicios comunes requeridos para las características avanzadas como el desarmado de tramas y multicast.
- FC-4- Interface de aplicación que puede ejecutarse sobre el canal de fibra como el protocolo de canal de fibra para SCSI (FCP)

Tipos de dispersión

La dispersión es la propiedad física inherente de las fibras ópticas, que define el ancho de banda y la interferencia ínter simbólica (ISI).

- Dispersión intermodal: también conocida como dispersión modal, es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. Este tipo de dispersión solo afecta a las fibras multimodo.
- Dispersión intramodal del material: esto es el resultado de las diferentes longitudes de onda de la luz que se propagan a distintas velocidades a través de un medio dado.
- Dispersión intramodal de la guía de onda: Es función del ancho de banda de la señal de información y la configuración de la guía generalmente es más pequeña que la dispersión anterior y por lo cual se puede despreciar [61].

2.24. LEY DE OHM

La **ley de Ohm** dice que la intensidad de la corriente que circula entre dos puntos de un circuito eléctrico es proporcional a la tensión eléctrica entre dichos puntos. Esta constante es la conductancia eléctrica, que es la inversa de la resistencia eléctrica.

La intensidad de corriente que circula por un circuito dado es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo. Cabe recordar que esta ley es una propiedad específica de ciertos materiales y no es una ley general del electromagnetismo como la ley de Gauss, por ejemplo.

Introducción

La ecuación matemática que describe esta relación es:

$$I = GV = \frac{V}{R}$$

Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios (Ω). Específicamente, la ley de Ohm dice que R en esta relación es constante, independientemente de la corriente.

Esta ley tiene el nombre del físico alemán Georg Ohm, que en un tratado publicado en 1827, halló valores de tensión y corriente que pasaba a través de unos circuitos eléctricos simples que contenían una gran cantidad de cables. Él presentó una ecuación un poco más compleja que la mencionada anteriormente para explicar sus resultados experimentales. La ecuación de arriba es la forma moderna de la ley de Ohm.

Esta ley se cumple para circuitos y tramos de circuitos pasivos que, o bien no tienen cargas inductivas ni capacitivas (únicamente tiene cargas resistivas), o bien han alcanzado un régimen permanente. También debe tenerse en cuenta que el valor de la resistencia de un conductor puede ser influido por la temperatura.

Alcance

La ley de Ohm es una ley empírica, válida para muchos materiales en cierto rango de diferencias de potenciales. Empíricamente se ha observado que la ley de Ohm es válida en un amplio rango de escalas de longitud. A principios del siglo XX, se pensaba que la ley de Ohm debía fallar a escala atómica, pero los experimentos no han confirmado esta sospecha. En 2012, por ejemplo varios investigadores mostraron que la ley de Ohm es aplicable a cables de silicio formado por sólo un puñado cuatro átomos de ancho.

Sin embargo, no todos los materiales la obedecen, los materiales no óhmicos no la siguen, y eventualmente cualquier material sufre disrupción eléctrica para un campo eléctrico suficientemente grande, y en ese régimen la ley de Ohm no se cumple. Los materiales no óhmicos

que no siguen la ley de Ohm tienen interés tecnológico para ciertas aplicaciones de ingeniería electrónica.

Historia

En enero de 1781, antes del trabajo de Georg Ohm, Henry Cavendish experimentó con botellas de Leyden y tubos de vidrio de diferente diámetro y longitud llenados con una solución salina. Como no contaba con los instrumentos adecuados, Cavendish calculaba la corriente de forma directa: se sometía a ella y calculaba su intensidad por el dolor. Cavendish escribió que la "velocidad" (corriente) variaba directamente por el "grado de electrificación" (tensión). Él no publicó sus resultados a otros científicos a tiempo, y sus resultados fueron desconocidos hasta que Maxwell los publicó en 1879.

En 1825 y 1826, Ohm hizo su trabajo sobre las resistencias, y publicó sus resultados en 1827 en el libro *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet* (Trabajos matemáticos sobre los circuitos eléctricos). Su inspiración la obtuvo del trabajo de la explicación teórica de Fourier sobre la conducción del calor.

En sus experimentos, inicialmente usó pilas voltaicas, pero posteriormente usó un termopar ya que este proveía una fuente de tensión con una resistencia interna y diferencia de potencial casi constante. Usó un galvanómetro para medir la corriente, y se dio cuenta de que la tensión de las terminales del termopar era proporcional a su temperatura. Entonces agregó cables de prueba de diferente largo, diámetro y material para completar el circuito. El encontró que los resultados obtenidos podían modelarse a través de la ecuación:

$$x = \frac{a}{b + l},$$

Donde x era la lectura obtenida del galvanómetro, l era el largo del conductor a prueba, a dependía solamente de la temperatura del termopar, y b era una constante de cada material. A partir de esto, Ohm determinó su ley de proporcionalidad y publicó sus resultados.

La ley de Ohm todavía se sigue considerando como una de las descripciones cuantitativas más importante de la física de la electricidad, aunque cuando Ohm publicó por primera vez su trabajo las críticas lo rechazaron. Fue denominado "una red de fantasías desnudas", y el ministro alemán de educación afirmó que un profesor que predicaba tales herejías no era digno de enseñar ciencia. El rechazo al trabajo de Ohm se debía a la filosofía científica que prevalecía en Alemania en esa época, la cual era liderada por Hegel, que afirmaba que no era necesario que los experimentos se adecuaran a la comprensión de la naturaleza, porque la naturaleza esta tan bien ordenada, y que además la veracidad científica puede deducirse al razonar solamente. También, el hermano de Ohm, Martín Ohm, estaba luchando en contra del sistema de educación alemán. Todos estos factores dificultaron la aceptación del trabajo de Ohm, el cual no fue completamente aceptado hasta la década de los años 1840. Afortunadamente, Ohm recibió el reconocimiento de sus contribuciones a la ciencia antes de que muriera.

En los años 1920, se descubrió que la corriente que fluye a través de un resistor ideal tiene fluctuaciones estadísticas, que dependen de la temperatura, incluso cuando la tensión y la resistencia son exactamente constantes. Esta fluctuación, conocida como ruido de Johnson-Nyquist, es debida a la naturaleza discreta de la carga. Este efecto térmico implica que las medidas de la corriente y la tensión que son tomadas por pequeños períodos de tiempo tendrá una relación V/I que fluirá del valor de R implicado por el tiempo promedio de la corriente medida. La ley de Ohm se mantiene correcta para la corriente promedio, para materiales resistivos.

El trabajo de Ohm precedió a las ecuaciones de Maxwell y también a cualquier comprensión de los circuitos de corriente alterna. El desarrollo moderno en la teoría electromagnética y el análisis de circuitos no contradicen la ley de Ohm cuando éstas son evaluadas dentro de los límites apropiados.

Deducción de la ley de Ohm

Una forma sencilla de recordar esta ley es formando un triángulo equilátero, donde la punta de arriba se representaría con una V (voltios), y las dos de abajo con una I (intensidad) y R (resistencia) respectivamente, al momento de cubrir imaginariamente cualquiera de estas letras, en automático las restantes nos indicarán la operación a realizar para encontrar dicha incógnita. Ejemplo: si tapamos la V , R e I estarán multiplicandose para encontrar el valor de V ; de igual forma si cubrimos R , quedará V/I al descubierto para encontrar la incógnita R [62].

2.25. LUMINOSIDAD

En Física de partículas se define la **luminosidad instantánea** como el número de partículas por unidad de superficie y por unidad de tiempo en un haz. Se mide en unidades inversas de sección eficaz por unidad de tiempo. Al integrar esta cantidad durante un período se obtiene la **luminosidad integrada**, la cual se mide en unidades inversas de sección eficaz (como por ejemplo el pb^{-1}). Cuanto mayor es esta cantidad mayor es la probabilidad de que se produzcan sucesos interesantes en un experimento de altas energías. Dado un proceso cuya sección eficaz, σ , conocemos, para una luminosidad integrada, L , dada, podemos estimar el número de veces que se va a producir ese suceso simplemente multiplicando ambas cantidades:

$$\text{Número de sucesos} = L \times \sigma$$

Luminosidad estelar

En astronomía, la **luminosidad** es la potencia (cantidad de energía por unidad de tiempo) emitida en todas direcciones por un cuerpo celeste. Está directamente relacionada con la magnitud absoluta del astro. Este valor no es constante si se consideran períodos suficientemente largos, ya que la estrella va cambiando su luminosidad según el estado en que se encuentre, pero se mantiene constante en períodos usuales para el humano. Si bien puede llevar a confusión, en astronomía la **luminosidad** es un concepto diferente al de **brillo**; el brillo depende fundamentalmente de la distancia a la que nos encontramos de un determinado objeto, mientras que la luminosidad es una propiedad física [63].

2.26. RESINA EPOXI

Los compuestos de resinas epoxídicas han tenido amplia aceptación y su uso se ha extendido a las actividades donde se requiere un polímero de mucha resistencia mecánica. Son materiales termofraguables que se tornan duros y no fusibles bajo la acción de agentes acelerantes. Los compuestos epoxi son un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno (alquilenos) que poseen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes (estructura oxirano). Estos éteres reaccionan con los grupos amino, oxhidrilo y carboxilo (endurecedores, así como con los ácidos inorgánicos, para dar compuestos relativamente estables.

Actualmente con el elevado número de las distintas resinas básicas y el avance conseguido en los sistemas de aplicación, es difícil imaginar un área tecnológica donde las resinas epoxi no estén siendo utilizadas.

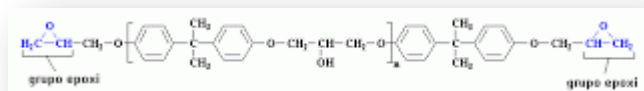
Un endurecedor o agente de curado es un producto que cuando se añade a una sustancia macromolecular determinada en cantidades superiores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que poseerá una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía. Entre los sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas.

La tensión del enlace del anillo oxirano es muy elevada, siendo por ello de una alta reactividad tanto química como bioquímica, por lo que es fácilmente atacado por la mayoría de compuestos de adición.

Según el origen de los grupos oxiranos, la familia de las resinas epóxicas se dividen en cinco grupos fundamentales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Aminas glicéricos
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

Comercialmente los éteres son los más importantes, ya que el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epiclorhidrina con el bisfenol A (2-2-bis (p-hidroxifenil propano) con formación de una molécula de diglicil éter de bisfenol. La razón del uso de estas materias primas es por una parte la alta reactividad de la epiclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, así como su fácil obtención por petroquímica. El bisfenol A es comparativamente barato al serlo los productos de partida para su síntesis: acetona y fenol. Variando las reacciones estequiométricas entre la epiclorhidrina y el bisfenol A, se obtiene una molécula del tipo:



Siendo n el grado de polimerización y que puede variar desde $n=1$ hasta $n=12$. Según la proporción de los reaccionantes, se forman mezclas variables de resinas de alto y bajo peso molecular. La parte repetida de la molécula tiene un peso molecular de 284. De ahí los pesos de las moléculas sucesivas serán:

$n = 0$; P.M. = 340, $n = 1$; P.M. = 624, $n = 2$; P.M. = 908, etc., lo que confiere a las resinas distintas características. Cuando el peso molecular es superior a 908, son sólidas, mientras que resinas con menor peso molecular son líquidas o semisólidas.

Las resinas comerciales son mezclas de diferentes pesos, de manera que suele conocerse el peso molecular promedio pero no la distribución de los oligómeros en la muestra.

Además del peso molecular, hay otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

Equivalente epoxi: Peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Suele considerarse como la mitad del peso molecular medio.

Índice de hidroxilo: Peso de resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.

Contenido de cloro reactivo: Es el cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como consecuencia de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.

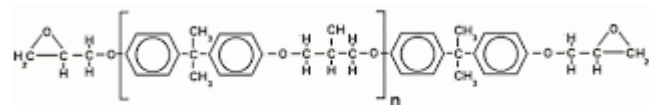
Color de la resina: Como resultado de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.

Punto de fusión: Que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina un grado de fluidez arbitrario.

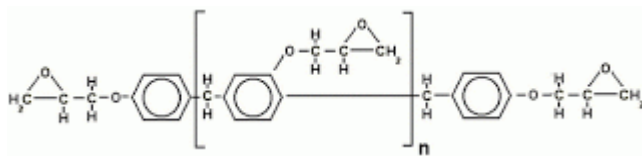
Viscosidad y contenido en volátiles.

Estos son algunos ejemplos de resinas epoxi:

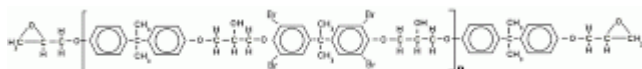
Resinas epoxi a base de bisfenol A: son los más utilizados por ser versátiles y baratos, proviene de la reacción de epiclorhidrina y bisfenol A, pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas dependiendo del peso molecular.



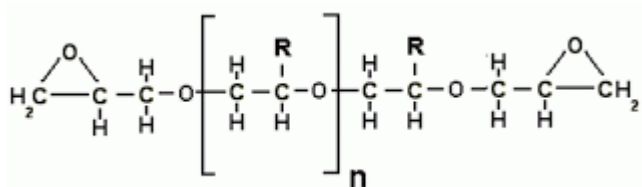
Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac: La sustitución de bisfenol A por bisfenol F proporciona a las resinas epoxi mayor entrecruzamiento y mejor comportamiento mecánico, químico y térmico, sobretodo si es curado con aminas aromáticos o anhídridos.



Resinas epoxi bromadas: son resinas a base de epiclorhidrina y tetrabromobisfenol A, las cuatro moléculas adicionales de bromo confiere a las resinas la característica de autoextinción.



Resinas epoxi flexibles: Son resinas que poseen largas cadenas lineales sustituyendo los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados, son resinas de baja reactividad que normalmente son utilizadas como flexibilizantes reactivos en otras resinas, mejorando le resistencia al impacto,



2.26.1. PROPIEDADES DE LAS RESINAS EPOXI

El elevado número de resinas epoxi y endurecedores dan lugar a una amplia gama de propiedades en los distintos productos. No obstante, se puede lograr ampliar esta gama con la incorporación de los llamados modificadores, que van a potenciar la versatilidad y utilidad de las resinas epoxi.

Los agentes modificadores más comunes son:

Diluyentes: Permiten reducir la viscosidad de la formulación, facilitando su aplicación y aumentando la capacidad para el contenido de cargas inertes. Pueden ser inertes o reactivos. Los diluyentes inertes, o no reactivos, reducen la viscosidad de forma apreciable. El disolvente permanece en el curado pero no está químicamente unido a él. Los diluyentes reactivos son los de mayor aplicación. Habitualmente son compuestos monoepoxídicos, como la misma epiclorhidrina, que reaccionan con el sistema quedando químicamente unidos a él.

Flexibilizadores: Cuya misión es reducir la rigidez del sistema y permitir que éste pueda tener deformaciones bajo carga. La flexibilización se puede conseguir introduciendo cadenas de gran longitud unidas covalentemente a la red durante el curado, o bien incorporando al polímero largas cadenas moleculares que permanezcan sin reaccionar con la resina transformada.

Cargas: utilizadas para abaratar o mejorar algunas propiedades de la formulación. Suelen ir incorporadas en la resina o en el endurecedor. En ocasiones pueden llegar a suponer hasta un 80% del producto final, de aquí estriba su importancia. Su naturaleza es muy diversa, puede ser sílice, cuarzo, grafito, sulfato de bario, fibra de vidrio, etc., siendo las cargas con gránulos redondeados las que suponen el mínimo consumo de formulación. Dentro de las cargas, los agentes tixotrópicos confieren a la formulación una estructura capaz de soportar elevados esfuerzos cortantes, evitando su descuelgue. Las más comunes son la mica, bentonitas o fibra de vidrio.

Pigmentos: su misión es mejorar el aspecto de la formulación con coloraciones diversas. Pueden emplearse pigmentos inorgánicos, tales como el óxido de titanio, negro de humo, cromatos; o colorantes, azul y verde de ftalocianina. La modificación con otras resinas potencia las posibilidades de las resinas epoxi, al unirse las ventajas de distintos sistemas. Este es el caso del poliéster y acrílicas.

2.26.2. APLICACIONES

Las aplicaciones de materiales en base a epoxi son extensas e incluyen revestimientos, adhesivos y materiales compuestos como los que usan fibra de carbono y fibra de vidrio de refuerzo (a pesar de poliéster, viniléster y otros termoestables resinas se utilizan también para plástico reforzado con vidrio). La química de las resinas epóxicas, y la gama de variaciones de curado disponible en el mercado permite a los polímeros se produzcan con una amplia gama de propiedades. En general, las resinas epoxi son conocidos por su excelente adherencia química y resistencia al calor, de buenas a excelentes propiedades mecánicas y muy buenas propiedades como aislantes eléctricos. Muchas de las propiedades de los epoxis se puede modificar (por ejemplo, resinas epoxi con relleno de plata, confiere conductividad eléctrica, aunque epoxis son típicamente aislante de la electricidad). También existen variaciones que ofrecen un elevado aislamiento térmico, o la conductividad térmica combinada con una alta resistencia eléctrica para aplicaciones de electrónica. Otro uso que se le ha dado a las resinas epoxi son en el ámbito de las artes plásticas para el moldeo de miniaturas.

Pinturas y acabados

Los epoxis se usan mucho en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión como para mejorar la adherencia de las posteriores capas de pintura. Las latas y contenedores metálicos se suelen revestir con epoxi para evitar que se oxiden, especialmente en alimentos ácidos, como el tomate. También se emplea en decoraciones de suelos de alta resistencia, fabricación y recubrimiento de piletas, frentes para automóviles, etc.



Figura 2.26.1. Piscina recubierta con pintura epoxi [64].

Adhesivos

Las resinas epoxídicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrilato. Estos adhesivos se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas, esquís. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento. Los adhesivos epoxi puede ser desarrollado para adaptarse a casi cualquier aplicación.

En general, si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 kg/cm^2 , lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo. La fuerza de los adhesivos epoxi se degrada a temperaturas superiores a 350°F (177°C).

Algunas resinas epoxi se curan por la exposición a luz ultravioleta. Los epoxis son comúnmente utilizados en óptica, la fibra óptica y odontología.



Figura 2.26.2. Adhesivo de dos componentes (derecha). Cola epoxi de alta conductividad térmica (izquierda) [64].

Herramientas industriales y materiales compuestos

Las resinas epoxi se usan tanto en la construcción de moldes como de piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial. Los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, etc. Los compuestos de fibras y epoxi, aunque son más caros que lo de resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes. Refuerzos típicos son fibra de vidrio, carbono, kevlar, y boro



Figura 2.26.3. Tanque de combustible acero con superficies exterior e interior con capa de compuestos epóxicos ricos en aluminio (exterior) y en zinc (interior) [64].

Sistemas eléctricos y electrónicos

En generación eléctrica encapsulan o recubren lo motores, generadores, transformadores, reductoras, escobillas y aisladores, para protegerlos. Además, las resinas epoxi son excelentes aislantes eléctricos y se usan en muchos componentes, para proteger de cortocircuitos, polvo, humedad, etc.

En la industria electrónica se usan con profusión para el encapsulado de los circuitos integrados y los transistores, también se usan en la fabricación de circuitos impresos. El tipo de circuito impreso más frecuente FR-4 no es más que un sándwich de capas de fibra de vidrio pegadas entre sí por resina epoxi. También se usan en el pegado de las capas de cobre en las placas y forman parte de la máscara antisoldante de muchos circuitos impresos.

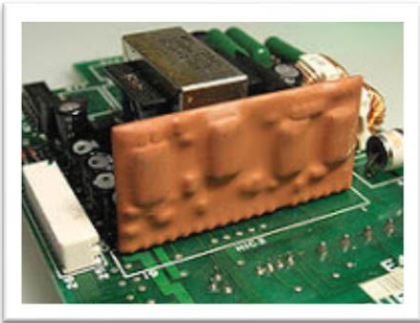


Figura 2.26.4. Encapsulado epoxi de circuito híbrido en una placa de circuito impreso [64]

Aplicaciones náuticas.

Se pueden encontrar resinas epoxi en ferreterías y grandes almacenes, generalmente en forma de adhesivos de dos componentes. Se venden también en tiendas de náutica para reparación de barcos. Los epoxis no suelen ser la última capa del recubrimiento de un barco porque les afecta negativamente la exposición a luz ultravioleta (UV). Se suelen recubrir con barnices marinos o coberturas de gel de poliéster que protegen de los rayos UV [64].

2.27. Iluminación de estado sólido



Figura 2.27.1. Lámpara LED con tornillo de Edison E27 [65].

La iluminación de estado sólido (*Solid state lighting*) se refiere a un tipo de iluminación en la que se emplean dispositivos como diodos emisores de luz (LED), diodos emisores de luz orgánicos (OLED) o diodos emisores de luz basados en polímeros (PLED), como fuente de iluminación, en oposición a los sistemas que utilizan filamentos o gases. El término «sólido» hace referencia al hecho de que la luz de un dispositivo de estado sólido es emitida por un objeto sólido (generalmente un semiconductor) frente a los tubos de vacío o de gas, donde la luz es emitida por un elemento en otro estado o interviene un elemento en otro estado; este es el caso de las lámparas fluorescentes y las bombillas incandescentes, utilizadas tradicionalmente en la iluminación.

Los dispositivos que utilizan la Iluminación de estado sólido pueden conseguir luz con un menor calentamiento y una mayor eficiencia energética. Además, el estado sólido permite lograr dispositivos de mayor resistencia y fiabilidad ante diferentes condiciones de operación, lo que presenta numerosas ventajas en los sistemas de iluminación críticos.

Ejemplos de dispositivos que utilizan la Iluminación de estado sólido son las lámparas de LED [65].

2.28. ELECTROCERAMICOS

2.28.1. FERROELECTRICIDAD

Se sabe que la ferroelectricidad es un fenómeno cooperativo de dipolos eléctricos interactuantes, detectado a través de mediciones eléctricas. La medición eléctrica a un material ferroeléctrico una vez que el voltaje externo es retirado es la obtención de su curva de histéresis.

La polarización no se puede conocer directamente a partir de mediciones de carga, debido a que el material podría tener eventualmente una polarización neta igual a cero o carga neta igual a cero, que es un estado de mínima energía libre al cual siempre tiende este tipo de materiales. Por tanto, para medir esta propiedad es necesario aplicar campos eléctricos externos.

Cuando se aplica un campo eléctrico externo al material los dipolos eléctricos se alinearán en dirección del campo eléctrico aplicado, pero cuando se deja de aplicar el campo eléctrico no todos los dipolos vuelven a su estado de mínima energía, sino que muchos quedan apuntando en la dirección en que el campo se había aplicado; esta es la propiedad clave de los materiales ferroeléctricos.

Por lo tanto los materiales ferroeléctricos presentan una polarización neta sin tener un campo eléctrico externo aplicado, y por eso estos materiales pueden retener información digital sin fuentes externas, por lo que su aplicación más importante es en memorias móviles tipo USB (pendrive).

Cuando se aplica un campo eléctrico variable a un material ferroeléctrico, entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, se puede graficar en un osciloscopio la polarización versus el campo aplicado, que es la curva de histéresis, la cual da cuenta de que el campo eléctrico nulo posee una polarización remanente (P_r) y el campo eléctrico máximo posee una polarización espontánea (P_s).

Se encuentra ferroelectricidad en un sinnúmero de materiales, incluso en polímeros, pero solamente unos pocos materiales están siendo investigados con respecto a la disminución del tamaño para la integración en memorias no-volátiles de alta densidad. La demanda científica y tecnológica reduce el número de candidatos para aplicaciones en memorias, debido a parámetros del material, confiabilidad y compatibilidad con los típicos procesos de fabricación. Las propiedades favorables serían una polarización remanente (P_r) grande, que debería proporcionar una corriente de desplazamiento grande; así mismo, una buena curva de histéresis debería ser cuadrada y el voltaje de operación debería ser un valor bajo (menor a 5 V), para compatibilizar los voltajes de operación de computadores móviles o PC.

Pero la ferroelectricidad va decreciendo a medida que una o más dimensiones del ferroeléctrico van disminuyendo o, más exactamente, a medida que el tamaño de granos va disminuyendo. En otras palabras, este efecto de tamaño indica que la ferroelectricidad debería desaparecer en alguna dimensión crítica. Un valor razonable obtenido de la experimentación es que se ha encontrado ferroelectricidad alrededor de 50 nm (1 nm [nanómetro] es 1.000 veces menor que el micrómetro).

Por tanto, si se quiere fabricar memorias ferroeléctricas, se debe tener presente que memorias de alta densidad (gran cantidad de megabytes [Mb]) significa menor dimensión del ferroeléctrico, lo cual disminuye la polarización remanente.

Un parámetro aún no explorado es la morfología de los materiales ferroeléctricos, lo que significa que si estos materiales se fabrican tipo alambres o tubos, la ferroelectricidad podría confinarse en la dirección axial o perpendicular al alambre o tubo. Una aplicación importante que se ha pensado sobre memorias ferroeléctricas de alta densidad (Gb) sería fabricar computadores con discos duros enteramente de memorias ferroeléctricas, de tal modo que al apagarlos conserve su trabajo tal cual lo dejó, debido a que no habrá pérdida de información por corte de energía. Pero esto todavía no es una realidad.

Materiales ferroeléctricos

Los materiales ferroeléctricos más comunes que existen son cerámicas; entre ellos están:

Formula: $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{TiO}_3$

Abreviación: SBT

Nombre: Titanato de Bario Estroncio

Formula: $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$

Abreviación: PZT

Nombre: Titanato Zirconato de plomo

Formula: BaTiO_3

Abreviación: BTO

Nombre: Titanato de Bario

Formula: $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$

Abreviación: PLZT

Nombre: Titanato Zirconato de Plomo Lantamio

Formula: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Abreviación: BiT

Nombre: Titanato de Bismuto

Todos estos materiales son sintéticos y tienen dos propiedades importantes: piezoelectricidad y ferroelectricidad. La piezoelectricidad es la aparición de un voltaje eléctrico debido a que el material realiza un esfuerzo mecánico. Muchos de los materiales ferroeléctricos son también piezoeléctricos.

El titanato de bario (BaTiO_3) es el más popular porque fue el primer compuesto sintetizado con características de ferroelectricidad, pero finalmente los compuestos usados para las memorias ferroeléctricas son PZT SBT, BiT y otros. Cuando se fabricaron los prototipos, estos compuestos eran los que tenían mejor confiabilidad en la práctica que el titanato de bario.

A pesar de que la mayoría de los compuestos ferroeléctricos en estado sólido son cerámicos, existen excepciones porque se ha encontrado ferroelectricidad en sistemas biológicos.

Dispositivos

Por ejemplo, la aplicación importante era en tocadiscos para vinilos: la famosa aguja era un material piezoeléctrico. El esfuerzo mecánico de la aguja produce un voltaje que luego es amplificado y suena la música de los surcos por donde pasa. En micrófonos, la fuerza de la voz le imprime un voltaje que luego es amplificado en parlantes o en transmisiones de radio, etc.

Otras aplicaciones importantes de los compuestos piezoeléctricos son estas:

- En microscopios de efecto de túnel, para el cercamiento de la aguja sobre la superficie que se desea medir.
- En válvulas ultrasensibles.
- Para mediciones de velocidad de vehículos en carreteras y ciudades: se ponen elementos piezoeléctricos en la calle o carretera, y cuando los autos pasan por encima, producen un voltaje y se calcula el tiempo que demora un auto en pasar de un punto al otro, lo que permite calcular la velocidad; también se puede medir el flujo vehicular con este sistema.
- Como dispositivo de ultrasonido para curar lesiones musculares.

Aquí, el material cerámico se fabrica como vendas como el aparato para medir la presión arterial, esto es una aplicación médica de los materiales piezoeléctricos que son usados como generador de frecuencias ultrasónicas. En cambio, los ferroeléctricos tienen su aplicación más importante en la microelectrónica, como memorias no-volátiles. Sin desconocer que tienen otras propiedades que los hacen importantes: ópticas, electroópticas, piroeléctricas. Los materiales electroópticos sirven como interruptores de alta velocidad para cerrar y abrir el paso de ondas electromagnéticas en fibras ópticas.

Ventaja comparativa

Las memorias USB (pendrives) son resistentes a la radiación, no se perderá información si se le pone cerca de un gran transformador o línea de transmisión de energía eléctrica u otras fuentes de radiación como rayos X. En otras palabras, las memorias ferroeléctricas están diseñadas para computadores que formen parte de misiones espaciales, de modo que si la nave pasa por zonas de fuertes radiaciones, las computadoras no perderán información. Los materiales ferroeléctricos han probado su resistencia a las altas radiaciones. Es la ventaja comparativa más importante que poseen.

La ferroelectricidad es el poder retener información, es decir, retener los bits dejados en una memoria sin tener una fuente externa. Un computador actual se apaga y pierde todo lo que hay en la memoria RAM; en cambio, el pendrive conserva la información a pesar de no recibir energía eléctrica de una pila u otro elemento.

Materiales Piezoelectricos

Piezoelectricidad: La piezoelectricidad puede definirse como la propiedad que poseen algunas sustancias no conductoras, cristalinas (que no poseen centro de simetría), de presentar cargas eléctricas de signo contrario, en caras opuestas, cuando están sometidas a determinadas deformaciones mecánicas. El fenómeno es reversible, pues aplicando a las caras, una tensión eléctrica, se produce una deformación mecánica proporcional al potencial eléctrico.

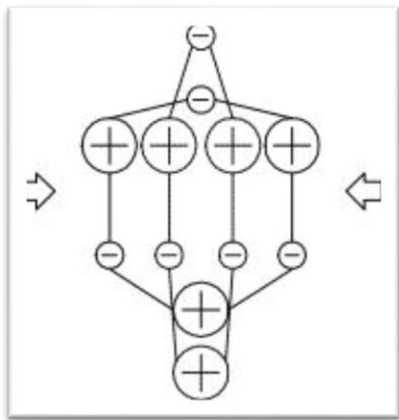


Figura 2.28.1. Proyección del Hexágono Atómico [71].

La deformación de un cristal no genera cargas eléctricas, pero produce un desplazamiento de las cargas propias del mismo; y en los cristales asimétricos, este desplazamiento provoca el llamado efecto piezoeléctrico.

La célula unitaria de cuarzo (Si-O_2) está compuesta por 6 átomos de oxígeno, con dos cargas negativas cada uno, y 3 de silicio con cuatro cargas positivas cada uno.

La proyección del hexágono atómico (Figura 6.12.1.1) muestra los 3 átomos de silicio, y solo 3 de los 6 de oxígeno, dado que ellos se superponen 2 a 2.

Si se ejerce una presión, por ejemplo, en el sentido indicado por las flechas, se producen una deformación de la célula; un desplazamiento de las cargas, y el equilibrio eléctrico resulta alterado. Como consecuencia aparecen cargas de signo opuesto en la parte superior e inferior de la célula esquematizada.

Muchas sustancias cristalinas poseen propiedades piezoeléctricas, pero solamente algunas se usan a escala industrial; entre éstas, el cuarzo, la Sal de Rochelle, el titanato de bario, el fosfato dihidrogenado de amonio (ADP), etc.

De los cristales piezoeléctricos se cortan láminas que se usan fundamentalmente como patrones (o controles) de frecuencia, o como transductores.

Estas láminas, que se cortan siguiendo determinadas reglas, vinculadas a los ejes cristalográficos, se suelen llamar simplemente cristales.

Los cristales se usan como patrones de frecuencia, cuando la frecuencia de resonancia mecánica de los mismos es muy estable (por ejemplo, láminas convenientemente cortadas de un cristal de cuarzo); estos cristales al vibrar generan una tensión proporcional a la amplitud de la vibración, y de la misma frecuencia que ésta; y provistos de electrodos convenientes, tienen las características de un circuito resonante de muy alto Q y alta relación L/C , y se utilizan en circuitos filtros, o como elementos de realimentación selectiva en circuitos osciladores, entre otras aplicaciones.

El circuito equivalente de un cristal es el siguiente:

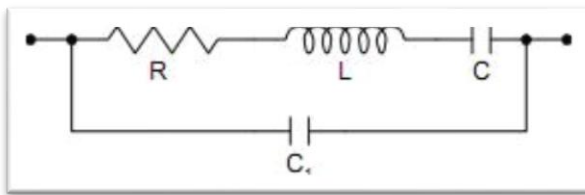


Figura 2.28.2. Circuito Equivalente de un Cristal [71].

La capacidad en paralelo C_1 corresponde a los electrodos soportes y al cableado, y puede llegar a tener un valor importante.

Esta capacidad hace que el cristal presente dos modos de resonancia: una resonancia serie f_s y otra paralelo f_p . Entre las dos suele haber una diferencia del orden de 1 a 2 KHz. Normalmente se usa el modo de resonancia serie.

Los cristales piezoeléctricos se usan también como transductores, debido a que el efecto piezoeléctrico posibilita la conversión de energía mecánica en eléctrica o viceversa; ejemplos típicos son los cristales piezoeléctricos usados en micrófonos, fonocaptadores, patrones de deformación, etc. Para algunas de estas aplicaciones se usa el cuarzo, pero su efecto piezoeléctrico es relativamente débil, por lo que es más común el uso de la Sal de Rochelle, de las cerámicas piezoeléctricas, etc.

2.28.2. DIELECTRICO

Se denomina **dieléctrico** al material mal conductor de electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico, y además si es sometido a un campo eléctrico externo, puede establecerse en él un campo eléctrico interno, a diferencia de los materiales aislantes con los que suelen confundirse. Todos los materiales dieléctricos son aislantes pero no todos los materiales aislantes son dieléctricos.

Algunos ejemplos de este tipo de materiales son el vidrio, la cerámica, la goma, la mica, la cera, el papel, la madera seca, la porcelana, algunas grasas para uso industrial y electrónico y la baquelita. En cuanto a los gases se utilizan como dieléctricos sobre todo el aire, el nitrógeno y el hexafluoruro de azufre.

El término "dieléctrico" fue concebido por William Whewell (del griego "día" que significa "a través de") en respuesta a una petición de Michael Faraday.

Aplicaciones

Los dieléctricos más utilizados son el aire, el papel y la goma. La introducción de un dieléctrico en un condensador aislado de una batería, tiene las siguientes consecuencias:

- Disminuye el campo eléctrico entre las placas del condensador.
- Disminuye la diferencia de potencial entre las placas del condensador, en una relación V_i/k .
- Aumenta la diferencia de potencial máxima que el condensador es capaz de resistir sin que salte una chispa entre las placas (ruptura dieléctrica).
- Aumento por tanto de la capacidad eléctrica del condensador en k veces.
- La carga no se ve afectada, ya que permanece la misma que ha sido cargada cuando el condensador estuvo sometido a un voltaje.

Normalmente un dieléctrico se vuelve conductor cuando se sobrepasa el campo de ruptura del dieléctrico. Esta tensión máxima se denomina rigidez dieléctrica. Es decir, si aumentamos mucho el campo eléctrico que pasa por el dieléctrico convertiremos dicho material en un conductor.

Tenemos que la capacitancia con un dieléctrico llenando todo el interior del condensador (plano-

paralelo) está dado por:

$$C = \frac{k \cdot E_0 \cdot A}{d} \quad (\text{donde } E_0 \text{ es la permitividad eléctrica del vacío}).$$

Materiales compuestos

Un material compuesto está formado por dos o más componentes y se caracteriza porque las propiedades del material final son superiores a las que tienen los materiales constituyentes por separado.

Los materiales compuestos están formados por dos fases; una continua denominada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. El refuerzo proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto y la matriz la resistencia térmica y ambiental

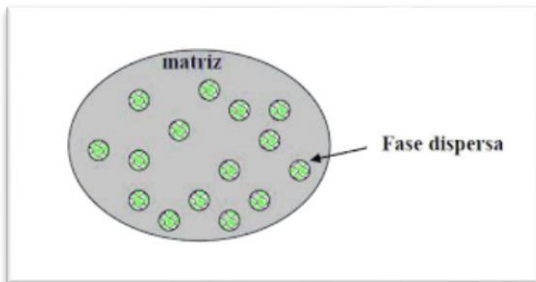


Figura 2.28.3. Matriz y refuerzo se encuentran separados por la interfase [71].

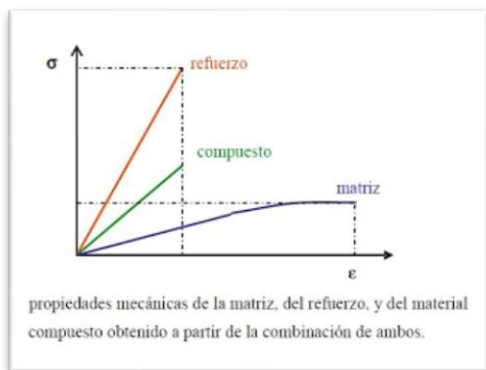


Figura 2.28.4. Propiedades mecánicas de la matriz de refuerzo y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos [71].

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de una serie de factores:

- a) propiedades de la matriz y del refuerzo
- b) contenido de refuerzo
- c) orientación del refuerzo
- d) método de producción del material compuesto

Clasificación de los materiales compuestos

1.- Clasificación según la forma de los constituyentes

Composites fibrosos: el refuerzo es una fibra, es decir, un material con una relación longitud-diámetro muy alta. Las fibras pueden ser continuas o discontinuas (estas últimas pueden ser aleatorias o unidireccionales). Ejemplo: *epoxi con fibra de vidrio*.

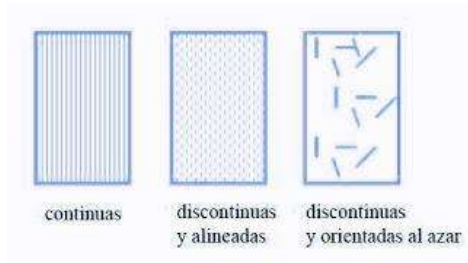


Figura 2.28.5. Clasificación según la forma de los constituyentes [71].

Composites particulados: el refuerzo son partículas equiaxiales, es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales en todas las direcciones. Ejemplo: *caucho reforzado con negro de humo*.

Composites estructurales: son materiales constituidos por la combinación de materiales compuestos y materiales homogéneos. Se clasifican a su vez en materiales laminados (constituidos por apilamiento de láminas paralelas) o paneles sándwich (compuestos de núcleo y tapas)

2.- Clasificación según la naturaleza de los constituyentes

Composites de **matriz orgánica** (polímeros).

- presentan baja densidad
- posibilidad de obtención de piezas complicadas
- son los más utilizados en la actualidad

Entre sus desventajas se incluye la poca resistencia frente al fuego.

Composites de **matriz metálica** (aleaciones de aluminio, titanio y magnesio)

- mayor duración
- elevada conductividad térmica y eléctrica
- no absorben humedad
- mayor resistencia al desgaste

Su principal desventaja es su alto precio

Composites de **matriz mineral (cerámica):** alúmina, CSi (carburo de silicio), etc.

Destacan porque resisten temperaturas elevadas y su principal desventaja su fragilidad y baja resistencia a choques térmicos.

3.- Clasificación según el tamaño de la fase dispersa

Microcomposites o composites convencionales: el tamaño del refuerzo es del orden de la micra (10^{-6} m). A pesar de las mejores propiedades mecánicas de estos composites, también presentan problemas:

- dificultad de procesado
- no se pueden procesar para obtener láminas o fibras

Estos problemas son consecuencia de la diferencia de tamaño entre el refuerzo y los componentes de la matriz (cadenas de polímero en el caso de los composites de matriz orgánica). Esta diferencia da lugar a interacciones débiles entre la matriz y la interfase. Para evitar este problema y mejorar las interacciones se ha desarrollado un nuevo tipo de composite:

Nanocomposites: el tamaño del refuerzo es del orden del nanómetro (10^{-9} m = 10^{-3} micras). En este caso, las interacciones matriz-refuerzo se dan a nivel molecular.

Aplicaciones y limitaciones de los materiales compuestos

Las aplicaciones actuales exigen materiales de baja densidad y buenas propiedades mecánicas (elevada rigidez y resistencia). Esta combinación de propiedades no se puede conseguir con los materiales convencionales: metales, polímeros y cerámicos. El desarrollo de los composites ha permitido la mejora de las propiedades de los materiales. Ventajas que presentan los materiales compuestos:

- Alta resistencia específica (resistencia/densidad) y rigidez específica (rigidez/densidad)
- Posibilidad de adaptar el material el esfuerzo requerido gracias a la anisotropía

Los materiales compuestos de matriz polimérica se utilizan en la industria automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y de la construcción, reemplazando a los metales y otros materiales en muchas aplicaciones.

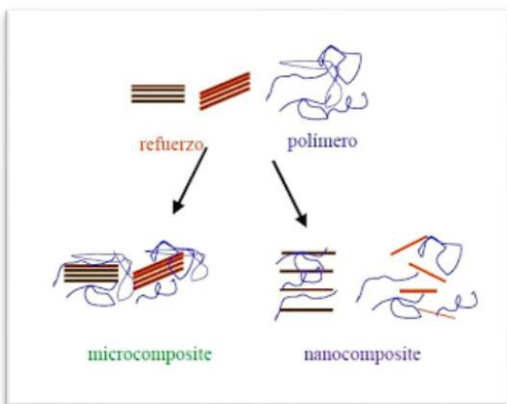


Figura 2.28.6. *Perfiles, Tubos, Techo de tractor (PP y fibra de vidrio), Frente de camión (Resina poliéster y fibra de vidrio), Postes de tendido eléctrico (Resina poliéster y fibra de vidrio), Bote de fibra poliéster y fibra de vidrio, Avión espía no tripulado (Resina epoxi y fibra de carbono) [71].*

2.29. CAMBIO CLIMÁTICO

La evidencia científica del cambio climático es indiscutible, esto según lo planteado por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) organización internacional líder sobre el tema del cambio climático.

El cambio climático es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese promedio (por ejemplo más o menos eventos climáticos extremos). El cambio climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarca toda la superficie terrestre.

El término, a veces se refiere específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, a diferencia de aquellos causados por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. En este sentido, especialmente en el contexto de la política ambiental, el término "cambio climático" ha llegado a ser sinónimo de "calentamiento global antropogénico". En las revistas científicas, calentamiento global se refiere a los aumentos de temperatura superficial, mientras que cambio climático incluye al calentamiento global y todos los otros aspectos sobre los que influye un aumento de los gases invernadero.

La evidencia se basa en observaciones de los aumentos de temperatura del aire y de los océanos, el derretimiento de hielos y glaciares en todo el mundo y el aumento de los niveles de mar a nivel mundial.

Hechos indiscutibles: Aumento de las temperaturas a nivel mundial, 11 de los últimos 12 años han sido de los años más calurosos que se tienen en registro desde 1850. El aumento de temperatura promedio en los últimos 50 años es casi el doble del de los últimos 100 años. La temperatura global promedio aumentó 0.74°C durante el siglo XX.

Hay más CO₂ en la atmósfera, el dióxido de carbono es el contribuidor principal y dominante al cambio climático actual y su concentración atmosférica ha aumentado desde un valor de 278 partes por millón en la era preindustrial hasta 393 ppm en la actualidad.

Los científicos mundiales han determinado que el aumento de la temperatura debiera de limitarse a 2°C para evitar daños irreversibles al planeta y los consiguientes efectos desastrosos en la sociedad humana. Para lograr evitar este cambio irreversible y sus efectos, las emisiones de gases invernaderos debieran de alcanzar su máximo en el 2015 y disminuir progresivamente después de esa fecha hasta alcanzar una disminución del 50% para el año 2050.

2.29.1. Calentamiento Global

El término Calentamiento Global se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.

Si se revisa el gráfico de las temperaturas de la superficie terrestre de los últimos 100 años, se observa un aumento de aproximadamente 0.8°C , y que la mayor parte de este aumento ha sido en los últimos 30 años.

Nadie pone en duda el aumento de la temperatura global, lo que todavía genera controversia es la fuente y razón de este aumento de la temperatura. Aún así, la mayor parte de la comunidad científica asegura que hay más que un 90% de certeza que el aumento se debe al aumento de las concentraciones de gases invernadero por las actividades humanas que incluyen deforestación y la quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. Estas conclusiones son avaladas por las academias de ciencia de la mayor parte de los países industrializados.

La proyección es a partir de modelos de clima, fueron resumidos en el Cuarto Reporte del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) en el 2007. Indican que la temperatura global probablemente seguirá aumentando durante el siglo XXI, el aumento sería de entre 1.1 y 2.9°C en el escenario de emisiones más bajo y entre 2.4 y 6.4°C en el de mayores emisiones.

Un aumento de la temperatura global resultará en cambios como ya se están observando a nivel mundial, podemos enumerar:

- a) Aumento de los niveles del mar
- b) Cambios en el patrón y cantidad de precipitaciones
- c) Expansión de los desiertos subtropicales

El aumento de la temperatura se espera será mayor en los polos, en especial en el Ártico y se observará un retroceso de los glaciares, hielos permanentes y hielo en los mares.

Otros efectos incluirían clima extremo más frecuente, lo que incluye sequías, olas de calor y precipitaciones fuertes. Se esperan extinciones de especies debido a los cambios de temperatura y variaciones en el rendimiento de las cosechas.

Se postula que si el aumento de la temperatura promedio global es mayor a 4°C comparado con las temperaturas preindustriales, en muchas partes del mundo ya los sistemas naturales no podrán adaptarse y, por lo tanto, no podrán sustentar a sus poblaciones circundantes. En pocas palabras, no habrá recursos naturales para sustentar la vida humana [66].

Acciones

- Ajustar la calefacción y el aire acondicionado. Ponerlo con dos grados menos en el invierno y con dos grados más en el verano.
- Usar menos agua caliente
- Cambiar las bombillas tradicionales a compactas fluorescentes o a bombillas de LED
- Secar la ropa al aire libre
- Usar productos de papel reciclado
- Tener un jardín para frutas y vegetales
- Plantar árboles
- Caminar o montar en bicicleta en vez de conducir un coche
- Reciclar
- Desconectar los aparatos eléctricos cuando no se usen
- Comprar un coche que use menos gasolina
- Tener la presión correcta en los neumáticos [67].
- **Reducir tu huella de carbono:** En pocas palabras, eso significa *reducir tu uso de energía*. La Secretaría de Protección al Medio Ambiente de los E.U. (EPA) sugiere reciclar/reutilizar y usar focos ahorradores de energía, electrodomésticos con la certificación Energy Star y transporte público. También puedes acudir a una calculadora de la huella de carbono para información más específica sobre tu contribución personal.
- **Formar vínculos en tu comunidad:** Los efectos del cambio climático, junto con la globalización y las crisis económicas, resultan en un estrés muy fuerte para muchas personas. Pero si nos ayudamos entre vecinos, amigos y familias, seremos más resistentes. Habla con las personas en tu alrededor, pregúntales qué es lo que necesitan y qué pueden ofrecer, y diles lo que tú necesitas y puedes ofrecer; así empiezan los vínculos que nos mantendrán fuertes frente a los desafíos del futuro [68].

Figura 2.29.1. Efecto invernadero, causa del calentamiento global [83].



2.30. INCENDIOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Los incendios constituyen el riesgo más grave para los ocupantes de un edificio, además de los bienes incluidos en el mismo, e incluso la propia edificación. Las consecuencias de un incendio se resumen en una sola palabra: pérdidas. Siempre habrá pérdidas materiales de bienes familiares, sociales o empresariales. Con frecuencia, también habrá derivaciones en carencia de servicios. Sin embargo, lo más grave y doloroso, por lo irreparable, son las pérdidas de vidas humanas.

La estabilidad del edificio depende del comportamiento de los elementos estructurales frente al desarrollo de un incendio, ya que el enorme calor y las elevadas temperaturas, pueden provocar el colapso de los mismos.

Los elementos constructivos se pueden clasificar según la incidencia del incendio sobre los mismos y por tanto sobre la estabilidad del edificio, así como en la progresión del fuego.

Elementos estructurales

Elementos separadores

Elementos portantes-separadores

Todos los países de nuestro entorno, conscientes del grave problema de los incendios, han legislado normas de obligado cumplimiento, para aumentar la protección de los edificios. La Norma española NBE-CPI-96 contempla los aspectos de protección pasiva y activa de los edificios o establecimientos, excluidos los de uso industrial.

Aunque la norma es clara en las definiciones y aplicación, es conveniente resaltar algunos aspectos de interés para el proyectista.

Medidas de protección pasiva.

Son acciones orientadas a que un edificio, dentro de una arquitectura y uso determinados, presente mayor resistencia a que se generen incendios y, en todo caso, a reducir la velocidad de propagación de los mismos. De este modo se facilita la evacuación ordenada de los ocupantes (víctimas potenciales) y podrán utilizar los medios de protección activa para reducir el incendio (disminución de daños).

En este contexto, las lanas minerales aislantes (lanas de vidrio y de roca), juegan un papel importante, según los dos aspectos diferentes del comportamiento frente al fuego de los materiales y de los elementos constructivos del edificio.

Comportamiento ante el fuego de los materiales. Definiciones de protección frente al incendio aplicables a los diferentes elementos constructivos.

Reacción al fuego.

La reacción al fuego es una característica propia de un material o producto y trata de significar la magnitud relativa con la que pueden favorecer el inicio y desarrollo de un incendio, es decir, es la respuesta de un material al fuego medida en términos de su contribución al desarrollo del mismo con su propia combustión, bajo condiciones definidas de ensayo.

La forma de evaluar esta característica es mediante ensayo normalizado en laboratorio homologado, por la que se determina la clase de reacción al fuego. En nuestro país, de acuerdo con la norma UNE 23727, las clases son: M0 (material incombustible), M1 (material combustible, pero no flamable) y M2, M3 y M4, que corresponden a materiales combustibles con grado creciente de inflamabilidad. Clase, definición, ejemplo:

M-0 No combustible (Incombustible) Fibrocementos, Silicatos, lanas minerales

M-1 Material combustible, pero no flamable Aglomerados M-1, DM-I, Poliestireno extruido

M-2 Difícilmente flamables, Aglomerados tipo M-2

M-3 Medianamente flamables, Aglomerado homogéneo.

M-4 Fácilmente flamables, Plásticos, Fibras textiles.

La clasificación de los materiales en los grupos M0, M1..., M4, indica la magnitud relativa de ellos para favorecer el inicio o desarrollo de un incendio, según las normas UNE. Las clases M2, M3 y M4 significan productos con un grado de inflamabilidad creciente. Las lanas minerales son de naturaleza M0, como materiales inorgánicos.

Sin embargo, las normas españolas en sus exigencias no son explícitas en dos características importantes de los materiales en caso de incendio: la carga de fuego y los humos.

(a).- Los materiales orgánicos presentan valores de carga de fuego caracterizados por su PC (Poder Calorífico), independiente de su clasificación al fuego. Este valor es característico de cada material y no se reduce con la adición de componentes ignifugantes que mejoran la clasificación al fuego. Así, productos que son naturalmente M4, pueden pasar a clasificación M1 con ignifugantes, pero mantienen su PC prácticamente igual. Si bien la posición relativa de los materiales en una solución constructiva supone diferente nivel de riesgo, es evidente que la colocación de productos de elevado poder calorífico en posición expuesta para un posible incendio incrementa los riesgos, con independencia de la clasificación al fuego. Dentro de las posiciones expuestas, están obviamente los elementos vistos de un local y también aquellos introducidos en cámaras de aire con circulación de este y en todo caso las cámaras de alto volumen relativo, con escasa protección de incendios en alguno de los cerramientos de las mismas.

(b).- La generación de humos de los materiales combustibles durante un incendio supone una problemática muy grave. Los humos representan un riesgo suplementario para la evacuación de las personas y para la lucha contra el incendio, debido a la reducción de la visibilidad (opacidad) y a la disminución del oxígeno respirable. En el límite, según el tipo de incendios y de los materiales en

ignición, los humos pueden contener gases tóxicos (CO, CNH...) que son letales incluso a bajas concentraciones.

Sobre la importancia de estas características, es suficiente indicar que más del 80% de las víctimas de los incendios perecen a causa de los humos, mediante dos mecanismos diferentes: la opacidad y la toxicidad de los humos.

La opacidad es la medida del oscurecimiento, que impide el paso de la luz a través del humo. En la realidad de un incendio, humos con alto grado de opacidad, impiden la visión de las personas y retardan el tiempo de evacuación de las mismas. Esto aumenta considerablemente el riesgo para aquellas y el potencial número de víctimas. La generación de humos en cuanto a opacidad está ligada a las características de composición de los materiales, siendo más intensa o rápida a mayor carga de fuego, especialmente en los materiales plásticos.

El efecto de toxicidad está relacionado con la capacidad de algunos gases producidos en las combustiones de los materiales orgánicos, para producir alteraciones físicas o psíquicas en el ser humano. Este tipo de alteraciones pueden suponer desde la reducción de la capacidad de movimiento, hasta casos agudos de envenenamiento. En cualquier caso, impiden la evacuación de la zona de incendios por medios propios.

Los análisis de composición de humos permiten conocer la presencia cuantitativa de gases tóxicos, dependientes de la composición de los materiales. En función de las concentraciones del análisis y de las concentraciones normalizadas máximas admisibles, algunas normas (ISO, NF...) determinan el «índice de toxicidad de los humos». Ensayos de este tipo se están estudiando para las futuras normas europeas.

Resistencia al fuego (RF).

La resistencia al fuego es la característica que corresponde a una solución constructiva, por la cual se determina la capacidad de resistir en el tiempo, a la acción del fuego. En todo caso, la característica es el tiempo: cuanto mayor sea el tiempo disponible, será mejor para evacuar personas o luchar contra el incendio. La forma de evaluar esta característica es mediante ensayo normalizado en laboratorio homologado, por la que se determina el tiempo de: - La estabilidad al fuego (EF) o capacidad portante: Esto aplicable a cualquier tipo de solución constructiva.

Es la capacidad de un elemento constructivo de mantener durante un tiempo determinado la estabilidad o capacidad portante de uso para impedir el colapso del edificio en caso de incendio. Se determina en un ensayo normalizado de acuerdo con la norma UNE – EN1363-

- Ausencia de emisión de gases inflamables en la cara no expuesta al fuego.
- Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes a la cara no expuesta al fuego.
- Resistencia térmica suficiente para impedir que en la cara no expuesta al fuego, se produzcan temperaturas superiores a las establecidas por norma.

La primera condición representa la estabilidad al fuego (EF). Si se cumplen las tres primeras condiciones, será para llamas (PF, Comportamiento de un elemento constructivo sea portante o no, que garantiza durante un tiempo determinado, la estanquidad a las llamas o gases.), y si se cumplen todas, se denominara resistencia al fuego (RF). La escala de tiempos normalizada es:

15 , 30 , 60 , 90 , 120 , 180 y 240 minutos.

La estabilidad al fuego (EF) de los elementos estructurales depende en buena medida del material de estructura, en cuanto a la reducción de la resistencia mecánica de este con la temperatura.

Las estructuras portantes metálicas de los edificios en la actualidad, están constituidas por perfiles normalizados de acero (aleación de hierro y carbono), que tienen una elevada capacidad para absorber las sollicitaciones mecánicas. La acción del fuego sobre el acero modifica la plasticidad del mismo y con ello se rompe el equilibrio de las tensiones de trabajo previstas, con lo que se origina una pérdida de la estabilidad de la estructura.

Las Autoridades de Seguridad consideran que son muy grandes las posibilidades de incendio durante la construcción de un edificio.

Las causas son las siguientes:

- Falta de equipos para combatir incendios en la obra.
- Presencia de materiales combustibles.
- Poco control de las fuentes de calor.
- Falta de inspección adecuada.
- Falta de Orden y Limpieza.

Se debe tener libre acceso a la calle y a las tomas para incendio durante todo el tiempo que dure la construcción.

Se deben colocar carteles claramente visibles con la ubicación de la alarma de fuego más cercana. Además se debe colocar el número de Teléfono de los Bomberos cerca de todos los aparatos de teléfono.

Se deben tomar en cuenta y proteger adecuadamente la madera, los combustibles, la ropa, etc. que no se necesita tener en el lugar de trabajo.

No se deben tener calefactores en los lugares donde se almacenan los combustibles y si la calefacción es necesaria, se debe planear de modo que no se sobrecalienten los materiales y que tengan ventilación adecuada. En todos estos sitios se deben colocar carteles con la “prohibición de fumar” claramente visibles y se debe cuidar que se obedezcan siempre.

Si los operarios almuerzan en la obra es necesario proporcionarles recipientes con tapa que cierren automáticamente para que arrojen los papeles y desperdicios y evitar que sean arrojados debajo de los materiales estibados.

La ropa manchada de aceite ó pintura no se debe guardar en lugares encerrados, se debe colgar al aire libre.

La cal no se debe guardar en lugares húmedos porque la cal viva húmeda constituye un riesgo de incendio.

Aparatos de calefacción temporal

Los radiadores temporales incluyen todos los aparatos de calefacción que se usan durante la construcción para controlar la temperatura y proveer comodidad personal cuando hace frío.

Los sistemas de calefacción mal instalados ó sin control adecuado han causado grandes pérdidas en vida y propiedad, en el lugar de la construcción, debido a incendios, asfixia y explosión. La presencia del Monóxido de Carbono CO es uno de los peligros mas graves, ya que puede provocar la muerte si la víctima se somete a su influencia por un período prolongado. Como la presencia de éste gas no se manifiesta por medio de algún olor, ó color, que pudiera dar la voz de alarma, la ventilación adecuada es esencial para la eliminación del riesgo. También hay detectores de CO y gas y detectores de humo.

Inspección

Se deben revisar con regularidad las siguientes causas posibles de incendio:

Los aparatos de calefacción.

El equipo y la instalación eléctrica.

La provisión de líquidos y materiales inflamables.

Las zonas cercanas a donde se suelde, especialmente si ésta se realiza en lo alto.

Debajo y cerca de techos calientes.

Todos los lugares expuestos a las chispas ó al calor cuando se queman desperdicios.

Los compresores, los generadores de motor y otros equipos de combustión interna y sus provisiones de combustible.

Orden y Limpieza

El desorden y la falta de limpieza constituyen un riesgo que el contratista puede evitar.

Limpiando con regularidad los desechos, el aserrín, los trapos, el aceite, grasa y otros desperdicios de las obras, no sólo se suprime ó reduce el riesgo de incendio, sino que al mismo tiempo se aumenta la seguridad general [74].

La protección contra incendios es una exigencia central de seguridad de todos los edificios públicos y semipúblicos, barcos y plantas industriales. Estas medidas de protección tienen la función de evitar no sólo incendios sino también la propagación del fuego y del humo.

Hoy en día, dentro de las medidas de protección contra incendios, se tienen en cuenta en la planeación y construcción de los edificios los siguientes elementos: las salidas de emergencia, las instalaciones de regado automático, las puertas, las paredes y los vidrios. Las normas de seguridad no sólo se refieren a la planeación de los edificios. Se debe procurar que las piezas de construcción en sí sean tanto incombustibles como resistentes al calor para que no expulsen gases tóxicos en caso de algún incendio. Algunas piezas de construcción se recubren con una capa intumesciente que se esponja cuando está sometida a altas temperaturas protegiendo así el objeto que recubre. El recubrimiento especial de algunos cables, que se esponja al vitrificarse, cierra grietas en los muros y evita los cortos circuitos de las conexiones eléctricas.

Espumas inorgánicas

Hay muchas piezas importantes que en caso de incendio están expuestas a temperaturas extremas. Especialmente aquellas que protegen la vida de las personas tienen que ser las más resistentes.

Las puertas protectoras de incendios tienen la función de evitar el paso del fuego a otros lugares del edificio. Para este tipo de puertas, portones y placas, Budenheim ha creado una espuma cerámica inorgánica que aísla efectivamente en caso de fuego y disminuye el paso del calor. La aplicación de espumas cerámicas en las puertas contra incendios es sólo uno de muchos ejemplos.

Ceramificación

Budenheim ha desarrollado retardantes de llama ecológicos para su utilización en plásticos de tal manera que pueden ser integrados en la elaboración de materiales muy variados. Protegen electrodomésticos, cabinas de aviones, cables electrónicos y muchas cosas más sin las cuales la vida moderna sería impensable.

También en el futuro podremos satisfacer las crecientes demandas técnicas y legales como pueden ser, por ejemplo, las del delicado campo de los medios de transporte públicos, la aeronáutica, la industria de la construcción, los edificios industriales o incluso para la obtención de energía.

Los retardantes de llama cumplen una función especialmente importante en el caso de los cables eléctricos y piezas de aparatos que entran en contacto con alta tensión, es decir, tanto en los electrodomésticos como la industria en sí. Su campo de acción es sumamente amplio.

Cuando se produce un corto circuito hay que evitar que el material arda. Budenheim ha desarrollado fosfatos especiales para que además puedan formar una capa protectora externa en caso de incendio. De esta manera se excluyen casi en absoluto los cortos circuitos del material conductor de corriente.

La propiedad más importante de los fosfatos de Budenheim y de otros retardantes de llama libres de halógeno es que térmicamente se mantienen estables -incluso a temperaturas de más de 300°C. De esta forma cumplen con los requisitos principales para la elaboración de plásticos. Además, el agua no los elimina y no tienen un efecto corrosivo, lo cual resulta muy ventajoso porque tampoco causa problemas en la maquinaria.

Capa intumescente

Los materiales de uso diario, combustibles por naturaleza, como por ejemplo los plásticos, los tejidos, las pinturas o el papel se dotan con retardantes de llama para que podamos vivir sin preocupaciones. Para crear un retardante de llama ecológico que no sea nocivo para la salud, Budenheim impulsó el desarrollo de los retardantes de llama libres de halógeno. Los aditivos modernos de Budenheim ofrecen además otra ventaja adicional: su aplicación garantiza que se forme menos humo en caso de fuego. Estos aditivos contribuyen así a proteger aún más al ser humano y el medio ambiente.

Gracias a los retardantes de llama podemos usar muchos productos de la vida moderna sin correr riesgo alguno. Los aditivos inhibidores de llama se encuentran en electrodomésticos, ordenadores, aparatos electrónicos, en la decoración de interiores o en el interior de los coches, así como también en edificios, en el servicio público de transportes y en aviones. En todos estos casos, los aditivos ayudan a proteger en gran parte nuestra seguridad.

Las sustancias que componen el material retardante de llama deben ser igualmente seguras e inofensivas para la salud y el medio ambiente.

Budenheim se enfrentó a los retos que supone la protección del medio ambiente y de la salud especializándose en el desarrollo de los retardantes de llama libres de halógeno. Esta es una contribución que establece parámetros importantes y que al mismo tiempo puede cumplir con las normas legales venideras.

Budenheim ofrece retardantes de llama libres de halógeno hechos a base de componentes inorgánicos o de nitrógeno. Desde el punto de vista medioambiental son básicamente inofensivos, biodegradables y no venenosos. Cuando el retardante se somete al calor de la llama se descompone, se esponja, se calcina y finalmente se endurece. La costra creada protege el material contra la entrada de oxígeno y lo aísla de la alta temperatura del fuego. Esto impide que se forme más humo.

Al mismo tiempo, la costra endurece el objeto agredido por el fuego, con lo cual se evita la producción de humo; es decir, las salidas de emergencia siguen siendo visibles y el poco humo producido no es venenoso ni corrosivo. En estos casos se habla de una función intumescente.

Los retardantes de llama intumescentes se integran directamente en la elaboración del material, por ejemplo, en el caso de los plásticos. En caso del acero, del concreto o de los textiles, se mezclan previamente los retardantes de llama en las lacas o en los recubrimientos antes de utilizarlos. Son incoloros, fáciles de usar y se ajustan especialmente a las aplicaciones a base de agua, ecológicas y libres de disolventes.

Poliuretano-espuma (PU)

Es un material muy versátil con el que estamos en constante contacto día a día por sus excelentes propiedades de aislamiento, su flexibilidad variable y permanente, y por su durabilidad. La espuma de poliuretano está presente en todas partes, bien sea como espuma rígida en componentes de montaje, como poliuretano flexible en los colchones, en las suelas de los zapatos, como empaque, en los asientos o la consola central de los automóviles, masas de relleno, pegantes y barnices.

Retardante de llama

Budenheim ha desarrollado retardantes de llama ecológicos para su utilización en plásticos de tal manera que pueden ser integrados en la elaboración de materiales muy variados. Protegen electrodomésticos, cabinas de aviones, cables electrónicos y muchas cosas más sin las cuales la vida moderna sería impensable.

También en el futuro podremos satisfacer las crecientes demandas técnicas y legales como pueden ser, por ejemplo, las del delicado campo de los medios de transporte públicos, la aeronáutica, la industria de la construcción, los edificios industriales o incluso para la obtención de energía [75].

2.31. TERRAZOS

Procesos

El terrazo es un producto que se compone esencialmente de cemento, áridos y agua, estructurado en dos capas: la vista y la de base que, sometidas a un proceso primero de vibrado y después de presión a más de 150 atmósferas, dan como resultado unas piezas de altas prestaciones tanto para pavimentos interiores como exteriores. La selección de los componentes, las granulometrías, los pigmentos y las dosificaciones tienen una gran importancia en la fabricación del terrazo que se produce en líneas automatizadas desde el inicio hasta la obtención y acabado del producto final.

Procesos de producción

Las baldosas se elaboran en unas prensas giratorias con bases móviles en las que se van situando los moldes que definen el formato, las secciones y las diferentes texturas para conseguir las correspondientes familias de productos.

CARA VISTA

Se trata de la cara buena, es decir, la que se ve, se pisa y la primera que se elabora. Se compone de cemento gris o blanco, agua, polvo de mármol, arenas finas, triturados de piedras, pigmentos o colorantes y aditivos, dependiendo del uso, estética y las prestaciones que requiere cada pieza. Esta masa vertida en el molde se extiende por vibración para conseguir:

- Uniformidad en el espesor de la capa
- Expulsión de las burbujas de aire
- Distribución homogénea de los componentes

CARA DEL REVÉS

Es la que apoya la cara vista, con un acabado rugoso para facilitar la adherencia con el mortero sobre el que se sostiene la baldosa. Para hermanar las dos capas, hay que procurar que el material de ésta sea bastante seco ya que ha de absorber el exceso de agua de la cara buena en el proceso de prensado y el de fraguado. La composición, el grosor y los materiales empleados en las dos capas deben cumplir las exigencias señaladas por la normativa y alcanzar una vez fabricada la pieza las exigencias de uso adecuadas.

PRENSADO

Una vez extendidas las dos capas, se produce un prensado previo para optimizar el ciclo de producción. A continuación, se realiza una compresión sobre la masa. Este prensado proporciona una gran compacidad y resistencia a la baldosa y, al mismo tiempo, permite su desmoldeo y manipulación así como la absorción del exceso de agua.

DESMOLDEO Y SECADO

Las piezas se extraen mecánicamente del molde a través de un sistema de ventosas, se disponen en bandejas y se depositan en un lugar adecuado para el fraguado del material. Cuando éste se puede manipular, comienza el proceso de acabado y almacenamiento.

Con esta maquinaria y procesos, se fabrica el ladrillo tanto de interiores como de exteriores, la loseta y la rigola.

Procesos de acabado

PULIDO

Con este tratamiento, la cara buena de la baldosa queda lisa y afinada y deja a la superficie los colores y los granos de árido que dan la estética final al producto. Se consigue pasando las baldosas por unas máquinas con cabezales abrasivos que van puliendo la pieza de forma gradual. En baldosas para uso interior, se acaba haciendo en la obra un pulido final que, a la vez que elimina el material superficial de lechada, corrige las imperfecciones en la coloración. Para acabar se realiza un tratamiento de abrillantado del material.

GRANALLADO

Este tipo de acabado superficial de la cara vista se obtiene mediante máquinas especiales. El proceso consiste en someter la cara buena de la pieza ya fraguada a la proyección de unas bolas de acero a fuerte impacto por medio de turbinas y boquillas que, en función de la intensidad, dejarán la baldosa con una textura más o menos rugosa y antideslizante.

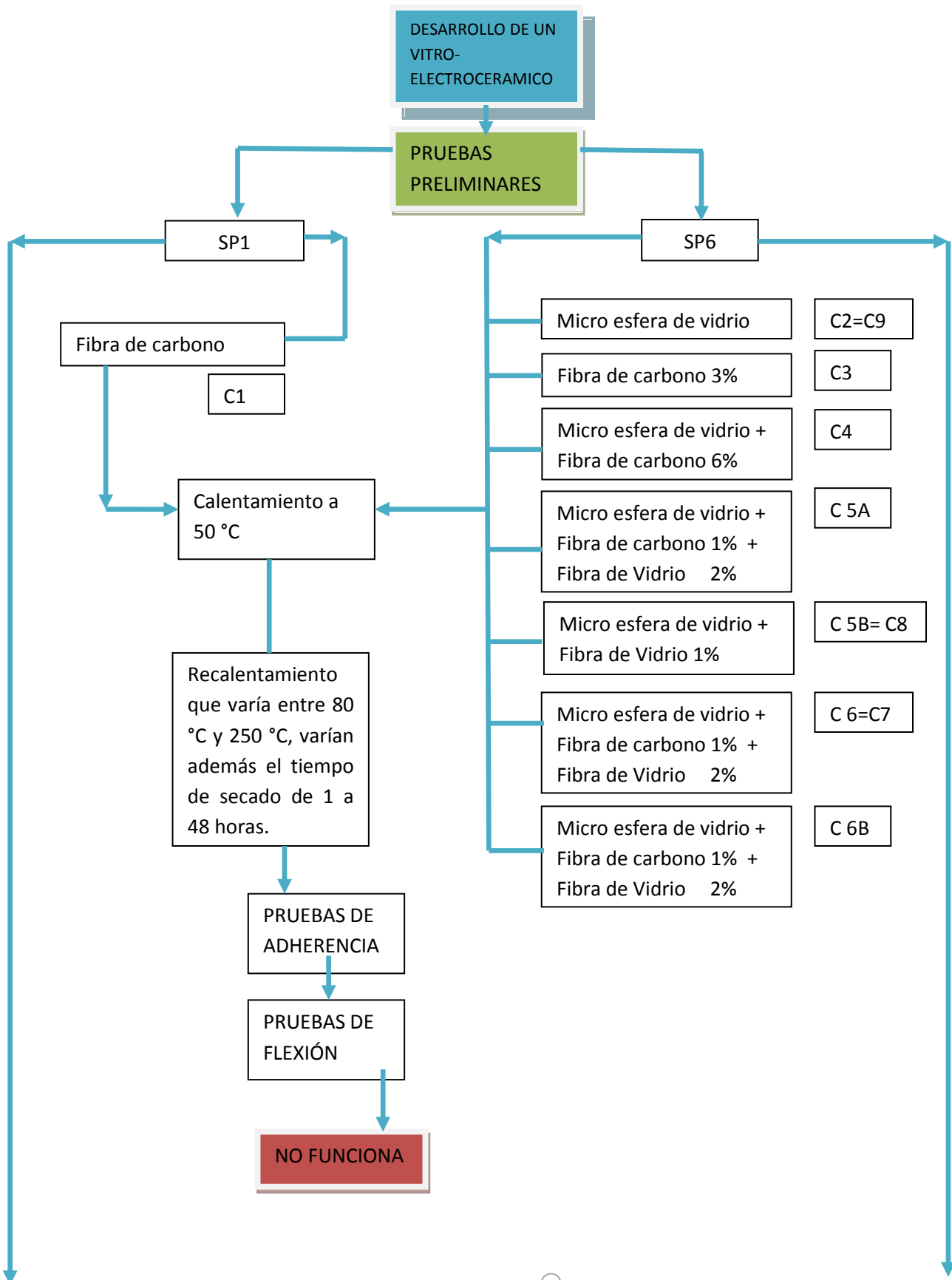
LAVADO

La cara buena, generalmente formada con árido de granulometría media y canto rodado, se fabrica bajo el efecto de un producto retardante que, a las 24 horas, permite rebajar con agua a presión el mortero que lo cubre, lo cual da a la pieza una estética especial.

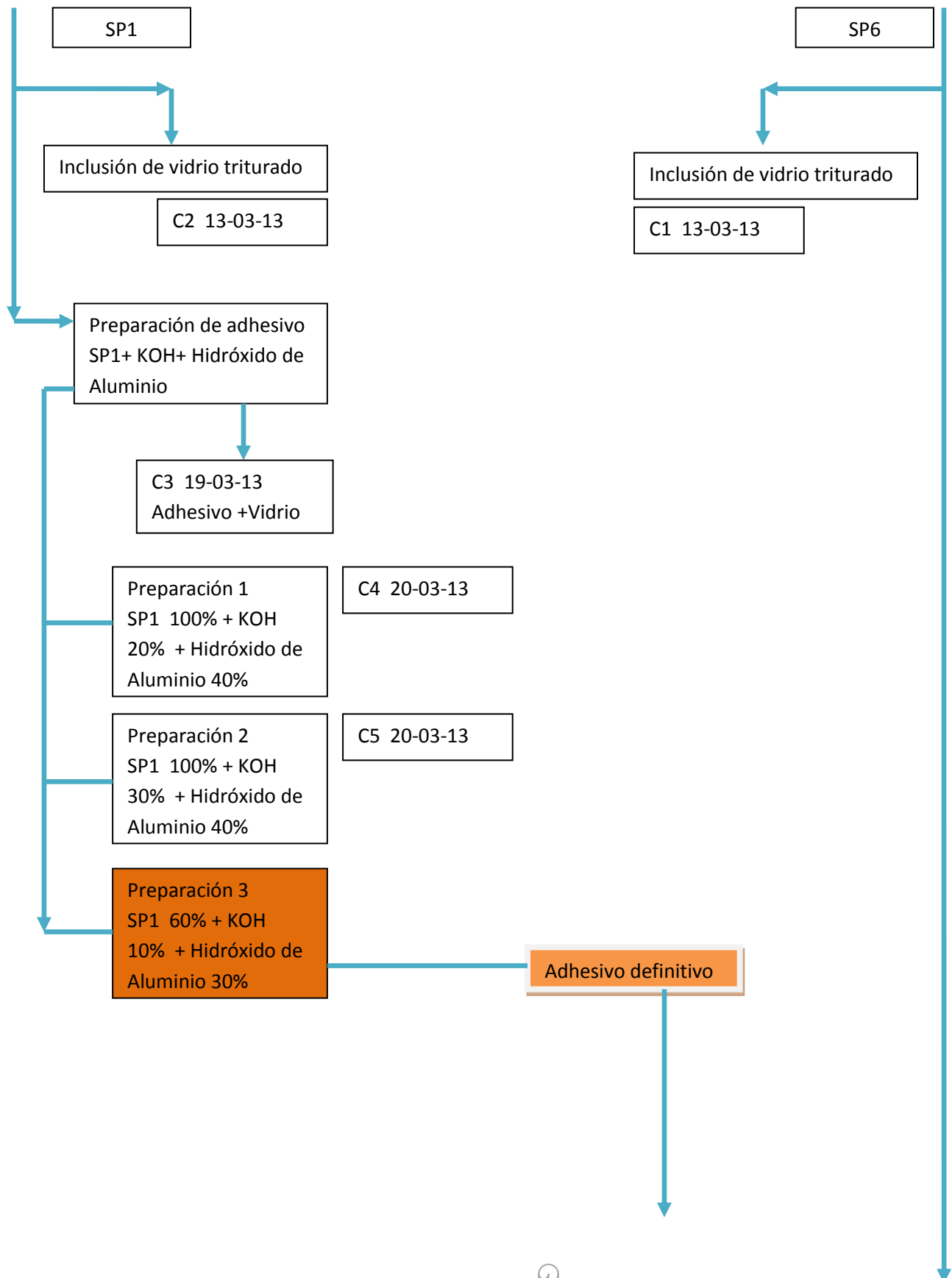
OTROS ACABADOS

Los acabados superficiales pueden combinarse entre sí para ampliar los diseños de la cara vista (pulidos, granallados, texturizados, etc.) [82].

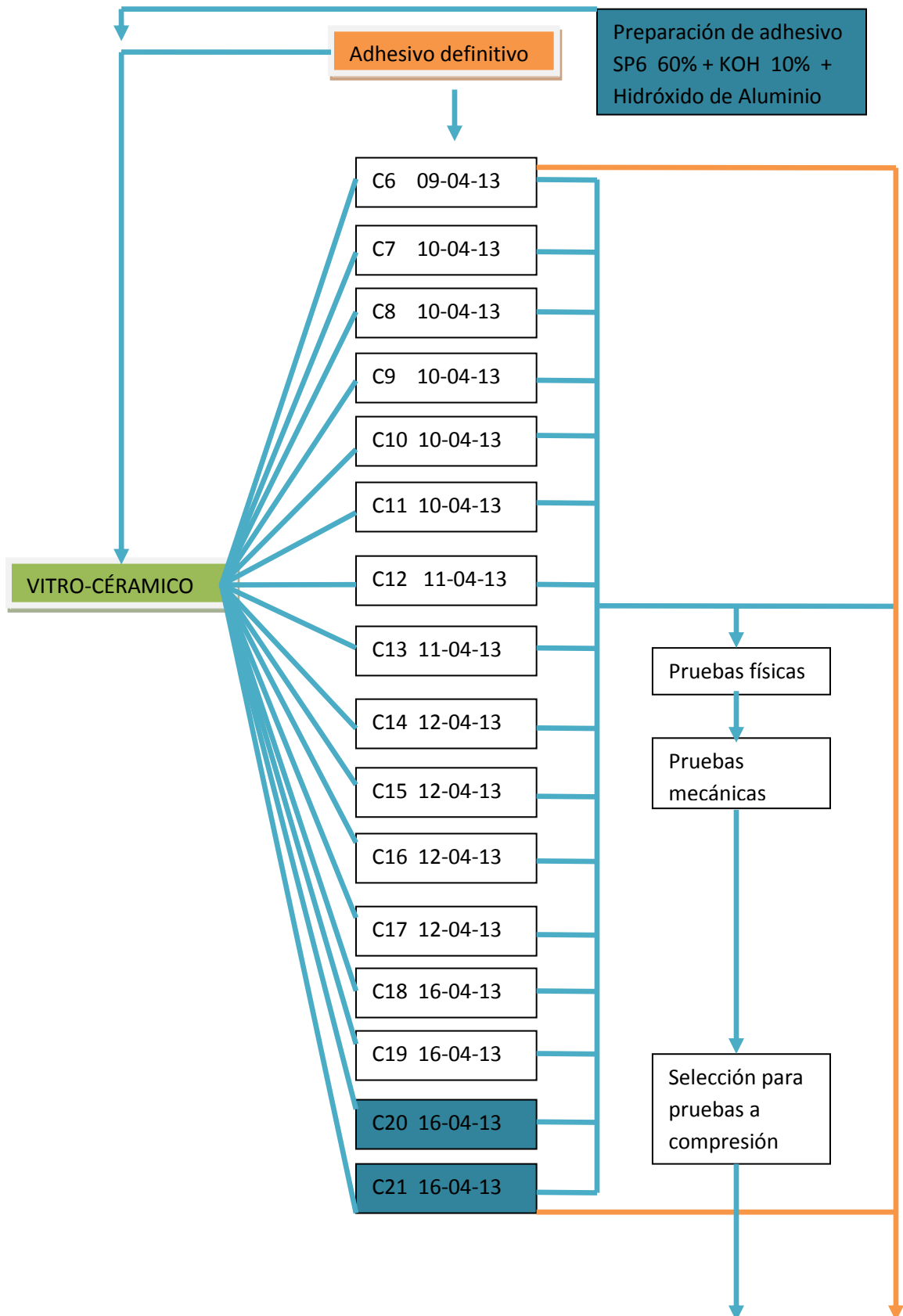
3. DISEÑO EXPERIMENTAL.



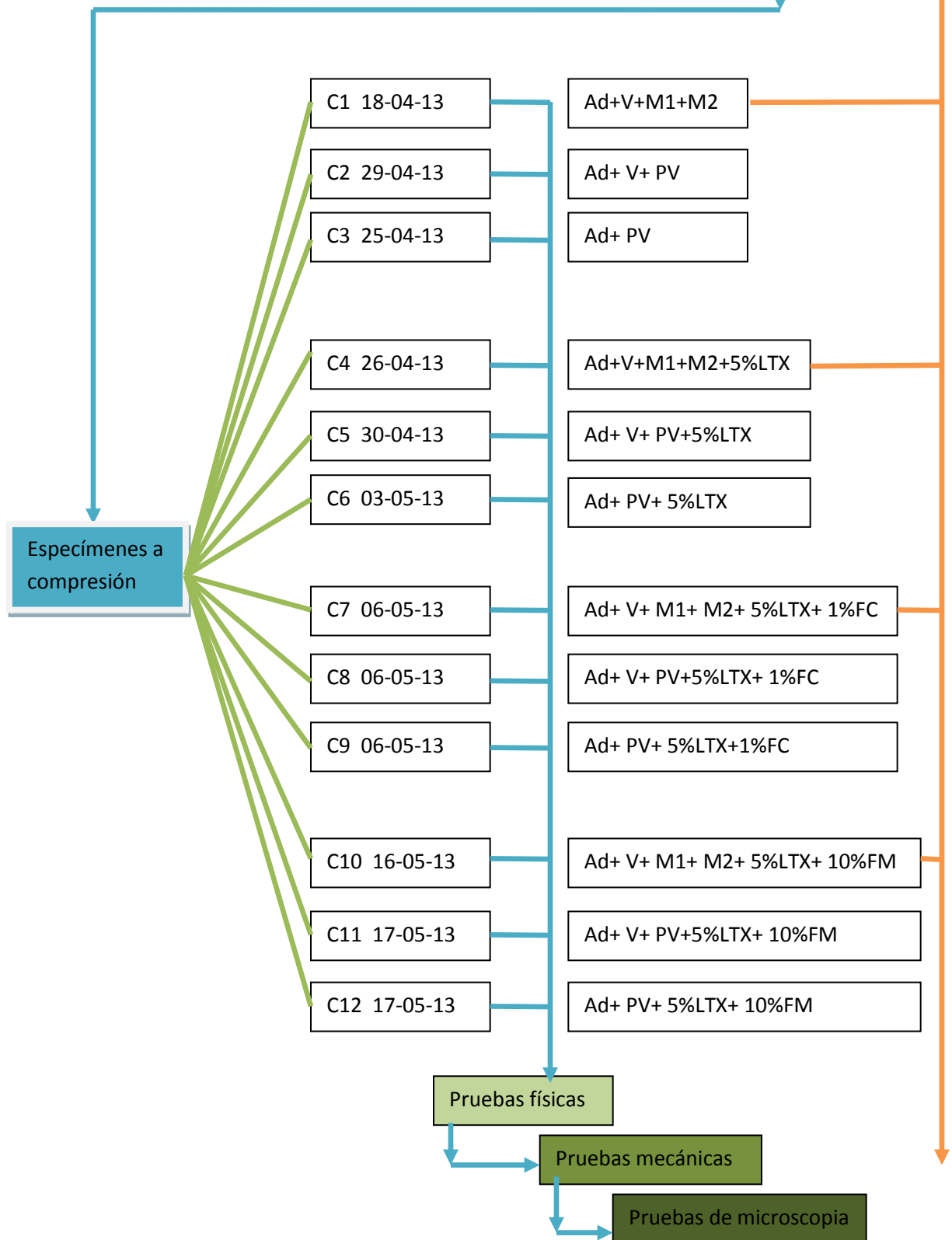
DISEÑO EXPERIMENTAL .



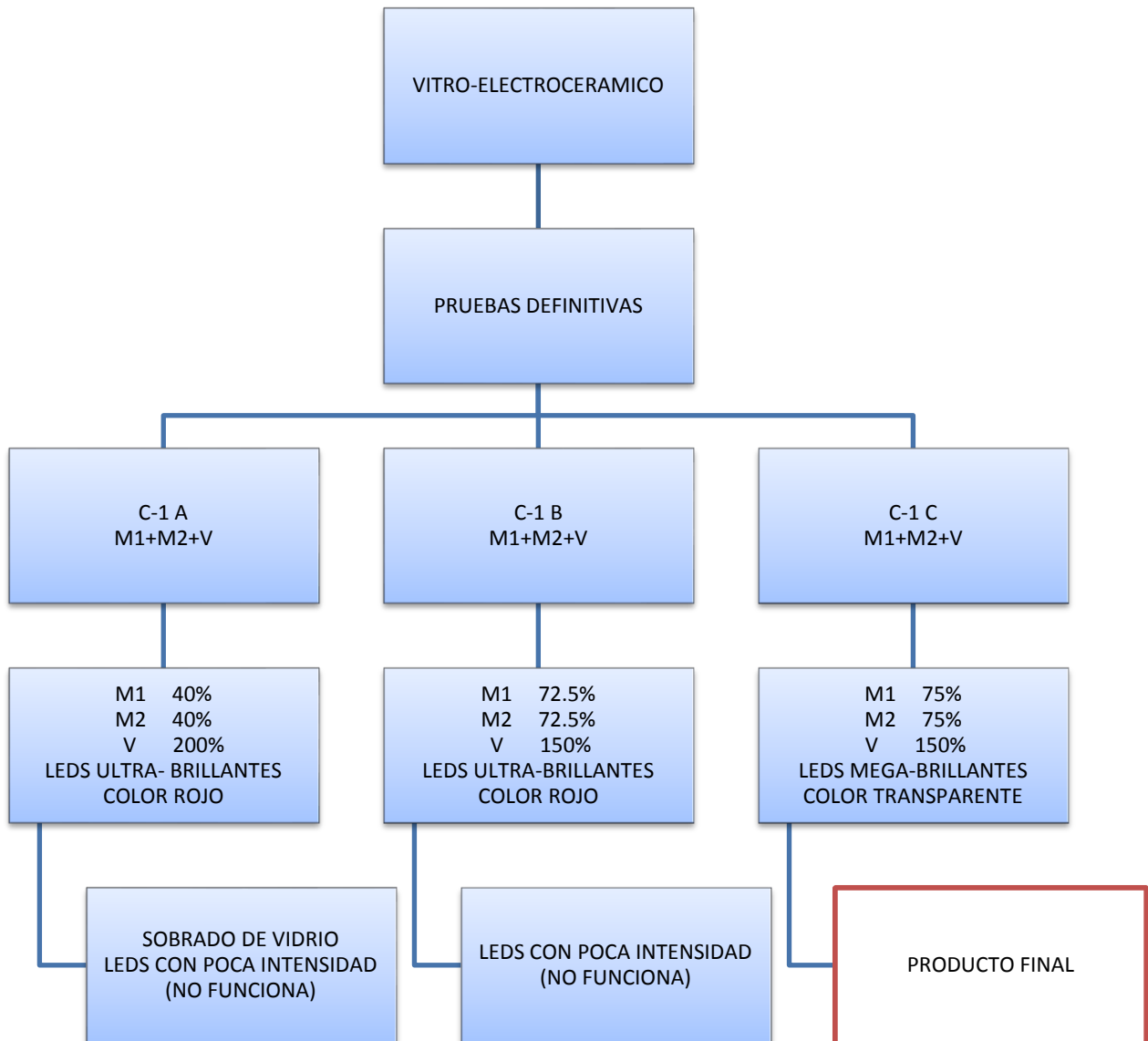
DISEÑO EXPERIMENTAL .



DISEÑO EXPERIMENTAL .



DISEÑO EXPERIMENTAL.



4. SÍNTESIS DEL MATERIAL VITRO-CERÁMICO.

4.1. *Proceso de recolección.*

El primer paso fue la recolección del vidrio a través de las botellas, esto fue un proceso lento ya que se tuvieron que obtener buscando en los botes de basura, en el hogar propio, en la calle, con amigos, simplemente en cualquier lugar en donde estuviera una. Del líquido cual fuera como cerveza, algún vino, mermeladas, mayonesas, refrescos, etc.

Un segundo paso fue reunir el material y equipamiento necesario para la trituración y seguridad personal, ya que la materia a conseguir tiende a ser punzocortante e hiriente en el proceso.

El material que fue necesario para el desarrollo fue:

Vidrio: que es la materia prima de este fase.

Placa de metal: Esta como base firme en el momento del impacto.

Cajón de madera con mica: Esta sirvió de para que la materia no se saliera y se regara por todos lados.

Marro de acero de 8 lbs.: Ayudó para triturar las botellas por medio del impacto.

Plástico: fue necesario un pliego de plástico para cubrir la parte superior del cajón de madera para que no salieran volando los pedazos de vidrio roto y no hubiera algún accidente para quien hacia el trabajo.

Tamices: Estos servirán para granulometrear el vidrio, el que pasa malla de 1 cm cuadrado y la pasa solo polvo.

Equipamiento personal: guantes de tela industrial, bata de laboratorio, botas, mascarilla para cubrir el rostro, delantal industrial.

VIDRIO COLOR TRANSPARENTE O CLARO.



Imagen 3.1. Botellas de todos los tamaños [propia].



Imagen 3.2. Botellas que se consiguieron a base de reciclado [propia].



Imagen 3.3. Diferentes productos son conservan en envases de vidrio, ya que conservan los olores y sabores del producto mejor que cualquier material [propia].



Imagen 3.4. Fueron totalmente limpiados de cualquier material o sustancia que contuviera [propia].

VIDRIO COLOR CAFÉ O AMBAR



Imagen 3.5. En menor cantidad las color ambar [propia].



Imagen 3.6. Generalmente se utilizan para conservar bebidas alcohólicas, como la cerveza [propia].



Imagen 3.7. Presentación en todos los tamaños [propia].



Imagen 3.8. El color es un poco más estándar [propia].



Imagen 3.9. Presentación antes del triturado [propia].

VIDRIO COLOR VERDE



Imagen 3.10. Se logran recaudar pocas botellas de este color [propia].



Imagen 3.11. Principalmente se encuentran en presentación de cerveza, casi no hay en otros productos [propia].



Imagen 3.12. En la etapa inicial del triturado [propia].

VIDRIO COLOR AZUL O COBALTO.



Imagen 3.13. Las botellas son de nuevo encontradas solo para productos de vinos y licores [propia].



Imagen 3.14. Este tipo de color tiene otros tipos de fines, como los decorativos [propia].



Imagen 3.15. Para lograr este color se utiliza oxido de cobalto [propia].



Imagen 3.16. Listas para triturar [propia].

PLACA METALICA



Imagen 3.17. Placa de una pulgada de espesor con un área de un metro cuadrado [propia].

CAJÓN DE MADERA CON MICA

Es un cajón con tablón, para mayor resistencia y durabilidad, de madera con mica frontal de media pulgada de espesor perfectamente fija a la madera.



Imagen 3.18. El cajón está perfectamente fijo entre sí [propia].



Imagen 3.19. Vista superficial o aérea del cajón ya que no tiene base, y lo que se uso o como base sólida fue la placa metálica [propia].

MARRO DE 8 LBS.

Se cubre la parte superior del cajón de madera con plástico para evitar que salgan pedazos de vidrio roto y lastimen al personal.



Imagen 3.20. El marro es la herramienta con la que se tritura el vidrio [propia].



Imagen 3.21. El proceso será manual ya no se cuenta con la maquinaria apropiada para tal paso [propia].



Imagen 3.22. Se cubre la parte superior del cajón y el marro queda libre para moverse dentro del mismo [propia].

TAMICES

El primer tamiz es de abertura de 1 centímetro cuadrado con tapa para evitar, que al momento de vibrar manualmente, los fragmentos de vidrio salieran. Solo se utilizaba lo que pasaba esta malla. Lo demás se volvía a triturar para conseguir que pasaran el tamiz.



Imagen 3.23. Los tamices son de madera armados manualmente [propia].



Imagen 3.24. Se granulometreará el vidrio para realizar las pruebas respectivas y que el tamaño no sea un problema [propia].



Imagen 3.25. La charola es un factor importante en este proceso para que no se riegue el vidrio triturado [propia].



Imagen 3.26. Posteriormente se pasará por otra malla de menor abertura para separar los finos (polvo de vidrio) [propia].

El segundo tamiz retenía lo que pasaba la malla anterior y solo dejaba pasar el polvo de vidrio.

4.2. Triturado del vidrio.

EQUIPAMIENTO PERSONAL.

Se utiliza lo siguiente para seguridad de la persona que trabajará en esta etapa, guantes de tela industrial, bata de laboratorio, delantal industrial de cuero, botas, mascarilla industrial de plástico para cubrir el rostro.



Imagen 3.27. Una vez colocado el equipo adecuado, antes mencionado, se procede a hacer el respectivo trabajo [propia].



Imagen 3.28. No era necesario llenar el cajón de botella, ya que hacer esto nos dificultaría aun más el proceso, por ende nos llevaría más tiempo [propia].



Imagen 3.29. Una vez pasado el primer tamiz, se coloca en el segundo que retendrá todo aquello mayor de 3 mm aproximadamente [propia].



Imagen 3.30. Se deja pasar únicamente el polvo de vidrio [propia].



Imagen 3.31. El polvo no es propiamente un desperdicio ya que guardará y se utilizará en pasos posteriores, si así se requiere [propia].

4.2.1. PROCEDIMIENTO.

ES EL SIGUIENTE:

- 1) Una vez colocadas las botellas en el cajón de madera se deja caer el marro de 8 libras sobre las mismas para que se pueda producir la rotura de las botellas y minimizar el tamaño de las partículas al menor posible.
- 2) Se coloca en el primer tamiz para clasificar los pedazos de vidrio y todo aquel que no pase el tamaño de la maya es devuelta en el cajón de madera para repetir el primer paso del proceso, esto se hace en una charola grande del laboratorio de materiales para evitar se riegue el producto. Cabe mencionar que el procedimiento se hace separando las botellas por color.
- 3) Se hace pasar por las segunda maya, lo que retiene esta se clasifica dentro del tamaño de 1 cm o menor de tamaño, pero lo que pasa en esta maya es el polvo de vidrio que se clasifica como tal.

Una vez hecho el proceso descrito anteriormente obtenemos como resultado:

- ✓ 0.038 m³ de vidrio de 1 cm de tamaño de color claro y 0.0095 m³ de polvo.
- ✓ 0.019 m³ de vidrio de 1 cm de tamaño de color ámbar, 0.00475 m³ de polvo.
- ✓ 0.01425 m³ de vidrio de 1 cm de tamaño de color verde, 0.002375 m³ de polvo.
- ✓ 0.00475 m³ de vidrio de 1 cm de tamaño de color azul, 0.0001 m³ de polvo.

Para proceder posteriormente hacer los especímenes necesarios una vez obtenida la materia prima, que es el vidrio.

4.3. PRIMERAS PRUEBAS.

DE MUESTRA:

C- 1

FECHA:

11-10-12

COLOR:

Transparente

COMPOSICIÓN:

100 % SP1

450 % Microesfera de vidrio

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Hubo un recalentamiento de la prueba durante 2 horas a 250 °C. La muestra es frágil y porosa, no sería fácil manipular su lado estético.



Imagen 4.0.1. Solo se hizo una pequeña barra para empezar a probar algunos materiales [propia].

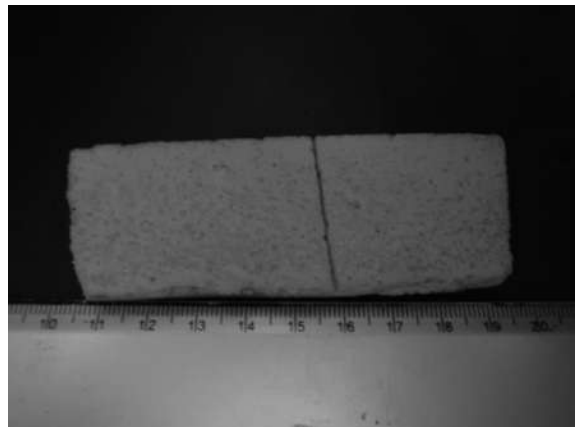


Imagen 4.0.2. Es importante tomar en cuenta la escala a que se trabaja para volúmetrear [propia].



Imagen 4.0.3. Una segunda prueba de la misma composición pero sin recalentamiento logro ser estable [propia].



Imagen 4.0.4. Ambas son tienen bastante porosidad [propia].

DE MUESTRA:

C- 2

FECHA:	16-10-12
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	100 % SP6
	300 % Microesfera de vidrio
TEMPERATURA:	50 °C
TIEMPO DE SECADO:	5 horas
OBSERVACIONES:	Hubo un recalentamiento de la prueba durante 2 horas a 250 °C. La muestra es frágil y porosa, no se tenía el molde adecuado para hacer la muestra, la mezcla era muy liquida, poco estable.

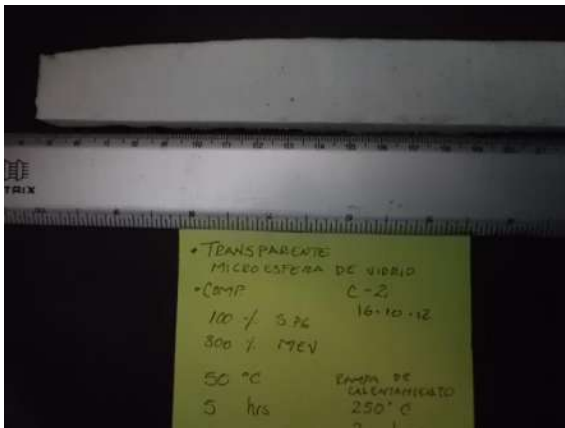


Imagen 4.0.5. La prueba es buena mas sin embargo no tiene tanta resistencia mecánica [propia].

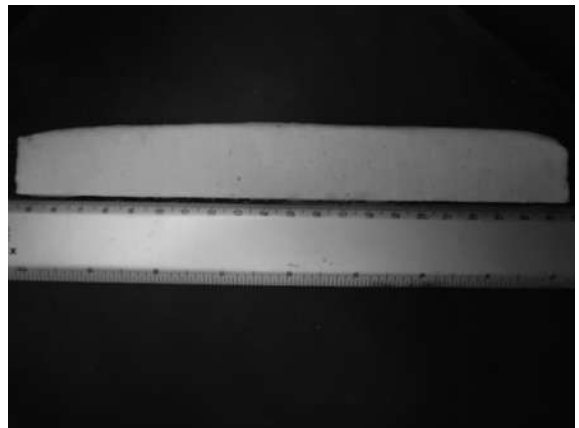


Imagen 4.0.6. La mezcla era buena en al trabajabilidad, pero es demasiado liquida y solo con ese material no es suficiente para controlarla [propia].

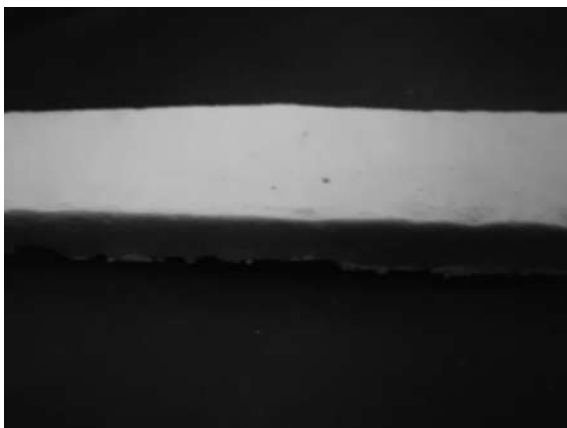


Imagen 4.0.7. Solo la parte que estaba del lado del molde adopto la forma del mismo [propia].

DE MUESTRA:

C- 3

FECHA:	17-10-12
COLOR:	
COMPOSICIÓN:	100 % SP6 3 % Fibra de carbono
TEMPERATURA:	50 °C
TIEMPO DE SECADO:	5 horas
OBSERVACIONES:	Se aplico la mezcla directo a un bloque de cemento ligero para observar el comportamiento y fue introducido al horno.



Imagen 4.0.8. La muestra perdió forma ya que se esponjó o se infló sin control [propia].



Imagen 4.0.9. Se adhiere muy bien al concreto ligero [propia].



Imagen 4.0.10. Para nuestro fines seria un problema tenerlo en nuestro producto [propia].



Imagen 4.0.11. Tal vez el porcentaje de fibra de carbono fue excesiva [propia].

DE MUESTRA:

C- 4

FECHA:

17-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6
6 % Fibra de vidrio
100 % Micro esfera de vidrio

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

La mezcla se comporto muy bien en al trabajabilidad mas sin embargo no da buenos resultados, la fibra de vidrio genera muchos huecos, o sea, porosidad lo cual resulta muy malo porque no tiene resistencia a la flexión.

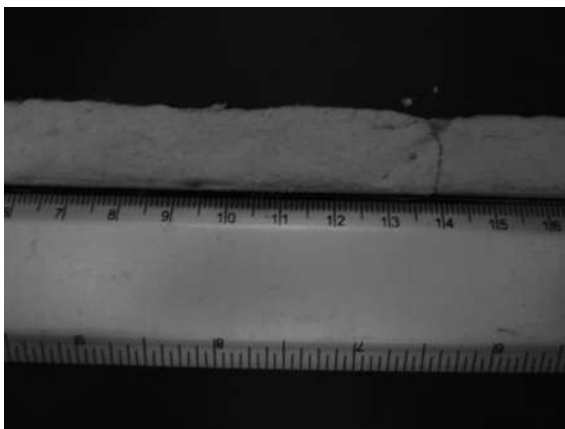


Imagen 4.0.12. Quebradizo con un esfuerzo mínimo [propia].



Imagen 4.0.13. Para prueba fue suficiente, ya que de ser más robusta solo hubiéramos desperdiciado material [propia].

DE MUESTRA:

C- 5 A

FECHA:

22-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6
100 % Micro esfera de vidrio
2 % Fibra de vidrio
1 % Fibra de Carbono

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Se recalentó la muestra a 250 °C durante 2 horas más. Como era de esperarse, por la anterior prueba con fibra de carbono, se iba a expandir.



Imagen 4.0.14. Para prueba fue suficiente, ya que de ser más robusta solo hubiéramos desperdiciado material [propia].



Imagen 4.0.15. Para prueba fue suficiente, ya que de ser más robusta solo hubiéramos desperdiciado material [propia].



Imagen 4.0.16. Para prueba fue suficiente, ya que de ser más robusta solo hubiéramos desperdiciado material [propia].

DE MUESTRA:

C- 5 B

FECHA:

22-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6

250 % Micro esfera de vidrio

1 % Fibra de vidrio

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Se recalentó la muestra a 250 °C durante 2 horas más.



Imagen 4.0.17. Después del recalentamiento la placa toma ligeramente la forma de la rejilla del horno lo que significa que aun estaba semisólida [propia].

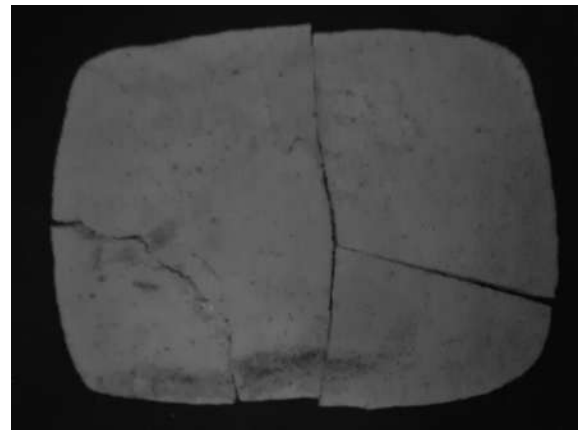


Imagen 4.0.18. Al aplicar fuerza propia en la muestra esta no presenta gran resistencia, lo cual no es buena señal del producto [propia].

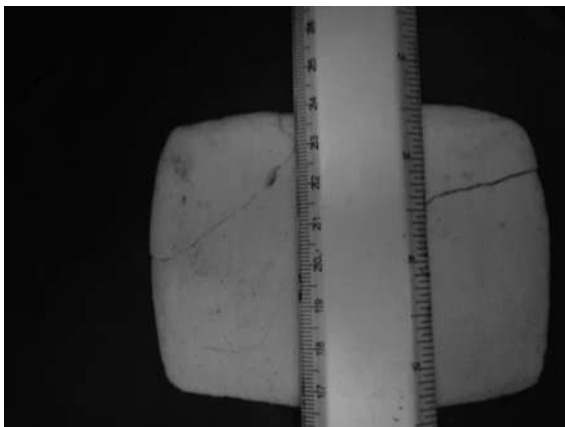


Imagen 4.0.19. Una buena característica fue que no se fragmento en pedazos más pequeños [propia].

DE MUESTRA:

C- 6 A

FECHA:

23-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6
250 % Micro esfera de vidrio
1 % Fibra de Vidrio
1 % Fibra de Carbono

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Recalentamiento a 200 °C durante 2 horas más.



Imagen 4.0.20. Logra verse la porosidad que generan ambas fibras [propia].



Imagen 4.0.21. La fragilidad no se hace esperar en la prueba [propia].

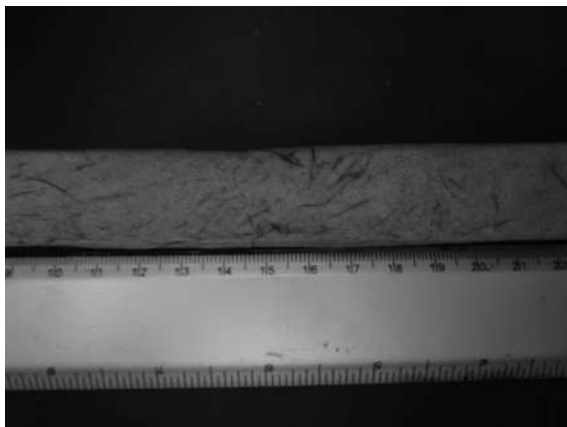


Imagen 4.0.22. Se expande al someterla al calor del horno [propia].



Imagen 4.0.23. La fibra de vidrio sería un refuerzo a la tensión, y la fibra de carbono se utilizó como conductor eléctrico [propia].

DE MUESTRA:

C- 6 B

FECHA:

23-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6
250 % Micro esfera de vidrio
1 % Fibra de Vidrio
1 % Fibra de Carbono

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Se recalentó a 200 °C durante 2 horas más. El vibrado en la mezcla antes de someterlo al calor es importante, a pesar que se realizo más robusta no se logró cambio alguno, siguió teniendo las características que la anterior.



Imagen 4.0.24. Poca fuerza, poca resistencia [propia].



Imagen 4.0.25. Ambas fibras contribuyen a la expansión del producto [propia].



Imagen 4.0.26. La porosidad o hueco que forma también se conoce como "nido de pájaro" [propia].

DE MUESTRA:

C- 7

FECHA:

24-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 %	SP6
250 %	Micro esfera de vidrio
1 %	Fibra de Vidrio
1 %	Fibra de Carbono

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Se recalentó a 200 °C durante 2 horas más. Se tiene que vibrar durante un buen rato para que las partículas se acomoden y tomen la forma del molde.



Imagen 4.0.27. Al disminuir los porcentajes de las fibras arroja un mejor resultado, en una placa resulta más estable [propia].



Imagen 4.0.28. Al introducirla al horno para el recalentamiento la placa adopta la forma de la rejilla de soporte del horno [propia].



Imagen 4.0.29. Una buena característica fue que no se fragmentó en pedazos más pequeños [propia].

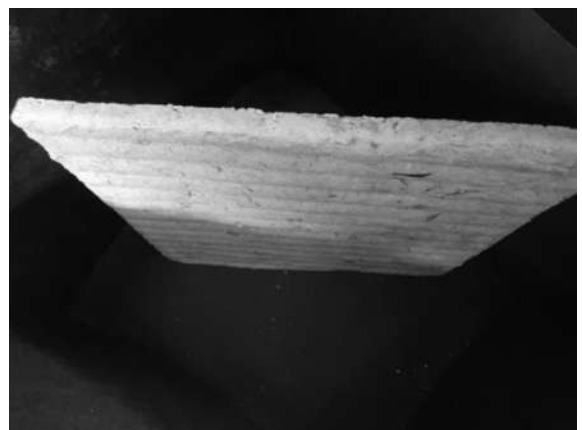


Imagen 4.0.30. Debido a no solidificar en un primer calentamiento es que puede fluir un poco para marcarse por otro objeto [propia].

DE MUESTRA:

C- 8

FECHA:	25-10-12
COLOR:	
COMPOSICIÓN:	100 % SP6 250 % Micro esfera de vidrio 1 % Fibra de Vidrio
TEMPERATURA:	50 °C
TIEMPO DE SECADO:	2 horas
OBSERVACIONES:	Se recalentó a 200 °C durante 2 horas más. De nuevo forma una película delgada de material líquido que forma con vibrado.



Imagen 4.0.31. Se aprecia la porosidad que forma internamente la prueba, pensando que la causante de este problema es la fibra de vidrio [propia].

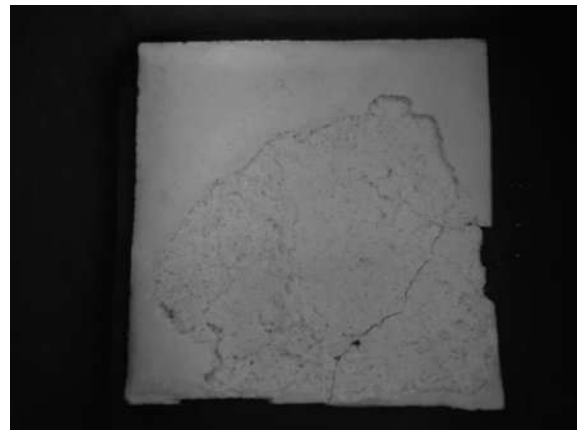


Imagen 4.0.32. Tal vez por el espesor del espécimen pero también es bastante frágil al desmoldar [propia].

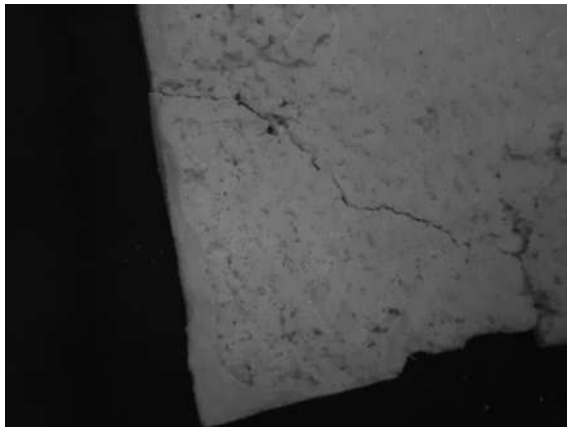


Imagen 4.0.33. No es conveniente este tipo de fenómenos producidos, ya que no resulta un producto altamente confiable, y se busca un producto funcional en todas sus características [propia].

DE MUESTRA:

C- 9

FECHA:

25-10-12

COLOR:

COMPOSICIÓN:

100 % SP6
250 % Micro esfera de vidrio
1 % Fibra de Vidrio

TEMPERATURA:

50 °C

TIEMPO DE SECADO:

2 horas

OBSERVACIONES:

Se recalentó a 200 °C durante 2 horas más. Se colocó en una charola de aluminio como molde sin embargo la relación mezcla-aluminio es muy buena, por lo que no se desmolda en una sola pieza.

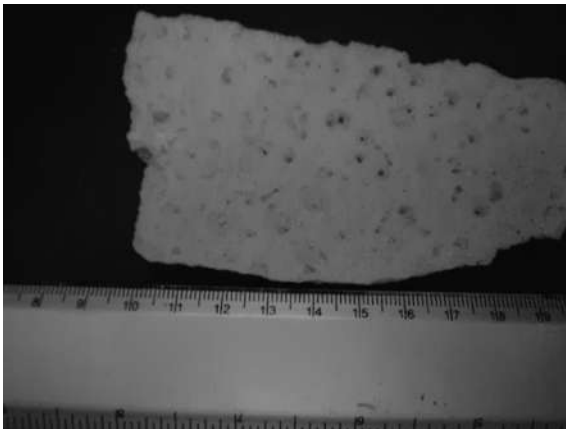


Imagen 4.0.34. Se aprecia la porosidad a pesar de un buen vibrado [propia].



Imagen 4.0.35. La parte en contacto con el molde logra ser lisa a pesar de los poros [propia].



Imagen 4.0.36. Se colocan en un a bolsa para conservarlos y hacer pruebas si fuese necesario [propia].



Imagen 4.0.37. El espesor es bueno pero eso no ayudó para evitar el rompimiento de la prueba [propia].

4.4. INCLUSIÓN DE VIDRIO TRITURADO.

# DE MUESTRA:	C- 1
FECHA:	13- 03- 13
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	200 % Vidrio 100 % SP6
TEMPERATURA:	50 °C
TIEMPO DE SECADO:	24 horas
OBSERVACIONES:	La trabajabilidad de la muestra es buena, a pesar de la viscosidad del SP6 siguió siendo manejable en la mezcla. Al extraerlo del horno a la temperatura y tiempo antes descrito se observa que la muestra no coagulo lo suficiente para poder desmoldar, por consiguiente se decidió introducirla de nuevo durante 1 hora más a 80 °C. al transcurrir ya el tiempo de 1 hora se observa que el formulación que utiliza como adhesivo no está solidificando lo suficiente para formar un monolito, por lo que nuevamente es metido al horno a 80 °C durante 20 hora. Al Examinar, transcurrido el tiempo, la muestra sigue en un estado semilíquido, los cual lleva a decidir meterlo 1 hora a 90 °C, los cuales no afectaron mucha muestra y solo coaguló un poco más. Son retirados los moldes de plástico e inyectados al horno, de nuevo, 1:30 horas a una temperatura de 300 °C.



Imagen 4.1. Primera prueba realizada con vidrio de 1 cm de espesor [propia].



Imagen 4.2. Resultado de la prueba, como era de esperarse, sin resultados favorables [propia].

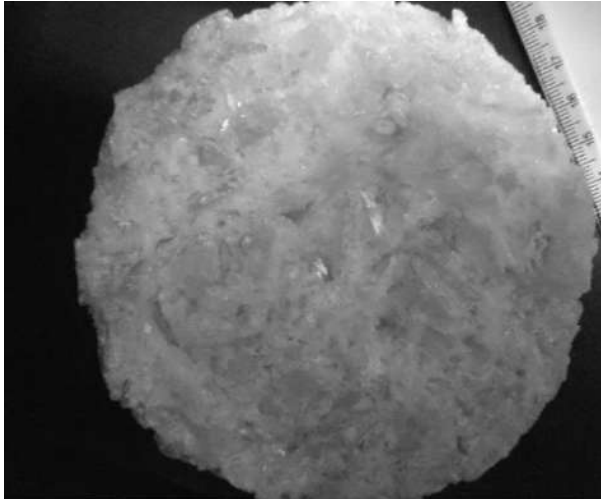


Imagen 4.3. Logra apreciarse la porosidad [propia].

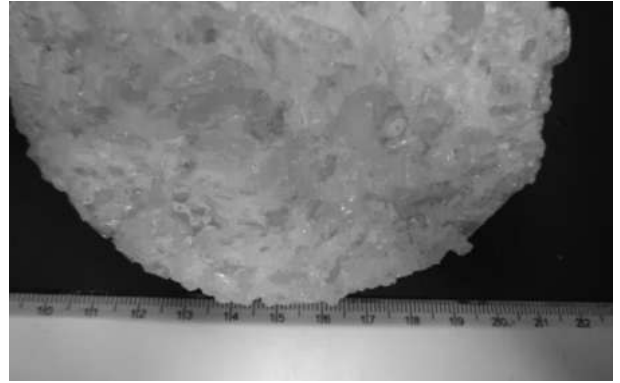


Imagen 4.4. El vidrio aflora mucho lo cual no nos beneficia ya que sea peligroso industrializarlo y manejarlo manualmente [propia].

# DE MUESTRA:	C- 2
FECHA:	13- 03- 13
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	250 % Vidrio 100 % SP1
TEMPERATURA:	50 °C
TIEMPO DE SECADO:	24 horas
OBSEACIONES:	La trabajabilidad de la muestra es buena, a pesar de la viscosidad del SP6 siguió siendo manejable en la mezcla. Al extraerlo del horno a la temperatura y tiempo antes descrito se observa que la muestra no coagulo lo suficiente para poder desmoldar, por consiguiente se decidió introducirla de nuevo durante 1 hora más a 80 °C. Al transcurrir ya el tiempo de 1 hora se observa que la formulación que utiliza como adhesivo no está solidificando lo suficiente para formar un monolito, por lo que nuevamente es metido al horno a 80 °C durante 20 horas. Al Examinar, transcurrido el tiempo, la muestra sigue en un estado semilíquido, los cual lleva a decidir meterlo 1 hora a 90 °C, los cuales no afectaron mucha muestra y solo coaguló un poco más. Son retirados los moldes de plástico e inyectados al horno, de nuevo, 1:30 horas a una temperatura de 300 °C.



Imagen 4.5. El segundo espécimen muy parecido al primero, presenta prácticamente las mismas características del anterior [propia].

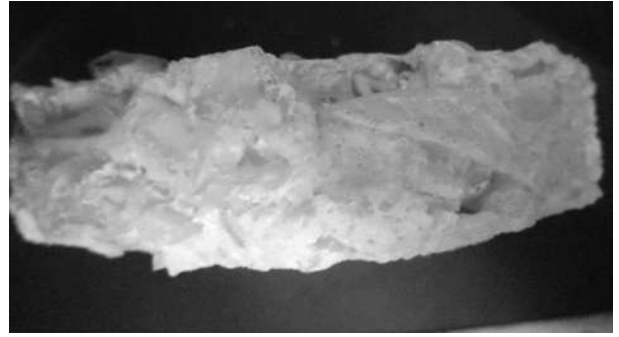


Imagen 4.6. El saber que no tiene estabilidad entre sí nos da una muy mala impresión [propia].

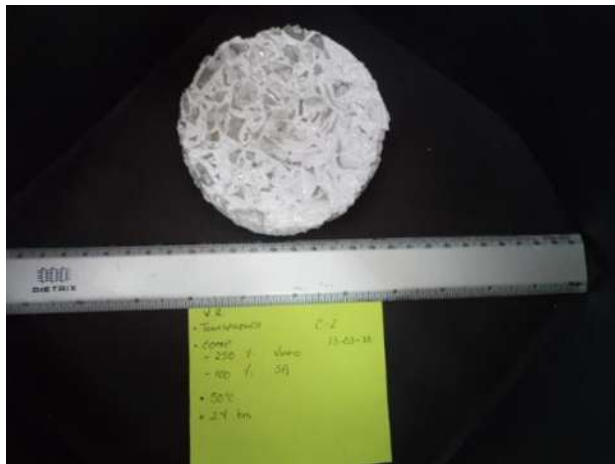


Imagen 4.7. Las partículas más grandes se van a la parte baja del molde, y se puede apreciar en la imagen, por densidad sucede [propia].

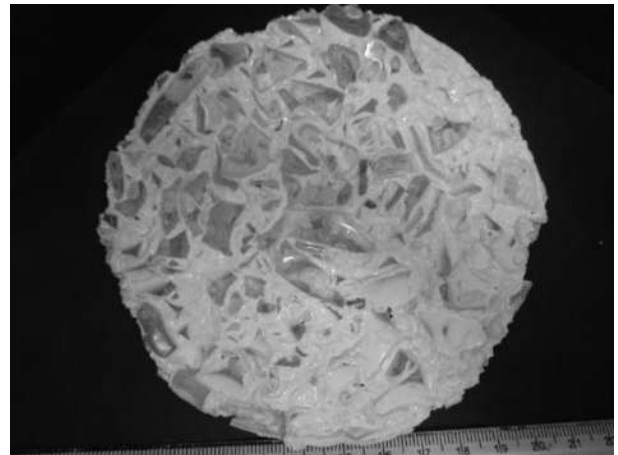


Imagen 4.8. Logra presentar buena adherencia más no buena apariencia ni resistencia a la flexión [propia].

4.5. PREPARACIÓN DE ADHESIVO DIFERENTE.

4.5.1. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE ADHESIVO.

El primer paso es pesar todos los elementos a mezclar, lo cual son los porcentajes expresados en peso reflejados en gramos. Se agrega el KOH gradualmente a la solución de SP1 y con agitación durante la disolución de las ojuelas de KOH y después de la completa disolución, para esto se utiliza un agitador tipo vortex y un agitador magnético, con lo cual se genera calor pero se debe permitir el enfriamiento durante 10 minutos en agitación.

Posteriormente se adiciona un determinado porcentaje, a la solución preparada, de Hidróxido de Aluminio y mezclar, y agitar durante 5 minutos posteriormente, para finalmente mezclar con vidrio. Se colocara en caja o recipiente de PET, seguido de introducirlo al horno.

# DE MUESTRA:	C- 3
FECHA:	19- 03- 13
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	100 % SP1 10 % KOH 40 % Hidróxido de Aluminio 300 % Vidrio
TEMPERATURA:	60 °C
TIEMPO DE SECADO:	18 horas
OBSERACIONES:	El resultado es bueno ya que solidificó, pero aún quedan restos del adhesivo en las manos, por lo que se decidió introducirlo nuevamente al horno durante una hora a una temperatura de 120 °C. Como resultado final es lo mostrado en las imágenes.



Imagen 4.9. La primer muestra con un adhesivo preparado y adicionando vidrio resultó bastante frágil [propia].



Imagen 4.10. Tiene bastantes fracturas [propia].



Imagen 4.11. Es la parte superficial [propia].

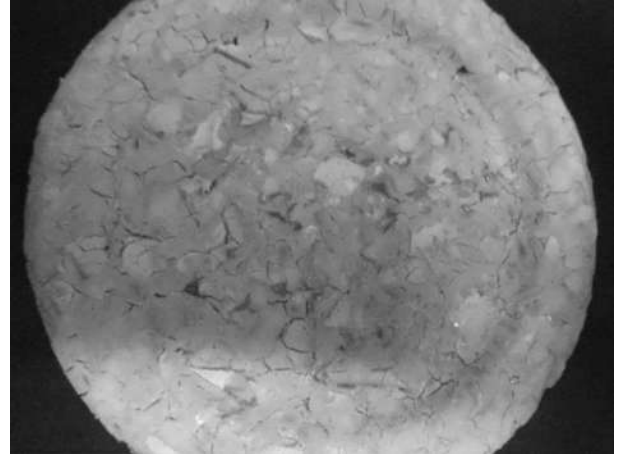


Imagen 4.12. La base de la prueba [propia].

# DE MUESTRA:	C- 4
FECHA:	20- 03- 13
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	100 % SP1 20 % KOH 40 % Hidróxido de Aluminio 300 % Vidrio
TEMPERATURA:	AMBIENTE
TIEMPO DE SECADO:	48 horas
OBSERACIONES:	Son buenos los resultados en las primeras 48 horas, pero se atraviesa el periodo vacacional y esto ayudó para tener una mejor perspectiva del resultado de esta muestra ya que al desmoldar el resultado ya no es tan favorable, la prueba tiende a perder fragmentos lo que se denominaría como desmoronamiento del espécimen.

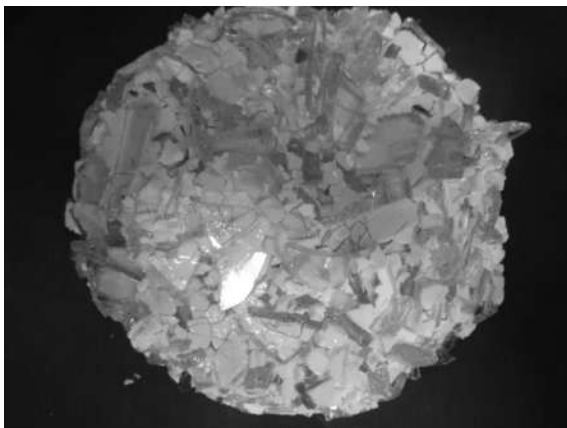


Imagen 4.13. Resulta ser extremadamente frágil [propia].



Imagen 4.14. No conservo la forma del espécimen [propia].

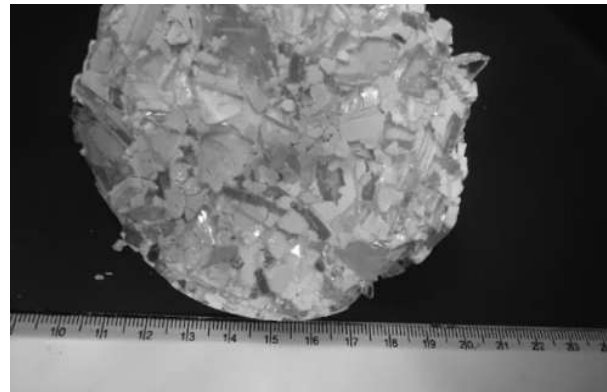


Imagen 4.15. Parte superficial [propia].



Imagen 4.16. Se desmorona con gran facilidad [propia].



Imagen 4.17. Es la parte lateral, este espécimen no tiene futuro [propia].

# DE MUESTRA:	C- 5	
FECHA:	20- 03- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	100 %	SP1
	30 %	KOH
	40 %	Hidróxido de Aluminio
TEMPERATURA:	AMBIENTE	
TIEMPO DE SECADO:	0:20	horas
OBSERACIONES:	Endureció demasiado rápido, con lo cual no hubo oportunidad de agregar vidrio. Sin embargo tiene bastante resistencia, pero no sirve para nuestros fines.	



Imagen 4.18. Se solidificó con bastante rapidez [propia].



Imagen 4.19. Posiblemente sería muy frágil con el vidrio mezclado [propia].



Imagen 4.20. Cuenta con gran dureza [propia].

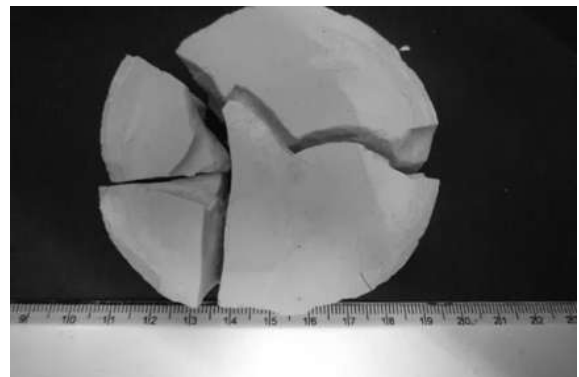


Imagen 4.21. Presentaba buena su parte estética [propia].

# DE MUESTRA:	C- 6	
FECHA:	09- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	100 %	Vidrio
	100 %	Marmolina tipo 1
	100 %	Marmolina tipo 2
	60 %	Vidrio (verde)
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSEARACIONES:	El espécimen resulto muy bueno, es resistente y con buen acabado aunque a medida que se agregaba la marmolina era más difícil de mezclar los ingredientes. Faltara trabajar un poco más en la transparencia de este prototipo. Se agregó un poco de vidrio de otro color para rellenar el espacio vacío y no hubiera tanto sobrante de la solución, así como para observar que sucedía con esta muestra ya que el color transparente se perdía con el adhesivo. Se aprecian algunos poros. Se colocó una placa de vidrio encima para controlar la velocidad de deshidratación.	

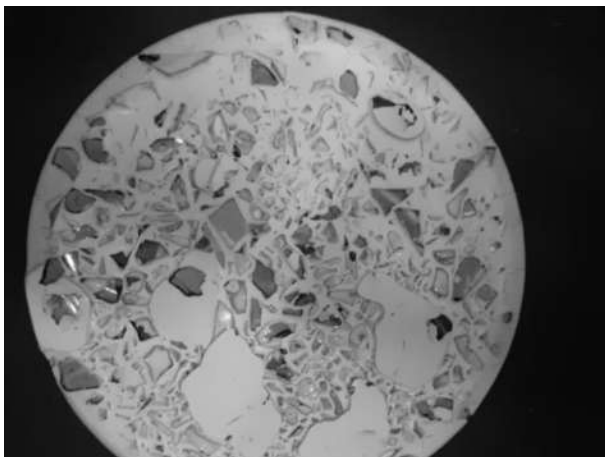


Imagen 4.22. Ya caracterizado el adhesivo definitivo, esta fue una primer pastilla [propia].

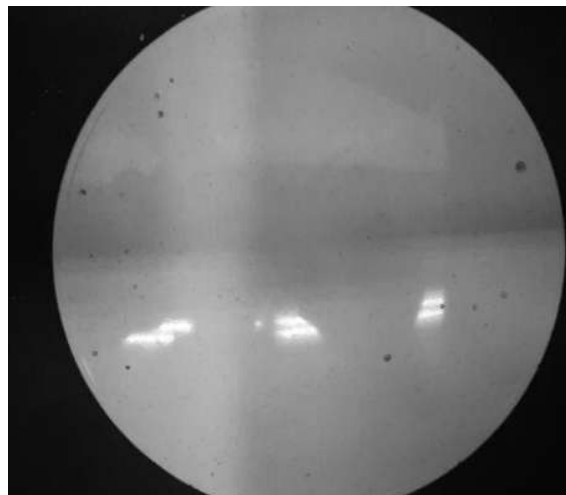


Imagen 4.23. Parte de la base [propia].

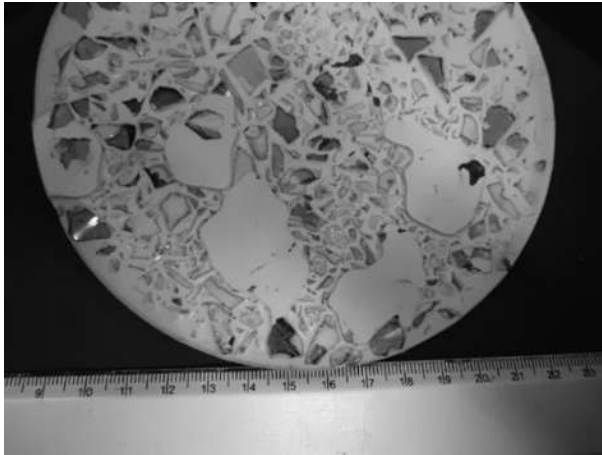


Imagen 4.24. Con superficie color verde, el resto color transparente [propia].

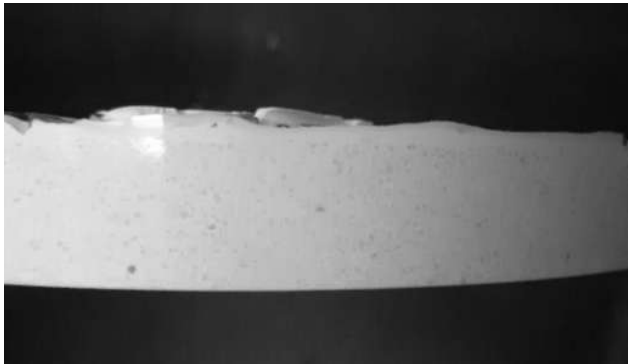


Imagen 4.25. Imagen lateral la cual muestra una pequeña película delgada en la superficie, mas sin embargo no afecta en lo mínimo. [propia].



Imagen 4.26. Se logra el primer gran paso a seguir [propia].

# DE MUESTRA:	C- 7	
FECHA:	10- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	100 %	Vidrio
	200 %	Polvo de vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	En esta prueba la mezcla fue un poco menos trabajable por lo que el procedimiento de hacer todo junto, o sea, la cantidad completa se paso por alto y se hizo agregando un 175 % del polvo de vidrio en la mezcla y una vez que se tenía en el molde se espolvoreo el resto del polvo de vidrio.	

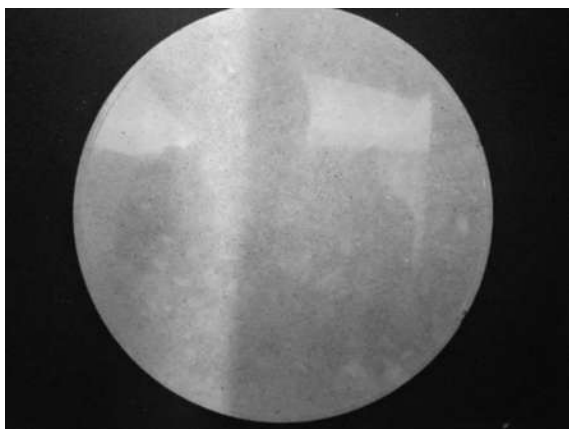


Imagen 4.27. Gran resultado estético [propia].



Imagen 4.28. La pastilla es muy estable [propia].

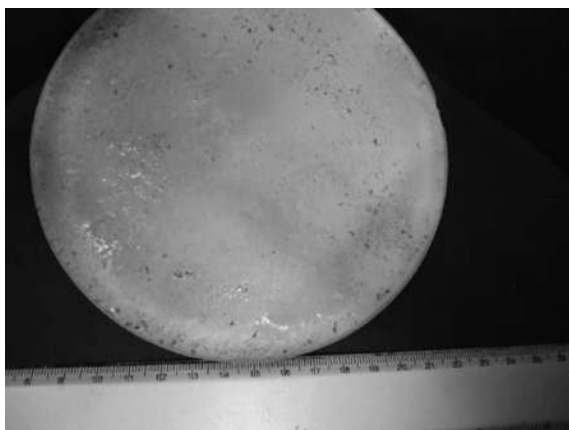


Imagen 4.29. La superficie es lisa, no presenta gruesos [propia].

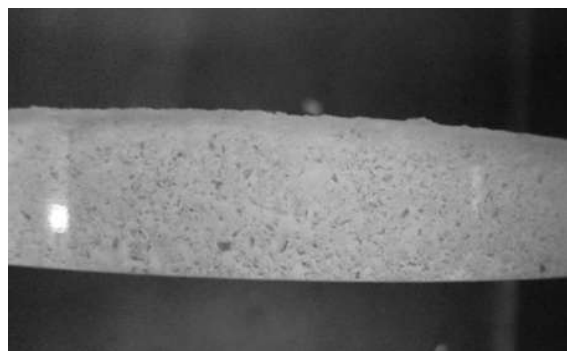


Imagen 4.30. Sigue habiendo una pequeña película en la superficie [propia].

# DE MUESTRA:	C- 8	
FECHA:	13- 03- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	3 %	Fibra de Vidrio
	165 %	Polvo de Vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Es un poco más difícil trabajar con la fibra de vidrio cortada por que resta un poco de humedad a la mezcla. Y el resultado luce antiestético por tal motivo aunque no resulto tan malo físicamente.	



Imagen 4.31. En todas las pruebas se formara la película en la superficie [propia].



Imagen 4.32. La coloración es debido al polvo de vidrio color ámbar [propia].

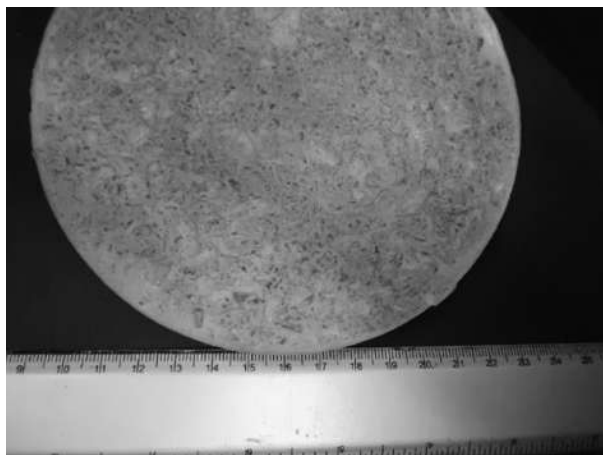


Imagen 4.33. La prueba está estable, se desmoldo fácilmente y no presenta fracturas y no es tan frágil [propia].

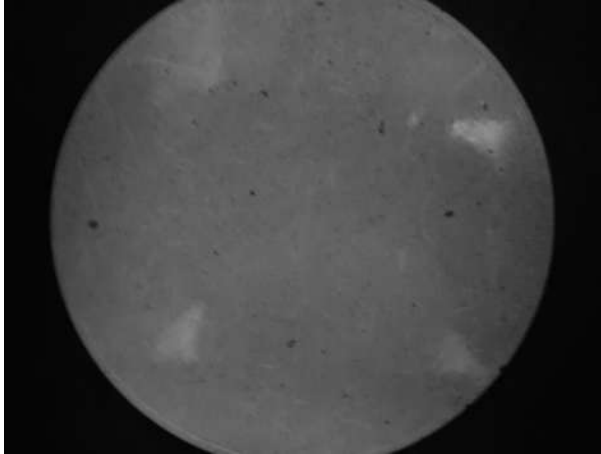


Imagen 4.34. Su base da nuestra de que toma perfectamente la forma del molde y que se pueden eliminar las burbujas con vibrado después de mezclar [propia].



Imagen 4.35. Es importante conservar un espesor uniforme en toda la superficie [propia].

# DE MUESTRA:	C- 9	
FECHA:	10- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	10 %	Látex
	3 %	Fibra de Vidrio
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSEERACIONES:	Sin dudarle este espécimen se desecho como una posible ruta, ya que no tuvo un buen resultado. La muestra estaba lechosa, viscosa, no tenia solidez y poco trabajable. No se pudo desmoldar.	

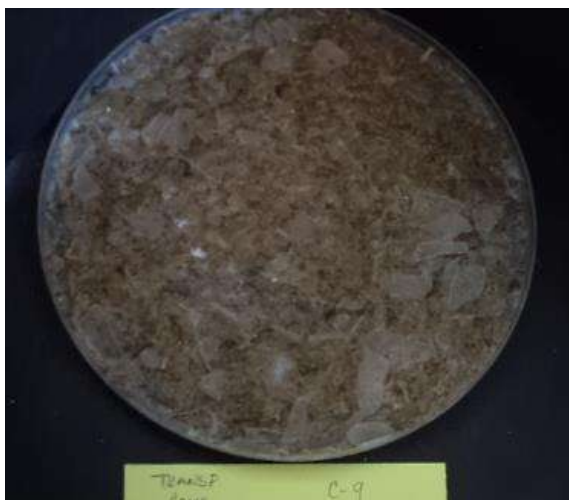


Imagen 4.36. No se dio seguimiento a este espécimen ya que desde el mezclado se pudo deducir que no tenía futuro [propia].

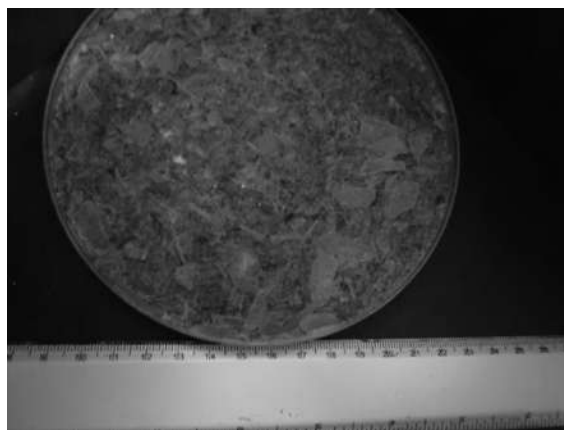


Imagen 4.37. Ni la fibra ni el porcentaje de látex ni el polvo de vidrio ayudaron para que solidificara [propia].

# DE MUESTRA:	C- 10	
FECHA:	10- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	20 %	Látex
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	En la superficie un poco porosa debido al vibrado que se le hace a las muestras, ya que gran parte de la solución tiende a subir y en este caso, el látex, fue quien proporcionó este fenómeno. Fue difícil desmoldar. El látex también ayudo al buen comportamiento entre los ingredientes de la mezcla y la buena adherencia entre una placa de vidrio y la mezcla realizada.	

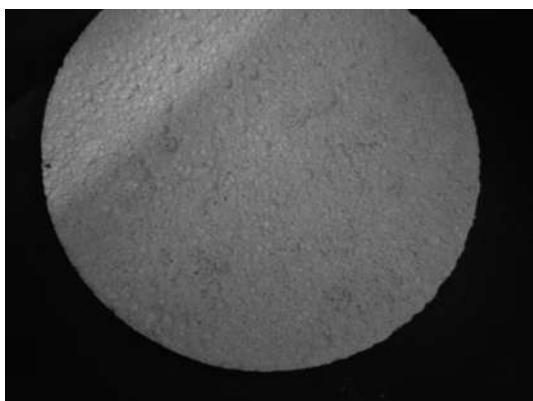


Imagen 4.38. Bastante porosidad en la superficie [propia].

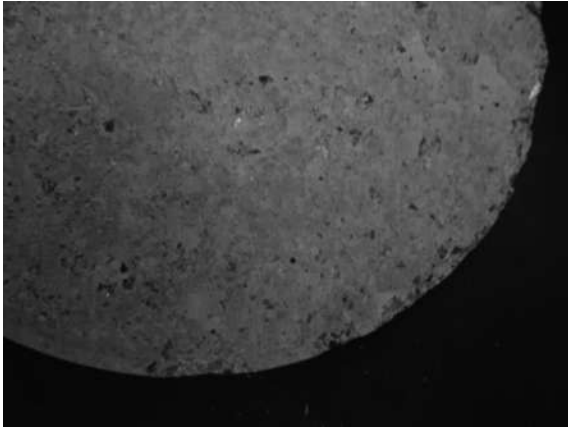


Imagen 4.39. Algunas partículas se quedaron en el molde [propia].

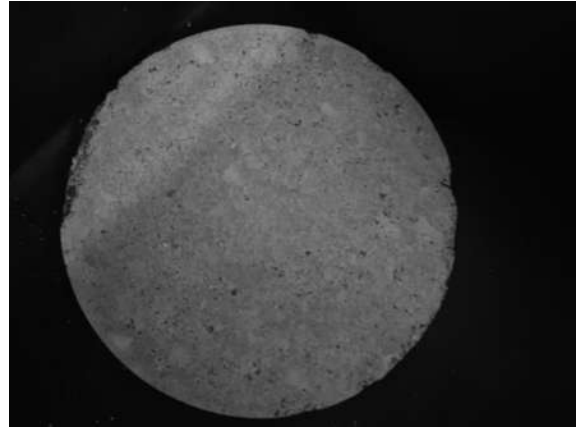


Imagen 4.40. No logro salir perfecto [propia].



Imagen 4.41. La parte lateral también presenta huecos [propia].

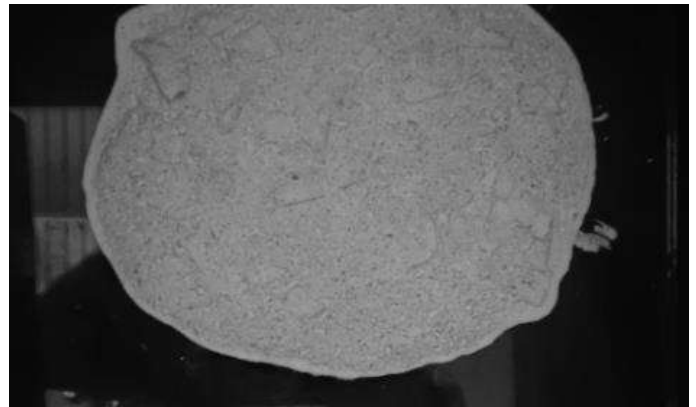


Imagen 4.42. Mezcla colocada en una placa de vidrio para probar adherencia entre estos, la cual resultó muy buena sin hacer más pruebas para este espécimen [propia].

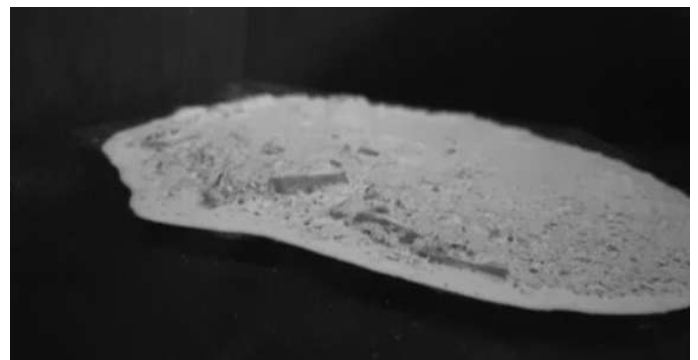


Imagen 4.43. No presenta indicios de mal comportamiento [propia].

# DE MUESTRA:	C- 11	
FECHA:	10- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	20 %	Látex
	10 %	Polvo de Fibra de Vidrio
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Se fractura de los lados con gran facilidad y tuvo una buena adherencia con el molde de plástico, sin embargo para placas muy delgadas no funcionaria ya que tiende a ser muy frágil. Un poco porosa en la superficie y dentro dé.	



Imagen 4.44. Presenta mucho más fragilidad que la anterior [propia].

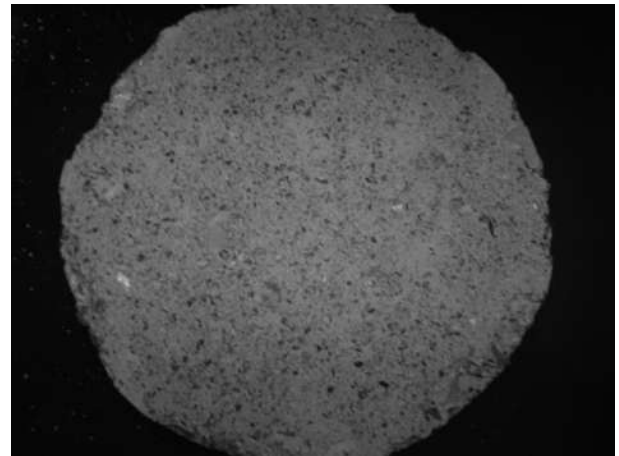


Imagen 4.45. Debido, su fragilidad, al aumento de porcentajes en el látex, polvo de vidrio y molida [propia].



Imagen 4.46. A pate presenta huecos visibles, por ende frágil será [propia].

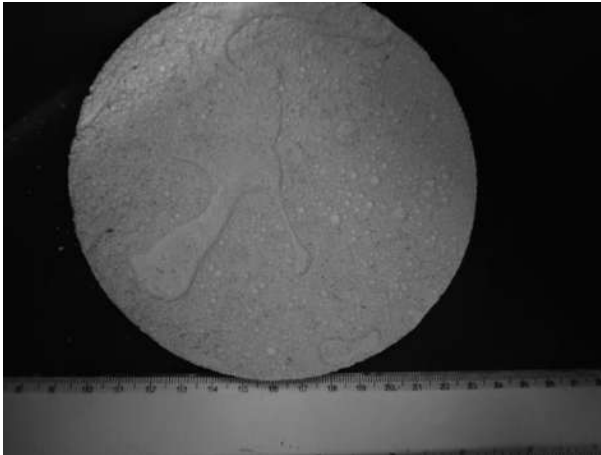


Imagen 4.47. Esta mancha de espuma en la superficie la provoca el látex [propia].



Imagen 4.48. No son buenos los espesores menores de 8 mm [propia].

# DE MUESTRA:	C- 12	
FECHA:	11- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	5 %	Látex
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Bastante buena trabajabilidad y buena consistencia, buen acabado superficial y también en la parte baja, un poco de oquedades, pero nada que no se resuelva un poco más de vibrado.	

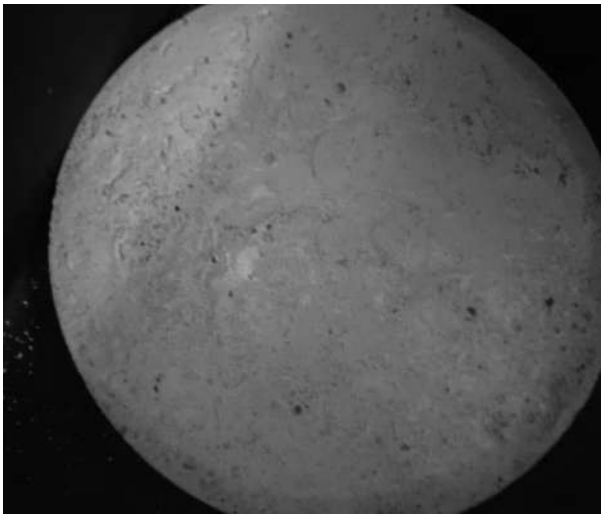


Imagen 4.49. La superficie si con burbujas pero en menor cantidad por menor látex [propia].

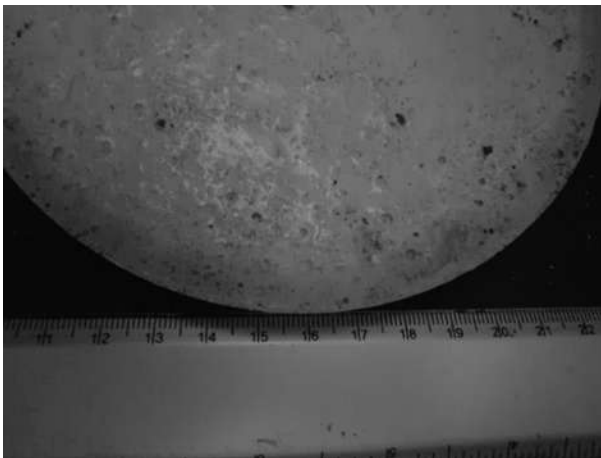


Imagen 4.50. Forma un aro alrededor dejando la parte del centro un poco más blanca [propia].

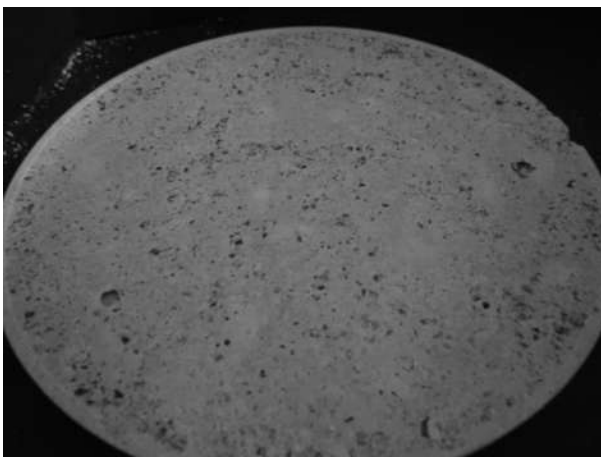


Imagen 4.51. Mas fácil desmoldar, la muestra resulta más entera [propia].

# DE MUESTRA:	C- 13	
FECHA:	11- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	10 %	Látex
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Faltó alisar un poco la superficie ya que se originaron un poco de burbujas, pero fue un buen resultado, ya que sigue siendo el látex una buena liga entre los componentes.	



Imagen 4.52. De nuevo el látex interfiere en este tipo de composiciones presentándose en la superficie [propia].

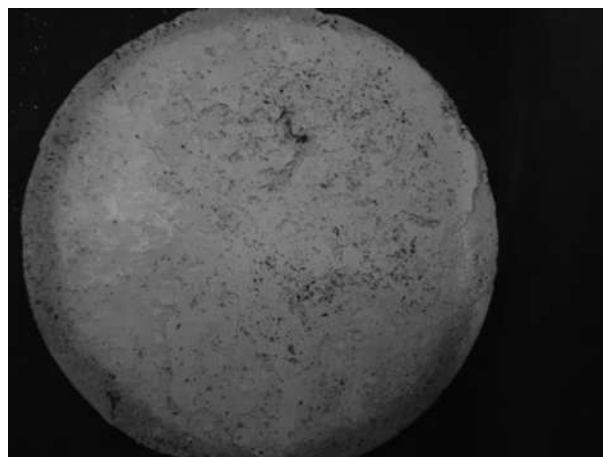


Imagen 4.53. Se trabajo mejor esta muestra con un poco más de tiempo en el vibrado [propia].



Imagen 4.54. La base es buena visiblemente, y se muestran partículas de vidrio grueso aflorando [propia].

# DE MUESTRA:	C- 14	
FECHA:	12- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	10 %	Látex
	10 %	Fibra de vidrio molida
	100 %	Vidrio
	200 %	Polvo de vidrio
TEMPERATURA:	50 °C	
TIEMPO DE SECADO:	24 horas	
OBSERACIONES:	Ayudó mucho el hecho de adicionar polvo de fibra de vidrio ya que sirvió para que tuviera una mejor soldadura entre los elementos de la composición.	



Imagen 4.55. Se aprecian las partículas gruesas y las finas haciendo un buen contraste entre sí [propia].



Imagen 4.56. Es más estable física y químicamente a primera vista [propia].

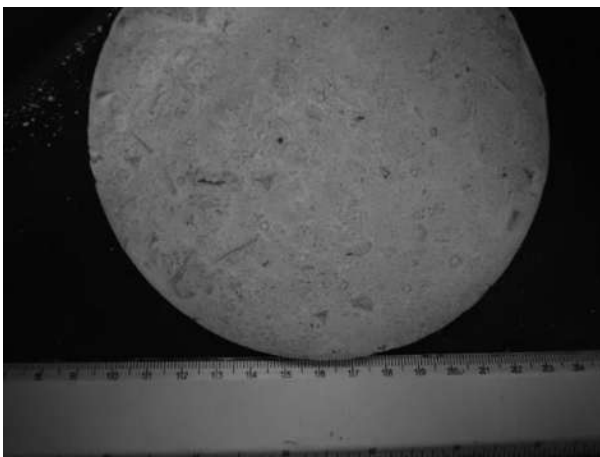


Imagen 4.57. El adhesivo con los demás elementos son proporcionales en este espécimen [propia].

# DE MUESTRA:	C- 15	
FECHA:	12- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	5 %	Látex
	10 %	Fibra de vidrio molida
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18	horas
OBSERACIONES:	El polvo de fibra de vidrio y el látex hacen una buena fusión entre ellos como de los demás componentes, esto se refleja en la buena atracción que se tiene con una lámina de vidrio común. El polvo de fibra nos ayudará a soportar algunas características que sin ella, por supuesto no se tendrían.	

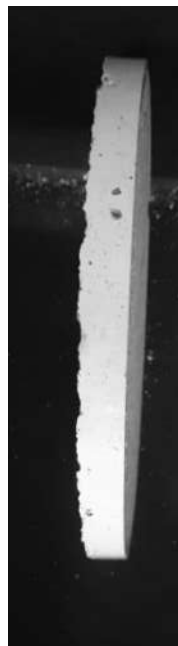


Imagen 4.58. Mejora el mezclado y reducen los espacios dentro de la prueba [propia].

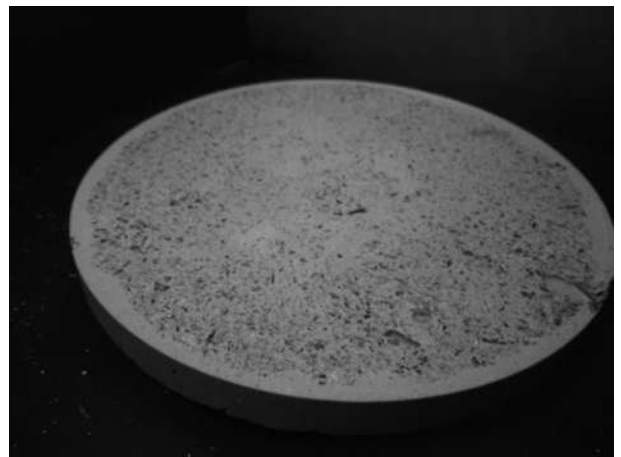


Imagen 4.59. Es importante saber qué porcentaje ocupan los finos y cuanto los gruesos así como su distribución [propia].



Imagen 4.60. No son buenos los espesores menores de 8 mm [propia].



Imagen 4.61. Las muestras de dos componentes colocados en una placa de vidrio para observar diferencia y probar adherencia [propia].

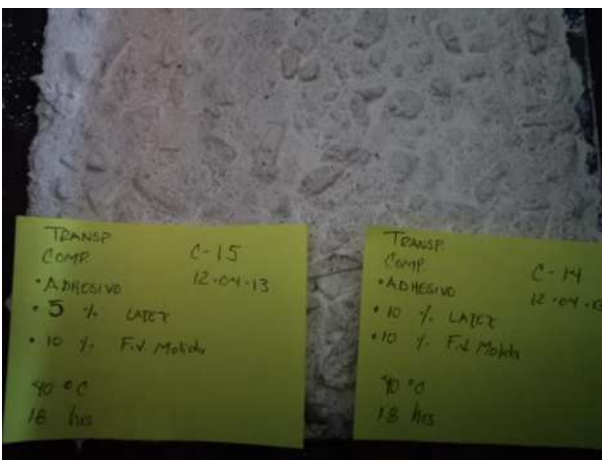


Imagen 4.62. Y posteriormente se someterán a pruebas de resistencia a la intemperie entre otras [propia].

# DE MUESTRA:	C- 16	
FECHA:	12- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	1 %	Fibra de vidrio cortado
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	La fibra cortada también soporta propiedades mecánicas como la tensión y logra ser un poco más estético, con buena solidez y fácil de desmoldar al plástico.	

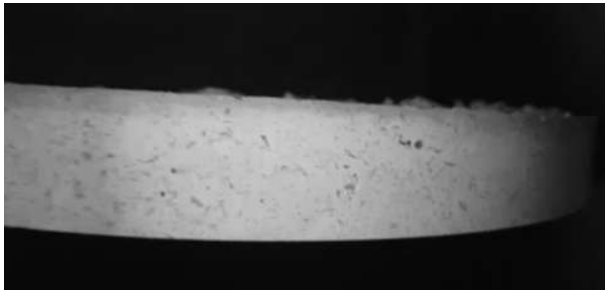


Imagen 4.63. Espesor considerable, entre 12 y 15 mm [propia].



Imagen 4.64. La base es lisa [propia].



Imagen 4.65. La mancha blanca al centro es por el látex [propia].

# DE MUESTRA:	C- 17	
FECHA:	12- 04- 13	
COLOR:	Ámbar	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 250 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Polvo de vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Se trabaja bien con solo polvo y se desmolda bien de plástico. Solo le falta un poco de adherencia ya que se desmorona con poca fuerza y puede ser posible una sencilla rotura.	

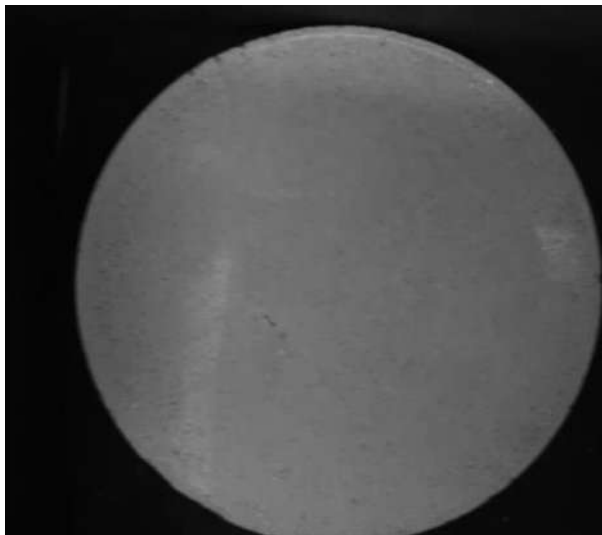


Imagen 4.66. Queda mejor la muestra con molde de plástico [propia].

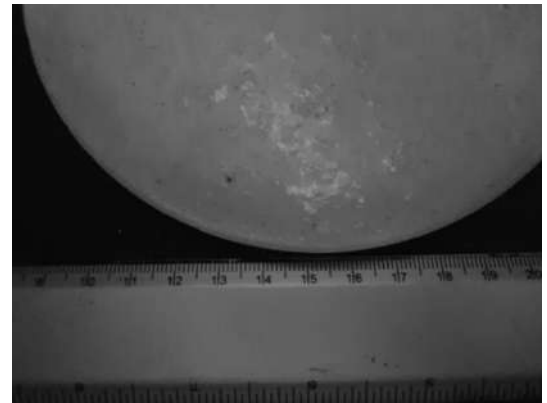


Imagen 4.67. También la superficie mejora [propia].

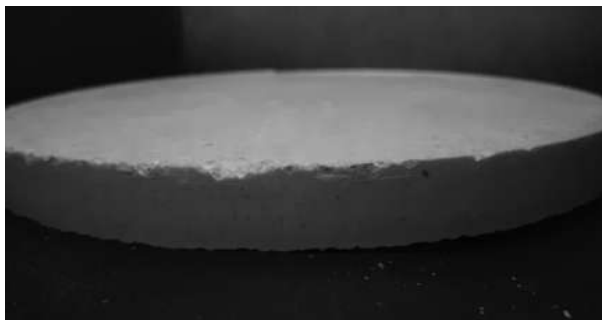


Imagen 4.68. Aunque con un poco de fragilidad en los bordes [propia].

# DE MUESTRA:	C- 18	
FECHA:	16- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	5 %	Látex
	1 %	Fibra de vidrio cortada
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18	horas
OBSERACIONES:	Se trabaja bien con solo polvo y se desmolda bien de plástico.	

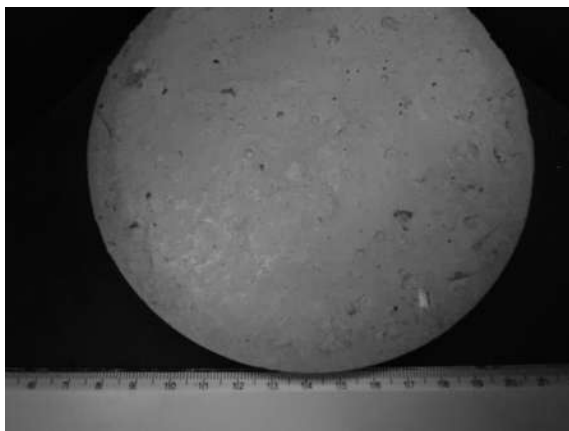


Imagen 4.69. La fibra cortada le da resistencia entre sí para pruebas de tensión, sin embargo genera huecos [propia].



Imagen 4.70. Son menos los espacios laterales [propia].

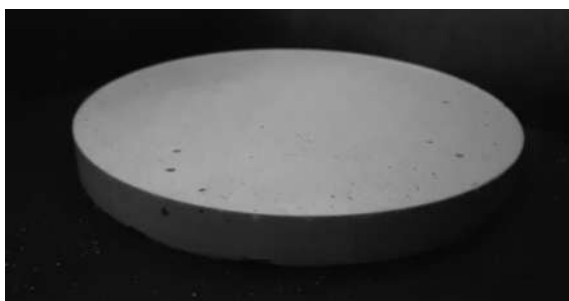


Imagen 4.71. En general queda bien [propia].

# DE MUESTRA:	C- 19	
FECHA:	16- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	10 %	Polvo fibra de vidrio
	200 %	Polvo de vidrio
	100 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Se trabaja bien con solo polvo y se desmolda bien de plástico. Obtiene un buen acomodo de partículas y buen terminado superficial.	

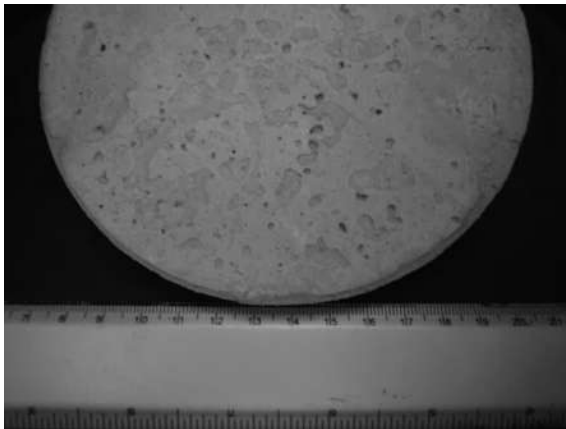


Imagen 4.72. En la mezcla la fibra molida o polvo de fibra mejora la mezcla y sus propiedades [propia].



Imagen 4.73. Reducen los espacios internos [propia].

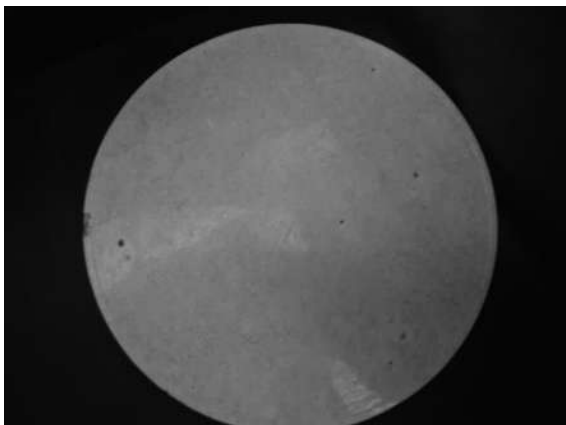


Imagen 4.74. La estética del espécimen mejora notablemente [propia].

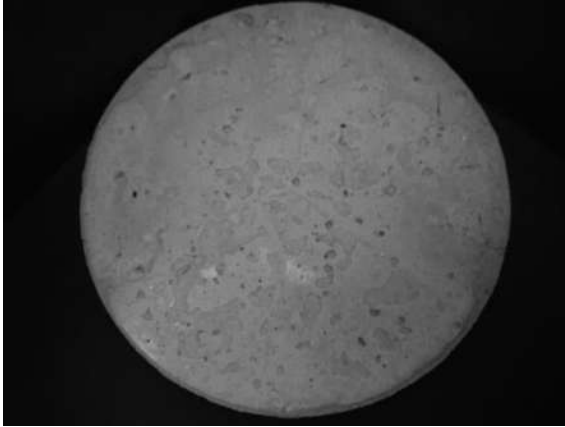


Imagen 4.75. Una pastilla bastante representativa de esta corrida [propia].

# DE MUESTRA:	C- 20	
FECHA:	16- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP6
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	80 %	Marmolina tipo 1
	80 %	Marmolina tipo 2
	150 %	Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	Se trabaja bien con solo polvo y se desmolda bien de plástico. Los pequeños poros que se observan es por falta de vibrado pero nada que no se pueda lograr para un buen resultado con un poco más de vibrado.	



Imagen 4.76. Mejora con la marmolina [propia].

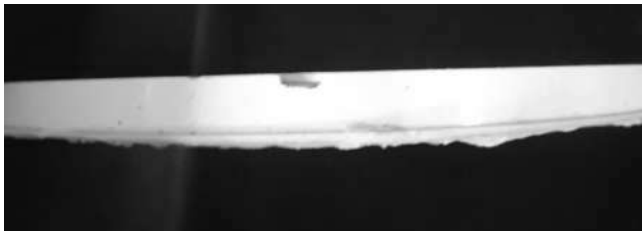


Imagen 4.77. Las marmolinas mejoran su resistencia [propia].

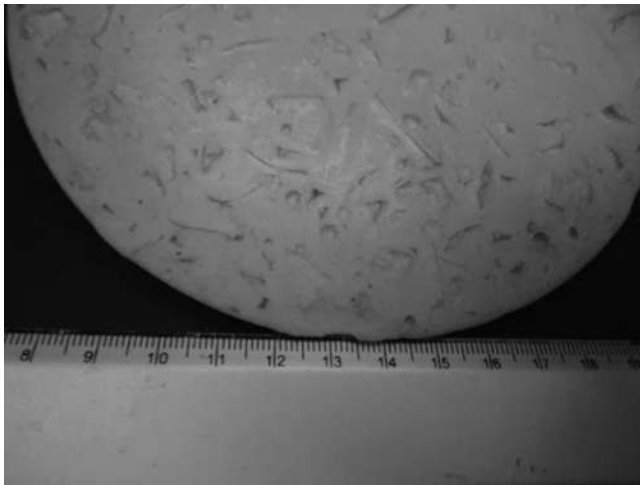


Imagen 4.78. Generó menor cantidad de burbujas [propia].



Imagen 4.79. La pastilla es de menor espesor pero es muy estable [propia].



Imagen 4.80. Aflora el vidrio en la superficie [propia].

# DE MUESTRA:	C- 21
FECHA:	16- 04- 13
COLOR:	Transparente
COMPOSICIÓN:	60 % SP6 10 % KOH 30 % Hidróxido de Aluminio 160 % Polvo de vidrio
TEMPERATURA:	40 °C
TIEMPO DE SECADO:	18 horas
OBSERACIONES:	Se trabaja bien con solo polvo y se desmolda bien de plástico.

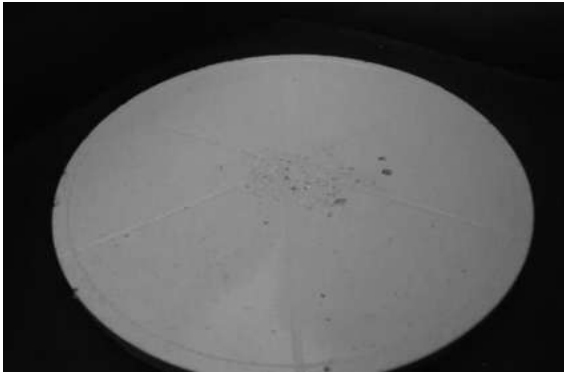


Imagen 4.81. Sin gruesos [propia].

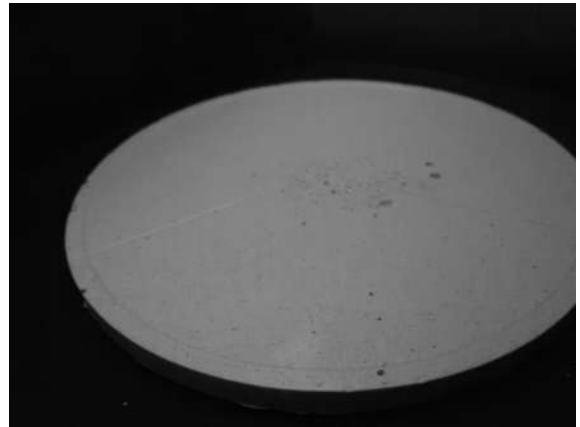


Imagen 4.82. El espesor disminuye en esta prueba con 8 mm [propia].



Imagen 4.83. No es tan frágil [propia].

5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DEL VITRO-CERÁMICO.

5.1. EVALUACIÓN MÉCANICA

Se realizan los cubos que nos ayudarán a obtener resultados de las muestras antes realizadas en pastillas y que ahora servirán para realizar pruebas de absorción, densidad, compresión, flexión, tensión y microestructura. Las composiciones de los cubos son los siguientes:

# DE MUESTRA:	C- 1	
FECHA:	18- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	La masa que se forma con los compuestos se torna poco trabajable, sin embargo los suficiente para hacer una buena mezcla que se homogénea. Son fáciles de desmoldar de los moldes.	



Imagen 5.1. Se desmoldaron fácilmente [propia].



Imagen 5.2. Salen enteros [propia].



Imagen 5.3. Poca deformación [propia].



Imagen 5.4 Enteros [propia].

# DE MUESTRA:	C- 2	
FECHA:	29- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 100 % 160 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Los componentes que se utilizaron no presentaron mayor resistencia y la mezcla se hizo homogénea, trabajable y no tuvo mayor complicación. Pero a la hora del desmolde se observó que existía una excelente adherencia entre mezcla y el metal del molde, no se pudo desmoldar los cubos enteros por lo que se destrozaron para recuperar los moldes. En un tercer intento, bien lubricados los moldes, se logra conseguir mejores resultados en los cubos.	



Imagen 5.5. En esta prueba la mezcla de adhirió bastante al molde por lo cual tuve que desmoldar como fuera posible [propia].



Imagen 5.6. Tienen gran resistencia al impacto [propia].



Imagen 5.7. Faltó un poco de lubricante o desmoldante [propia].



Imagen 5.8. En un segundo intento resultado mejor [propia].



Imagen 5.9. Se aprecia gran adherencia [propia].



Imagen 5.10. Difícil remover del molde la mezcla, se encontraba muy pegada [propia].



Imagen 5.11. Mejoran los especímenes en todos los aspectos, en el segundo intento [propia].

PLACAS DE LA MISMA COMPOSICION PERO EN COLOR VERDE.

Se hizo sobre una superficie lisa, solo parte de arriba quedó con un terminado más rugoso, pero quedo bastante bien, con pocos poros y desmolde fácil. Tiene buen color y con espesor de 9 mm buena resistencia a compresión y flexión. Una en una placa de vidrio pero sin resultados de adherencia entre materiales



Imagen 5.12. El terminado es bueno gracias al molde [propia].



Imagen 5.13. Hay un poco de desprendimiento de material en la orilla pero en general es sólido [propia].



Imagen 5.14. La placa en su parte superior es proporcional en toda su área, o sea, que conserva el mismo espesor en toda la placa [propia].



Imagen 5.15. En esta placa fue colocada una placa de vidrio y al derramar el material por los lados provocó fragilidad en las orillas [propia].



Imagen 5.16. Poco desprendimiento [propia].



Imagen 5.17. En bastante estética [propia].



Imagen 5.18. El vibrado genera un buen acabado [propia].



Imagen 5.19. Es un poco menos peraltada y sobre vidrio, quedó un poco menos vistosa [propia].

Comparativa entre placas.

Después de hacer algunas pruebas contra el intemperismo, el resultado es el siguiente:

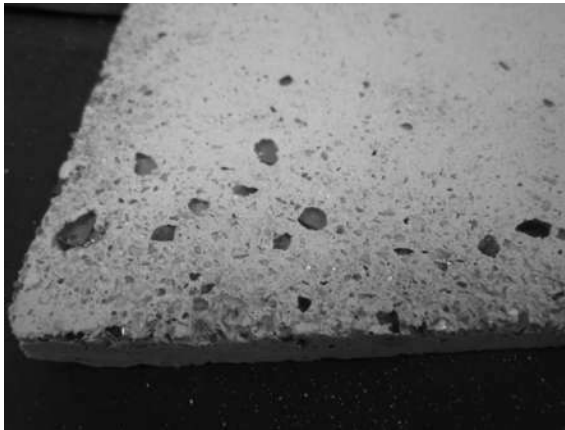


Imagen 5.20. Después de dejarla a la intemperie durante varios días se aprecia el desgaste del material [propia].

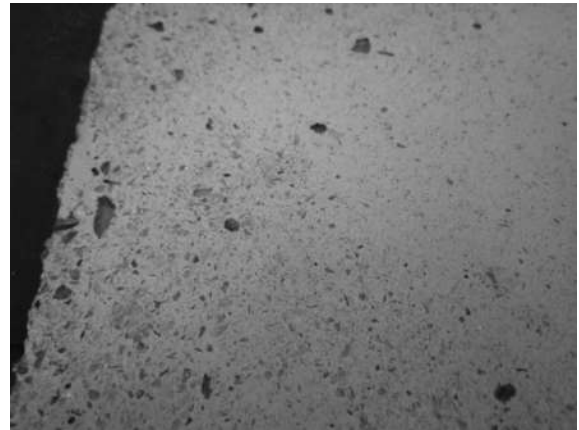


Imagen 5.21. Es visible la erosión del adhesivo propiamente [propia].



Imagen 5.22. La fuerza de los medio naturales del sol, aire y lluvia lograron que los fragmentos de vidrio grueso afloraran [propia].



Imagen 5.23. Incluso se hacen presentes manchas en la parte expuesta [propia].



Imagen 5.24. En un acercamiento minucioso de una parte en la que hay un pequeño cráter [propia].



Imagen 5.25. Se presenta la mancha antes mencionada con un color café en donde se presume se estancó el agua [propia].

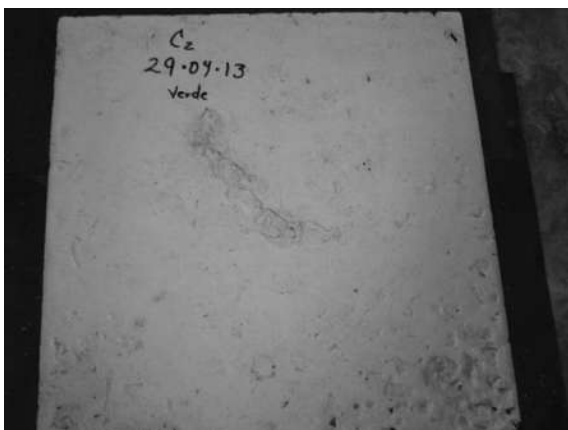


Imagen 5.26. La mancha presente solo en una porción del espécimen [propia].

# DE MUESTRA:	C- 3	
FECHA:	25- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 160 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Los especímenes se desmoldan con facilidad y completamente enteros ya que los moldes fueron correctamente lubricados.	



Imagen 5.27. Las muestras quedan un poco mas lisas exteriormente [propia].



Imagen 5.29. El volumen es aproximadamente 125 cm³ [propia].

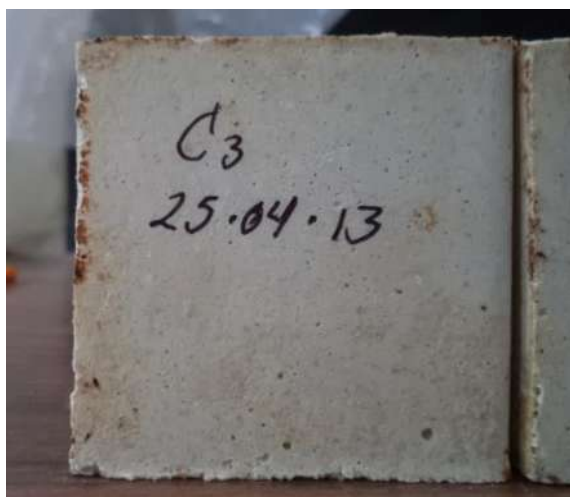


Imagen 5.28. Es mejor colocar lubricante suficiente para que no se adhiera con el molde metálico [propia].



Imagen 5.30. Las partes laterales conservan un buen acabado [propia].



Imagen 5.31. La superficie no es tan irregular o diferente de las paredes [propia].

# DE MUESTRA:	C- 4	
FECHA:	26- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Tienen buena forma estética y no hubo problema para desmoldar, el látex ayuda a que la masa sea más sencilla de mezclar.	



Imagen 5.32. A pesar que el látex aumenta la fluidez, la mezcla tiende a presentar resistencia [propia].



Imagen 5.33. En la superficie no se presenta película producto del látex [propia].



Imagen 5.34. Con un poco de grasa como desmoldante se logran obtener los cubos completos [propia].

# DE MUESTRA:	C- 5	
FECHA:	30- 04- 13	Placas: 02- 05- 13
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Falto un poco de vibrado, pero no hay tanta porosidad. Soy simple el desmolde con buena lubricación.	



Imagen 5.35. Son más rugosos [propia].



Imagen 5.36. Genera más espacios [propia].



Imagen 5.37. Muy sólidos [propia].

Se realizan dos placas que contienen la misma composición solo que cambia el color, de claro a verde para un mejor contraste entre los componentes. La placa con dimensiones de 21 cm X 21 cm.

La primer placa con espesor de 3 mm, la cual no dio buenos resultados ya que es muy frágil, aun que tiene buen terminado y buena adherencia entre sí, se dio como descartada debido a lo débil de ésta. Tiene poca adherencia con mas vidrio, se colocó una placa pero sin buenos resultados.



Imagen 5.38. Superficie lisa [propia].

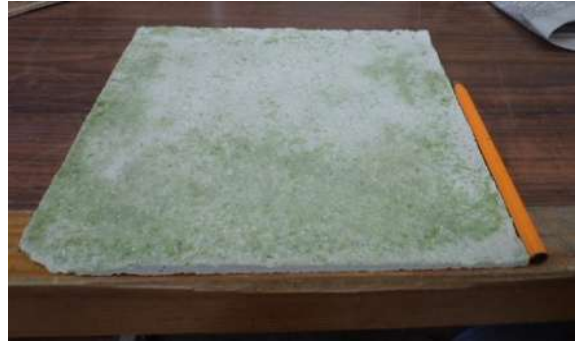


Imagen 5.40. Se agregó polvo al final de la mezcla [propia].



Imagen 5.41. Poco espesor, muy frágil [propia].

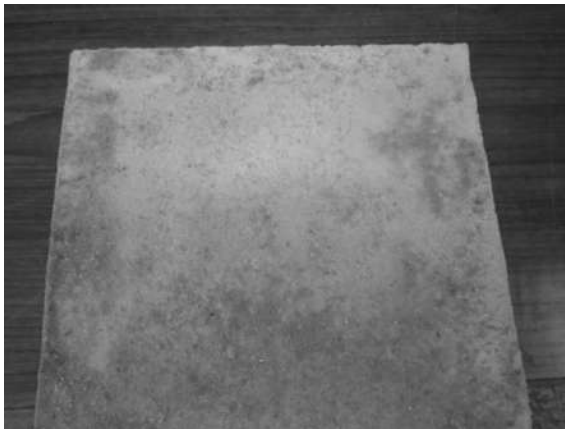


Imagen 5.39. El polvo se adhiere mejor en la parte baja [propia].



Imagen 5.42. Falta uniformidad [propia].

Una segunda placa pero con un mayor espesor, de 9 mm, se realiza junto con la otra pero esta resulta ser mejor. También se coloca una placa de vidrio para probar la adherencia, en esta no quisimos despegarla aun que con la anterior sabíamos que no habría mayor problema. Por la parte de la placa de vidrio resultó un buen terminado pero al reverso no tuvo el mismo resultado, pero se puede solucionar con una pulida.

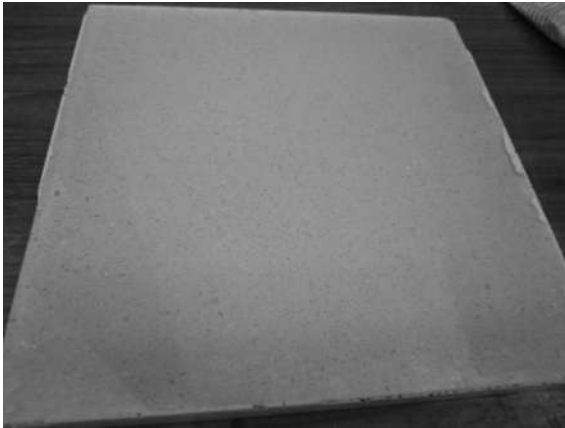


Imagen 5.43. Se colocó un vidrio en la base [propia].



Imagen 5.44. La superficie es agradable, no esta tan disparejo [propia].



Imagen 5.45. Tienen mejor terminado [propia].

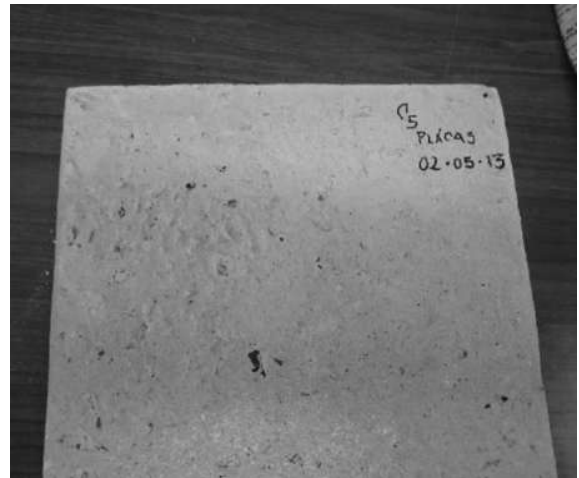


Imagen 5.46. Los fragmentos de vidrio afloran en la superficie [propia].

COMPARATIVA

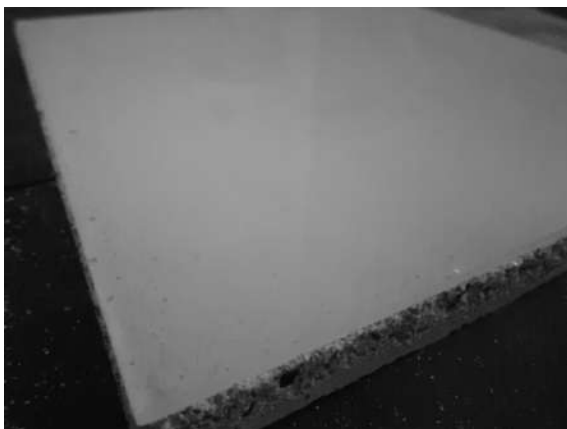


Imagen 5.47. La placa de vidrio no se despega con intemperismo [propia].

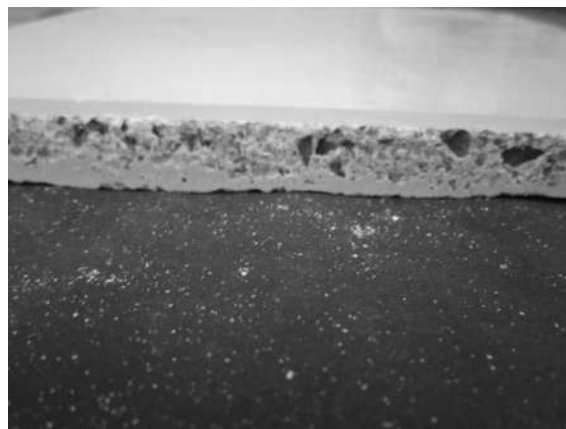


Imagen 5.48. Se derrite un poco del adhesivo y aflora vidrio verde [propia].



Imagen 5.49. Por espesor es suficiente para evitar fracturas [propia].



Imagen 5.50. Se presenta pequeña mancha en placa por retener agua superficial [propia].



Imagen 5.51. Se mancha un poco en toda placa por el polvo y otros agentes [propia].

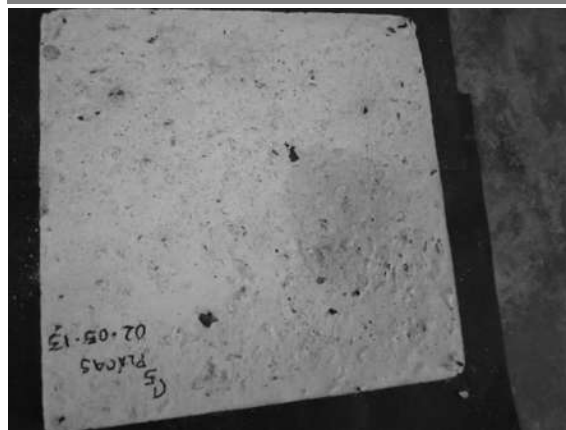


Imagen 5.52. En general es resistente [propia].

# DE MUESTRA:	C- 6	
FECHA:	03- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 160 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Fácil de mezclar y fácil al desmoldar.	



Imagen 5.53. Los fragmentos de vidrio sin finos generan más fragilidad [propia].



Imagen 5.54. Pocos espacios en la muestra [propia].



Imagen 5.55. Son estables a pesar de los agregados [propia].



Imagen 5.56. El color es por el aceite, pero se retira al cabo de unos días [propia].

# DE MUESTRA:	C- 7	
FECHA:	06- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex Fibra cortada
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERACIONES:	La fibra cortada reseca la mezcla y el producto resulta más poroso, pero más ligero. No hay problema al desmolde.	



Imagen 5.57. Se exponen con una buena presentación artística [propia].



Imagen 5.58. El vibrado fue más prolongado por lo cual no presentaron tantos huecos [propia].



Imagen 5.59. Las paredes son lisas sin deformidades [propia].

# DE MUESTRA:	C- 8	
FECHA:	06- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex Fibra cortada
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	A simple vista puede parecer que no tendrá buena resistencia mecánica, porque al igual que en la anterior tiene bastante porosidad, que forma en su interior nido de pájaro.	



Imagen 5.60. No son tan atractivos como los demás [propia].



Imagen 5.61. La fibra cortada genera más espacios interiores y provoca un poco de fragilidad [propia].



Imagen 5.62. La mezcla es buena pero el resultado no es lo esperado [propia].

# DE MUESTRA:	C- 9	
FECHA:	16- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 160 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex Fibra cortada
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Los finos con el adhesivo, trabajan muy bien mas sin embargo es posible que haya una reacción álcali- sílice por primeros. En esta muestra se complementa con la fibra y no resulta tan permeable.	



Imagen 5.63. Sigue habiendo buena adherencia entre los componentes de la mezcla [propia].



Imagen 5.64. Hay pocos espacios por la parte exterior [propia].

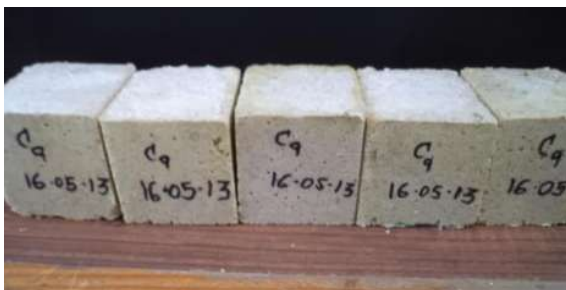


Imagen 5.65. Salieron completos los cubos [propia].

# DE MUESTRA:	C- 10	
FECHA:	16- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex Polvo de fibra
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	El polvo de fibra se incorpora bastante bien a diferencia de la fibra cortada y hace más sólido el producto, no se presenta tanta porosidad y se ve mejor estéticamente.	

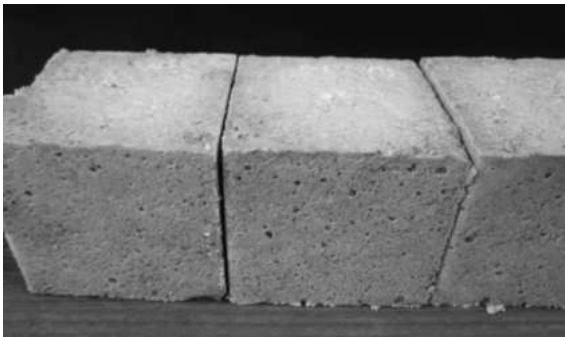


Imagen 5.66. Al mezclar, la fibra, se incorpora mejor [propia].



Imagen 5.67. Genera mejores resultados la molida de fibra [propia].



Imagen 5.68. Menos huecos en paredes [propia].



Imagen 5.69. Mejor presentación [propia].

# DE MUESTRA:	C- 11	
FECHA:	21- 05- 13	
COLOR:	Verde	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 % 10 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex Polvo de fibra
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	En una primera prueba hubo una excelente liga entre los moldes y las muestras, por lo que tuve que repetir la prueba, el problema fue el lubricado de los moldes. La segunda fue muy buena.	



Imagen 5.70. Hay algunos huecos pero no afecta el resto de la muestra [propia].



Imagen 5.71. Los cubos salen completos y sin desprendimiento de partículas [propia].



Imagen 5.72. Superficie sin tantas irregularidades estéticas [propia].

# DE MUESTRA:	C- 12	
FECHA:	17- 05- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 160 % 5 % 10 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex Polvo de fibra
TEMPERATURA:	40 °C	
TIEMPO DE SECADO:	18 horas	
OBSERVACIONES:	Con un poco mas de compactado las muestras presentan una mejor perspectiva con buena maleabilidad, fácil desmolde y buena presencia.	



Imagen 5.73. Los finos en conjunto con los demás agregados tienen buena fusión [propia].



Imagen 5.74. El terminado es agradable [propia].



Imagen 5.75. Se desmoldan fácilmente [propia].

Las muestras antes de meterlas al horno después de ser medidas y pesadas debidamente, para proceder a deshidratarlas y observar si las muestras sufren alguna irregularidad o fenómeno físico químico y/o estético. Duran 72 horas en el horno a 40 °C inicialmente, posteriormente se dejan secando otras 67 horas.



Imagen 5.76. Todas las muestras juntas [propia].



Imagen 5.77. Serán secadas [propia].



Imagen 5.78. Se distribuyen en el horno [propia].



Imagen 5.79. Se quiere que el secado sea equitativo en todos los cubos [propia].



Imagen 5.80. Tienen suficiente espacio para secarse completamente bien [propia].

Los cubos se colocan en el horno para deshidratarlos, pesarlos y posteriormente humectarlos para obtener su densidad, porcentaje de humedad y absorción. Se separan a manera que absorban todo lo posible y logren hidratarse al máximo. La hidratación dura 72 horas.



Imagen 5.81. Se hidratan lo suficiente [propia].



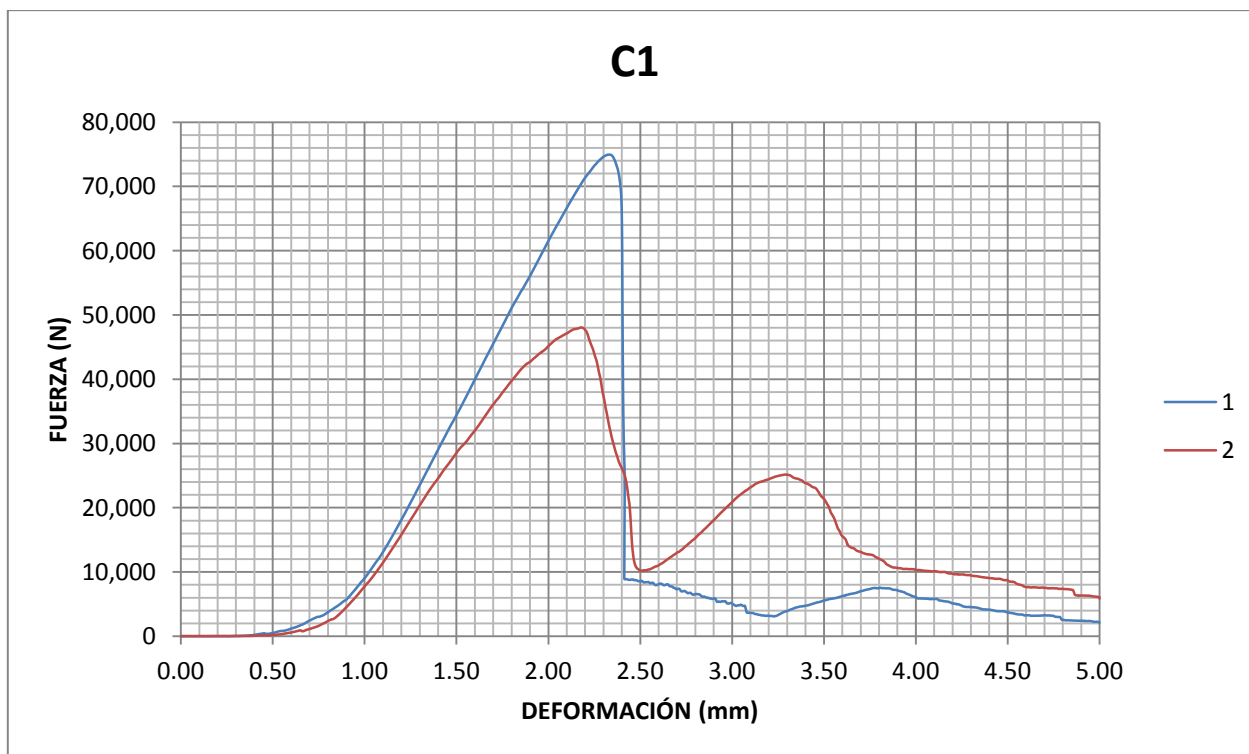
Imagen 5.82. Se coloca suficiente agua para que no les falte durante el tiempo que se dejan dentro [propia].

5.1.1. GRÁFICAS ESFUERZO- DEFORMACIÓN

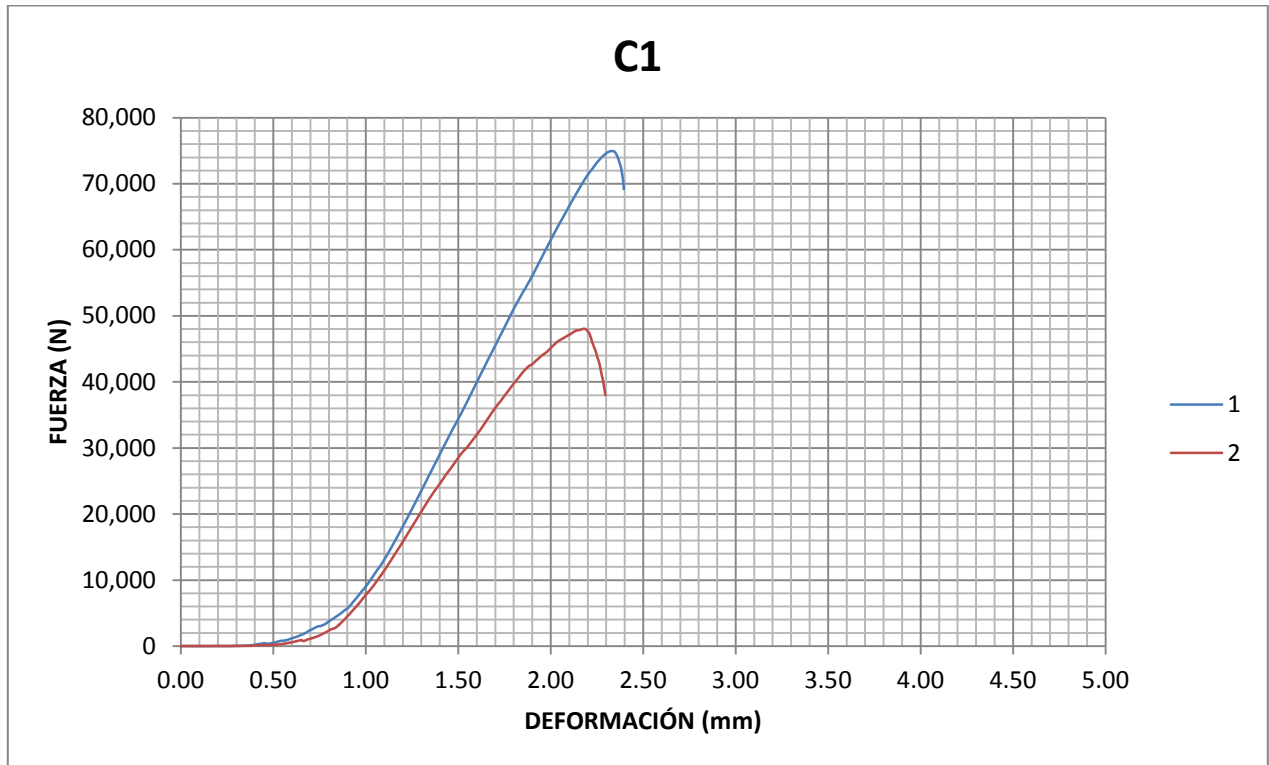
Las pruebas se realizaron en una máquina de compresión tipo Zwick Roell de la compañía Zwick Material prufung con la serie J C GG-13 el día 11 de junio de 2013.

Las siguientes gráficas muestran los resultados de las pruebas a compresión realizadas a las composiciones con las que se hicieron los cubos, los cuales son para estos fines. Iniciando por la composición de cada una:

# DE MUESTRA:	C- 1	
FECHA:	18- 04- 13	
COLOR:	Transparente	
COMPOSICIÓN:	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2
EDAD DE ESPECÍMEN	56	Días



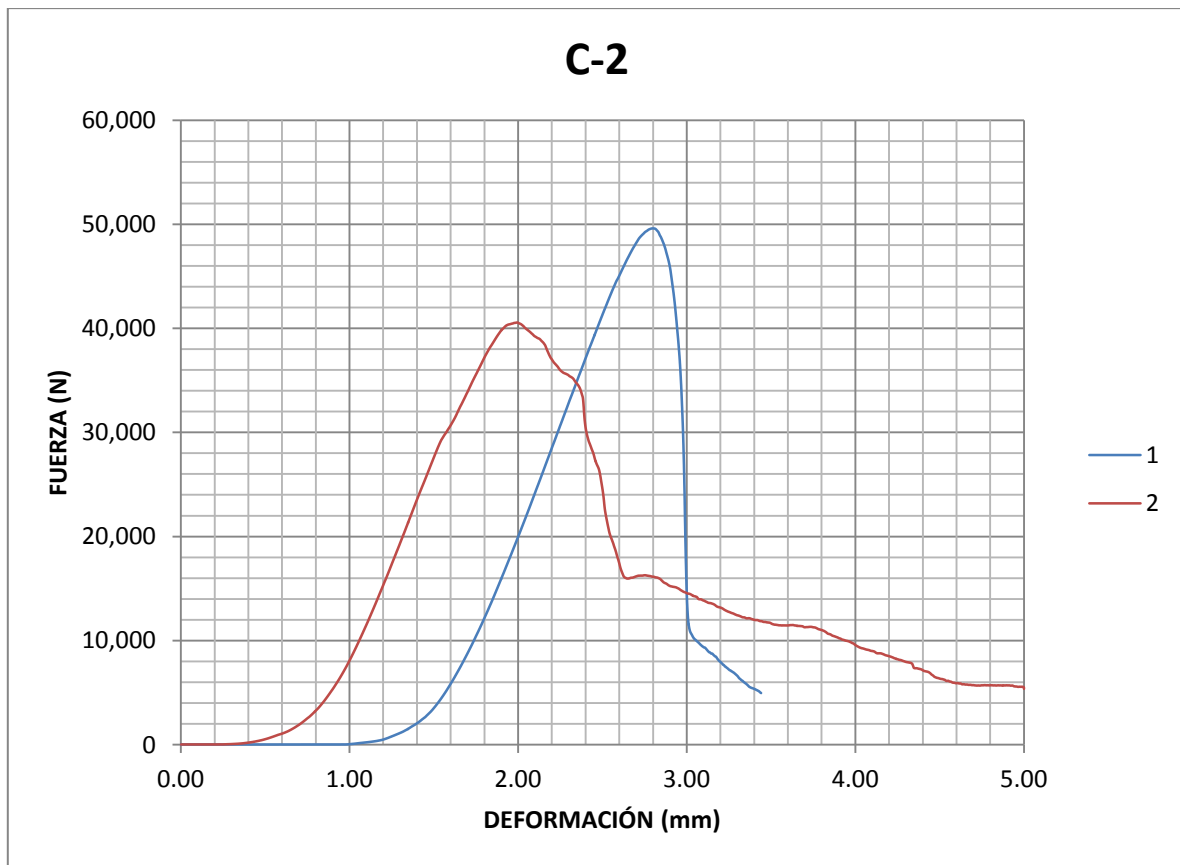
Grafica C-1. En donde se presenta la fuerza (N) aplicada en el eje de las ordenadas vs la deformación (mm) en el eje de las abscisas.



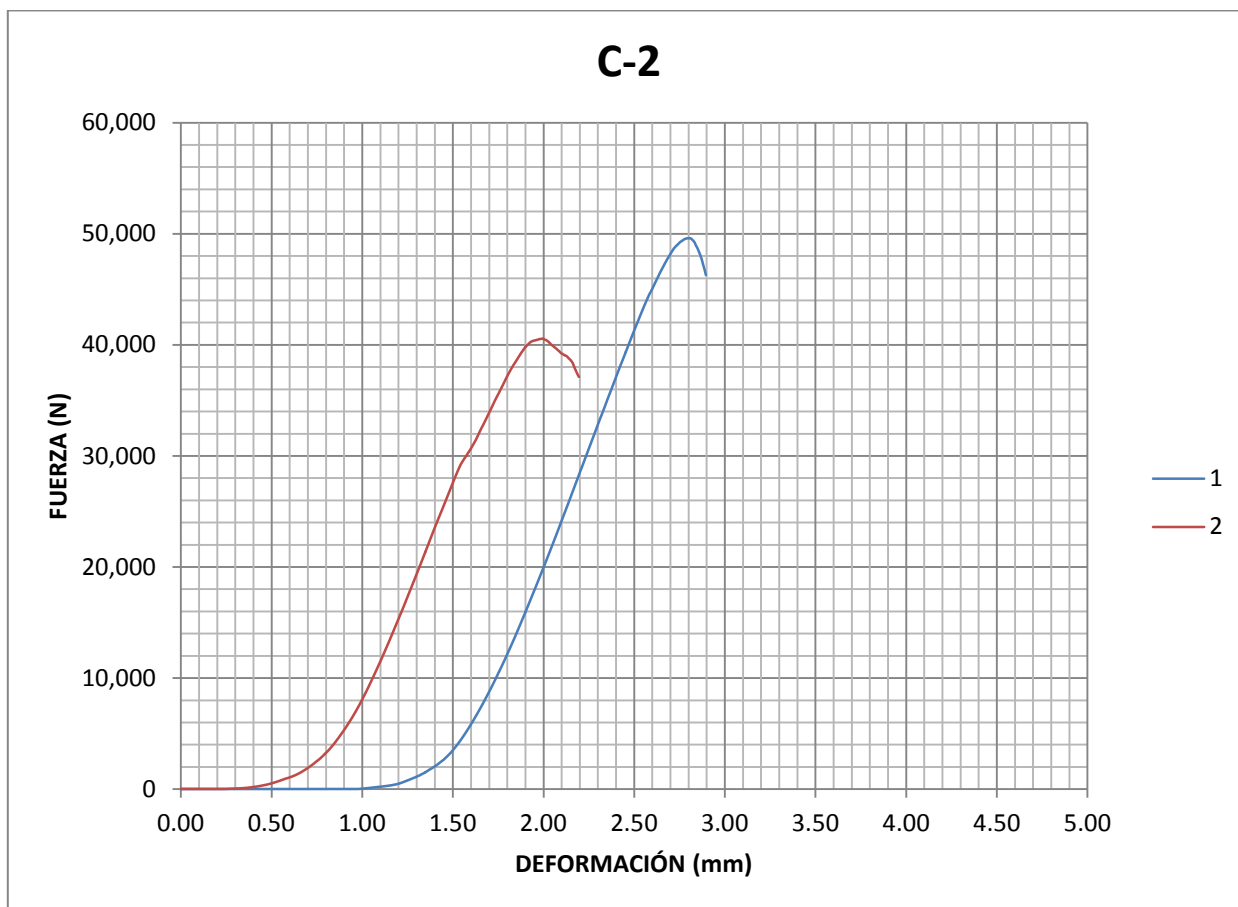
Grafica C-1.1. La grafica cortada después del punto de ruptura o máximo del espécimen, que para este caso es de 2.3 mm para la muestra No. 1 (línea color azul) y de 2.2 para el No. 2 (línea color rojo).

Ambas gráficas representan el mismo espécimen, aunque en la primer grafica se presenta completa para poder observar las variaciones que tiene después de llegar al máximo punto o punto de falla. En la primera muestra representada con el No. 1 y la línea azul con coordenadas del punto máximo de (2.3, 75 000), en la segunda muestra el punto máximo se dio en (48 100, 2.2). La repentina subida después del punto de ruptura puede ser por el acomodo de las partículas dentro de la muestra.

# DE MUESTRA	C- 2	
FECHA	29- 04- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 100 % 160 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio
EDAD DE ESPECÍMEN	43	Días



Gráfica C-2. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

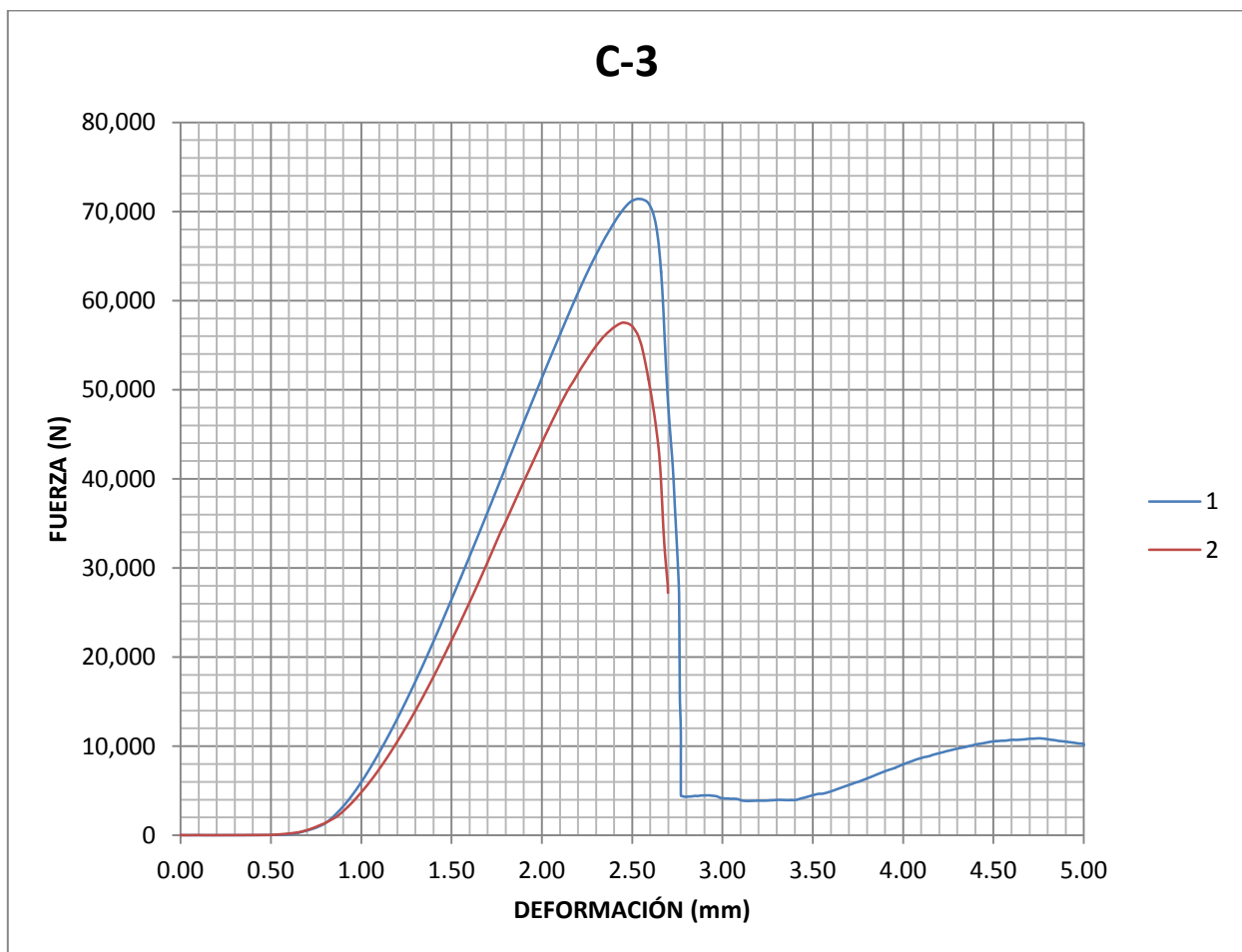


Gráfica C-2.1. Cortada después del punto de ruptura.

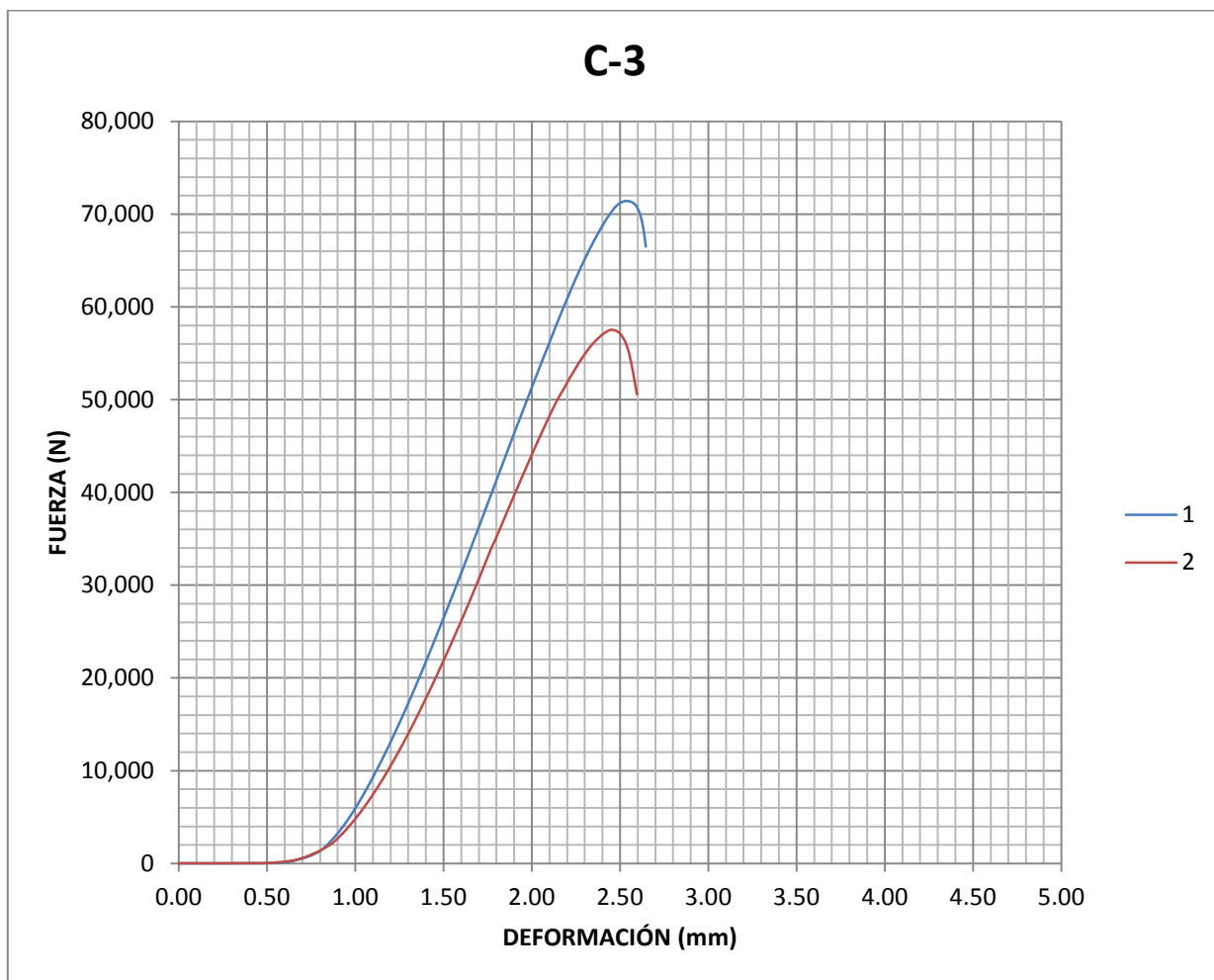
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.8, 49 600).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.0, 40 600).

# DE MUESTRA	C- 3	
FECHA	25- 04- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 160 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio
EDAD DEL ESPECÍMEN	47	Días



Gráfica C-3. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

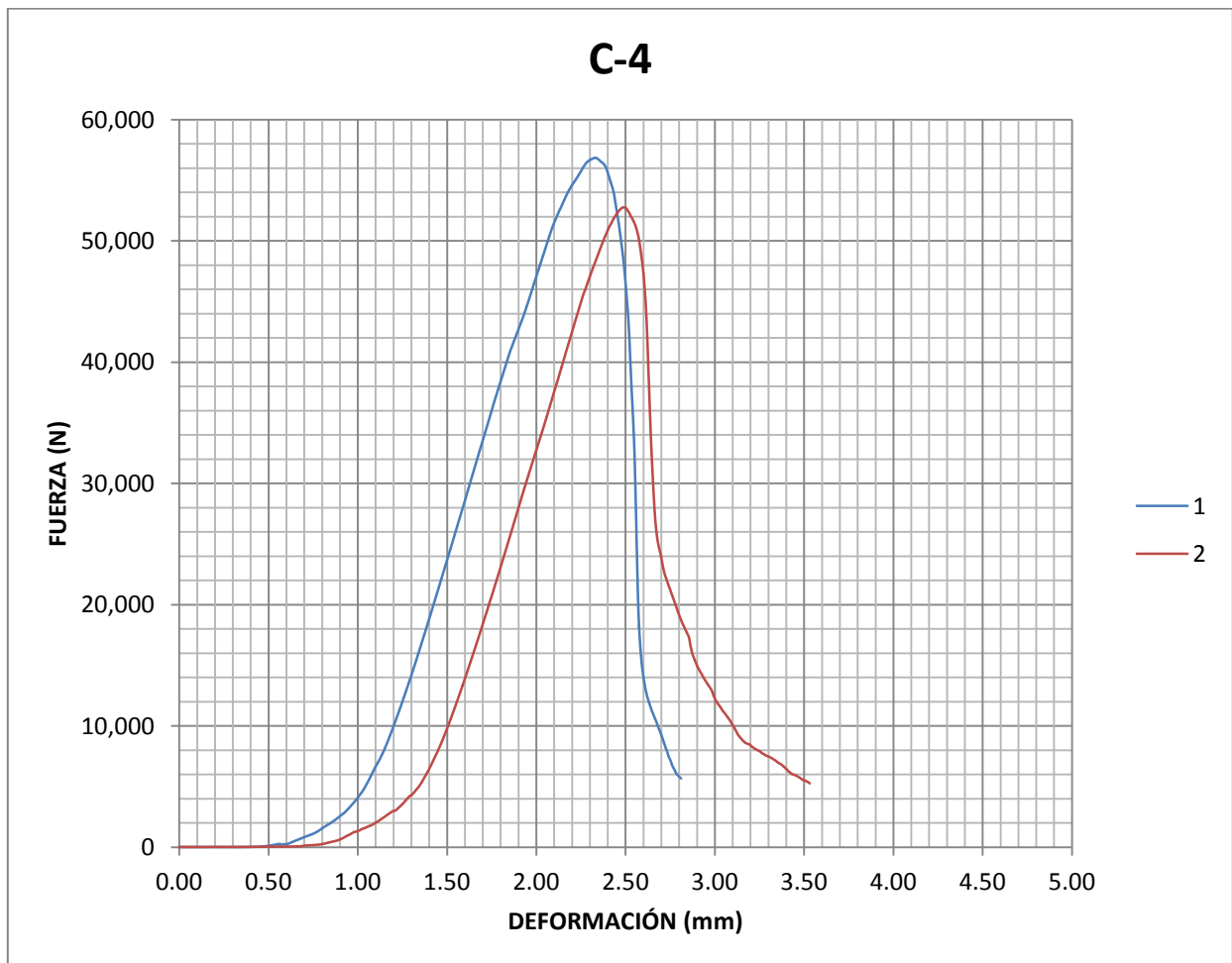


Gráfica C-3.1. Cortada después del punto de ruptura.

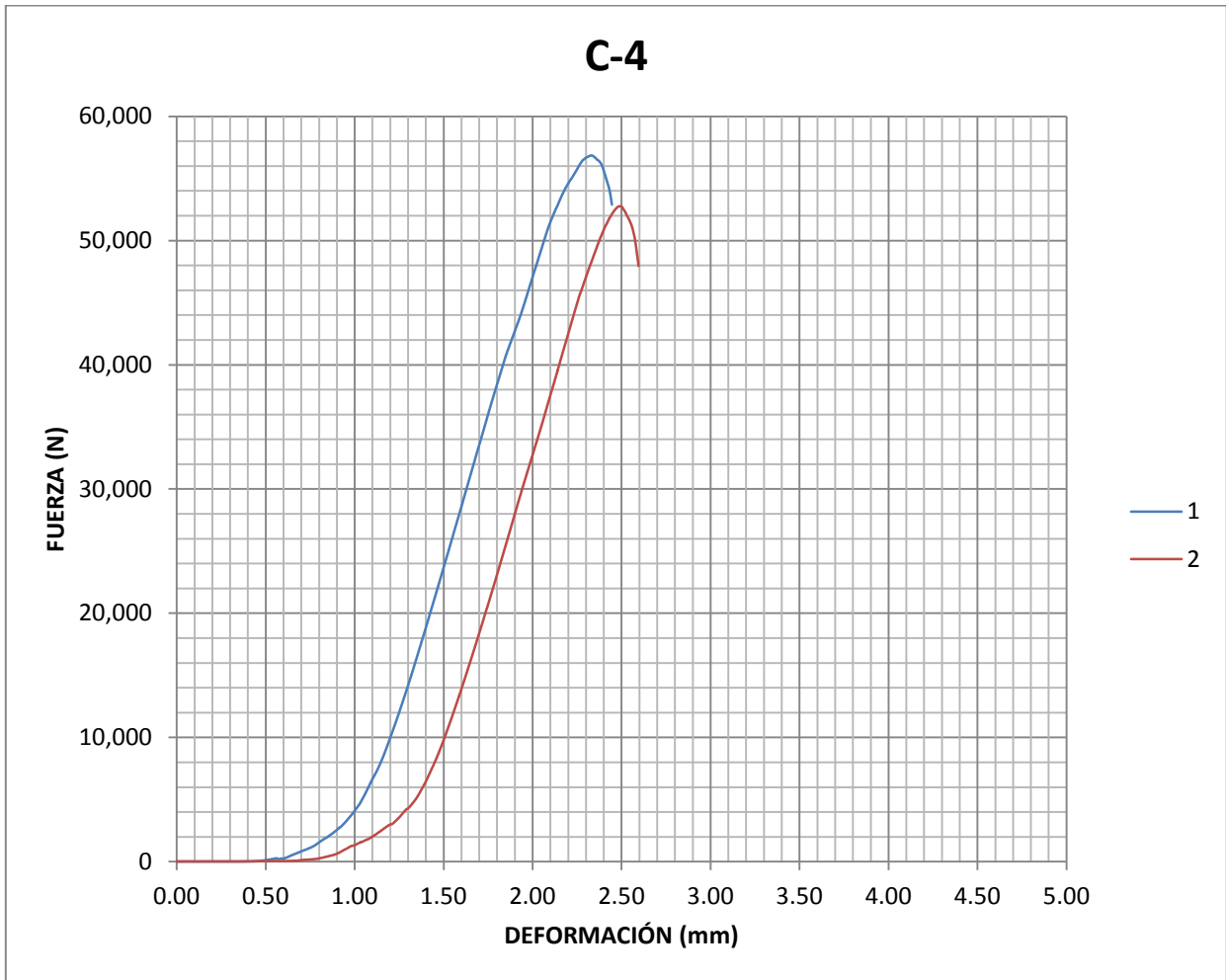
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.5, 71 400).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.5, 57 500).

# DE MUESTRA	C- 4	
FECHA	26- 04- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex
EDAD DEL ESPECÍMEN	46	Días



Gráfica C-4. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

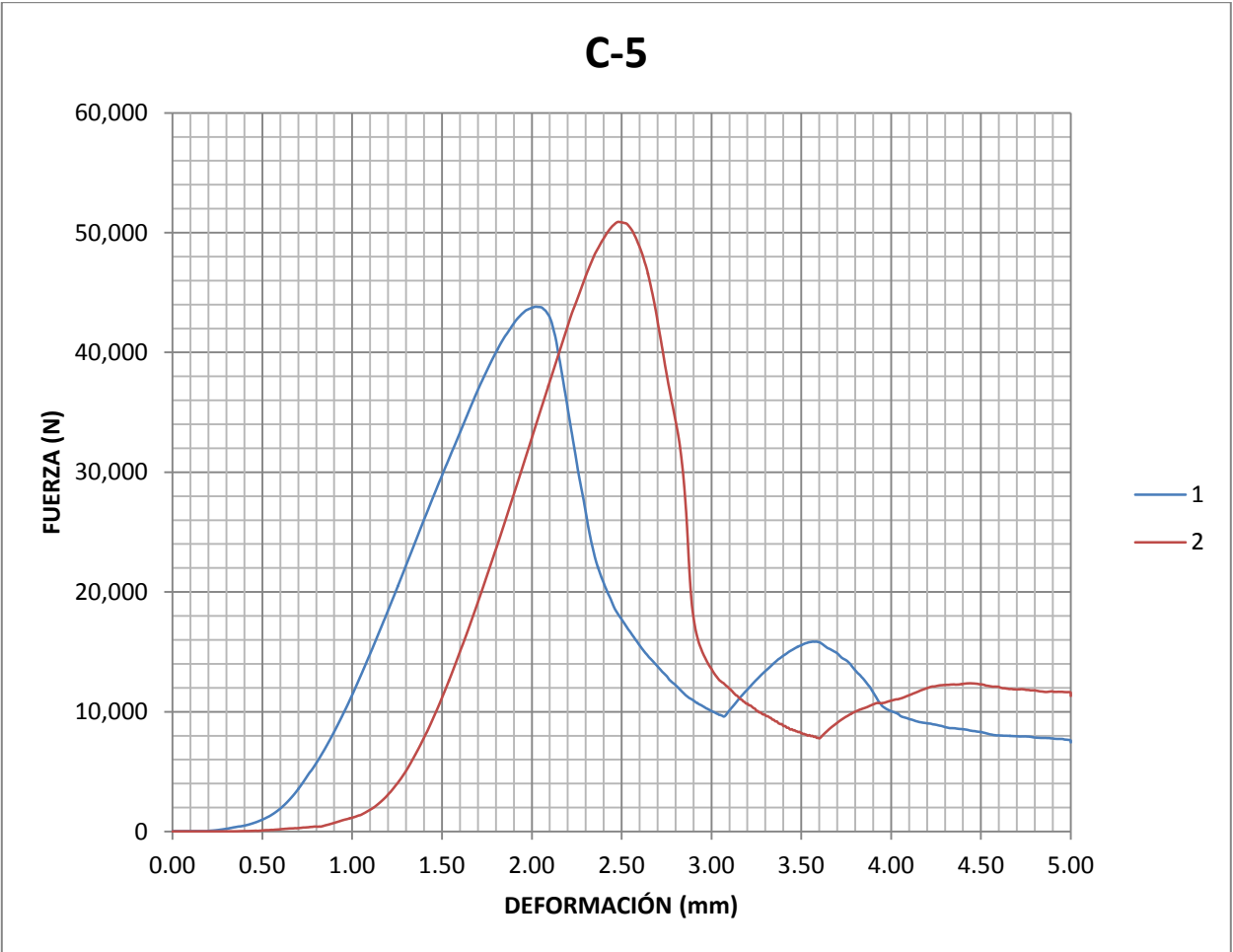


Grafica C-4.1. Cortada después del punto de ruptura.

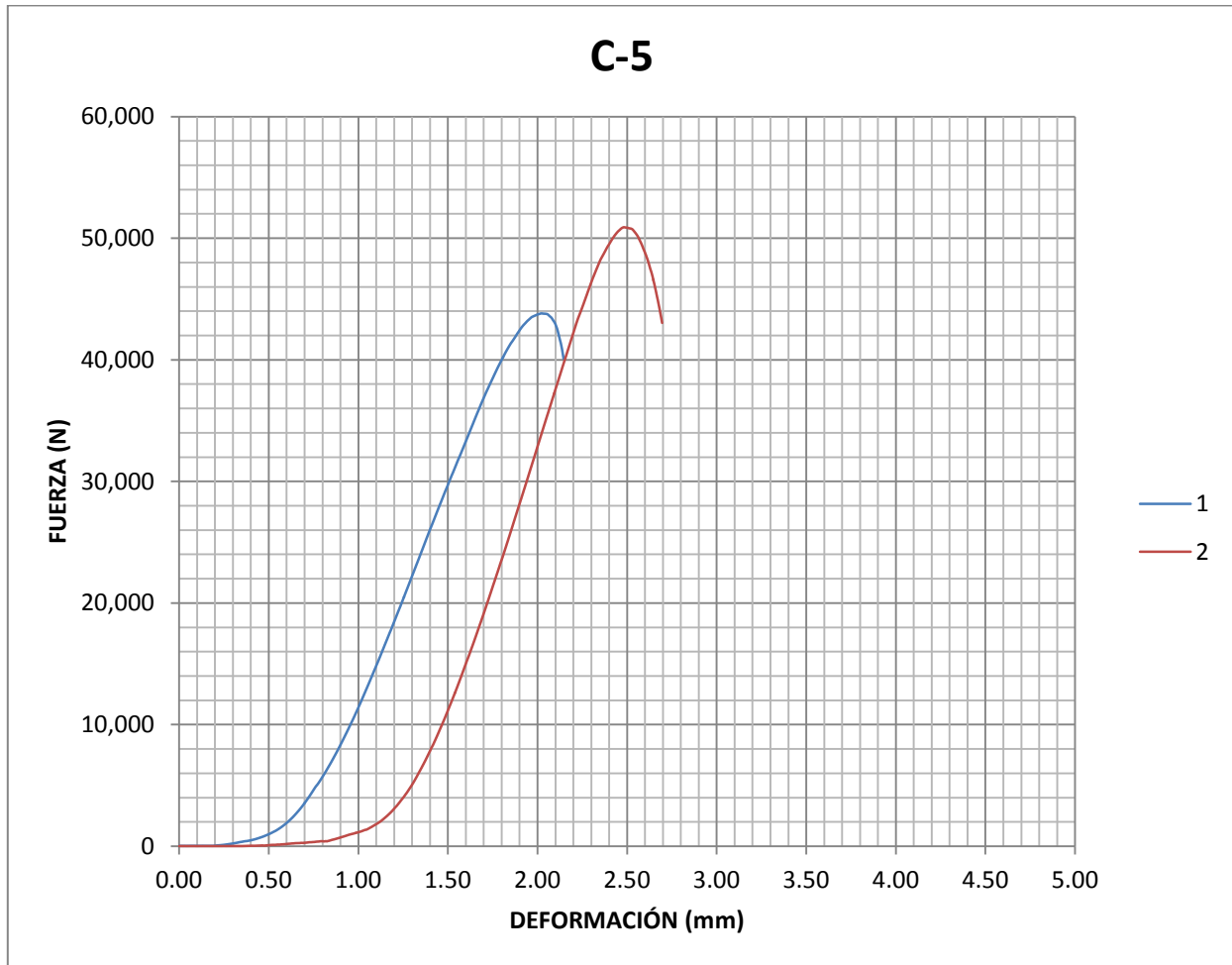
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.3, 56 900).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.5, 52 800).

# DE MUESTRA	C- 5	
FECHA	30- 04- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex
EDAD DEL ESPECÍMEN	43	Días



Gráfica C-5. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

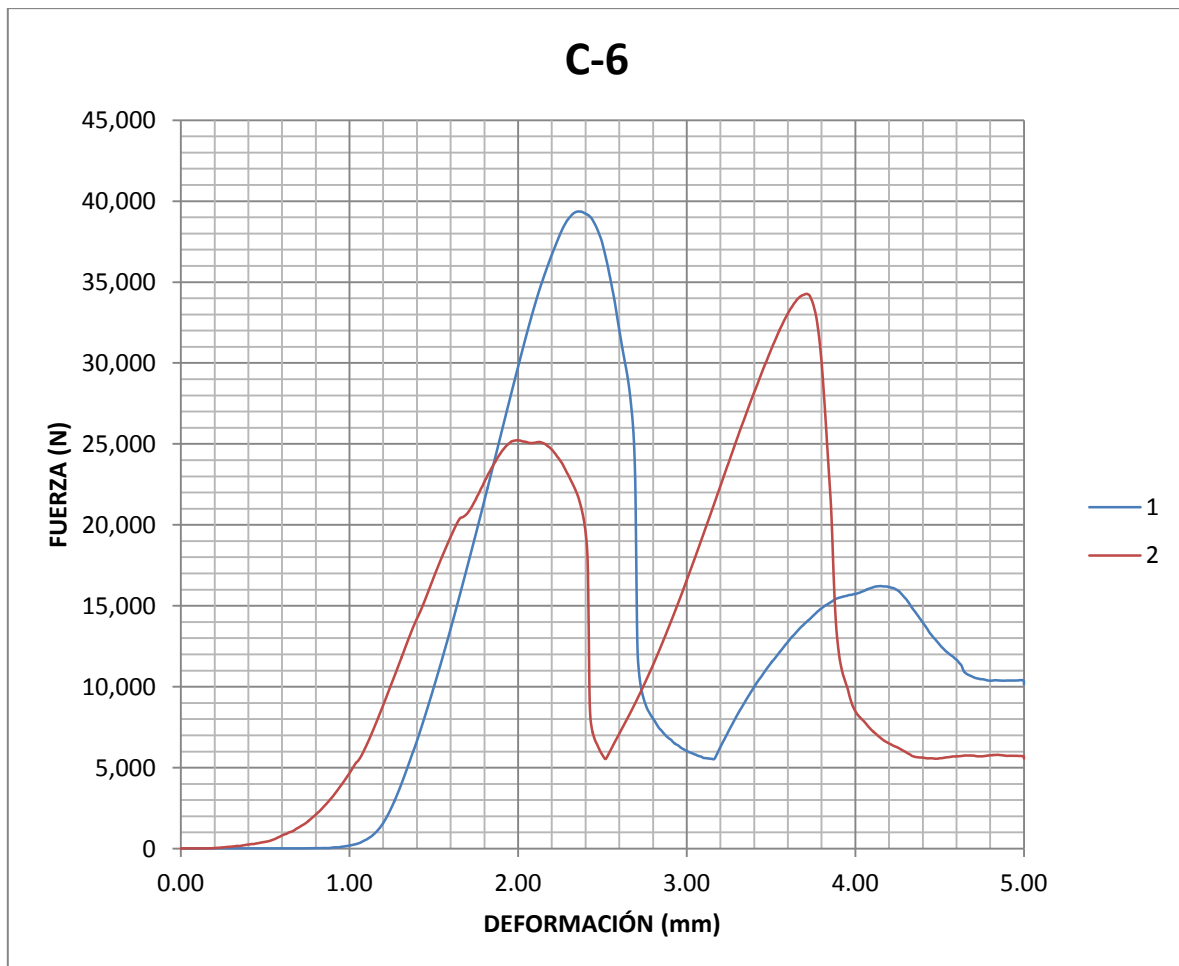


Gráfica C-5.1. Cortada después del punto de ruptura.

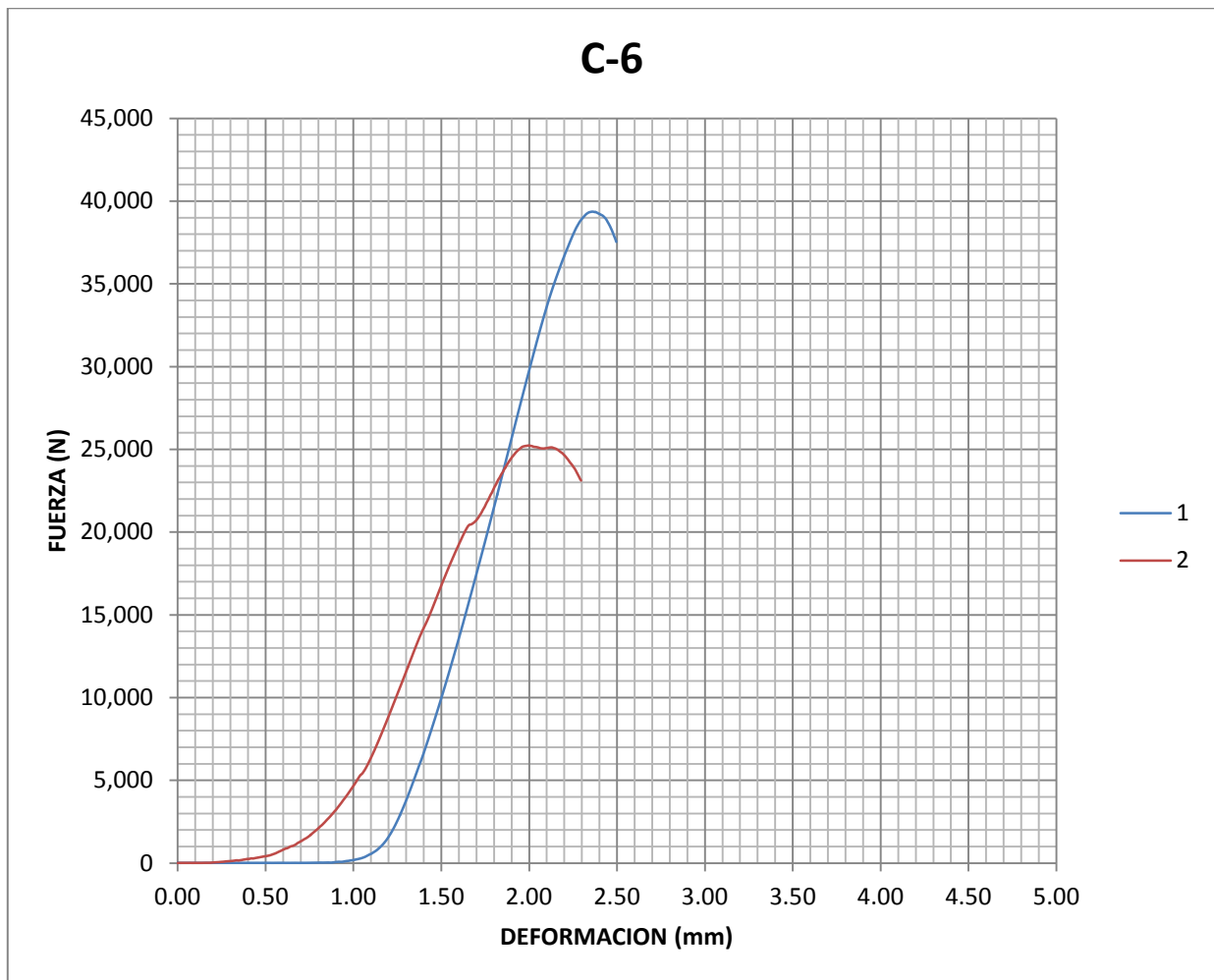
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.0, 43 800).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.5, 50 900).

# DE MUESTRA	C- 6	
FECHA	03- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 160 % 5 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex
EDAD DE ESPECÍMEN	40	Días



Gráfica C-6. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

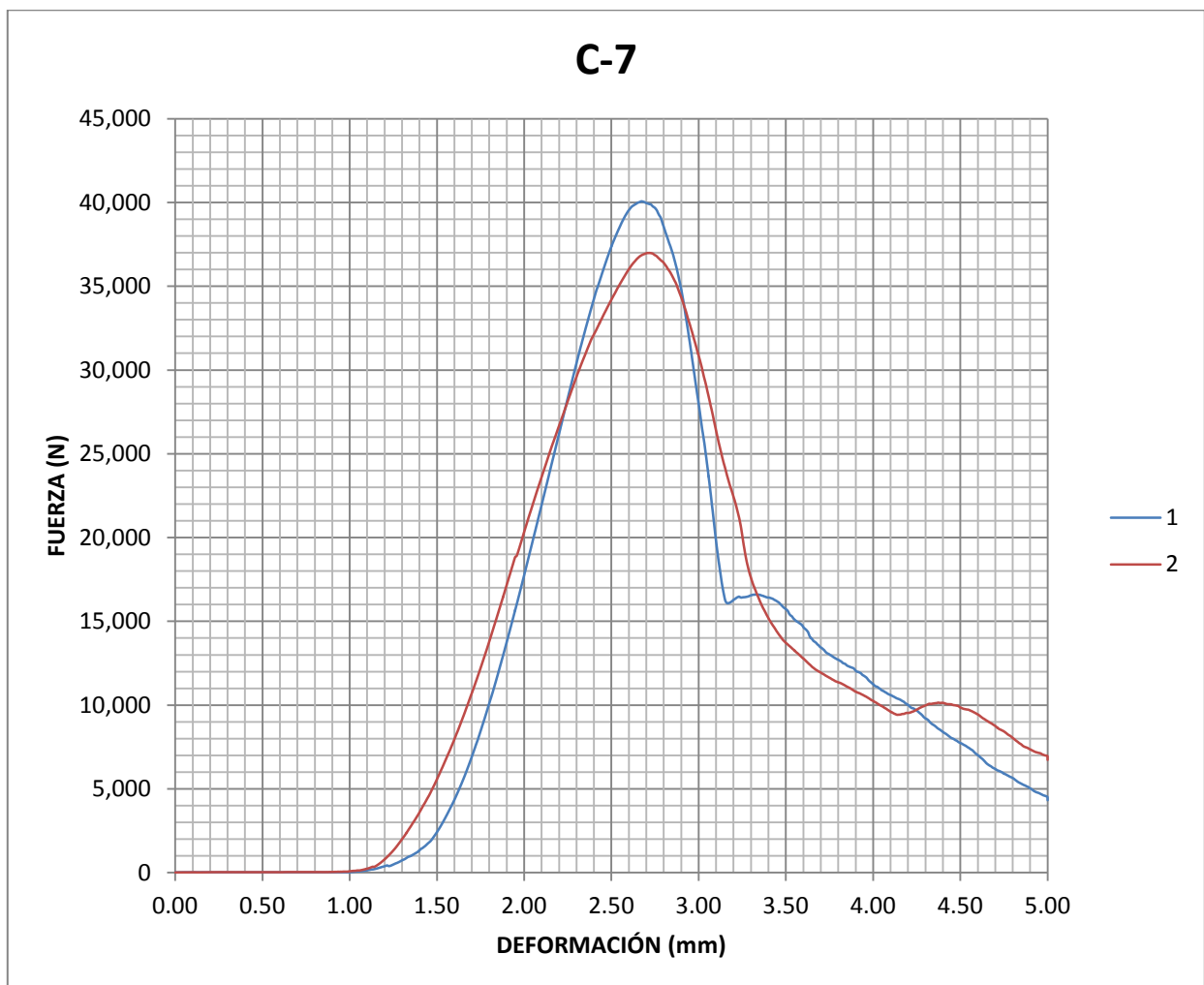


Gráfica C-6.1. Cortada después del punto de ruptura.

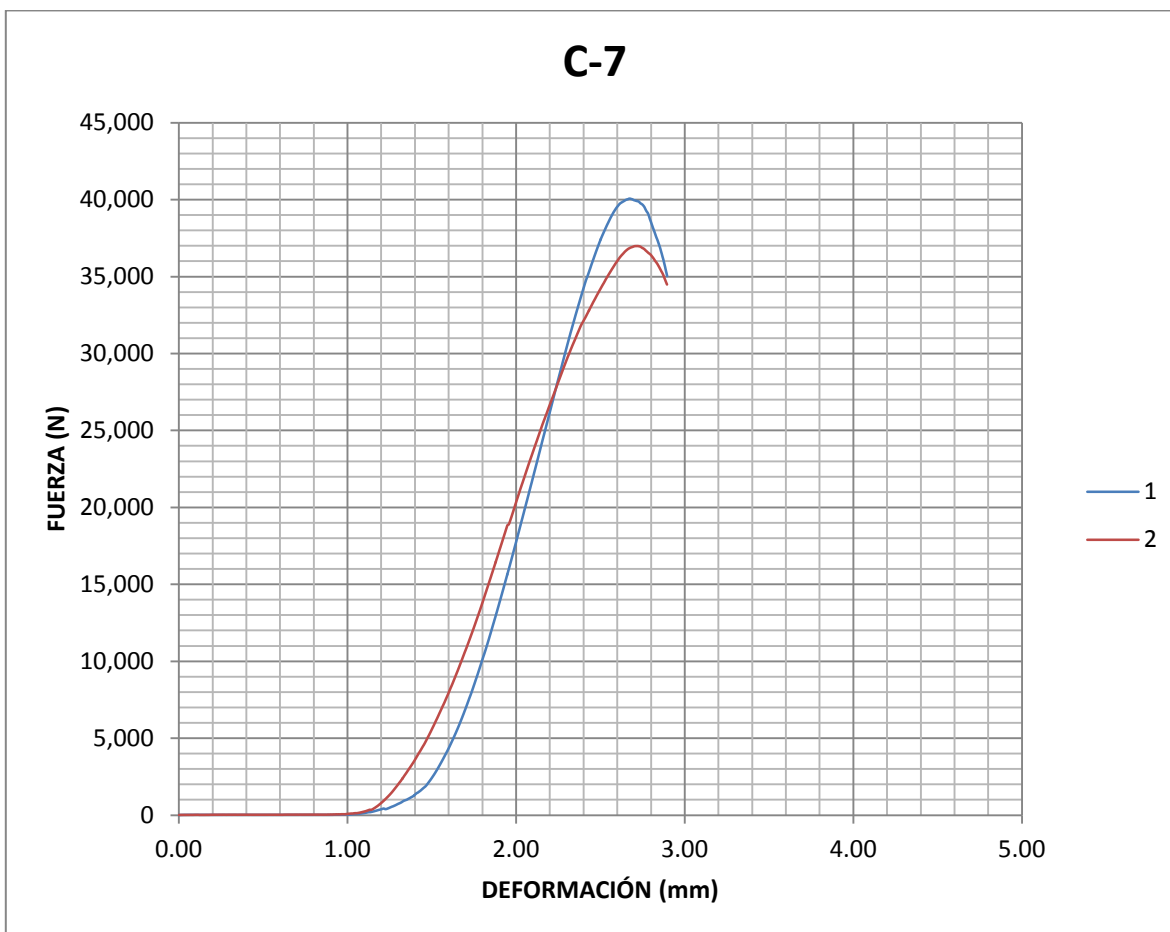
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.4, 39 400).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (3.7, 34 300).

# DE MUESTRA	C- 7	
FECHA	06- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex Fibra cortada
EDAD DE ESPECÍMEN	37	Días



Gráfica C-7. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

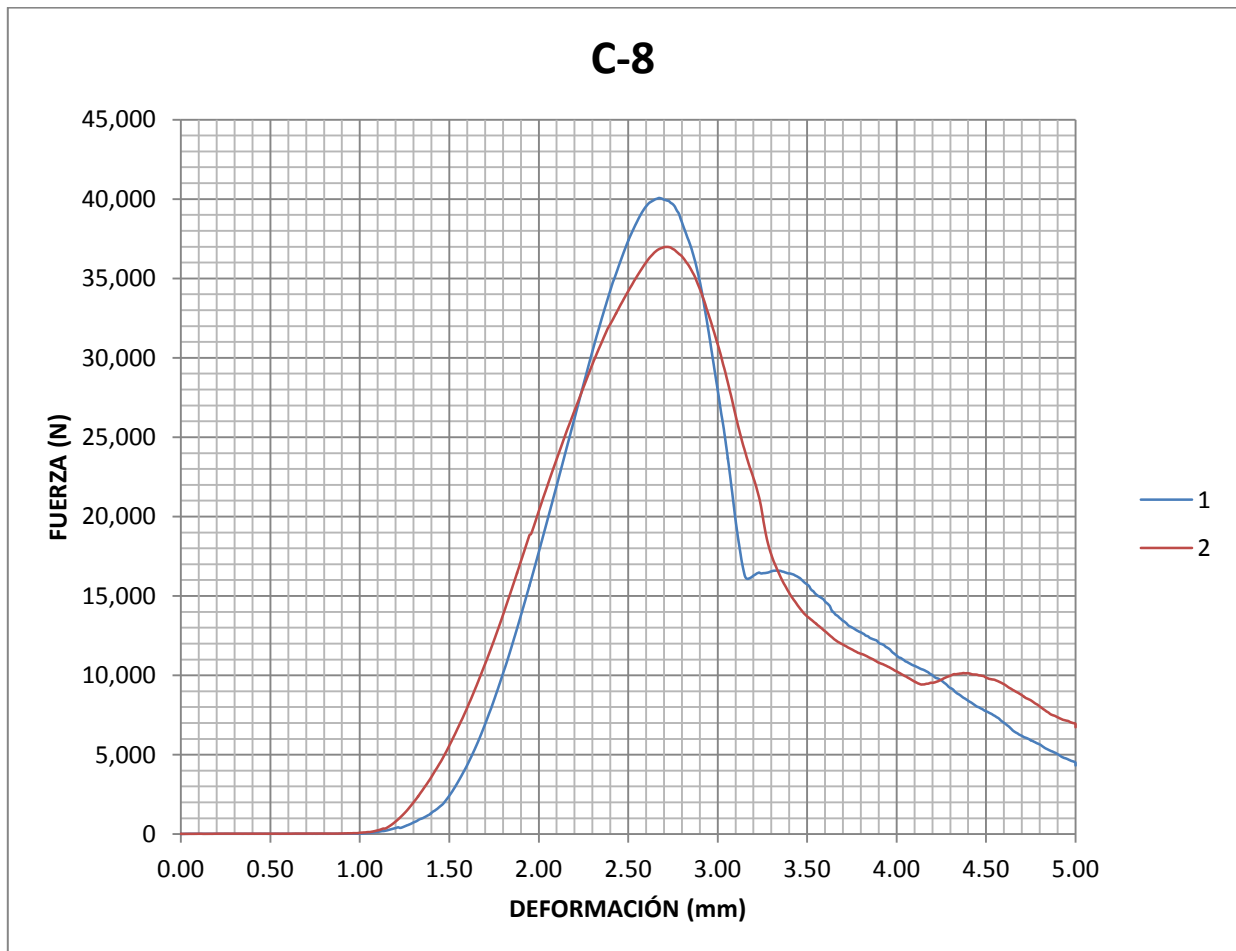


Gráfica C-7.1. Cortada después del punto de ruptura.

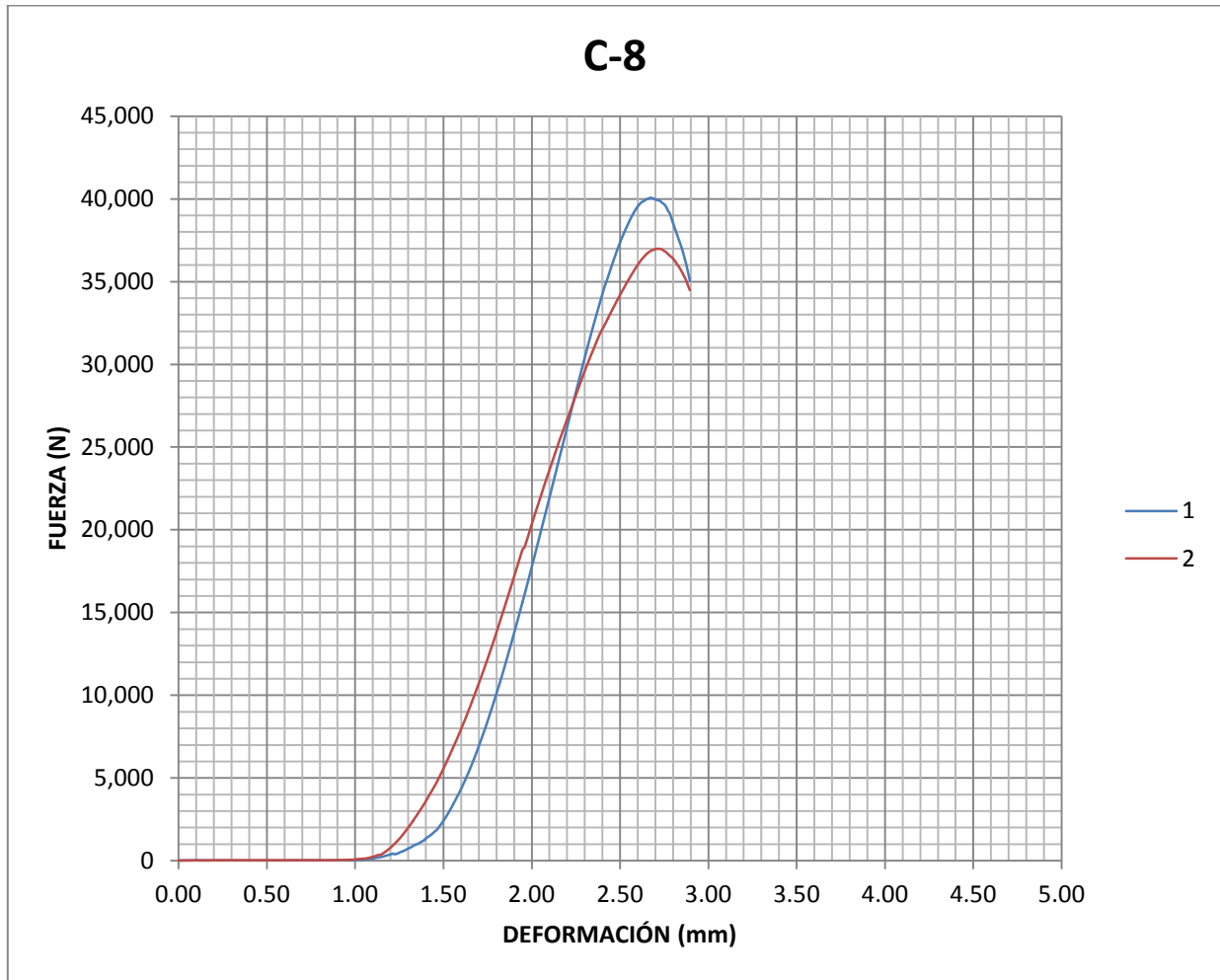
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.7, 40 100).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.7, 37 000).

# DE MUESTRA	C- 8	
FECHA	06- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex Fibra cortada
EDAD DE ESPECÍMEN	37	Días



Gráfica C-8. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

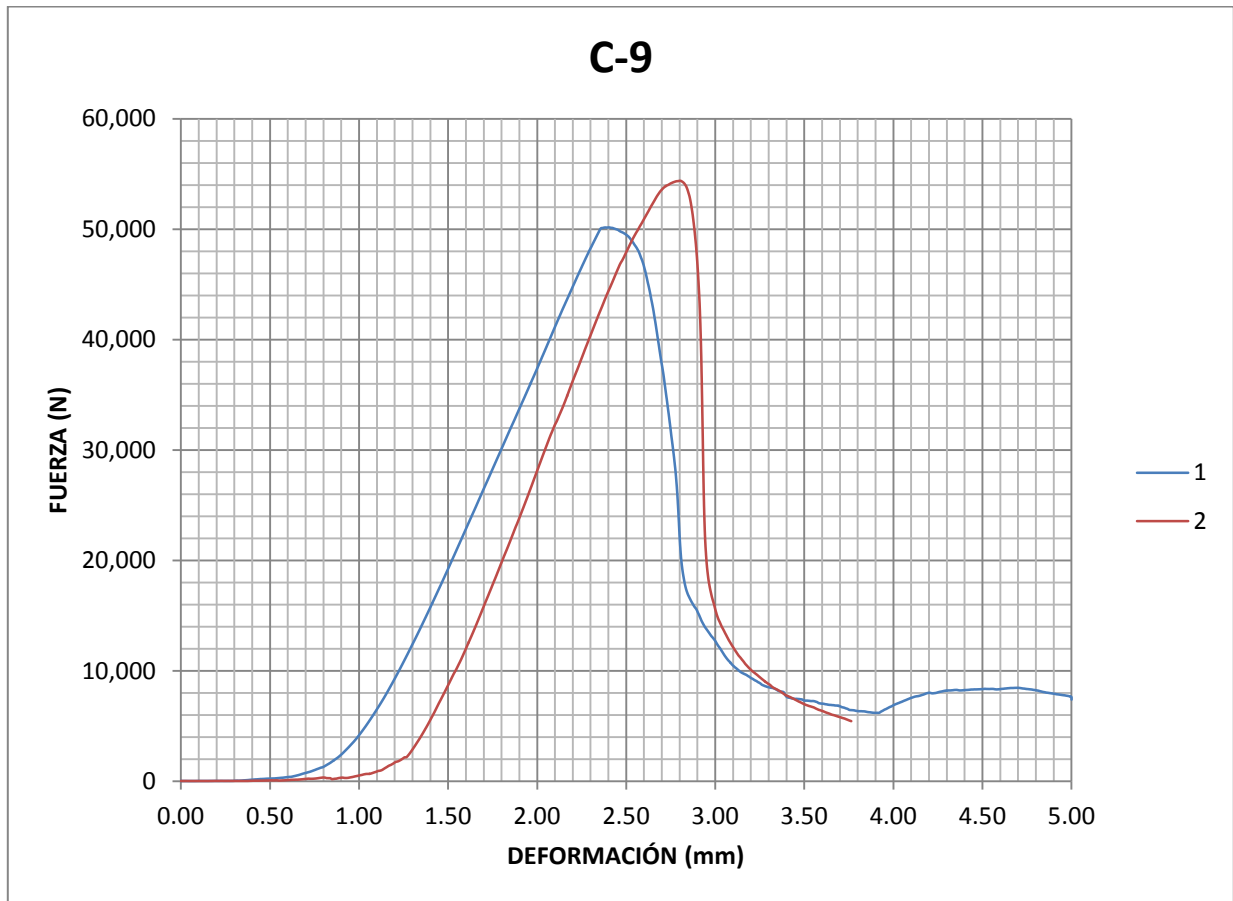


Gráfica C-8.1. Cortada después del punto de ruptura.

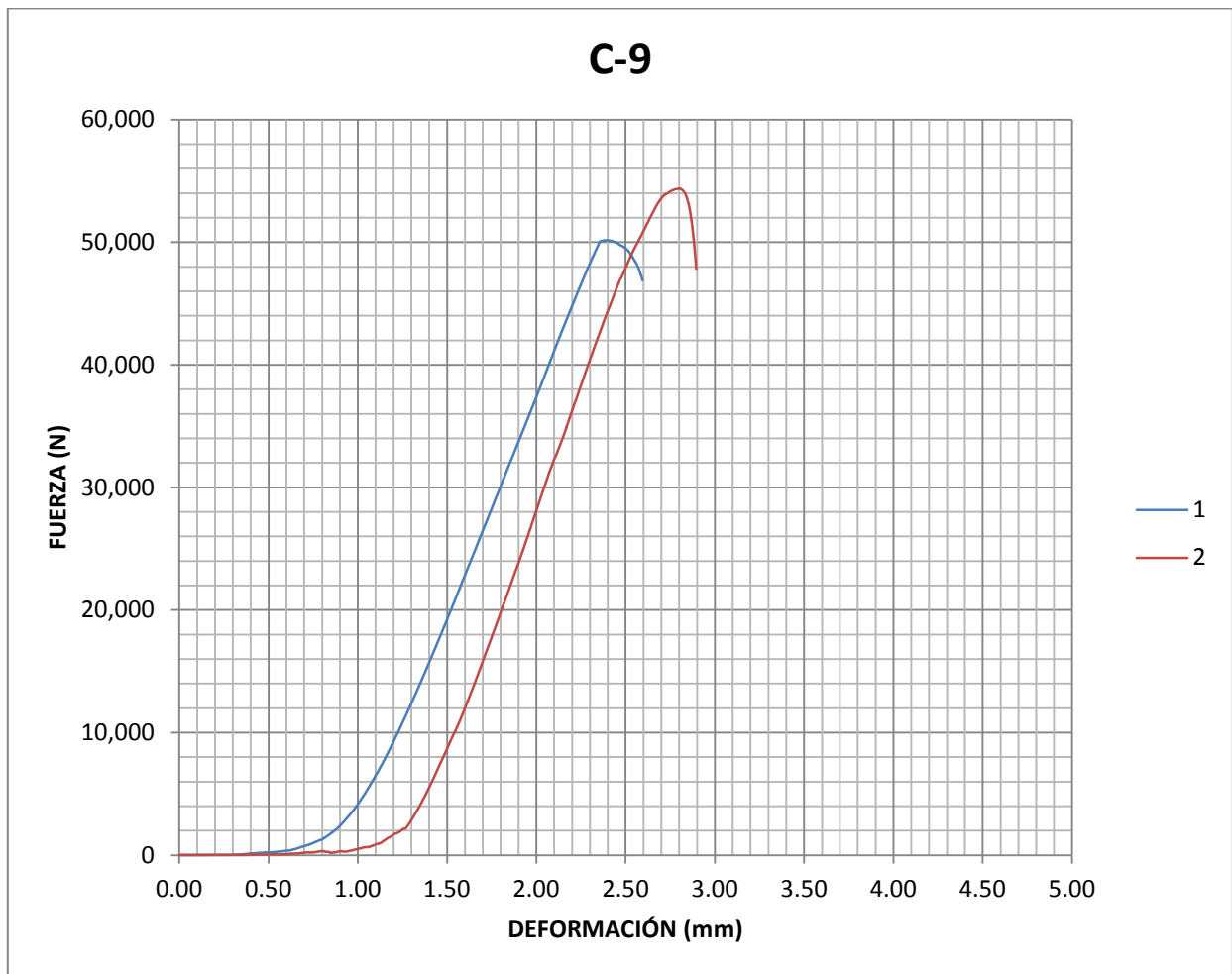
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.6, 35 000).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (1.9, 40 500).

# DE MUESTRA	C- 9	
FECHA	16- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICION	60 % 10 % 30 % 160 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex Fibra cortada
EDAD DE ESPECÍMEN	27	Días



Gráfica C-9. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

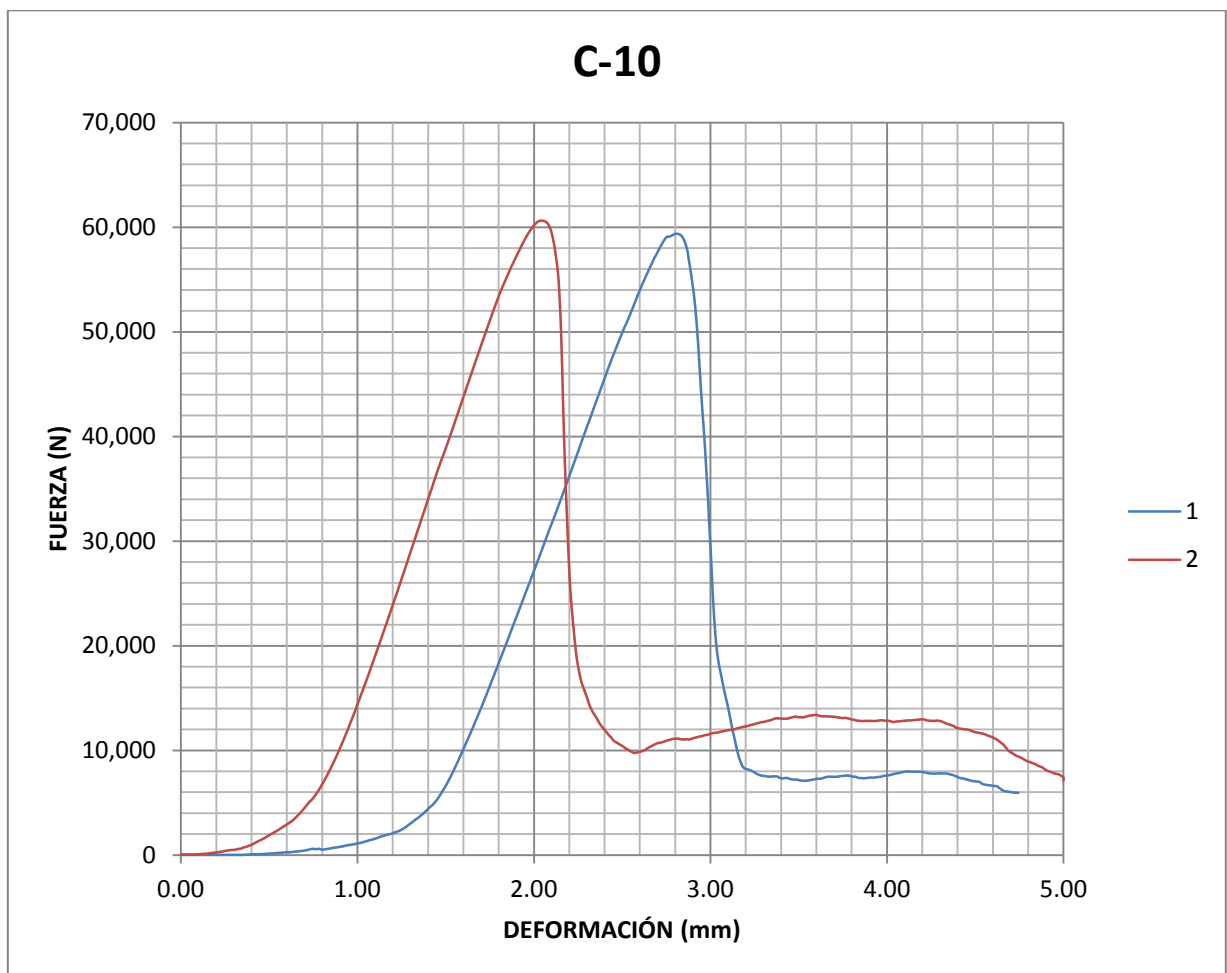


Gráfica C-9.1. Cortada después del punto de ruptura.

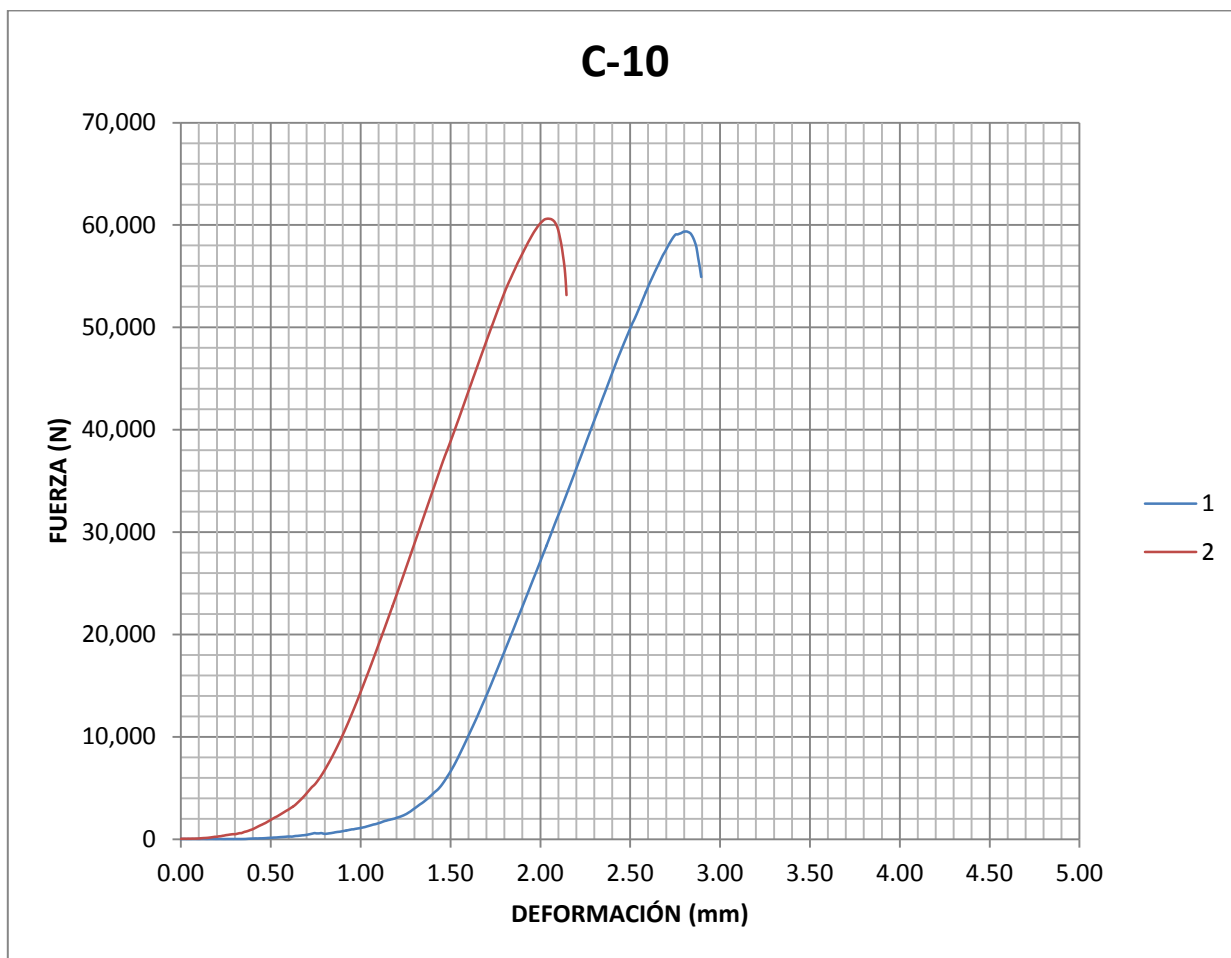
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.4, 50 200).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.8, 54 400).

# DE MUESTRA	C- 10	
FECHA	16- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 150 % 80 % 80 % 5 % 1 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Marmolina Tipo 1 Marmolina Tipo 2 Látex Polvo de fibra
EDAD DE ESPECÍMEN	27	Días



Gráfica C-10. La gráfica completa muestra el comportamiento mecánico de la muestra.

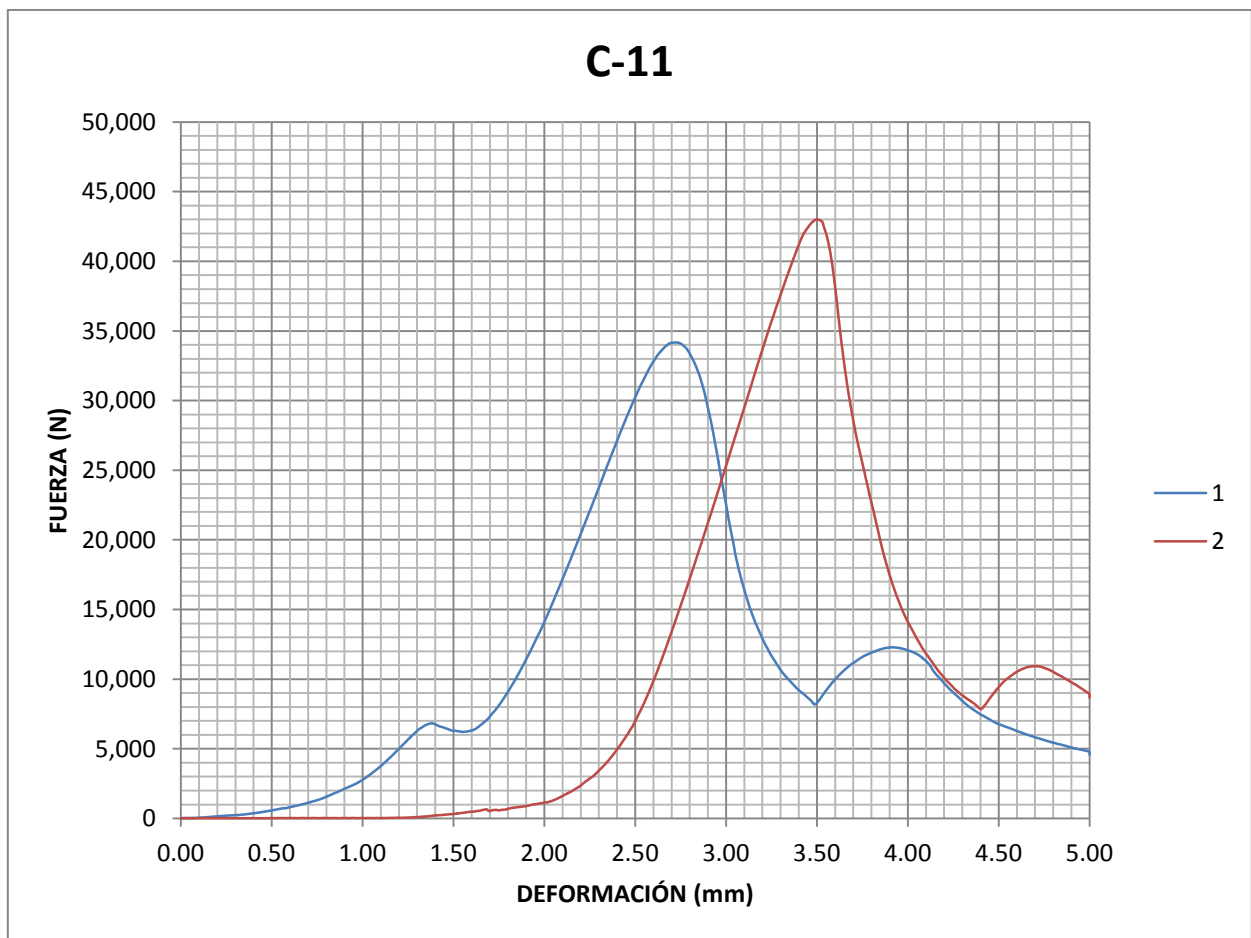


Grafica C-10.1. Cortada después del punto de ruptura.

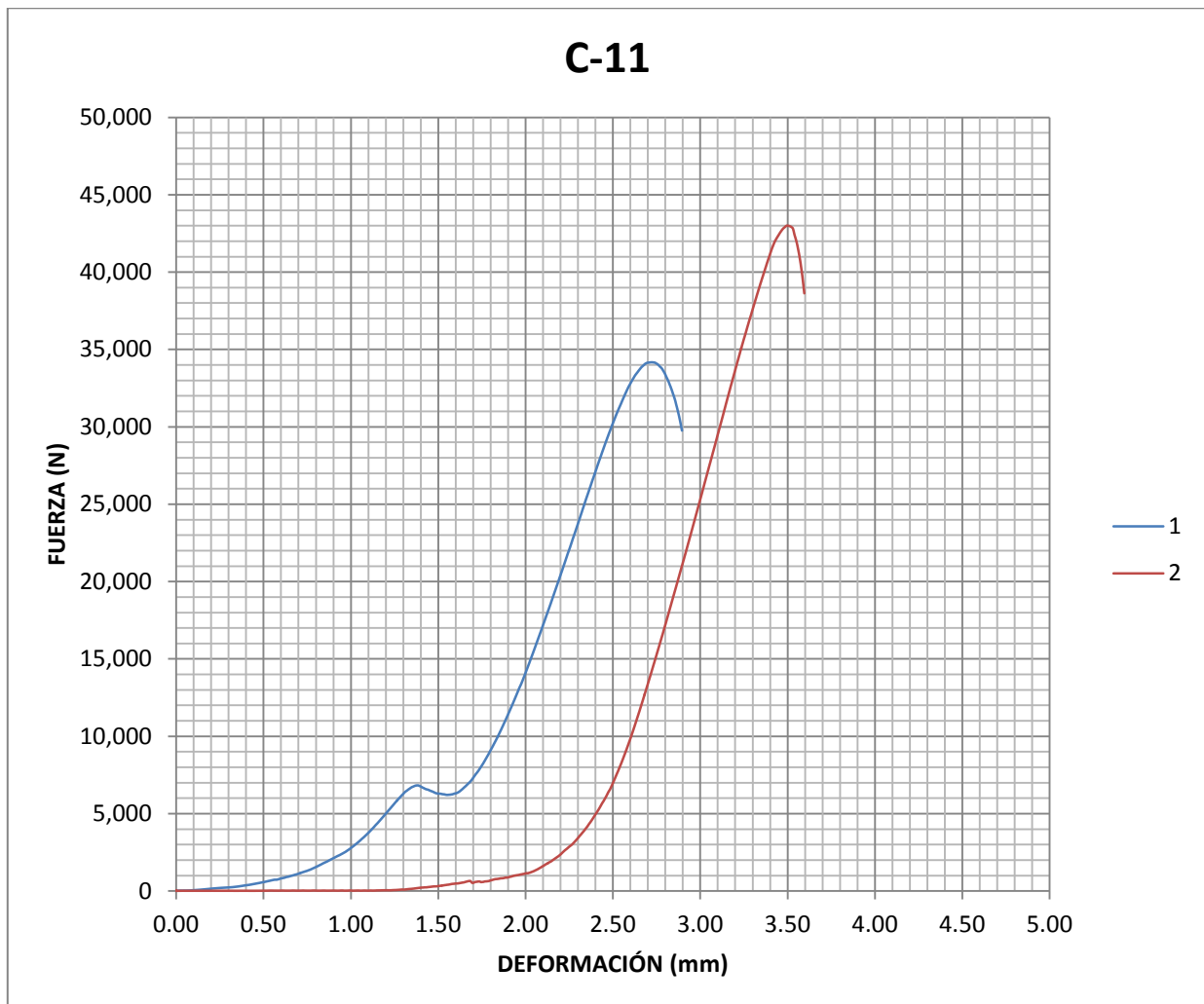
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.8, 59 400).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (2.0, 60 600).

# DE MUESTRA	C- 11	
FECHA	21- 05- 13	
COLOR	Verde	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 100 % 160 % 5 % 10 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Polvo de vidrio Látex Polvo de fibra
EDAD DE ESPECÍMEN	23	Días



Gráfica C-11. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.

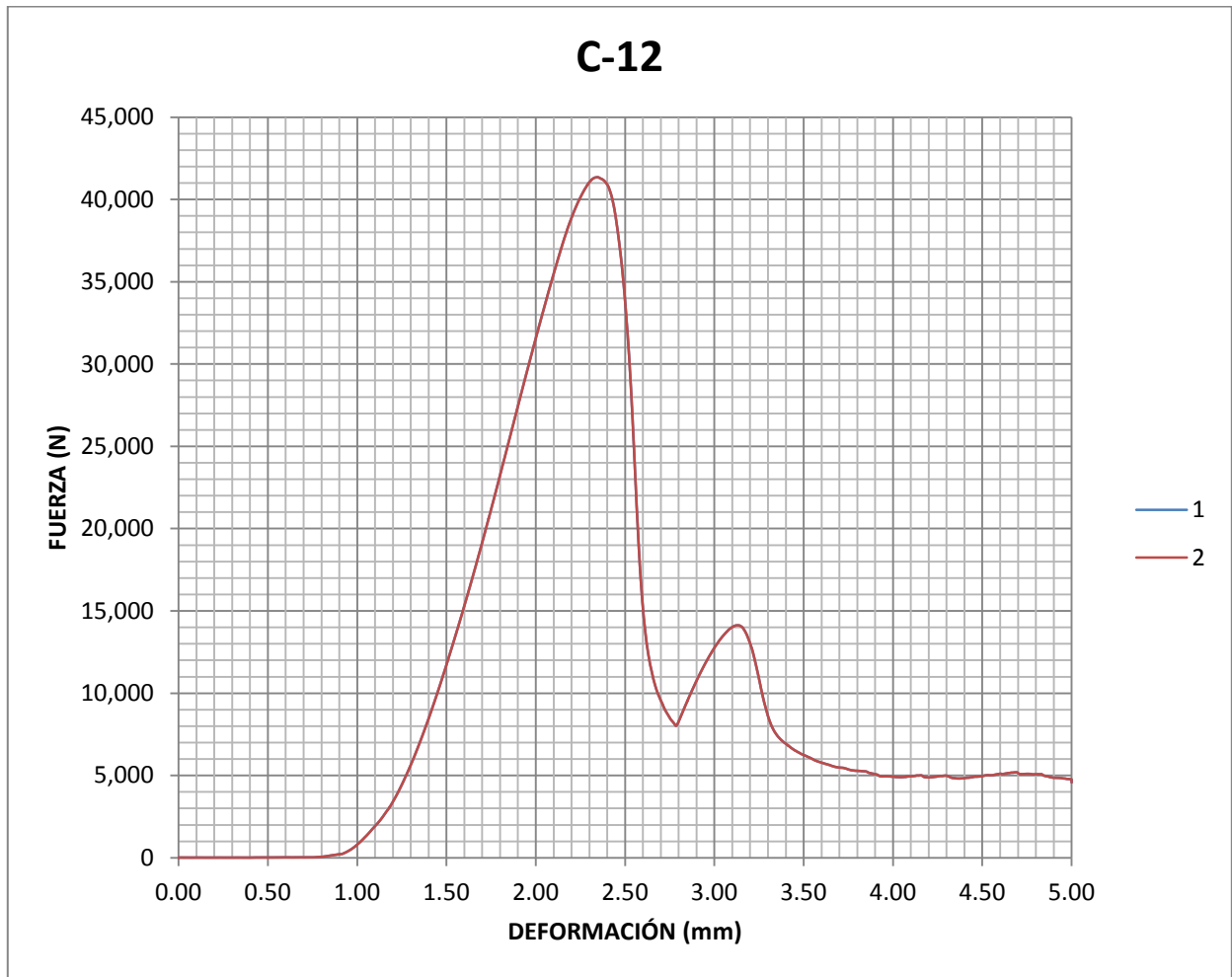


Grafica C-11.1. Cortada después del punto de ruptura.

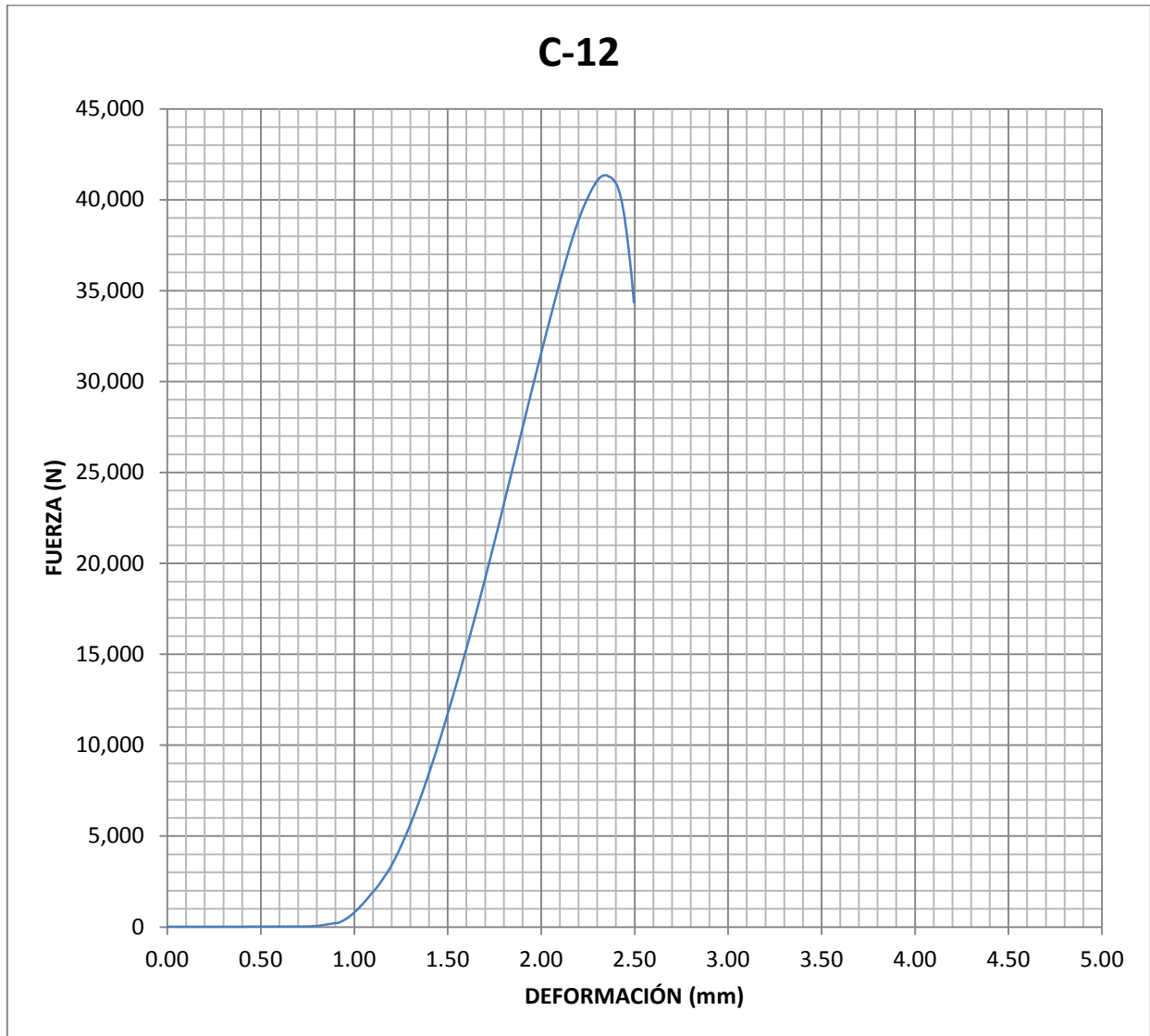
Línea 1 (azul) con coordenadas del punto máximo de (2.7, 34 200).

Línea 2 (roja) con coordenadas del punto máximo de (3.5, 43 000).

# DE MUESTRA	C- 12	
FECHA	17- 05- 13	
COLOR	Transparente	
COMPOSICIÓN	60 % 10 % 30 % 160 % 5 % 10 %	SP1 KOH Hidróxido de Aluminio Vidrio Látex Polvo de fibra
EDAD DE ESPECÍMEN	27	Días

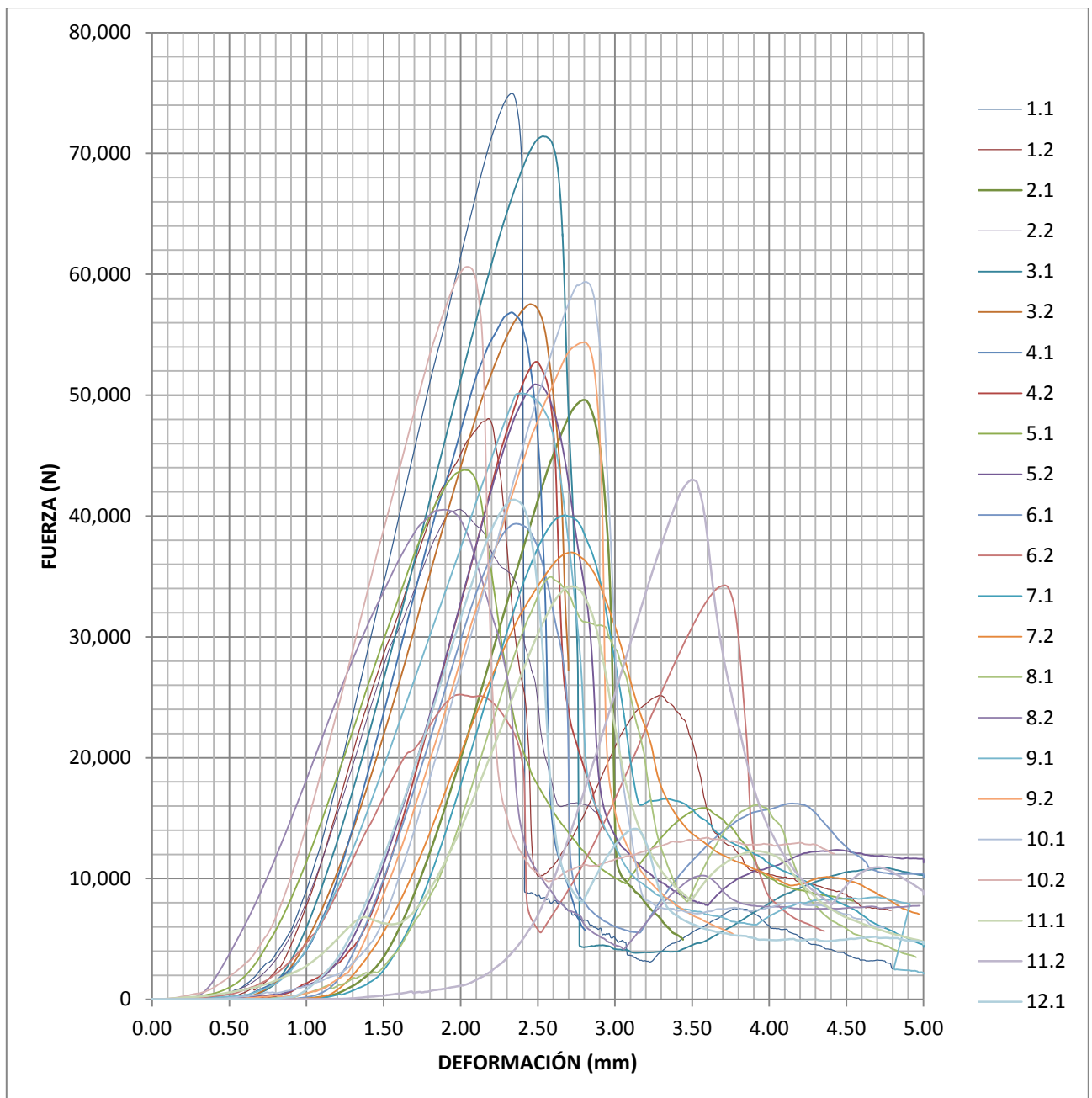


Grafica C-3. La gráfica completa representando el comportamiento mecánico de la muestra.



Gráfica C-4.1. Cortada después del punto de ruptura.

Línea azul con coordenadas del punto máximo de (2.3, 41 400).



Gráfica Final. Las gráficas que muestran, en conjunto, el comportamiento de las muestra, para poder observar una comparativa.

5.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ESPECÍMENES

Densidad, porcentaje de humedad y porcentaje de absorción.

Volumen (cm3)	PESO (gramos)											
	C-12	C-11	C-10	C-9	C-8	C-7	C-6	C-5	C-4	C-3	C-2	C-1
Peso normal												
125	238.56	274.75	293.41	240.61	262.89	269.31	234.39	259.21	281.55	243.94	270.07	302.85
125	242.99	272.40	290.58	244.07	258.77	273.59	236.55	258.59	272.49	246.18	268.48	293.79
125	242.32	272.09	290.60	242.86	260.56	272.75	230.85	258.99	273.81	243.20	278.51	303.72
Peso seco en horno												
125	223.64	255.85	284.94	228.27	259.12	265.22	228.94	255.95	279.82	241.55	265.42	290.65
125	225.64	254.66	280.18	228.56	253.41	266.22	228.34	254.17	269.56	243.45	263.94	280.10
125	225.06	260.68	280.28	227.08	255.21	265.87	222.62	254.45	270.35	240.52	275.70	290.92
Peso saturado												
125	246.01	274.97	303.32	253.14	277.47	282.55	253.65	274.79	298.25	265.58	294.39	307.19
125	248.92	273.28	298.60	253.69	271.62	283.82	262.93	272.04	287.26	267.26	281.71	297.28
125	248.05	279.51	298.95	252.03	273.77	283.34	246.71	273.44	288.45	263.41	283.08	306.46
Densidad (grs/cm3)	1.968	2.200	2.427	2.025	2.220	2.260	2.029	2.198	2.386	2.125	2.355	2.458
Humedad actual (%)	6.671	7.387	2.973	5.406	1.455	1.542	2.381	1.274	0.618	0.989	1.752	4.197
Humedad de absorción (%)	10.003	7.473	6.450	10.895	7.082	6.534	10.793	7.361	6.586	9.948	10.915	5.691

5.3. PROPIEDADES MICRO-ESTRUCTURALES

SEM (Scanning Electron Microscope) Microscopia Electrónica de Barrido

DE MUESTRA:

C- 1

FECHA:

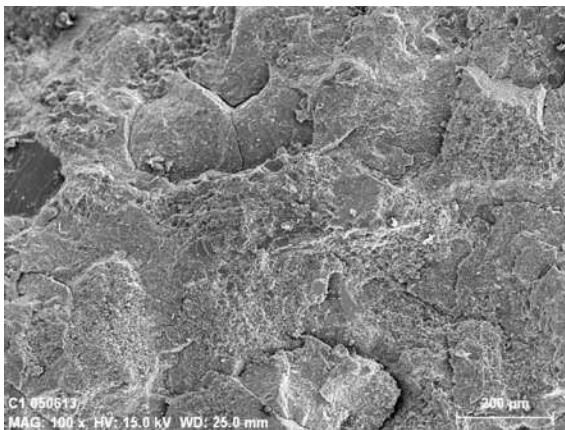
05- 05- 13

COLOR:

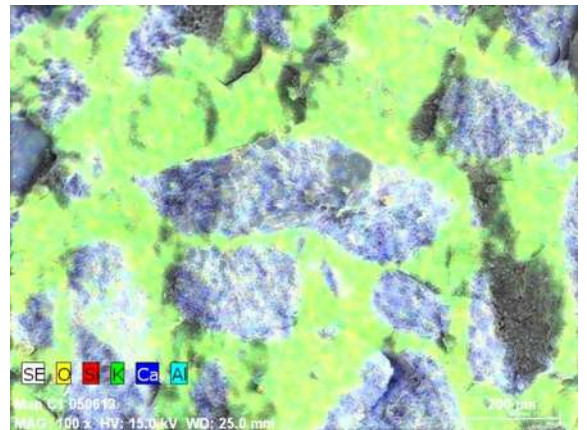
Azul

COMPOSICIÓN:

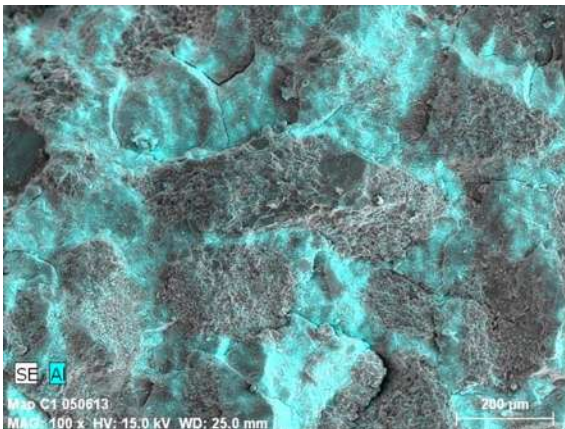
60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
80 %	Marmolina Tipo 1
80 %	Marmolina Tipo 2



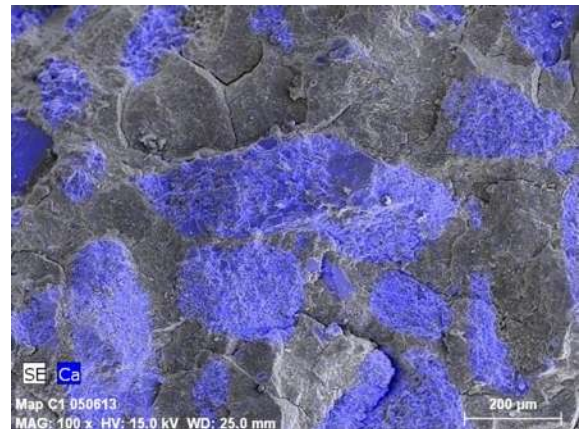
1) Magnificación o aumento de la muestra a 100 aumentos (x = aumentos) [SEM].



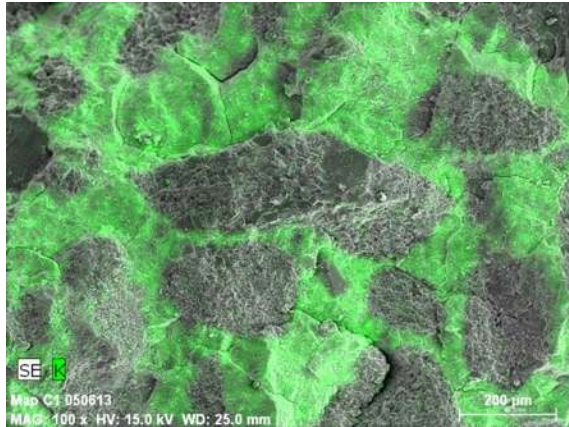
a) Mapeo general de la corrida C-1 con todos los elementos que intervienen en el composite [SEM].



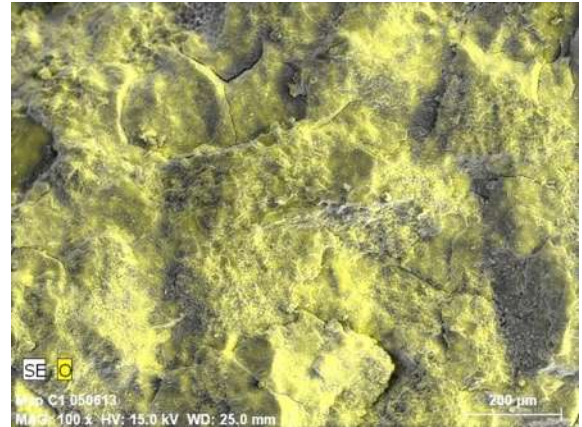
b) Mapeo en donde se encuentra el Aluminio [SEM].



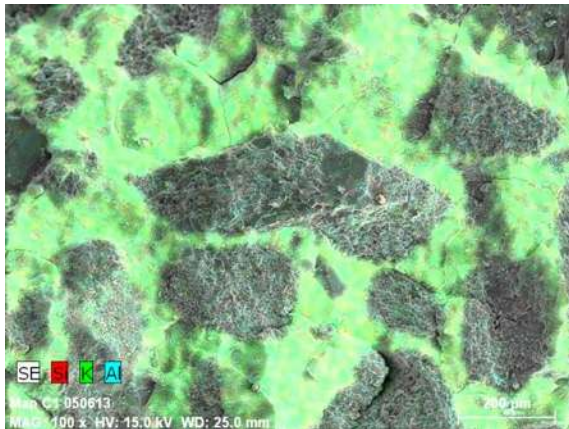
c) Mapeo que muestra el Calcio [SEM].



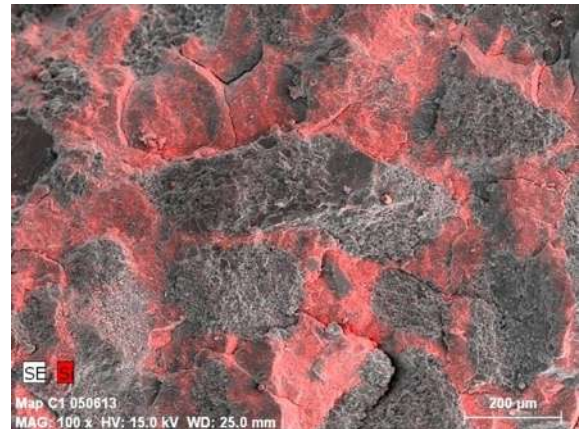
d) Mapeo del Potasio [SEM].



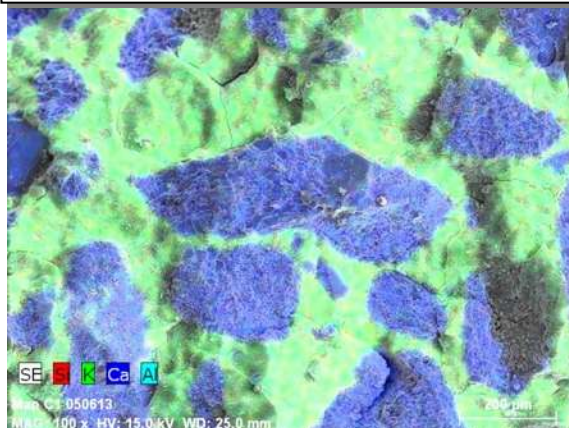
e) colocación del Oxígeno en la muestra [SEM].



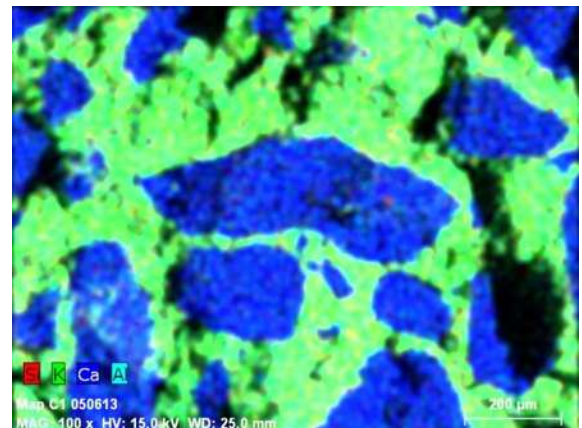
f) Mapeo de la colocación del Silicio, Potasio y Aluminio [SEM].



g) Cantidad de Silicio en el composite [SEM].

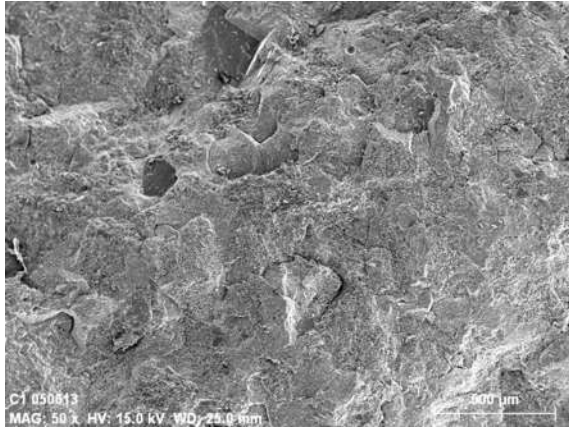


h) Exposición sin oxígeno [SEM].



i) Mapeo de los elementos principales [SEM].

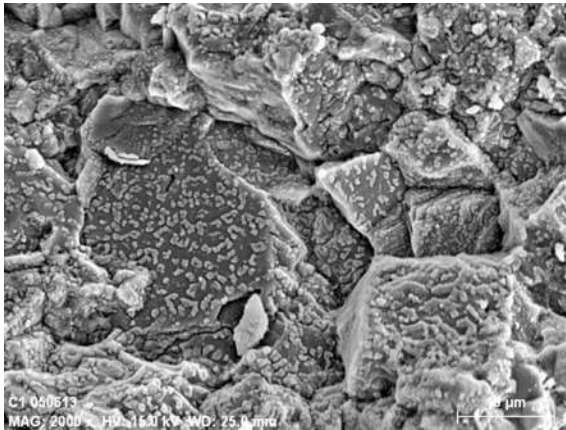
MAGNIFICACIONES DE LA MUESTRA C-1



1) Aumento de la muestra a 50 aumentos [SEM].



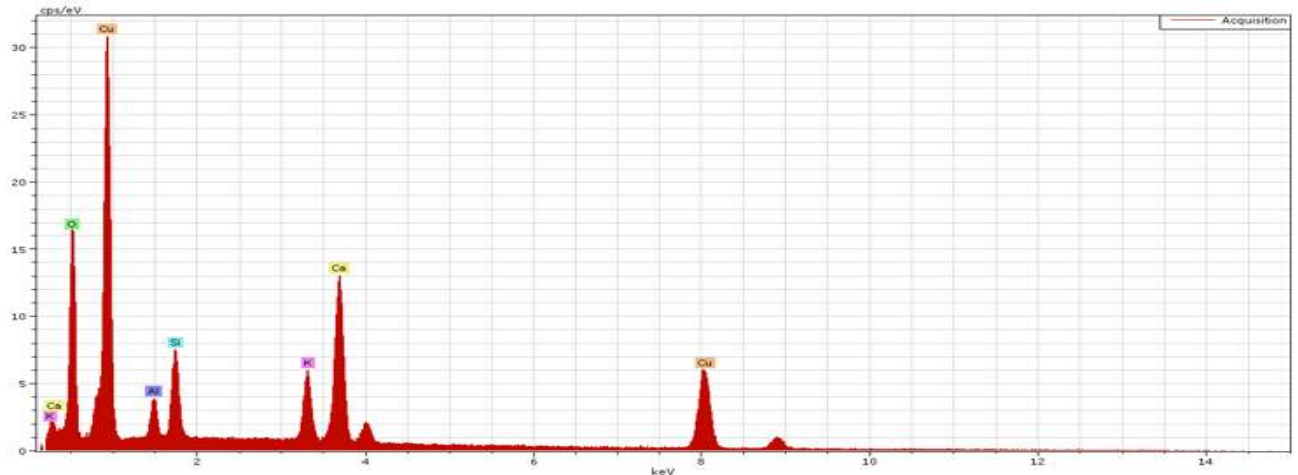
2) Magnificación a 500 aumentos. Se logra apreciar la división o ruptura interna del material por la manera en cómo se extrajo, por medio de impacto [SEM].



3) Exposición de la muestra 2000 veces. En la cual se aprecia perfectamente la adherencia entre los componentes [SEM].



4) 5000 aumentos en esta imagen. Se observa el adhesivo impregnado en una pequeña partícula [SEM].



Resultado del análisis a la muestra en donde se exhiben los elementos que componen el espécimen [SEM].

DE MUESTRA:

C- 2

FECHA:

05- 05- 13

COLOR:

Azul

COMPOSICIÓN:

60 %

SP1

10 %

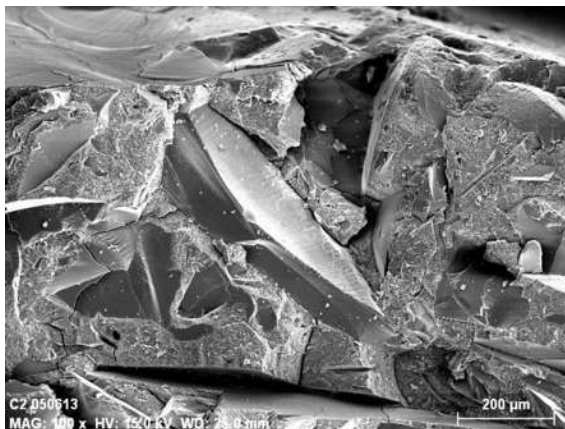
KOH

30 %

Hidróxido de Aluminio

160 %

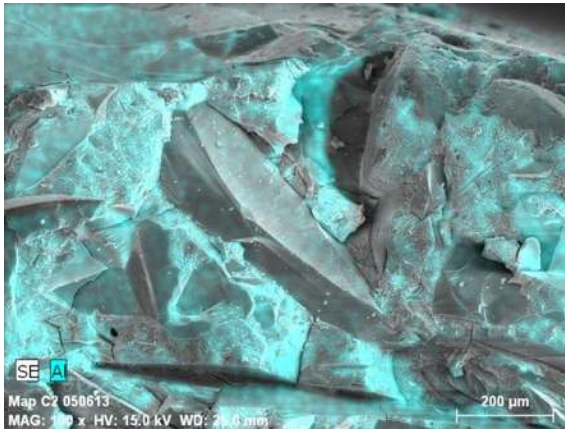
Polvo de vidrio



1) Magnificación de la corrida C-2 a 100 aumentos. Se aprecia el vidrio fácilmente ya que se ven como grandes fragmentos [SEM].



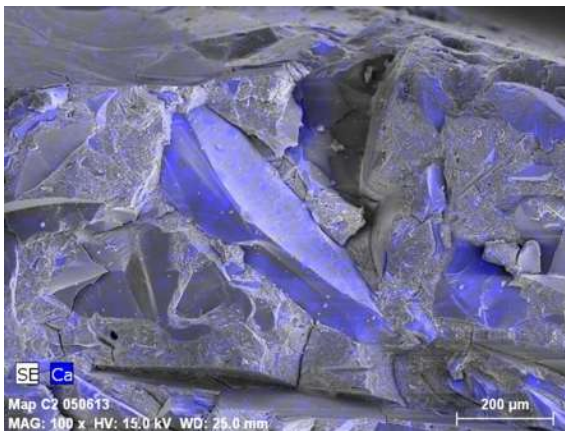
a) Mapeo general de la muestra C-2 [SEM].



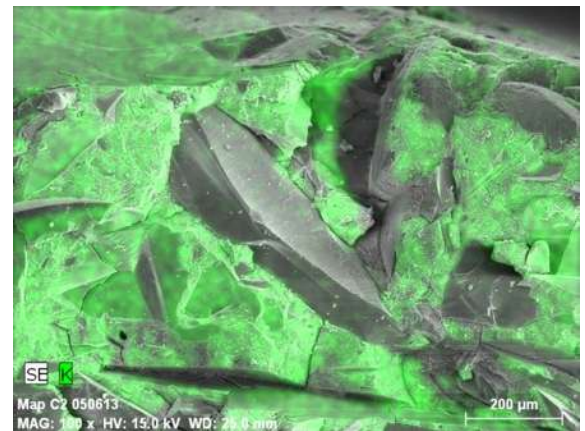
b) Aluminio en la muestra a 100 aumentos [SEM].



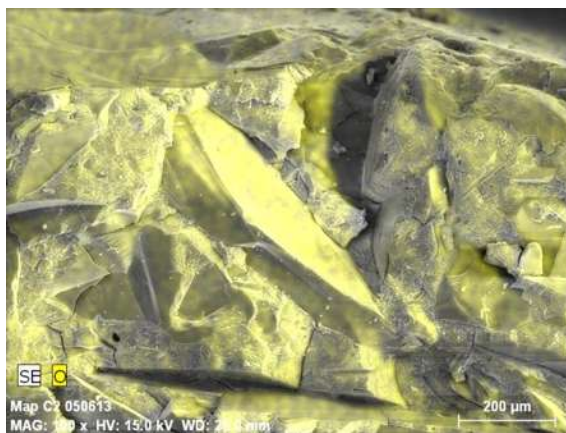
c) Representando al Silicio y al Calcio [SEM].



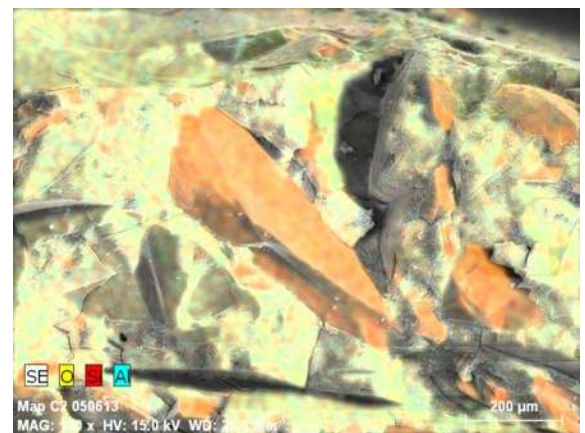
d) Calcio en la muestra a 100 aumentos [SEM].



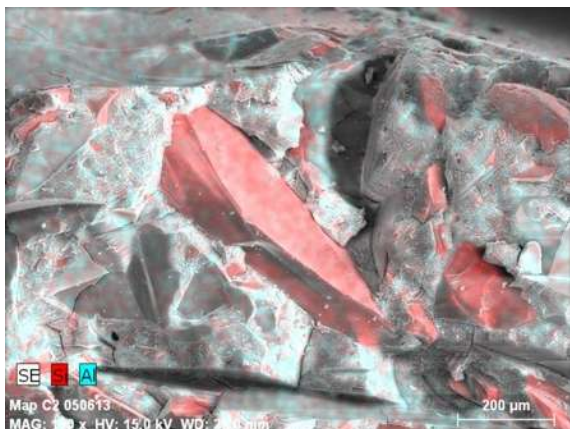
e) Potasio a 100 aumentos [SEM].



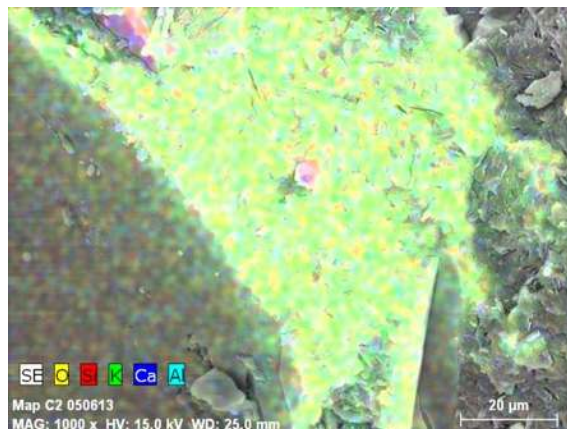
f) Oxigeno en la muestra a 100 aumentos [SEM].



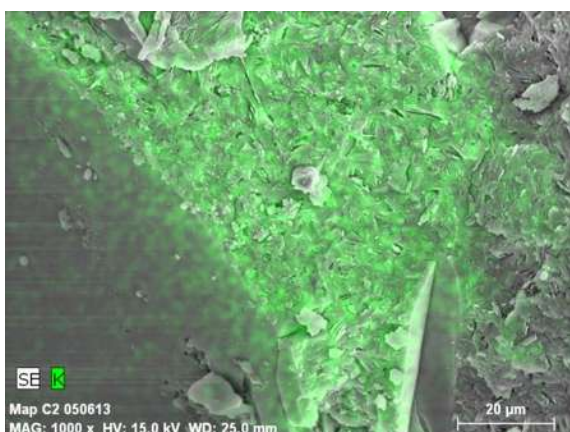
g) Oxigeno, Silicio, Aluminio en la muestra a 100 aumentos [SEM].



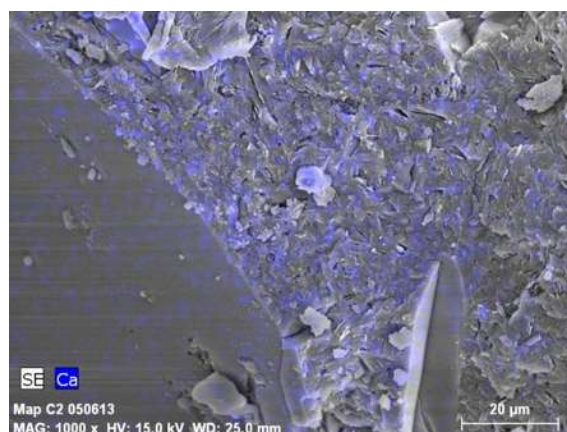
h) Silicio, Aluminio en la muestra a 100 aumentos [SEM].



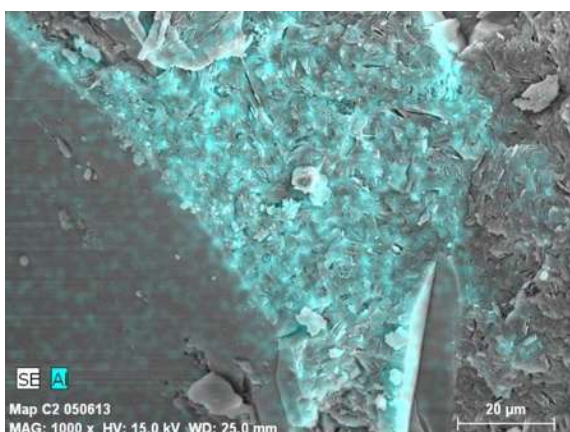
i) Todos los elementos a 1000 magnificaciones [SEM].



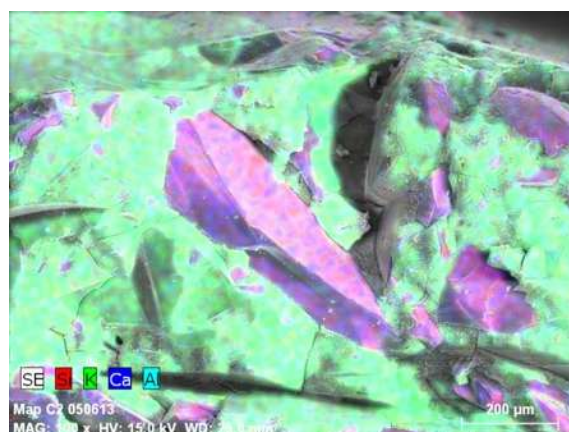
j) Potasio a 1000 aumentos [SEM].



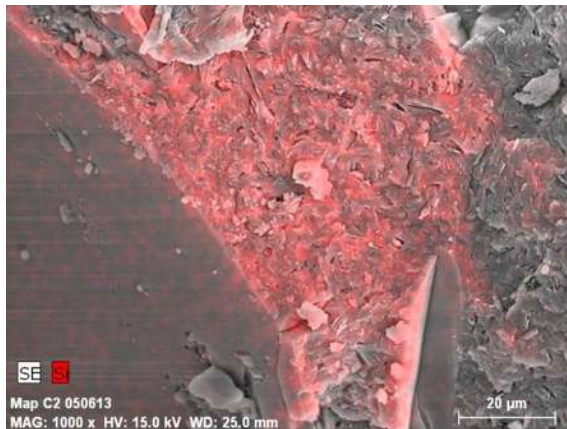
k) Calcio a 1000 aumentos [SEM].



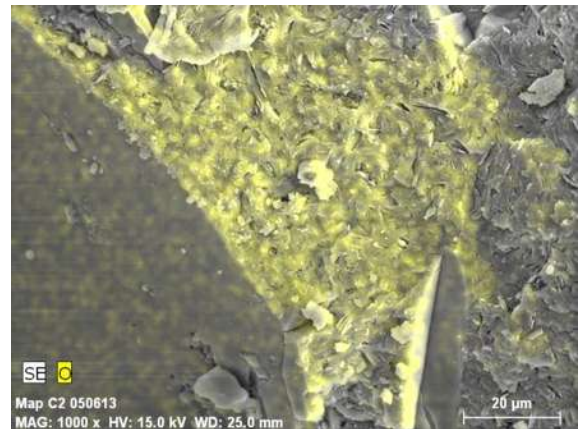
l) Aluminio en la muestra a 1000 aumentos [SEM].



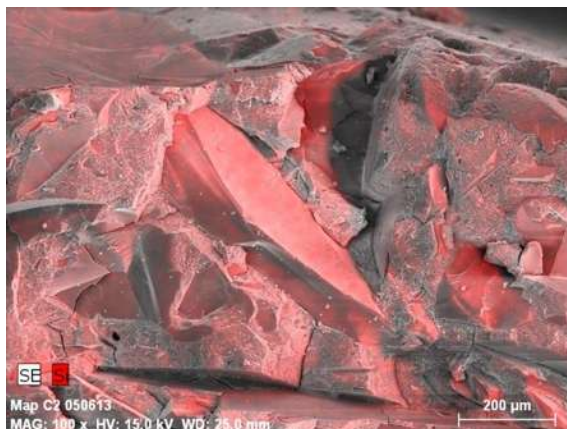
m) Todos los elementos sin Oxígeno a 100 aumentos [SEM].



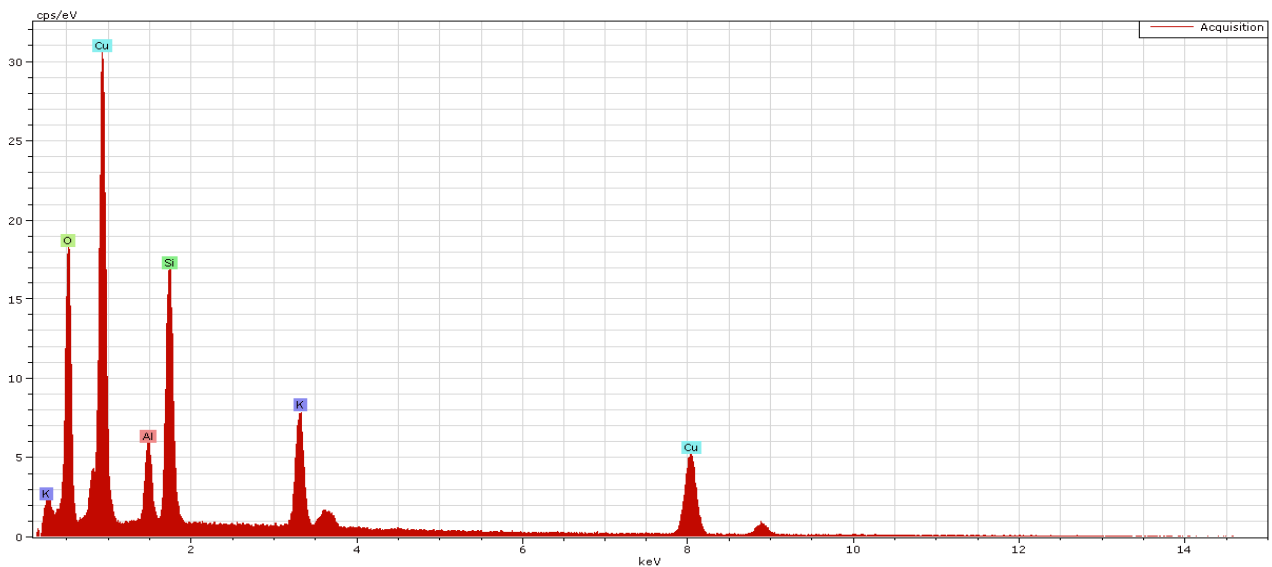
n) Silicio en la muestra a 1000 aumentos [SEM].



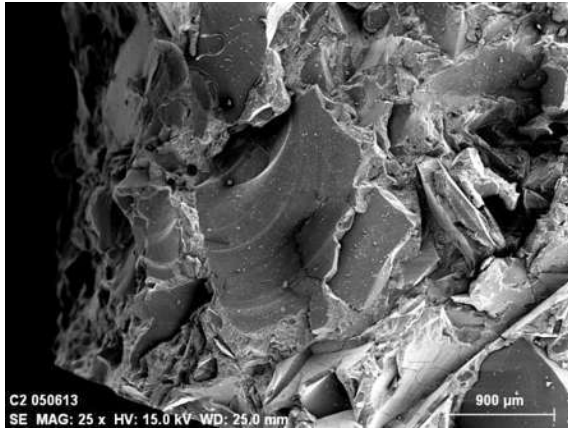
o) Oxigeno a 1000 aumentos [SEM].



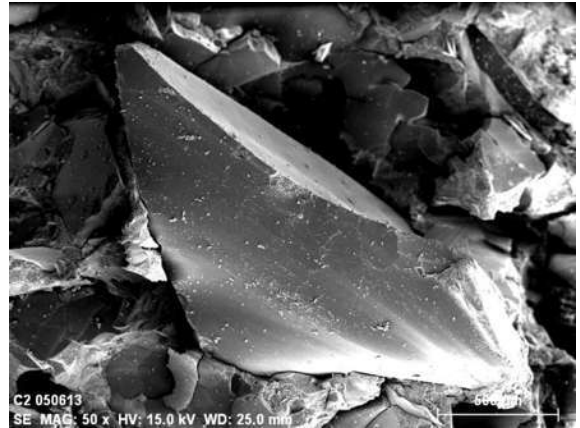
p) Silicio a 100 aumentos [SEM].



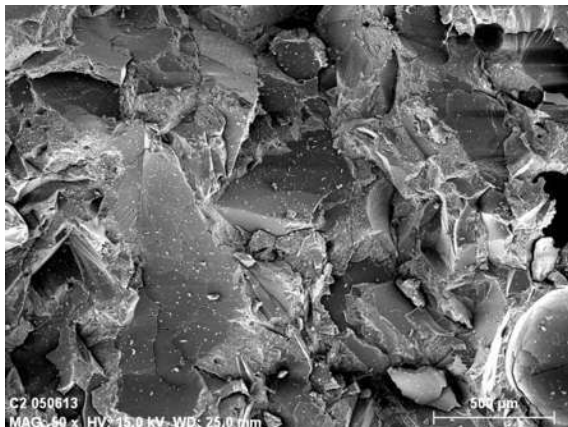
Resultado del análisis a la muestra en donde se exhiben los elementos que componen el espécimen y los porcentajes de estos [SEM].



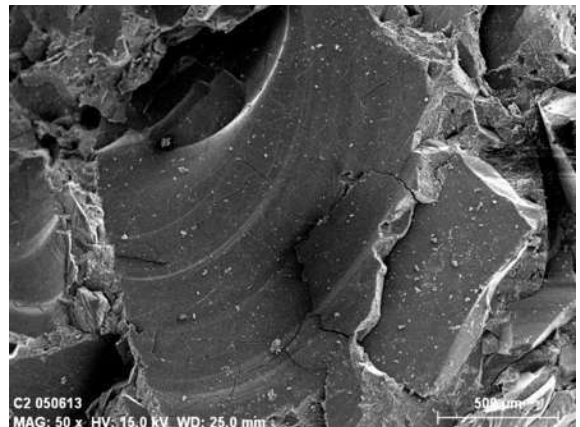
2) Los fragmentos más grandes que se logan apreciar en la imagen es el vidrio [SEM].



3) Prueba bastante clara del vidrio y la incrustación con los demás elementos [SEM].



4) Buena adherencia entre los componentes [SEM].



5) Fractura del vidrio y su imponentia ante el demás material [SEM].

DE MUESTRA:

C- 3

FECHA:

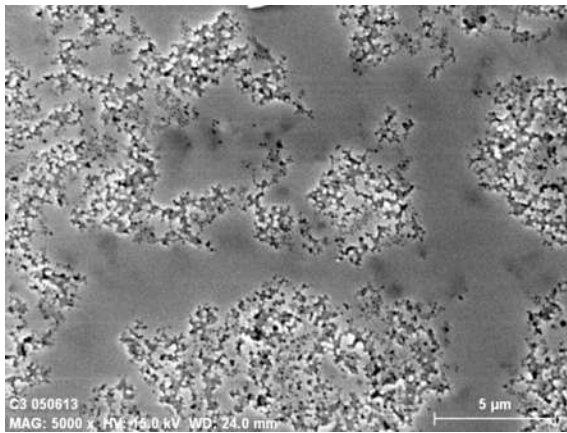
05- 05- 13

COLOR:

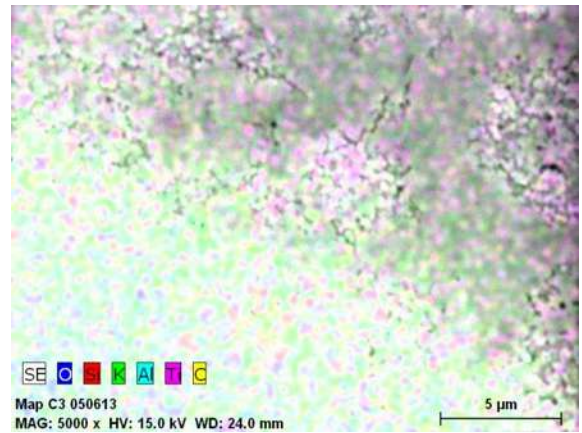
Azul

COMPOSICIÓN:

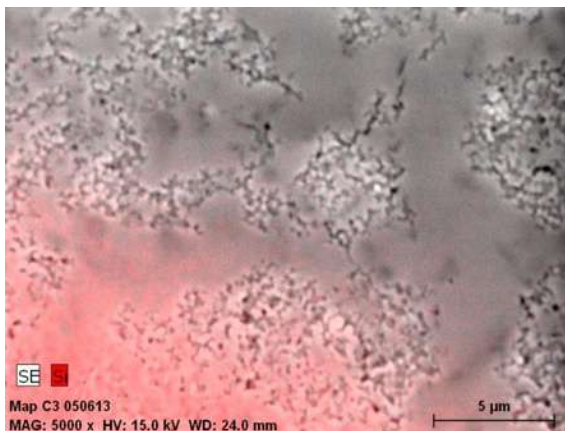
60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
80 %	Marmolina Tipo 1
80 %	Marmolina Tipo 2
5 %	Látex



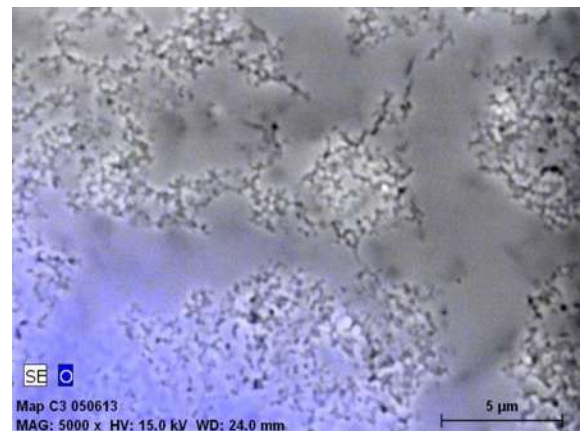
1) Buena adherencia entre los componentes, 5 000 aumentos [SEM].



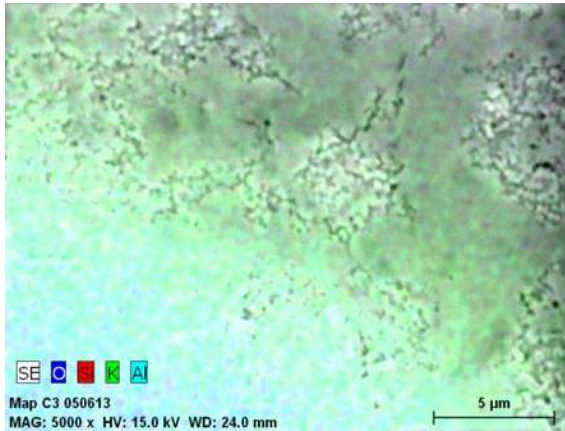
a) Magnificación de todos los elementos presentes a 5000 acercamientos [SEM].



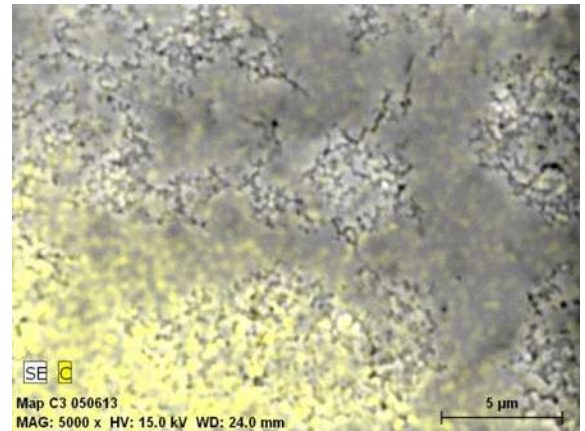
b) Exposición de Silicio a 5000 aumentos [SEM].



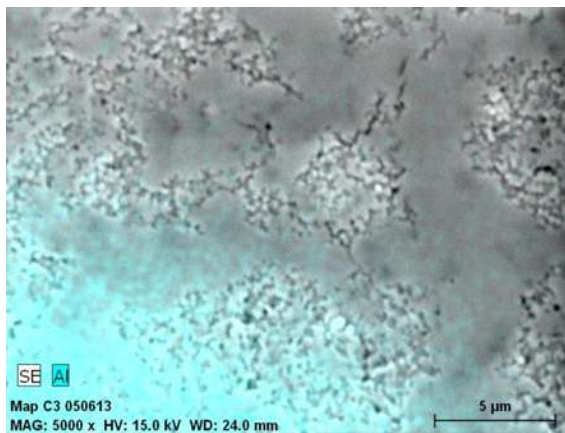
c) Presencia de Oxígeno [SEM].



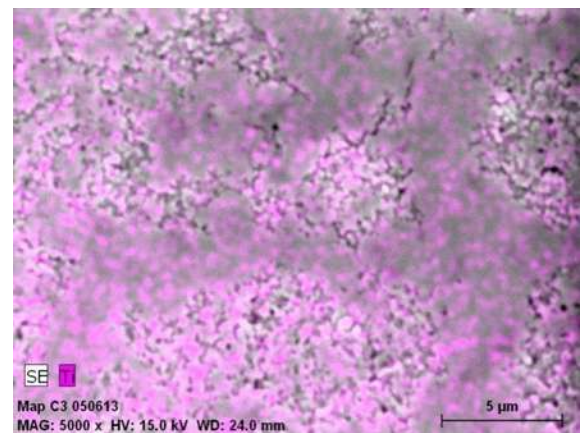
d) Oxígeno, Silicio, Potasio, Aluminio [SEM].



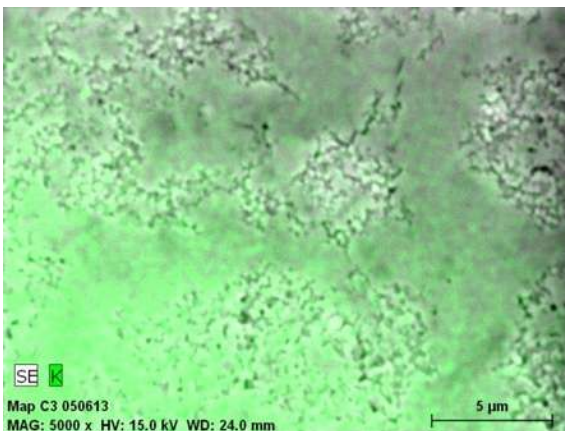
e) Carbono en esta imagen [SEM].



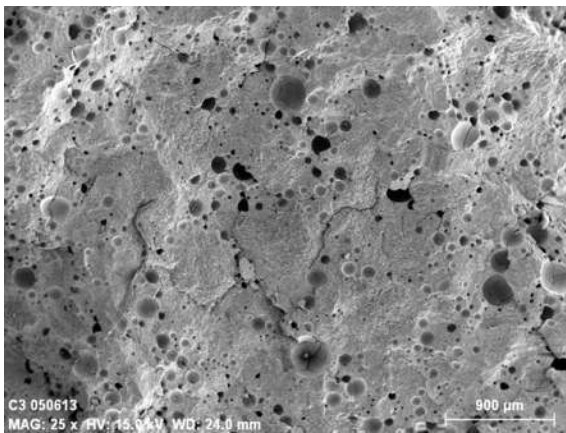
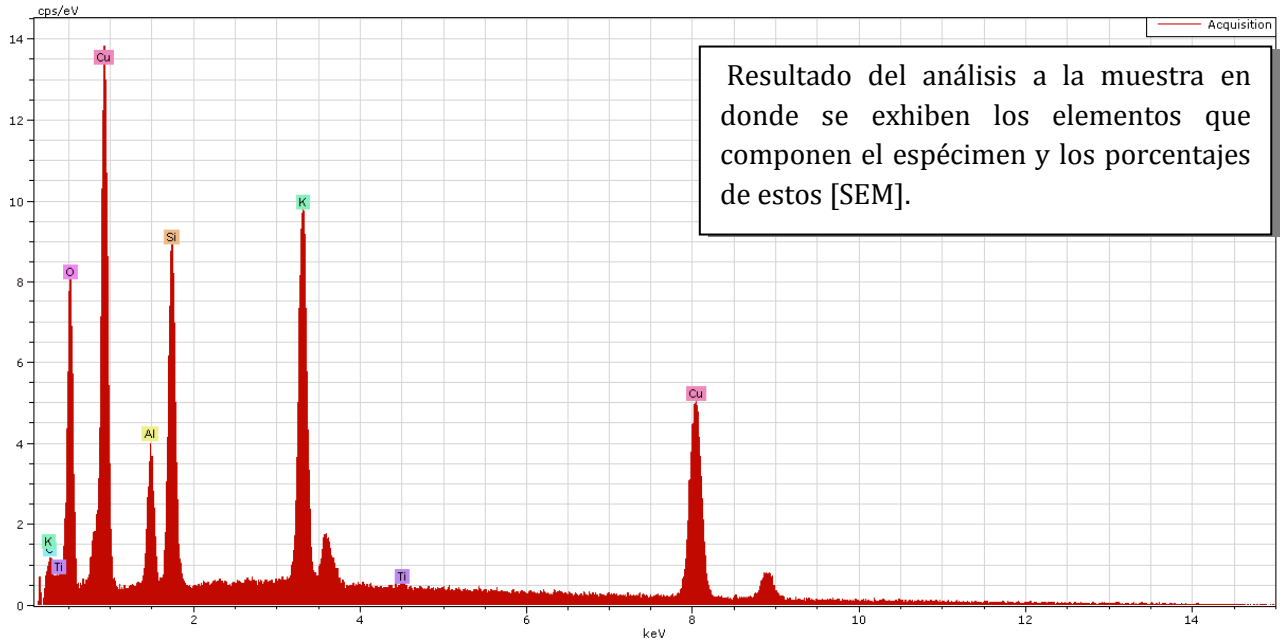
f) Solo Aluminio [SEM].



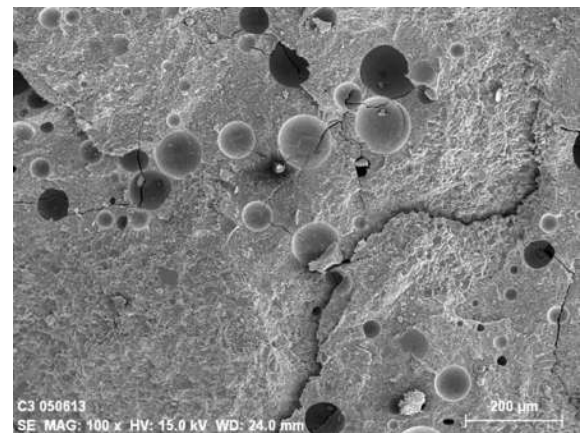
g) Titanio presente en la muestra [SEM].



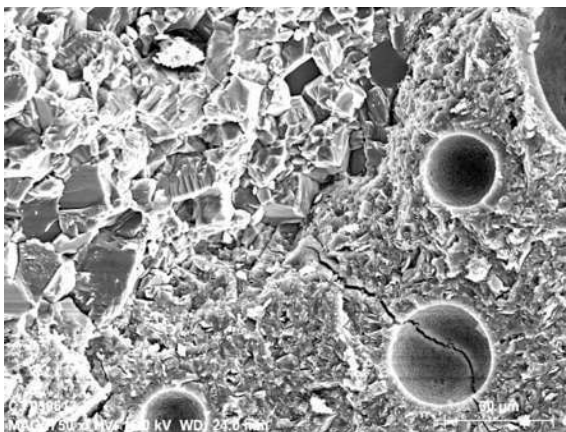
h) Potasio [SEM].



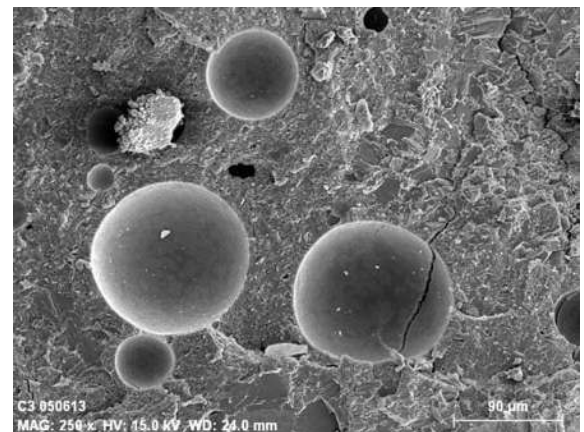
2) Las burbujas que se aprecian son por la presencia de látex, a 25 aumentos [SEM].



3) El látex provocan la inclusión de aire, 100 x [SEM].



4) La marmolina y el látex tienen buena relación [SEM].



5) Internamente se fractura la liga orgánica (látex) [SEM].

DE MUESTRA:

C- 4

FECHA:

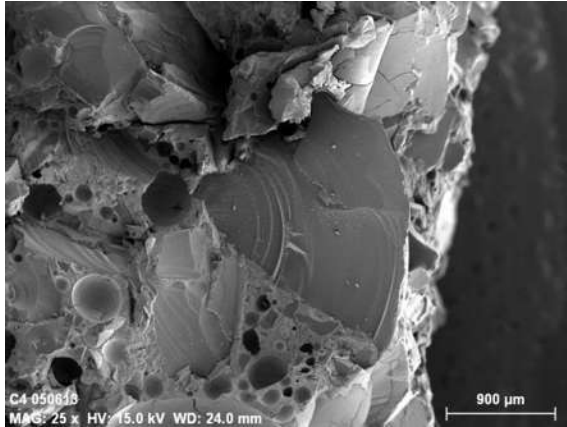
05- 05- 13

COLOR:

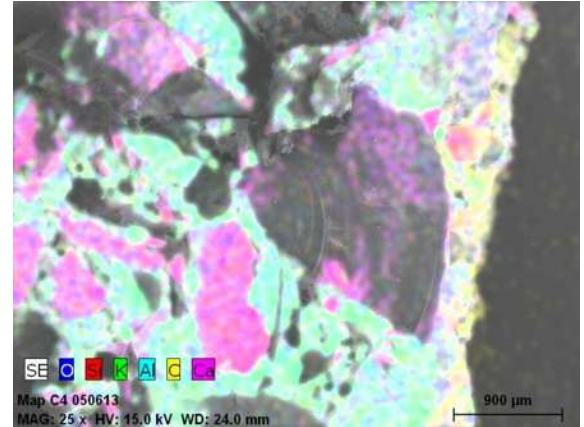
Azul

COMPOSICIÓN:

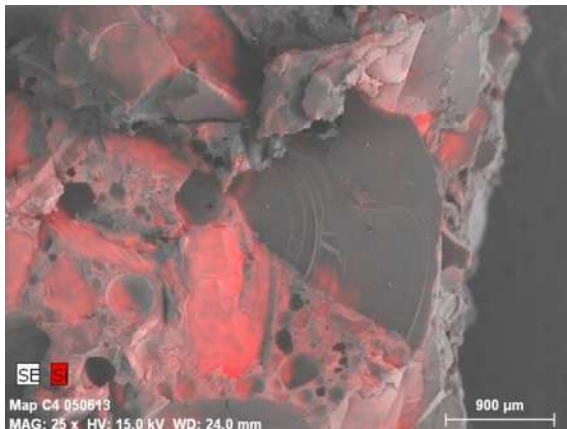
60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
160 %	Polvo de vidrio
5 %	Látex



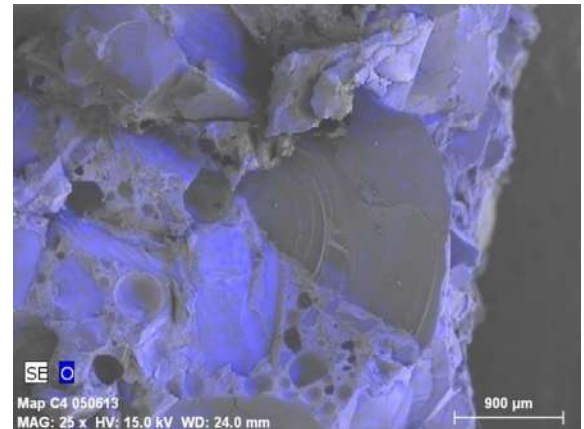
1) Buena adherencia entre los componentes [SEM].



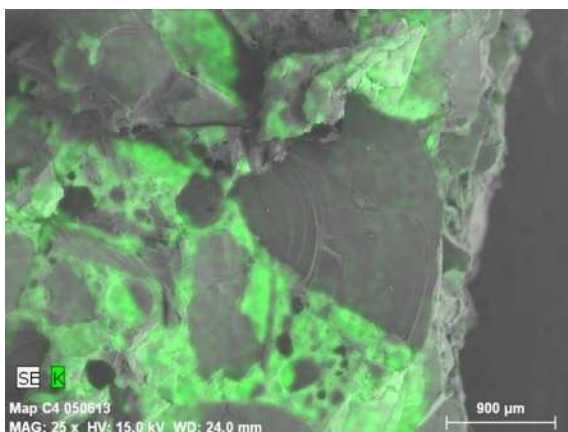
a) Distribuidos los elementos en toda la composición [SEM].



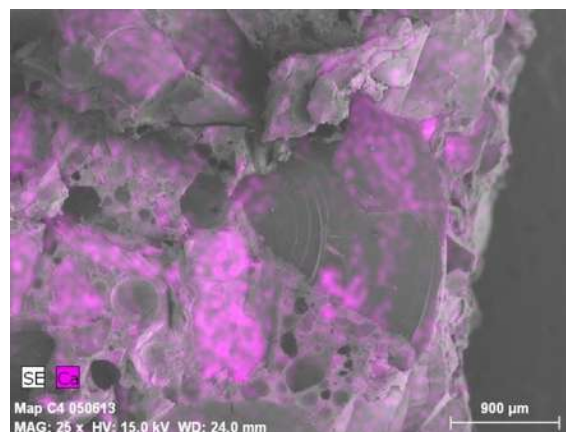
b) Silicio [SEM].



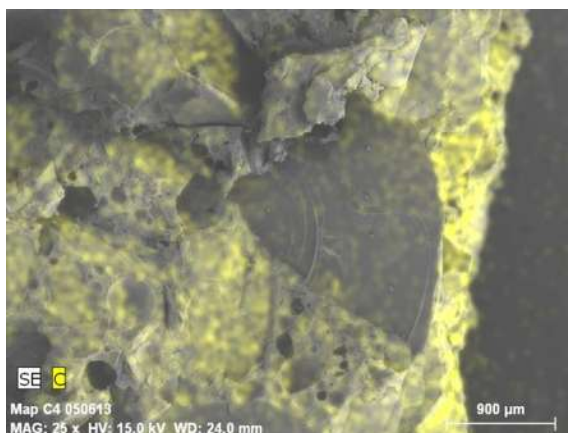
c) Oxígeno [SEM].



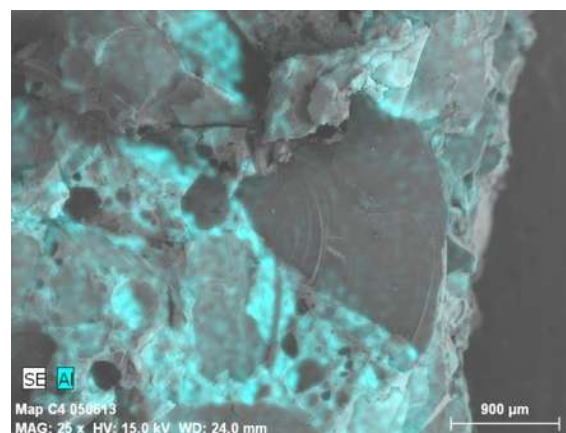
d) Potasio a 25 x [SEM].



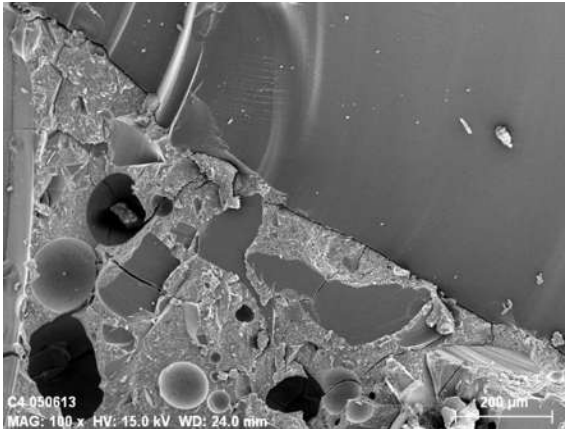
e) Calcio [SEM].



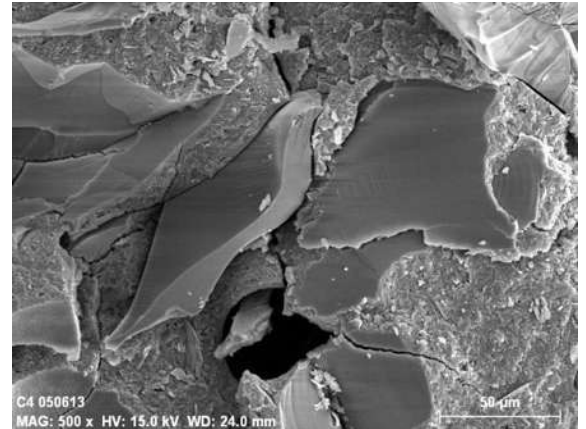
f) Carbono [SEM].



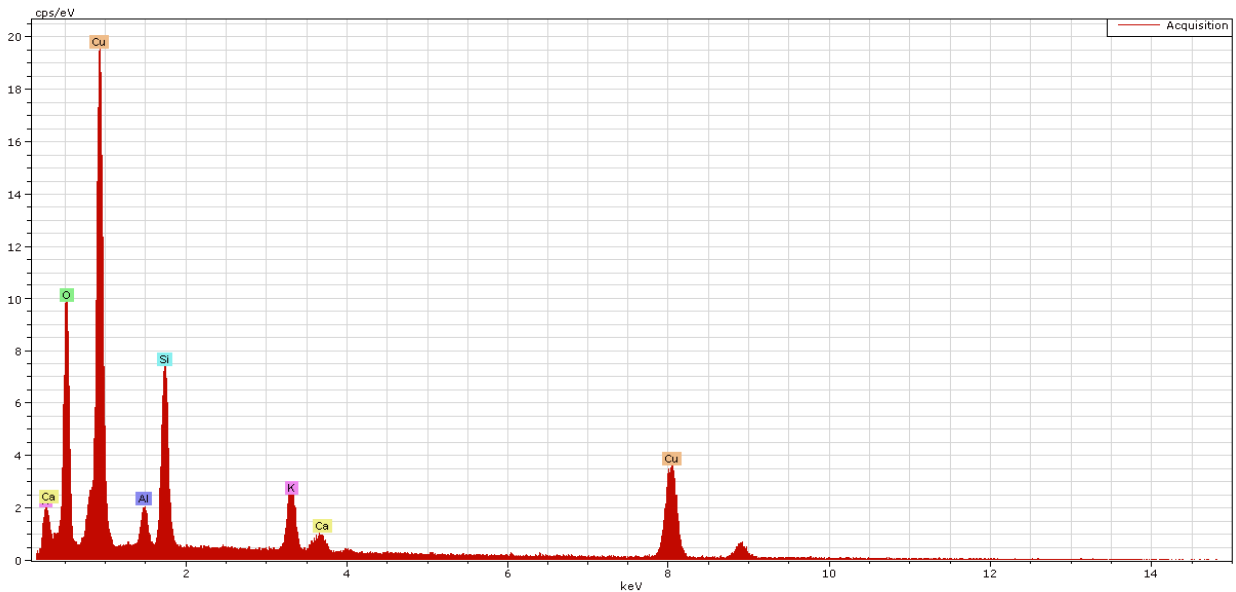
g) Aluminio [SEM].



2) Se observa la junta entre mezcla y vidrio [SEM].



3) Varios fragmentos de vidrio juntos en esta imagen [SEM].



Resultado del análisis a la muestra en donde se exhiben los elementos que componen el espécimen y los porcentajes de estos [SEM].

DE MUESTRA:

C- 5

FECHA:

06- 05- 13

COLOR:

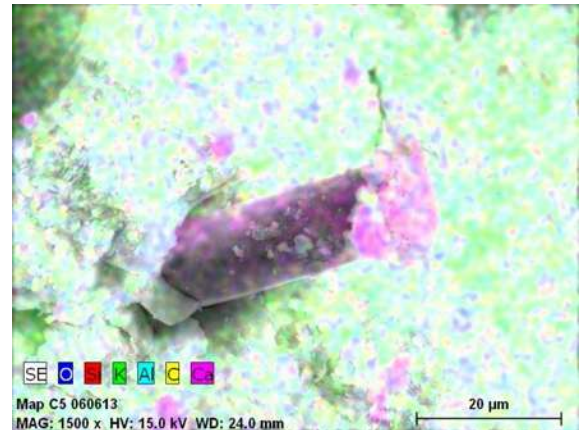
Azul

COMPOSICIÓN:

60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
80 %	Marmolina Tipo 1
80 %	Marmolina Tipo 2
5 %	Látex
1%	Fibra cortada



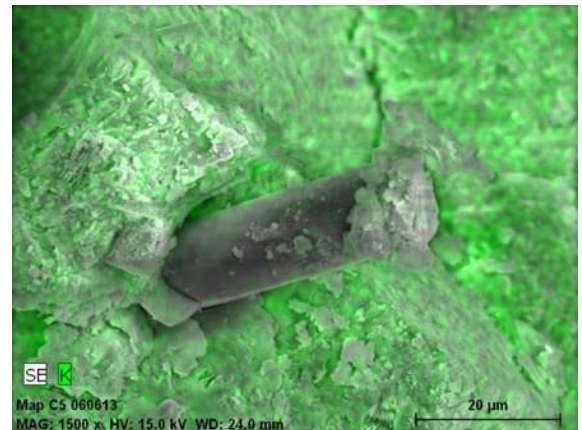
1) Bastante visible la fibra de vidrio expuesta y la adherencia con el composite [SEM].



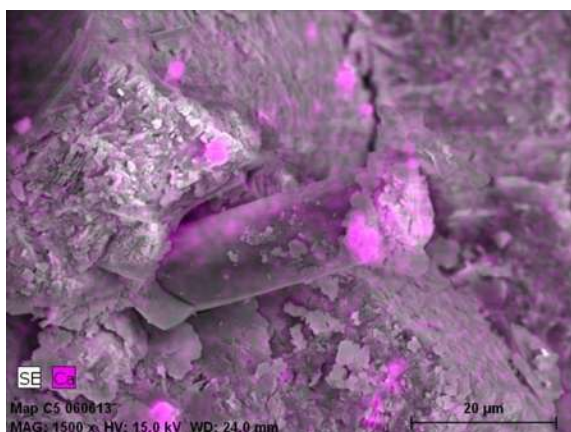
a) Los elementos alrededor del trozo de fibra [SEM].



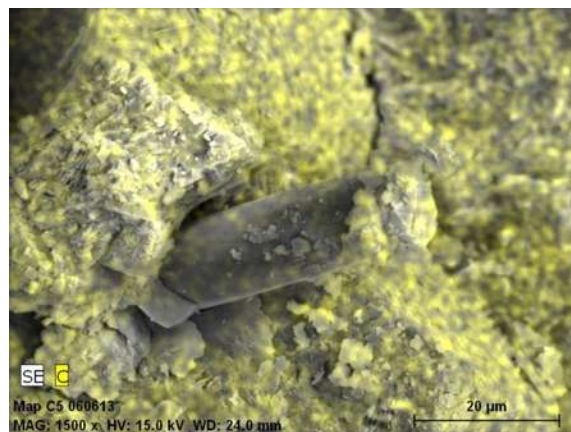
b) Oxígeno a 1 500 aumentos [SEM].



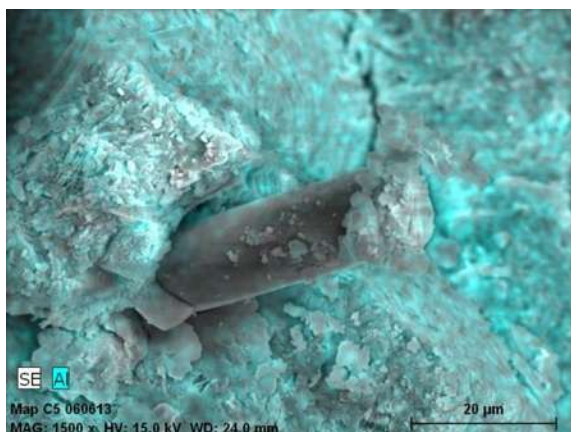
c) Potasio [SEM].



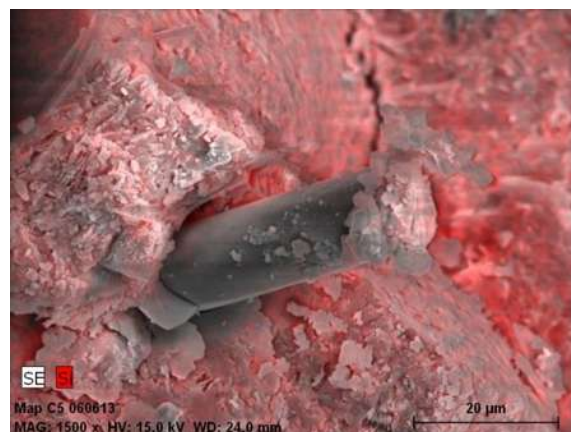
d) Calcio [SEM].



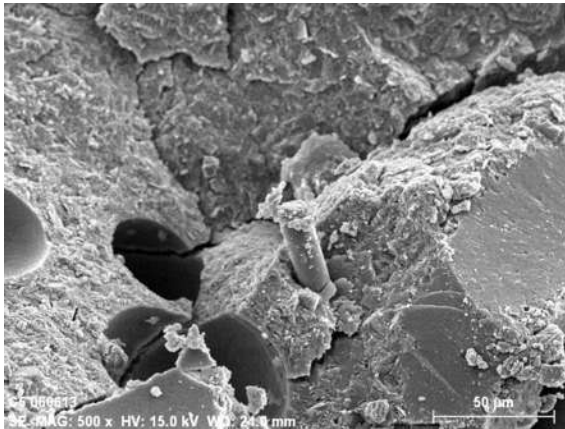
f) Carbono [SEM].



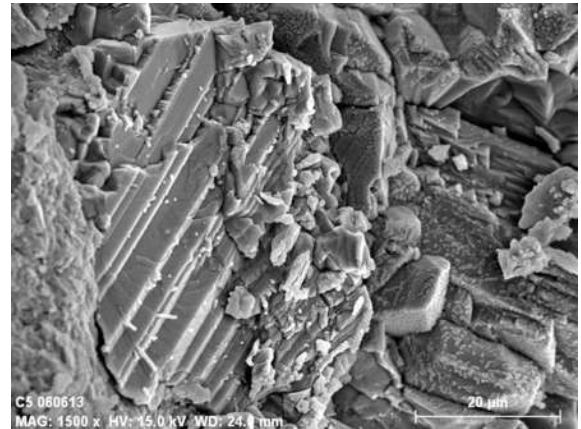
g) Aluminio [SEM].



h) Silicio [SEM].



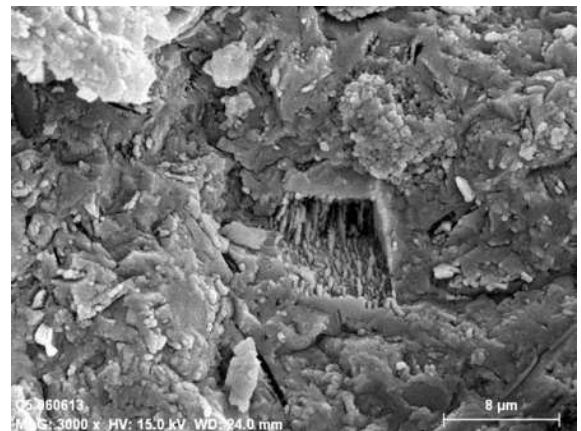
2) Una fragmento que solo se quedo con los huecos que generó quitar la fibra de vidrio, 500 x [SEM].



3) resultado por el corte por impacto, 1500 x [SEM].



4) Liga entre los componentes de la mezcla y la fibra, 2 500 x [SEM].

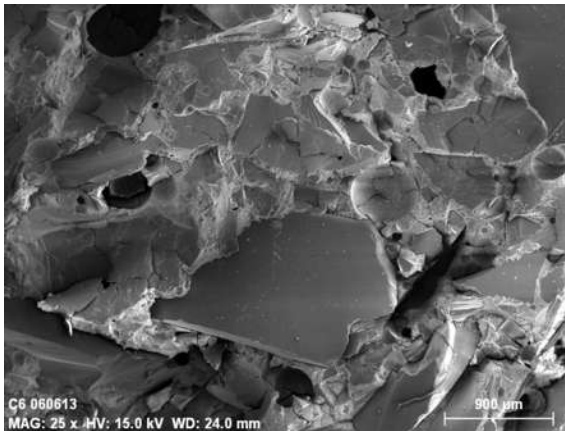


5) Un pequeño hueco al fondo por inclusión de aire, 3000 x [SEM].

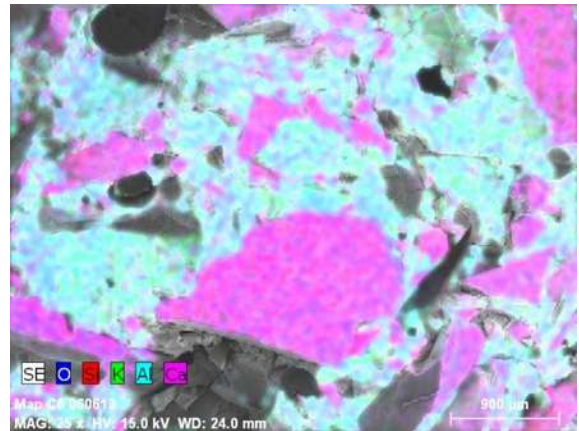
DE MUESTRA:

C- 6

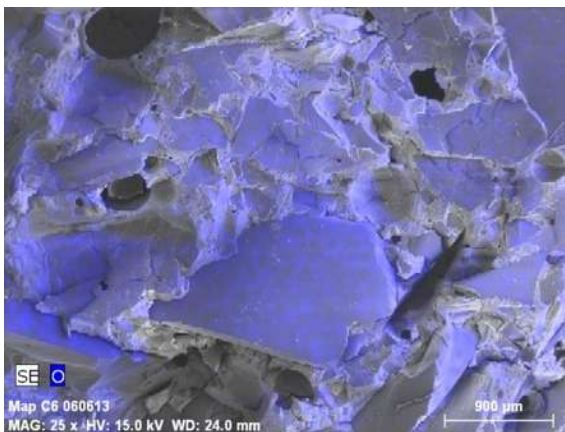
FECHA:	06-05-13	
COLOR:	Azul	
COMPOSICIÓN:	60 %	SP1
	10 %	KOH
	30 %	Hidróxido de Aluminio
	160 %	Polvo de vidrio
	5 %	Látex
	1%	Fibra cortada



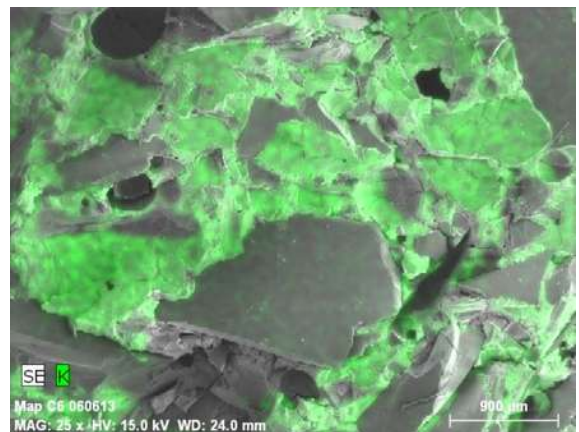
1) Todos los materiales se unen perfectamente, 25x [SEM].



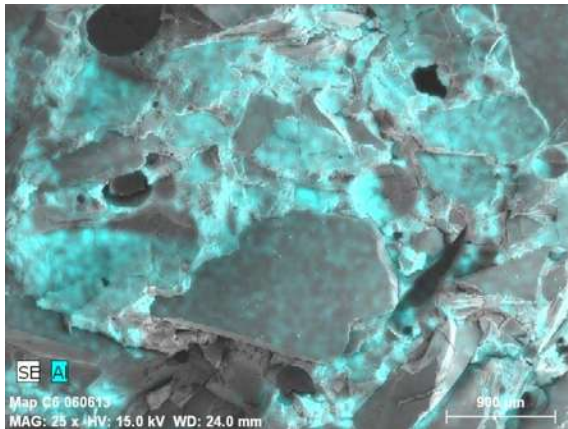
a) Visible presencia de Calcio y Aluminio de manera mayoritaria [SEM].



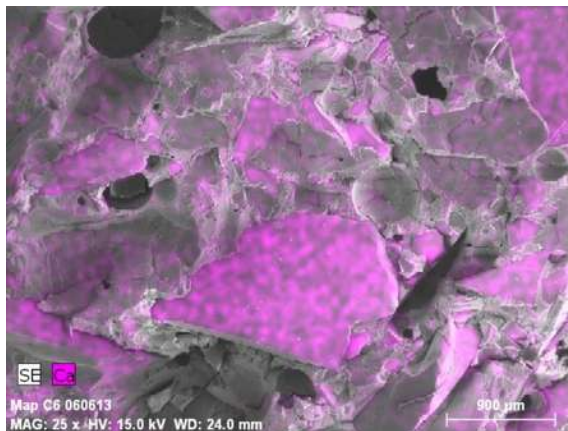
b) Presencia de Oxígeno [SEM].



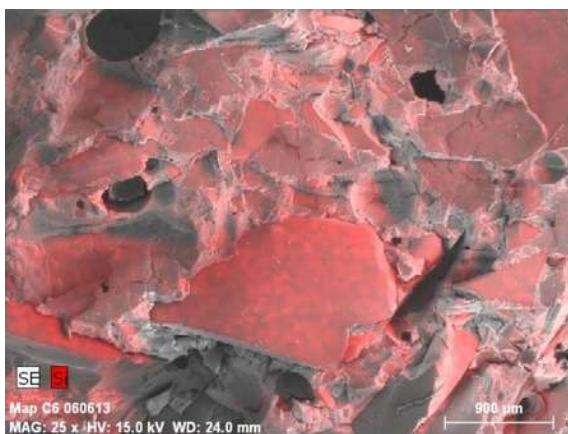
c) Potasio [SEM].



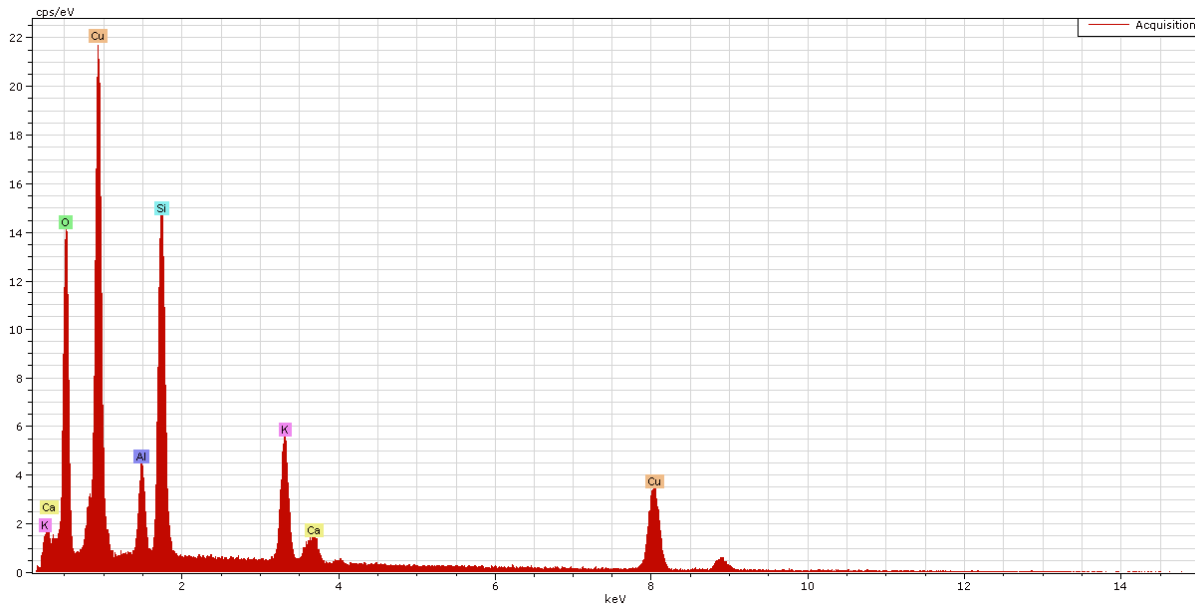
d) Aluminio [SEM].



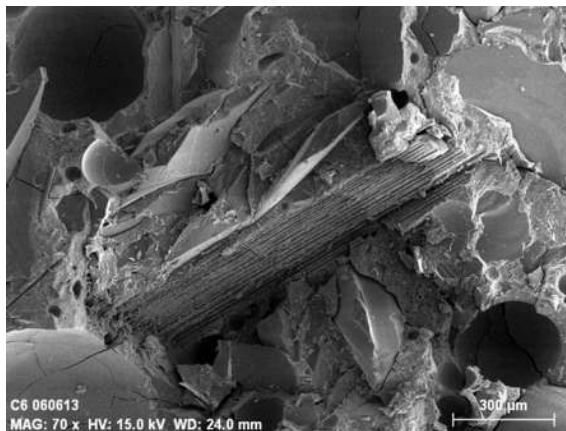
f) Calcio [SEM].



g) Silicio [SEM].



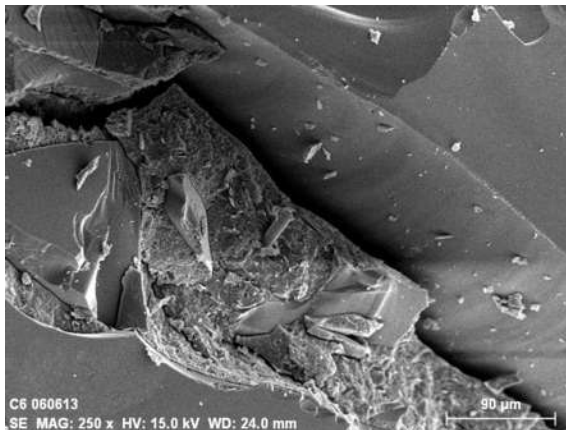
Resultado del análisis a la muestra en donde se exhiben los elementos que componen el espécimen y los porcentajes de estos [SEM].



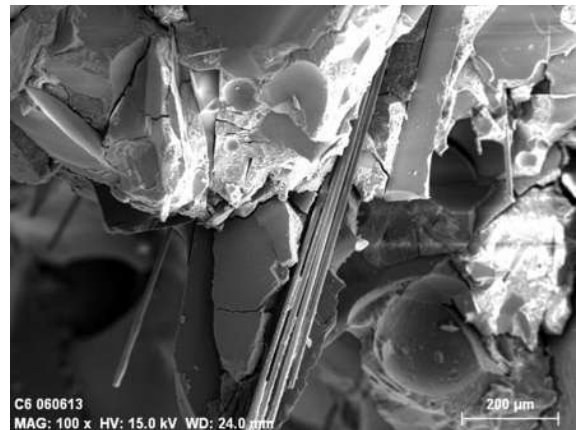
2) Grandes huecos deja el látex, 70x [SEM].



3) Un lado de la muestra, en donde se observa el corte, 35x [SEM].



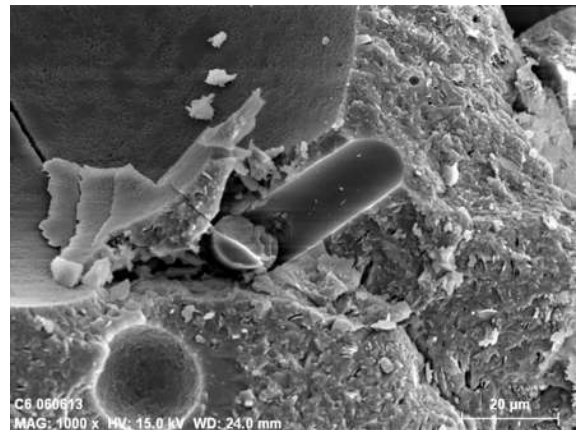
4) La frontera entre el vidrio y adhesivo, 250x [SEM].



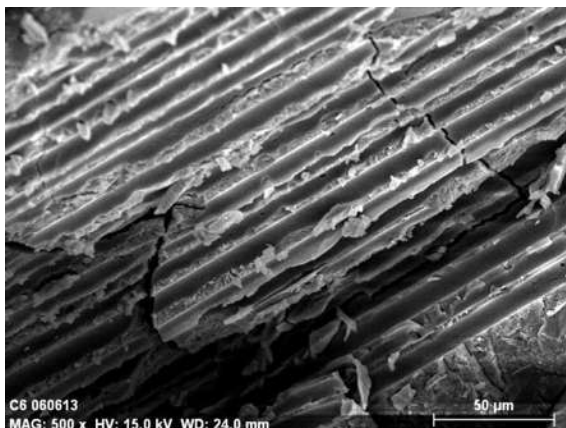
5) Se aprecian los filamentos de fibra de vidrio salir de entre la muestra, 100x [SEM].



6) Fibra en relación con la mezcla, al fondo un vidrio, 1000x [SEM].



7) Al frente una burbuja de látex, un poco más atrás una fractura y la huella de la fibra que se desprendió [SEM].



8) Pequeñas fracturas se aprecian, así como el cortante en la prueba por impacto para obtener una muestra representativa [SEM].

DE MUESTRA:

C- 7

FECHA:

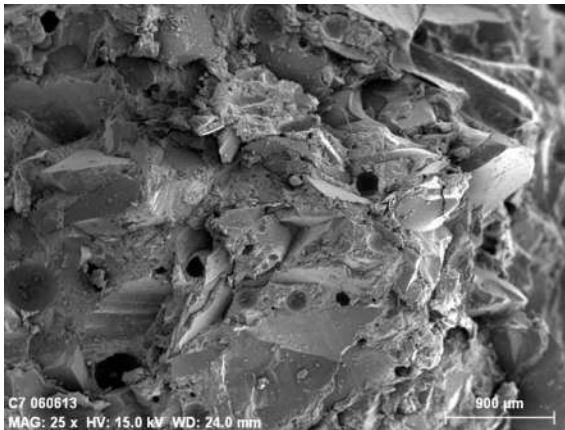
06- 05- 13

COLOR:

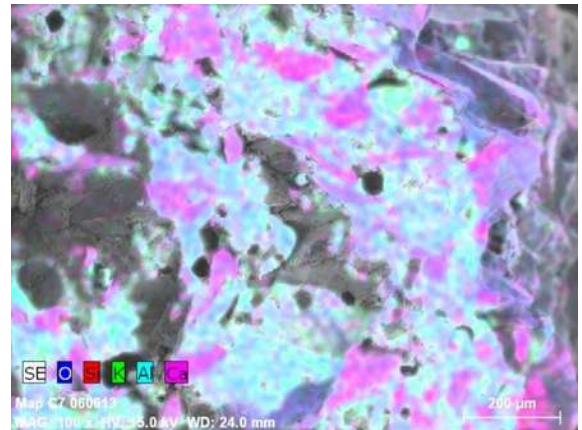
Azul

COMPOSICIÓN:

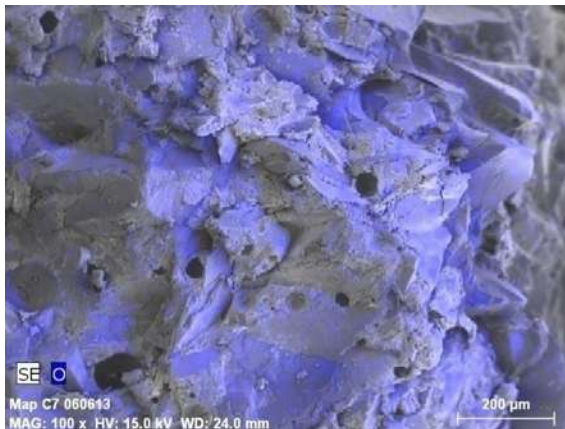
60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
80 %	Marmolina Tipo 1
80 %	Marmolina Tipo 2
5 %	Látex
10%	Fibra molida



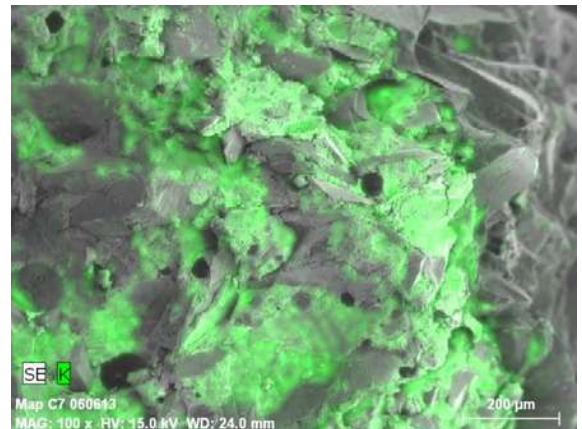
1) La marmolina aporta gran adherencia y resistencia a la muestra, 25x [SEM].



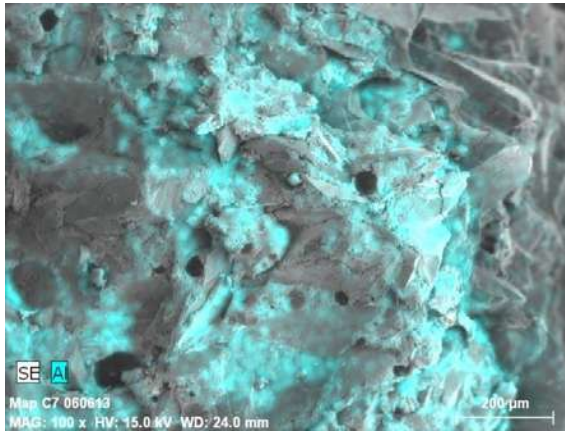
a) Esta imagen muestra mas distribución de los elementos químicos que interfieren [SEM].



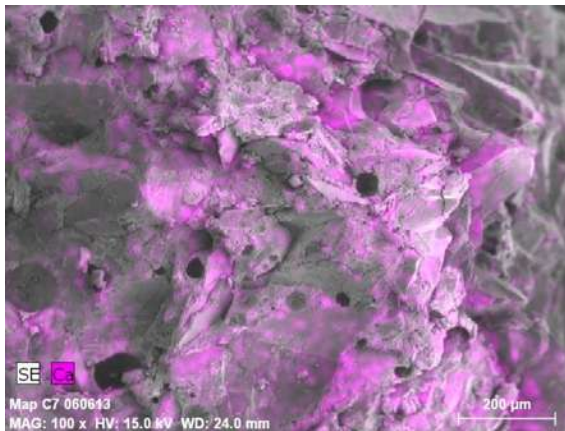
b) Oxígeno, 100x [SEM].



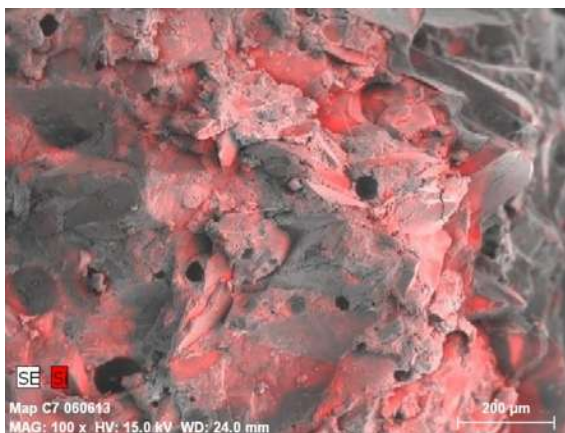
c) Potasio [SEM].



d) Aluminio [SEM].



e) Calcio [SEM].



f) Silicio [SEM].

DE MUESTRA:

C- 8

FECHA:

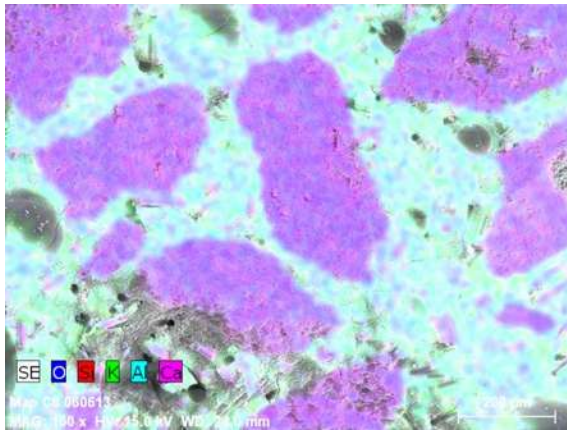
06- 05- 13

COLOR:

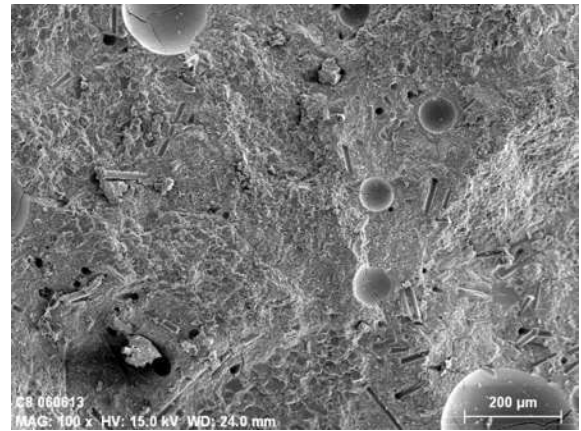
Azul

COMPOSICIÓN:

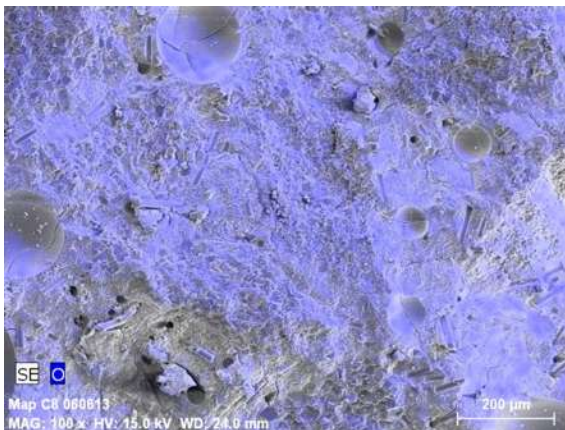
60 %	SP1
10 %	KOH
30 %	Hidróxido de Aluminio
160 %	Polvo de vidrio
5 %	Látex
10%	Fibra molida



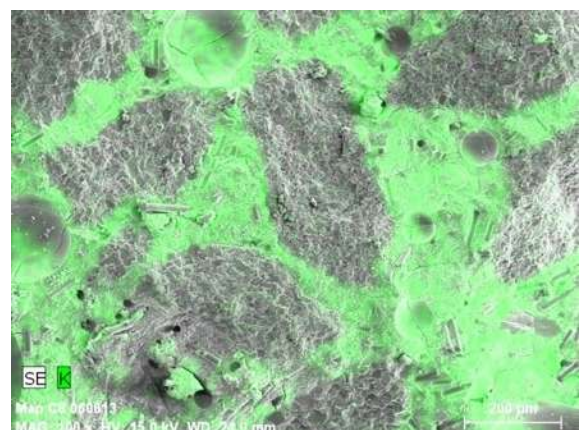
a) Sobre sale en esta imagen el Calcio y Aluminio [SEM].



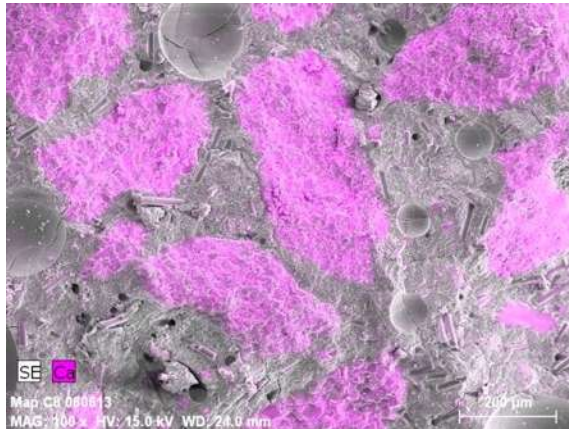
1) Sobre salen los globos de aire del látex y distribuidos los hilos de fibra [SEM].



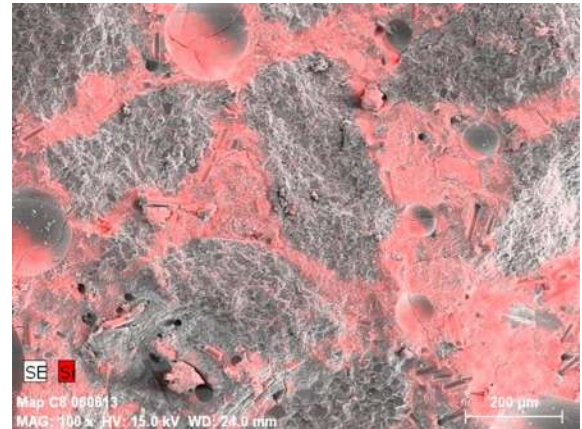
b) Oxígeno, 100x [SEM].



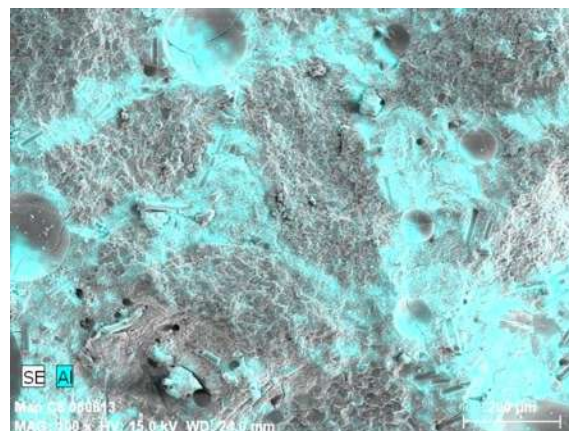
c) Potasio [SEM].



d) Calcio [SEM].



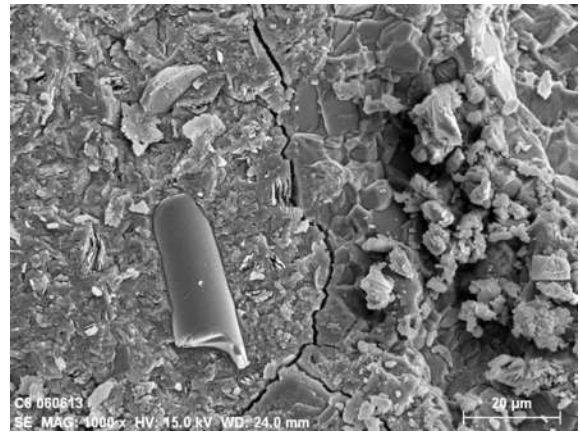
e) Silicio [SEM].



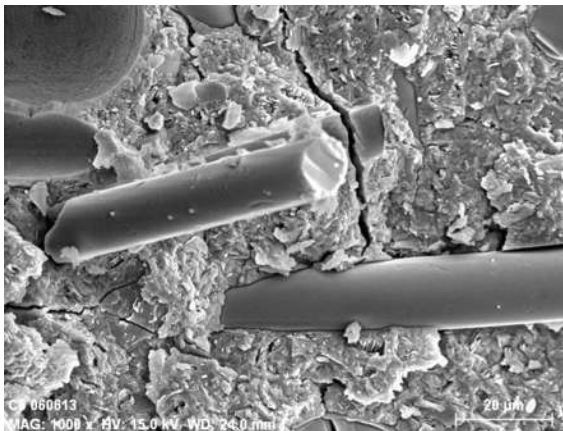
f) Aluminio [SEM].



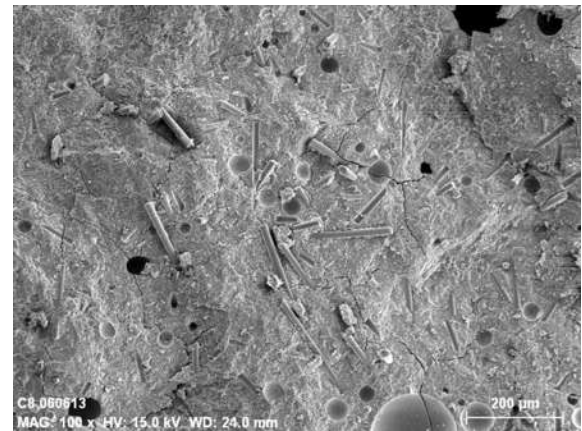
2) Hilo de fibra de vidrio a 2 000 aumentos [SEM].



3) La fibra hace puente entre los demás componentes de la mezcla, 1000x [SEM].



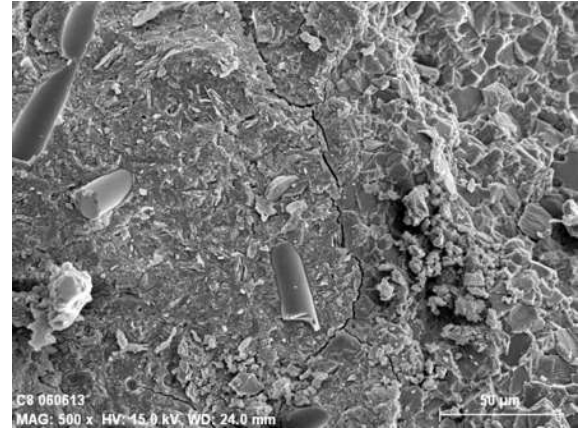
4) En la parte superior izquierda de la imagen se logran apreciar huecos que dejan las fibras, un poco más al centro, las fibras más completas y una falla, 1000x [SEM].



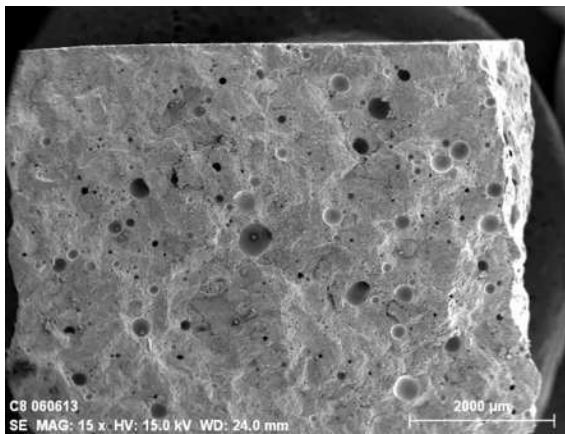
5) Grandes y pequeñas inclusiones de aire a través del látex, con visibles trozos de fibra, 100x [SEM].



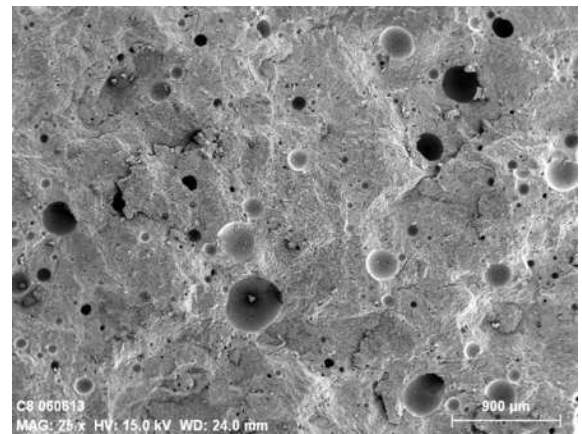
6) Burbujas de látex en conjunto con la fibra molida vista en filamentos, 250x [SEM].



7) Se logran ver un poco más los granos de marmolina y algunas fallas en la muestra, 500x [SEM].



8) Vista de la muestra completa, sin tanto aumento, 15x [SEM].



9) Solo un poco más de aumento, solo para apreciar los huecos, 25x [SEM].

6. DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL VITRO-ELECTROCERÁMICO EMISOR DE LUZ DE ESTADO SÓLIDO.



Imagen 6.1. Esta es una loseta cuya composición es la estándar, con marmolinas y un porcentaje de látex con refuerzo [propia].

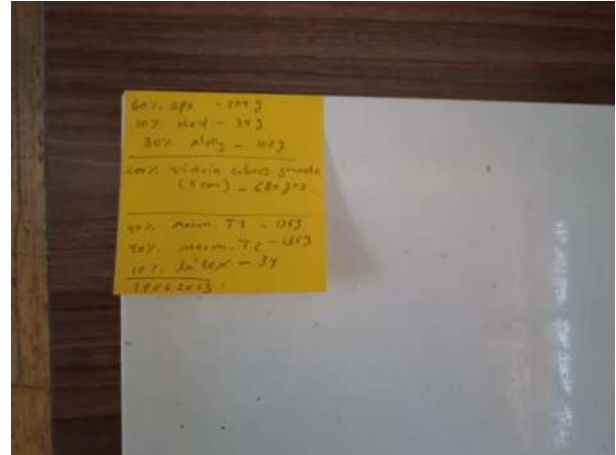


Imagen 6.2. El resultado es muy bueno ya que no es frágil [propia].

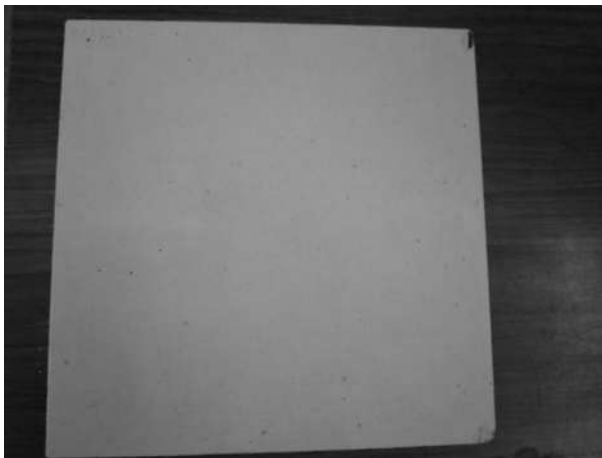


Imagen 6.3. La loseta tiene dimensiones de 20 cm x 20 cm para lograr que sea más representativa [propia].

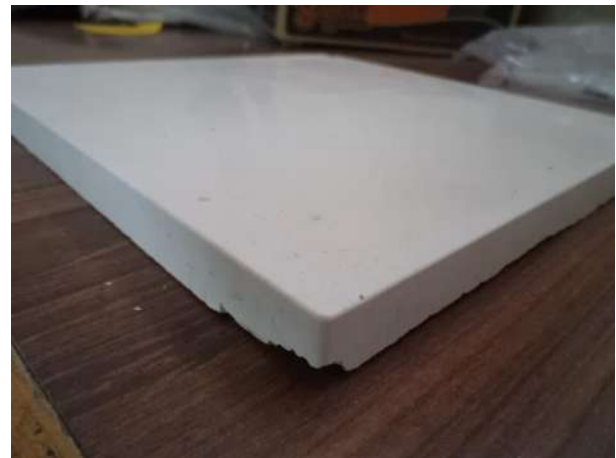


Imagen 6.4. El acabado es liso y la adherencia entre materiales resultó ser la correcta [propia].

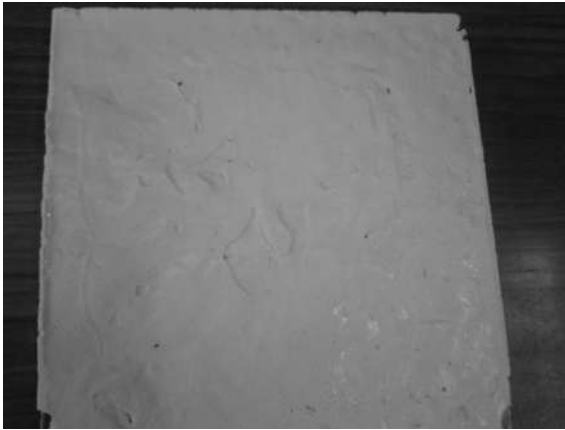


Imagen 6.5. La parte superior de la placa también es buena ya que presenta uniformidad en toda la placa [propia].

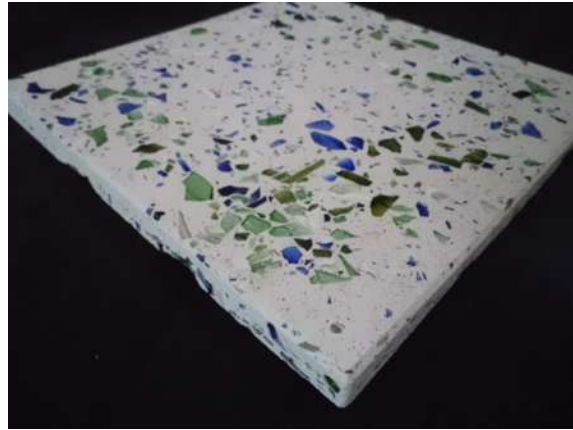


Imagen 6.6. La placa ha sido pulida en la parte superior y de las orillas para hacer brotar el vidrio [propia].

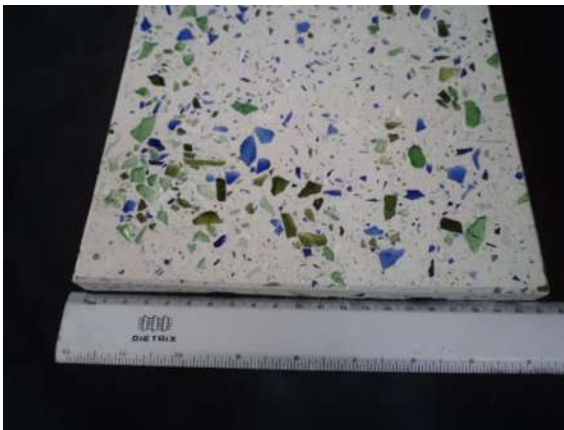


Imagen 6.7. Resulta ser muy agradable a la vista el producto pulido [propia].

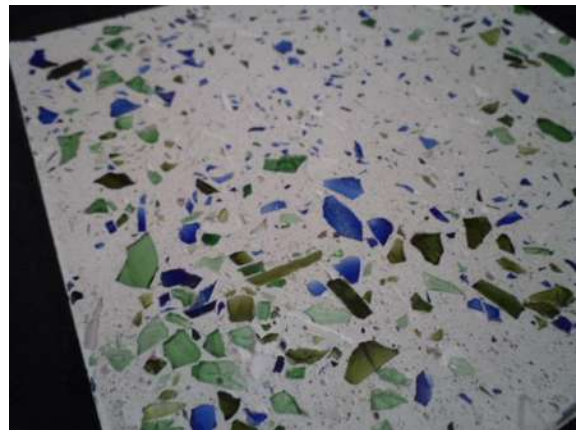


Imagen 6.8. El vidrio le proporciona bastante lucidez y hará que con los rayos del sol y durante la noche luzca mucho [propia].



Imagen 6.9. La loseta soporte fácilmente el pulido [propia].

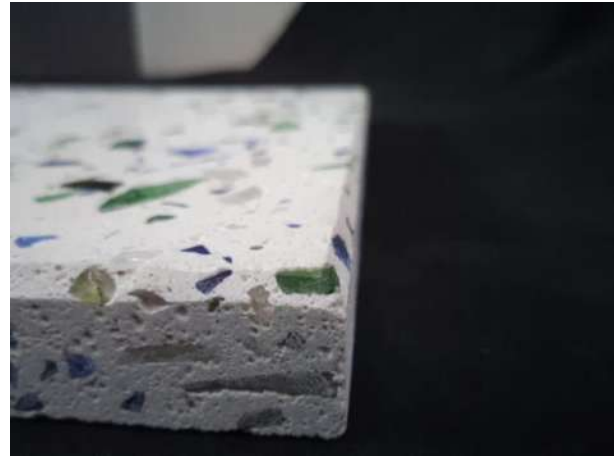


Imagen 6.10. Se eliminan las puntas para producir menos problemas de corte, por las esquinas así como por estética [propia].



Imagen 6.11. Un pequeño inconveniente en este espécimen es el olor del látex, por lo que se decide ignorar [propia].

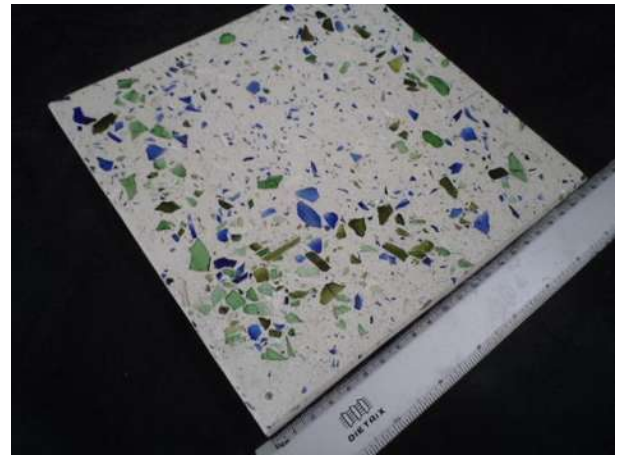


Imagen 6.12. Generalmente la idea es que tenga una función en las paredes como indicador [propia].



Imagen 6.13. En la oscuridad podrá contrastar y dar mejor resultado [propia].



Imagen 6.14. Resulta ser muy agradable a la vista el producto pulido [propia].

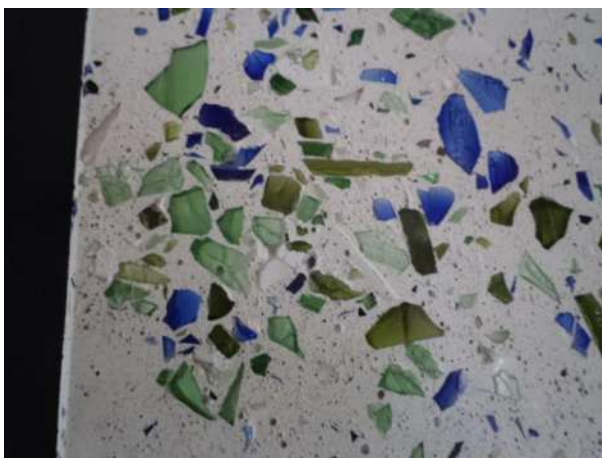


Imagen 6.15. La durabilidad del material es una de las fortalezas del producto y sin duda el vidrio le confiere un porcentaje adicional a esta característica [propia].

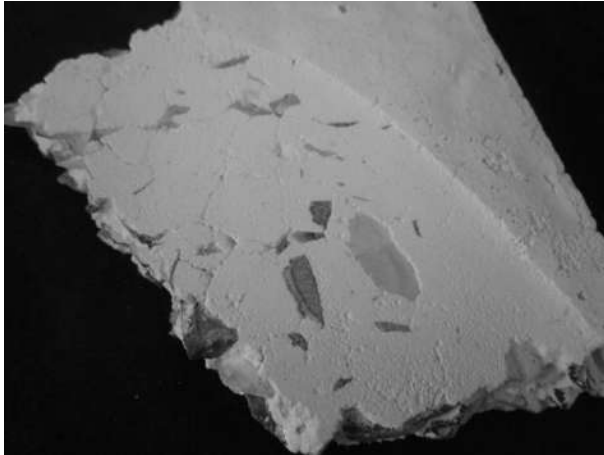


Imagen 6.16. Esta muestra es diferente de la anterior en composición, y no soportó el pulido, a parte de una mala ejecución en el procedimiento de pulido [propia].



Imagen 6.17. Se aprecian embebidos los fragmentos de vidrio en la mezcla, se nota que el vidrio se distribuye uniformemente [propia].



Imagen 6.18. La muestra se guarda para futuras pruebas mecánicas y físicas ya que no es de gran utilidad como resultado [propia].



Imagen 6.19. El porta baterías (para AA de 3 V) es un aditamento necesario para hacer las pruebas pero se puede utilizar en caso de no tener corriente eléctrica directa [propia].



Imagen 6.20. El cable es necesario para hacer las conexiones entre los Led's, es un cable delgado y preferentemente debe ser alambre [propia].

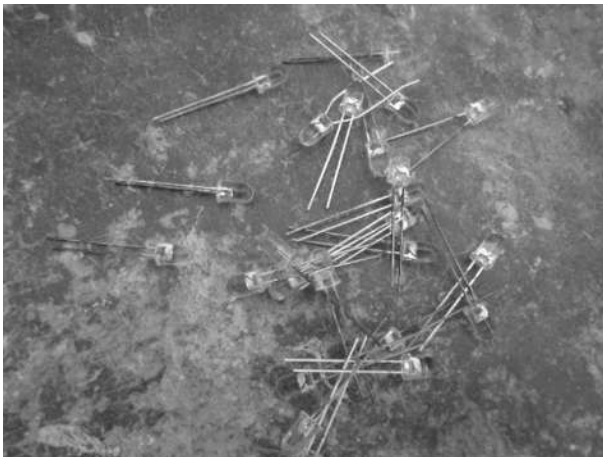


Imagen 6.21. Los Leds son de las partes principales de este producto, son los que nos darán la luminosidad para el lugar colocado. Los adecuados para este trabajo son los mega brillantes [propia].

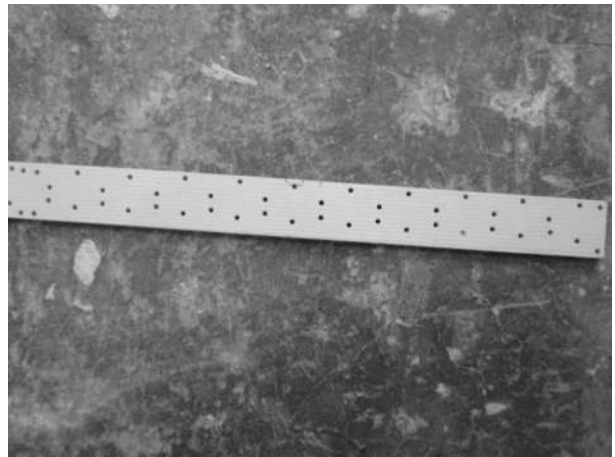


Imagen 6.22. Los circuitos impresos por la parte posterior. los orificios nos ayudaron a retener los Leds, ya que va ligado con el circuito interno [propia].



Imagen 6.23. Las tiras de circuitos impresos son indispensables para que los leds no se muevan y permanezcan en su lugar así como para transmitir la corriente, aunque esto último como segunda opción [propia].



Imagen 6.24. Las tiras son lo suficientemente extensas para colocar los Leds con suficiente distancia para que den buena iluminación [propia].



Imagen 6.25. Las pruebas preliminares son para determinar algunas características de la loseta final. Se aprecia uno de los pasos del proceso, el curado, para que la humedad no se vaya por completo [propia].



Imagen 6.26. Se incluyen unos pocos leds para saber la distancia necesaria entre estos para que proporcionen adecuadamente [propia].



Imagen 6.27. Se incorporan 3 de los 4 colores y solo 2 Leds, para que la muestra se vea un poco clara y brillante [propia].



Imagen 6.28. La muestra toma la forma del contenedor, y obtiene buen aspecto [propia].



Imagen 6.29. La muestra por la parte superficial, es un poco irregular por el plástico en contacto con la mezcla para el curado [propia].

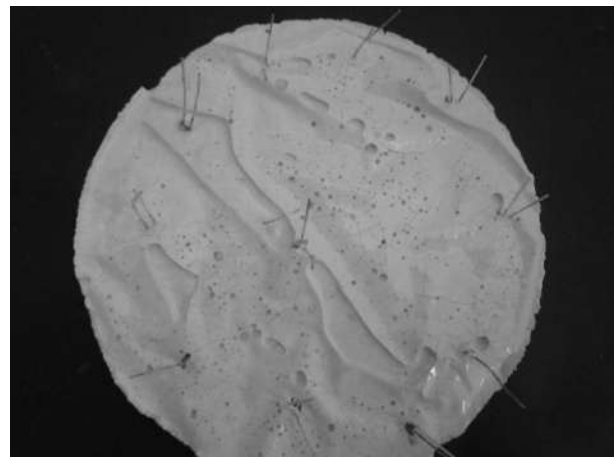


Imagen 6.30. Se distribuyen los leds en toda la superficie para observar el radio de alcance de luz de estos [propia].



Imagen 6.31. El Led por la parte posterior parece no dar buen resultado, ya que no abarca mucho radio de luminosidad [propia].



Imagen 6.32. La luz del Led en la parte frontal de la muestra es muy tenue, le falta intensidad para pueda transmitir luz visible [propia].



Imagen 6.33. En esta mezcla se prueba con otra composición diferente así como con otro tipo de led, más potentes [propia].



Imagen 6.34. La mezcla no fue la indicada porque se fractura muy fácilmente, sin embargo los leds nos muestran buen resultado [propia].



Imagen 6.35. El resultado visto desde la oscuridad, en donde hacen presencia los pedazos de vidrios incorporados, propios de la mezcla [propia].

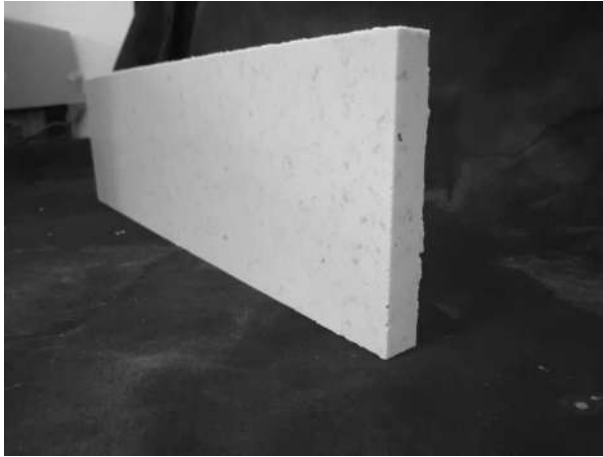


Imagen 6.36. Vista lateral de la composición final que se utilizara para el producto electrónico, cada mencionar que no contiene látex [propia].

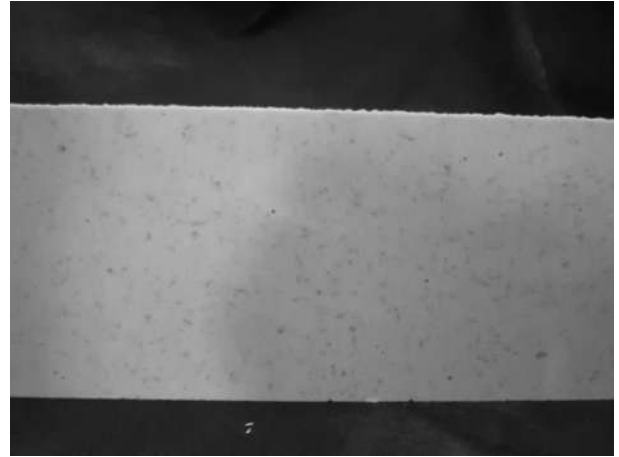


Imagen 6.37. Con un molde liso el artículo presenta una buena vista [propia].



Imagen 6.38. Se aprecia la loseta completa las cuales son las dimensiones definitivas con las que se trabajará [propia].



Imagen 6.39. Vista de la superficie de la muestra, con algunas oquedades por las burbujas en esta parte. Esta loseta será la estándar ya que no se incorporó ningún tipo de dispositivo electrónico [propia].

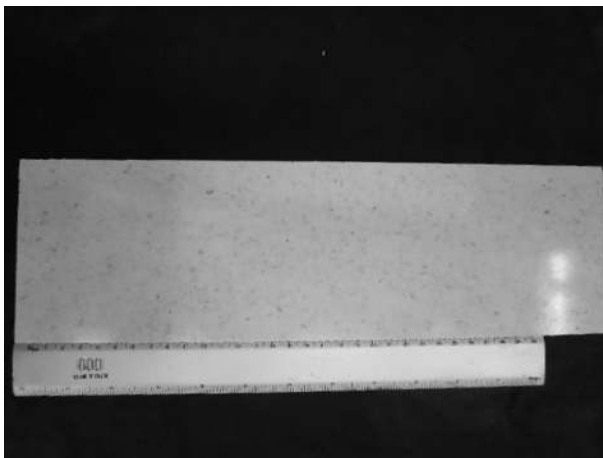


Imagen 6.40. Las dimensiones de la loseta son: largo 34 cm, ancho 10 cm y 1.4 cm de espesor [propia].

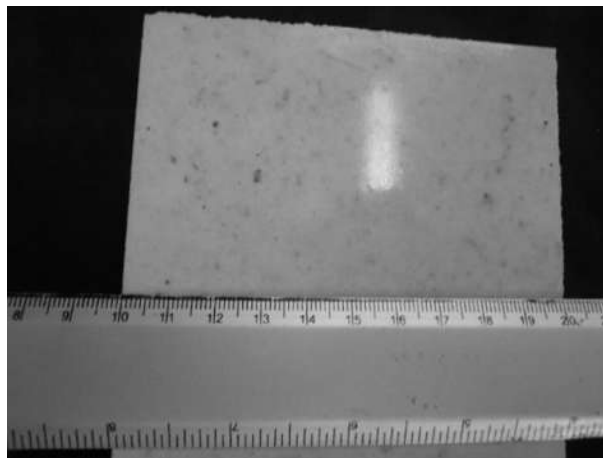


Imagen 6.41. El ancho es el comercialmente utilizado para este tipo de productos [propia].



Imagen 6.42. Se aprecia que no tiene imperfecciones en la parte frontal y es bastante resistente [propia].



Imagen 6.43. Tiene gran presencia como material cerámico, con algunos elementos eléctricos será mejor [propia].

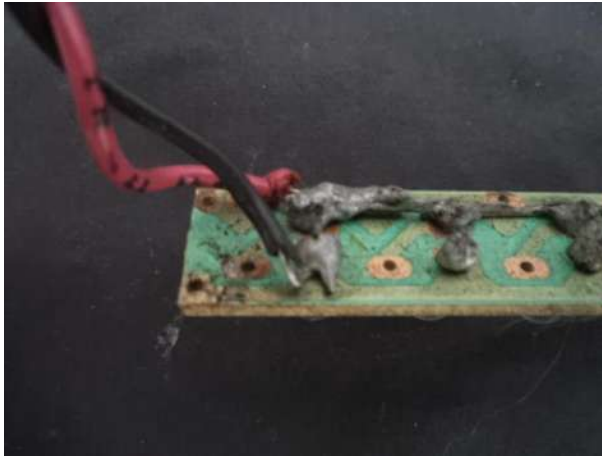


Imagen 6.44. Los circuitos que van ligados se unen con soldadura de estaño y aluminio, así como un fundente y la ayuda de un cautín [propia].

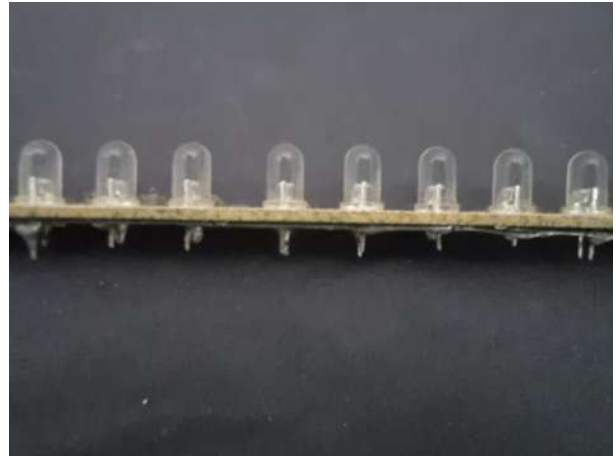


Imagen 6.45. Los leds quedarían como se muestra en la imagen, embebidos en la mezcla, dejando fuera solo la base de los leds [propia].



Imagen 6.46. Los circuitos que van ligados se unen con soldadura de estaño y aluminio, así como un fundente y la ayuda de un cautín [propia].

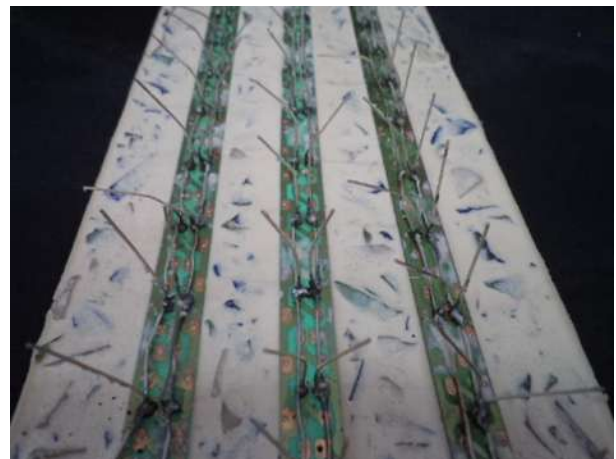


Imagen 6.47. Los circuitos van embebidos a cierta distancia de los bordes y entre sí para un óptimo aprovechamiento tanto de los leds como del espacio [propia].

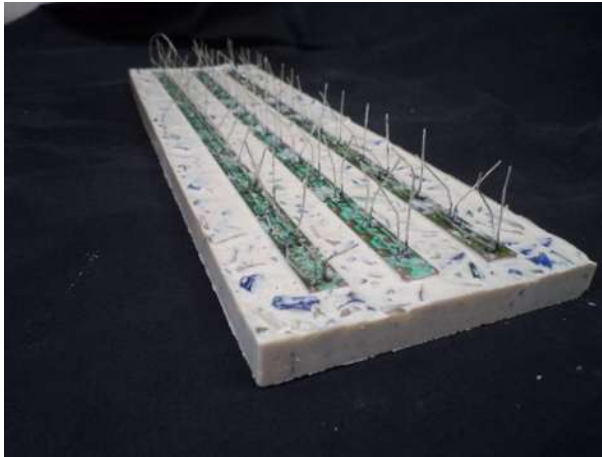


Imagen 6.48. Debe mencionarse que la incorporación de los Leds es cuando la mezcla es un poco más espesa para que no se muevan con la fluidez de la mezcla [propia].

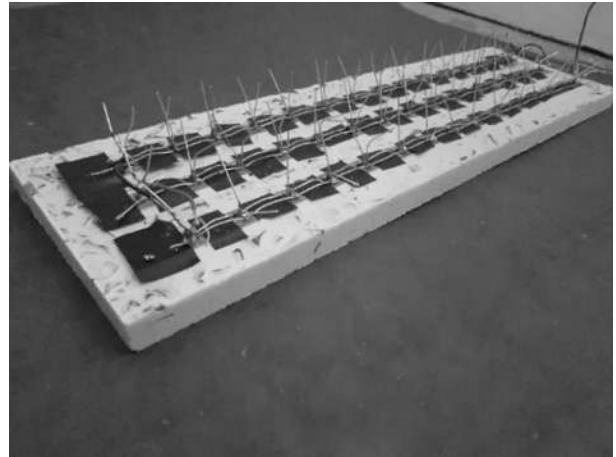


Imagen 6.49. Se debe ver la manera que no pegue o roce el circuito impreso con el alambre que hace el puente entre leds, para evitar corto circuito [propia].

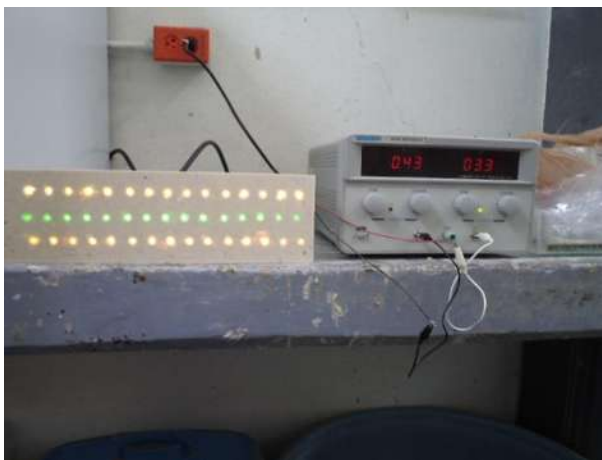


Imagen 6.50. Probando la loseta vitro-electrocerámica con una fuente generadora de voltaje y corriente, con el voltaje que resisten los leds, o sea, 3 V [propia].



Imagen 6.51. Vista superior de la loseta vitro-electrocerámica [propia].

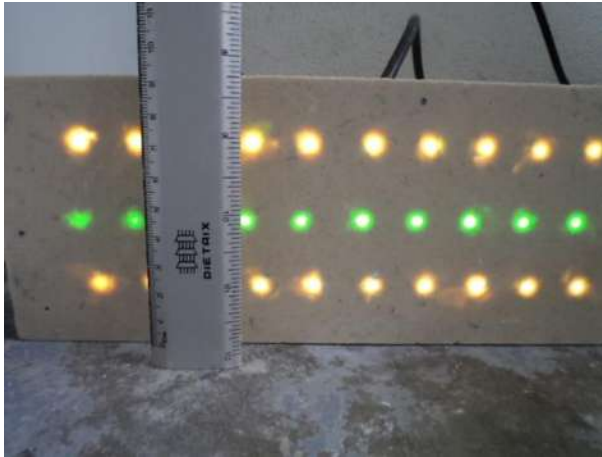


Imagen 6.52. Puede ser posible que se pula para poder aflorar un poco los leds y tengan mayor alcance y luminiscencia [propia].

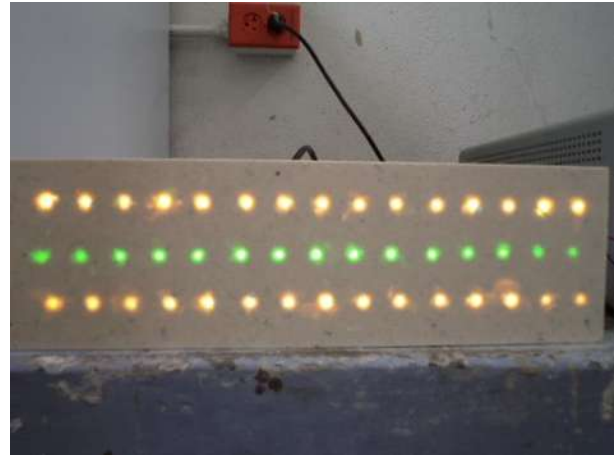


Imagen 6.53. Una de las funciones de la loseta puede ser la de servir como señal en algunos establecimientos [propia].

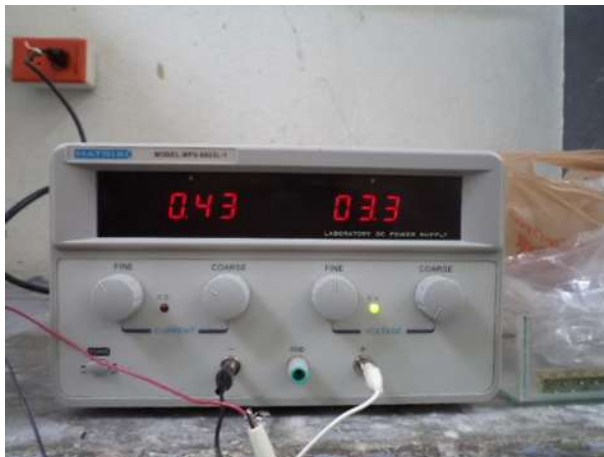


Imagen 6.54. El amperaje es mayor pero se mantiene dentro del rango el voltaje, de acuerdo a las especificaciones del fabricante del led [propia].



Imagen 6.55. Se incrementa el voltaje para tener mayor luminosidad y mejores resultados y disminuye un poco el amperaje [propia].

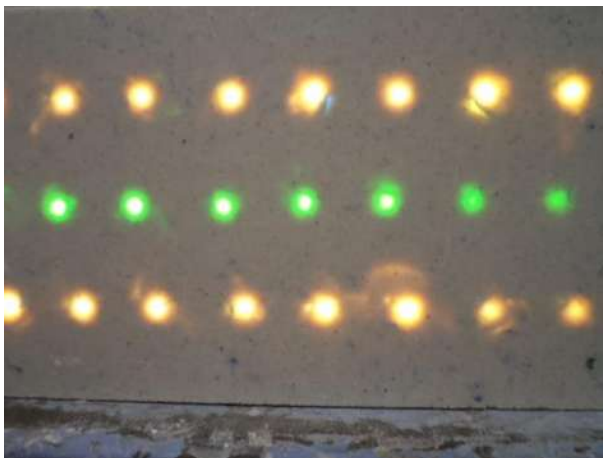


Imagen 6.56. [propia].

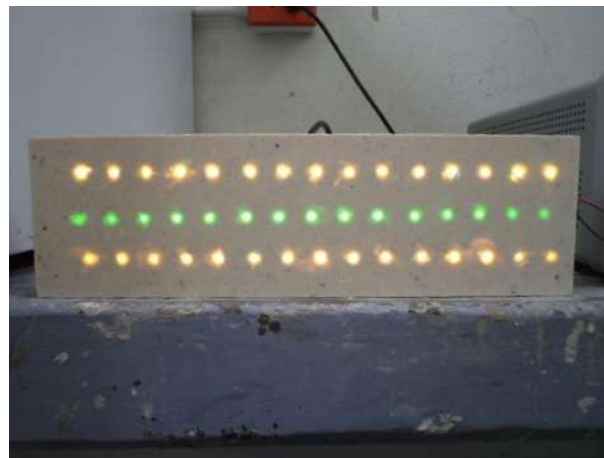


Imagen 6.57. Se observa mayor potencia de la luz emitida por los leds [propia].



Imagen 6.58. Así se vería en la oscuridad con la potencia de dos baterías AA alcalinas [propia].



Imagen 6.59. La luz se refleja y refracta a través de los vidrio produciendo este tipo de efectos [propia].

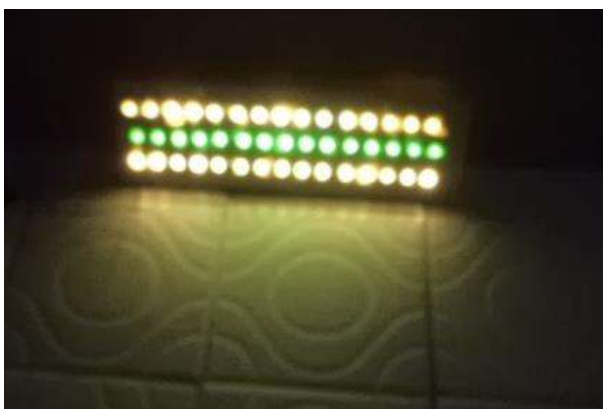


Imagen 6.60. Luz suficiente para guía a las personas sin que sea molesta a la vista humana [propia].

En la siguiente imagen se observa como fuera colocador los leds, embebidos en la mezcla y como se aprecian el vidrio triturado dentro de la mezcla. Se calcula que gasta alrededor de 18 watts por hora la loseta completa, esto es un ahorro significativo ya que los focos incandescentes gastan 60 watts por hora como mínimo.

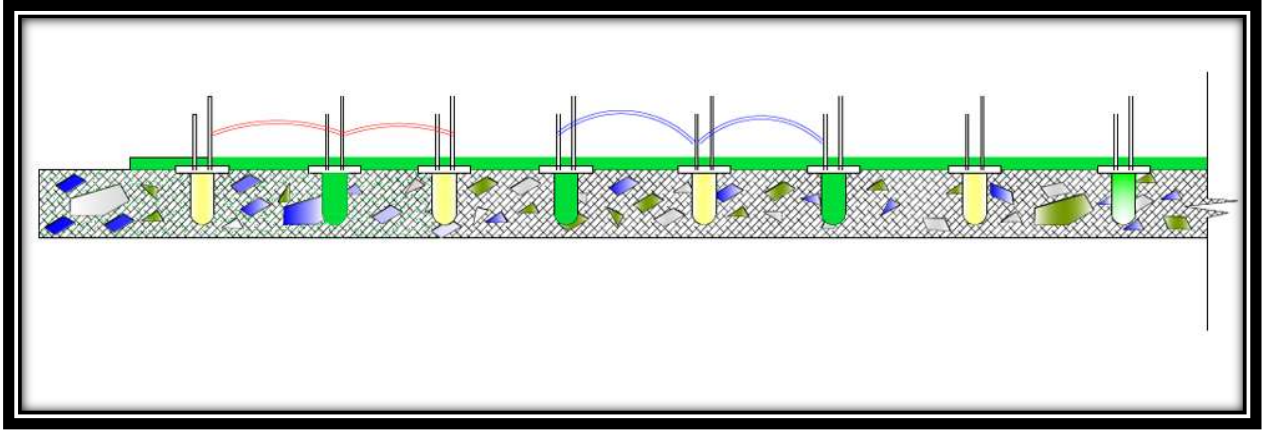


Imagen 6.61. Leds incorporados.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1. Benchmarking de proveedores y/o productores de vidrio por estado de la República Mexicana

Aguascalientes

Empresa	Dirección	Producto	Distribución
glass-home	Avenida Calle 100 N° 60D - 17	Vidrio de protección	Colombia
	BOGOTÁ D.C - COLOMBIA SUR AMÉRICA	Control solar	México- Aguascalientes
		Antirrobo	USA
		Película de seguridad	17 países en América
		Decorativos	
		Señaléticos	
		Polarizado	
		Vidrios artísticos	
Vidrio Mex	Rincón Sur No. 120 S/n, San Marcos (20070)	Cancelería y vidrios	Aguascalientes, Aguascalientes
	Aguascalientes, Aguascalientes		Michoacán
			Guanajuato
			Colima
Aislantes Térmicos		Aislante térmico	Interior del estado
		Lana de vidrio	Europa
		Lana de roca	Toda América
		Lana mineral	
		Elastómeros	
Promeform S.r.l en El Llano	El llano, Aguascalientes	Vidrios laminados de seguridad	Aguascalientes
		Cristales contra balas	Caracas, Venezuela
		Películas de policarbonato para cristales	
Profesionales en Fibra de Vidrio	Norberto Gómez #504 Col Gremial Aguascalientes, Ags.	Fibra de vidrio	Chile
		Artículos de fibra de vidrio	Argentina
			México
			Guatemala

			Chile
			Colombia
			Brasil
DIMOREFA	República de Uruguay # 1734, Col, Agricultura CP. 20230	Autopartes de fibra de vidrio	Toda la Rep. Mexicana
		Carrocerías de fibra de vidrio	

POLIFORMAS PLASTICAS SA DE CV	Calzada Ignacio Zaragoza No.448 Col. Federal C.P. 15700	Laminas de fibra de vidrio	Zona Metropolitana:
	Tel: 57 85 04 30 c/14 líneas	Resinas epóxicas	Suc. Zaragoza
	Metro Gómez Farías	Equipos de aspersión	Suc. Centro
		Resinas poliéster	Suc. Observatorio
			Suc. Ermita
			Suc. Neza
			Suc. Tlalnepantla
			Suc. Chalco
			Suc. Ecatepec
			Suc. Tienda de fabrica
			Suc. Texcoco
			Sucursales foraneas:
			Puebla, centro
			Puebla, Bugambilias
			Puebla, Tehuacán
			Coatzacualcos, Veracruz
			Guadalajara, Jalisco
			Tonalá, Jalisco
			Monterrey, NL
			Aguascalientes, Ags
			León, Gto
			León 2, Gto
			Tulancingo, Hgo
			Tabasco
			Acapulco, Gro
			Acapulco, Pto Marqués Gro

			Cuernavaca, Mlos
			Toluca, Edo de Mex.
			Oaxaca, Oxca
			Morelia, Mich
			Chiapas, Chiapas
JOSE DE JESUS TREJO MORAN	Av. Mahatma Gandhi sur 906-b, Col, San Francisco	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
	Aguascalientes		
RAFAEL LOPEZ SILVA	AVENIDA MARIANO ESCOBEDO 110 - COLONIA JARDINES DE LA CRUZ 20250	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
IVAN GABRIEL CRUZ ALONSO	PABELLON DE ARTEAGA 629 - COLONIA SAN JOSE DEL ARENAL20130	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
Vidriera Moderna, S.A. de C.V.	Av. Ayuntamiento # 503, Esq. Díaz de León Col. El Encino, Aguascalientes	Bloques de cristal	Interior del estado
		Cristal de color de dibujos y armado	
		Vidrio arquitectónico	
		Vidrio de fachada	
		Arquitectónico y paquetes de vidrio	
		Vitrinas de cristal	
		Espejo	
Profesionales en Fibra de Vidrio	Avenida Independencia # 520. Col. El Sol. C.P. 20030.	Figuras de fibra de vidrio	Interior del estado
	Aguascalientes Ags	Auto partes de fibra de vidrio	
		Tuberías de fibra de vidrio	
		Mobiliario de fibra de vidrio	
		Publicidad de fibra de vidrio	
Epsa	Avenida Aguascalientes Pte 1698 A. Col. España.	Piezas hidráulicas de fibra de vidrio	Rep. Mexicana
	C.P. 20210 .Aguascalientes		
Cofres Vázquez Mi De	Crr. 45 Km 28 650 S/N. Col. Progreso Norte .Aguascalientes	Auto partes de fibra de vidrio	Interior del estado
Ds Fibra Vidrio	Avenida Mariano Escobedo 110. Col. Jardines de la Cruz.	Auto partes de fibra de vidrio	Interior del estado

Baja California Norte

Fabrica de Envases de Vidrio S.A. de C.V.	Carr. A San Felipe KM 9 Colorado 1	Envases de Vidrio	Mexicali
			San Luis Potosí
			EEUU
			Cientes:
			Coca Cola
			Modelo
			Anheuser Busch
EVELIA CUARENTA JARA	MORELOS 1777 A - COLONIA INDEPENDENCIA 22130 - Tijuana	Vitrales	Interior del estado
Zevillas fiberglass	Carretera a San Luis Km. 22.5 - - MEXICALI	Piezas de fibra de vidrio	Interior del estado

Baja California Sur

FIBER CARE BATHS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V	CALLE SEGUNDA CARRETERA TIJUANA-TECATE 1297 - COLONIA EL ENCANTO SUR 21440 - TECATE	Tinas de fibr de vidrio	Interior del estado
Quality Glass	Mza.36 Lte. 17 624. Col. Buenos Aires .C.P. 23436. San José del Cabo BCS	Vidrio laminado	EEUU
		Vidrio templado	México
		Antifuego	
		Reflectivo	
Vidrio & Glass	Durango 3295. Col. Las Garza. C.P. 23079 . La Paz BCS	Vidrio laminado	Interior del estado
		Vidrio templado	Estados vecinos del norte
		Biselado	
		Templado	
Crystal Dreams	Col. Zacatal, LOS CABOS	Vidrio artesanal	República mexicana
		Vidrio templado	Isla del Caribe
		Vidrio soplado	Centroamérica
			EEUU

Campeche

Vidrios Y Aluminios en Ciudad Del Carmen	Av Puerto De Campeche 17, Centro(24100) Ciudad Del Carmen	Puertas automáticas fabricadas de:	Interior del estado
		Vidrio laminado	

		Vidrio templado	
		Biselado	
		Templado	
		Arenado	
Vidrios y Aluminios	Avenida Hidalgo # 28 A CAMPECHE	Vidrio laminado	Interior del estado
		Vidrio templado	
		Biselado	
		Templado	

Chiapas

Vidrio Plano De Chia	Anillo De Circunvalación Sur P, Penipak (29000) Tuxtla Gutiérrez	Vidrio laminado	Interior del estado
		Vidrio templado	
		Biselado	
		Templado	
		Borosilicato	
De Velas Boutique en San Cristobal De Las Casas	Benito Juárez 86 No. A, Santa Lucia (29250) San Cristóbal De Las Casas	Envases de vidrio	Interior del estado
		Moldes de vidrio	

Chihuahua

El Arte del Vidrio en Ciudad Juárez	Sierra de los pinos, Juárez, Chihuahua	Vitrales emplomados	Interior del estado
		Elementos decorativos	
		industria artesanal	
Proveedora De Vidrio en Ciudad Juárez	Calle 5 de Mayo No. 695 Sur Col. El Barreal, Cd. Juárez	Libreros de vidrio	Interior del estado
		Vidrio automotriz	
		Cubiertas especiales	
Polifibras de Chihuahua, S.A. de C.V en Ciudad Juarez	Carretera Juárez-casas Grandes Km. 1.1, Colonia Km. 20, Juárez	Tinas de fibra de vidrio	Interior del estado
		Domos de fibra de vidrio	
		Otros productos	
PRODUCTOS FIBERGLASS	Calle 8a. no.6623 Colonia Desarrollo Urbano	Regaderas de fibra de vidrio	República mexicana

		Bañeras de fibra de vidrio	
		Botes	

Coahuila

Grupo Metelmex en Altamira	Francisco De Luna 2000 S/n, Guadalupe Borja De Díaz Ordaz (25680) Altamira	Rejillas de fibra de vidrio	República mexicana
		Pisos industriales de fibra de vidrio	

Colima

Lucys Gallery	Av. tecnológico #23A Jardines de vista hermosa, COLIMA	Centros de mesa	República mexicana
---------------	--	-----------------	--------------------

DF

el candil frances s.a. de c.v	Av. coyoacán # 19 - - BENITO JUAREZ	Lámparas	Interior del estado
		Candiles	
		Artesanías	
alejandro envases	prol. ejido. - - TLAHUAC	Atomizadores	Interior del estado
		Goteros	
Vitromugs, S.A. de C.V.	Mar Cantábrico No. 45 • C.P. 11410 • Col. Tacuba	Tazas	Interior del estado
		Tarros	
		Tumblers	
ABATIK	Calzada de las Armas # 140-B, Col. Industrial las Armas.	Ventanas de vidrio templado con PVC	
Mmc fibra de vidrio	Bolívar 760, Col. Álamos	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
			Guadalajara
FONTIBRE	Rio magdalena No. 167 int. 3	Blocks de vidrio	Interior del estado
	Col. Tizapán de San Ángel DEL. Álvaro Obregón	Pisos de vidrio	Guadalajara
		Accesorios de vidrio	Monterrey
ENVASESAMERICA	Doctor Olvera N° 174, Col. Doctores	Envases de las líneas:	Interior del estado
		Medicinal	San Luis Potosí
		Alimenticia	
		Industrial	
		Licor	
		Borosilicato	
		Plástico	

		Complementos	
Fibra tu espacio	hopelchen Mz75 Lt18 , TLALPAN	Acabados en construcción de fibra de vidrio	Interior del estado
Suministro en fibra de vidrio, s.a. de c.v.	huitzilihuitl 462-A, santa isabel tola,,d.f. - - GUSTAVO A MADERO	Casetas de fibra de vidrio	República mexicana
Plasticos Modernos	Mar del Nectar MZ. 82 LT. 6 Col. Selene Tlahuac, TLAHUAC	Piezas en fibra de vidrio para automotores	República mexicana
Grupo Industrial Fibromex	TLAHUAC - DISTRITO FEDERAL	Articulo de fibra de vidrio en:	República mexicana
		Publicidad	
		Deportes	
		Industriales	
		Comerciales	
R Y M ACCESORIOS DE FIBRA DE VIDRIO	IZTACALCO - DISTRITO FEDERAL	Accesorios línea automotriz	Interior del estado
FIBERGRATE	Los Juárez # 26 - - BENITO JUAREZ - DISTRITO FEDERAL	Perfiles de fibra de vidrio	República mexicana
Fibras y Plasticos Reforzados S.A de C V	Loma Encantada # 12 Col. Ampliacion Santuario Iztapalapa - - IZTAPALAPA	Rejillas de fibra de vidrio	Republica mexicana
		Perfiles pultruidos	
		Resinas	
Fibra Glass de México	Norte 81 No. 200, Col. Clavería - - AZCAPOTZALCO	Recubrimiento de tanques con fibra de vidrio	Interior del estado
Mafrasa	Tizoc 14 - - IZTACALCO - DISTRITO FEDERAL	Rejillas de fibra de vidrio	
		Escalones de fibra de vidrio	
		Barandales de fibra de vidrio	
MATIPSA, S.A. DE C.V.	FLORENCIA NO. 72-402 COL. JUAREZ, CUAUHTEMOC	Rollos de fibra de vidrio	Interior del estado
Nisi	Lago Caneguin, 139, Miguel Hidalgo 11270, Distrito Federal	Artículos de vidrio línea medicinal	República mexicana
Alubau S.A. DE C.V.	Valparaíso Nte., Lote 7 y 8, Mza. 3, Col. San Pedro, Parque Industrial Fidepar	Vidrio templado	
		Vidrio curvo	
		Vidrio insolado	
		Herrajes para vidrio	
Maniquies Cuerpo Humano	San Jose Aculco Iztapalapa	Maniqués de fibra de vidrio	República mexicana

AUTOS PROTOTIPO,S. A. de C. V.	CUAUHTEMOC - DISTRITO FEDERAL	Prototipos de autos reales con fibra de vidrio	República mexicana
Vidrio Gráfico, S.A. de C.V.	Centeno 184-A, Col. Granjas Esmeralda, México	Vidrio soplado:	Interior del estado
		Jarrones	Zona metropolitana
		Tequileros	
		Floreros, etc	

Guanajuato

Envases y Alimentos del Centro	Insurgentes 401-B - - CELAYA	Frascos de vidrio	Interior del estado
Vidrios de San Miguel	De San Antonio 117, Centro (37700) San Miguel De Allende	Cristal biselado	Interior del estado
		Cristal blindado	
		Cristal laminado	
		Cristal templado	
PROMOTORA Y COMERCIALIZADORA DE OCCIDENTE, S.A. DE C.V.	SANTO TOMAS 539 , IRAPUATO	Envases de vidrio	Interior del estado
MACRIVCEL S.A. DE C.V	FRESNO 208 COLONIA VALLE HERMOSO - - CELAYA	Vidrio satinado	Interior del estado
		Vidrio anti reflejante	Michoacán
		Vidrio termo formado	Aguascalientes
		Mastiques	San Luis Potosí
		Empaques de vinil	Querétaro
		Selladores acrílicos	
		Silicones	
		Vidrio térmico	
		Vidrio acústico	
MARIA ESTHER TEJEDA MONTES	CALLE ENCINO 214-216 - COLONIA AGUACATE 37460 - LEON	Vidrio templado	Interior del estado
D'murano Vitrales en Leon	López Mateos No 1717-a Ote, Obregón (37320) León	Vitrales	Interior del estado
		Vidrios biselados	
		Vidrios emplomados	
Corporativo Real Durango Sa de Cv	Independencia 1515, Irapuato Gto	Productos en fibra de vidrio:	República mexicana

		Macetas	
		Puertas	
		Lavabos	
		Botes de basura	
		Registros	
		Trampas	
Grupo López Arévalo en Irapuato	Juan José Torres Landa 263, Centro (36500) Irapuato	block de vidrio	Interior del estado
Macetas MOKA	Blvd. Aeropuerto km 11-2 - - LEON - GUANAJUATO	Macetas de fibra de vidrio	Interior del estado
FABRICA DE CHAROLAS DE FIBRA DE VIDRIO	León, GUANAJUATO	Charolas de fibra de vidrio	Interior del estado
Bode Vidrio S.A. de C.V.:	Blvd. Torres Landa 217 Col. Centro, Irapuato	Vidrio laminado	Interior del estado
		Vidrio templado	
		Biselado	
		Templado	

Guerrero

Fibra tu espacio	Hopelchen, Acapulco	duelas en fibras de vidrio	Interior del estado
kajebel	AV. INDEPENDENCIA ESQ. ZARAGOSA- PUNGARABATO	Fibra de vidrio	Interior del estado

Hidalgo

Ifv	Tizayuca, Hidalgo	Fibra de vidrio	Interior del estado
-----	-------------------	-----------------	---------------------

Jalisco

DISTENVASES, S. DE R.L. DE C.V.	Paseo de las lomas # 12 col. Lomas del colli - ZAPOPAN	Envases de vidrio	Interior del estado
VITRO	Fco Villa No. 354, 44360, Guadalajara, Jalisco	Envases de vidrio	República mexicana
		Vidrio plano	
Vidrio Artístico Imperial	Rio Seco No. 361, Col. San Pedro, Tlaquepaque	Vidrio soplado	
		Frascos	
		Floreros	
		Artesanías	

aluvidrio	Rio tamasis n.-17 - - TLAQUEPAQUE	Vidrio plano	Interior del estado
			Michoacán
			Guerrero
Distribuidora de vidrios zapopan, s.A. De c.V.	Luis Enrique Williams # 909 Parque Industrial Belenes - 45130 - ZAPOPAN	Vidrio claro	República mexicana
		Vidrio tintado	
		Filtra sol	
		Cilindrado	
		Satinado	
		Espejos	
proviesa	M. Ocampo # 162 - - OCOTLAN	Vidrios planos biselados	República mexicana
		Espejos	
		Cantos boleados	
		Vidrio curvo	
		Vidrio coloreado	
		Barrenos en vidrio	
espejos parra e hijos sa de cv	Calzada paraíso 85 ciudad granja - - ZAPOPAN	Vidrio templado	República mexicana
		Espejos	
Vidrios Cristales Y Lunas Ryol, S.A.	Av. aguamilpa - - ZAPOPAN	Vidrio templado	República mexicana
		Vidrio laminados	
		Serigrafía	
		Lamina entera recocida	
VITRALES PER-QUIN	LOMA VERDE 81 - - TONALA	Artesanías de vidrio	Interior del estado
ART GLASS	CALLE JUAREZ # 164-A - - TONALA	Artesanías de vidrio de soplado	República mexicana
		Licoreras, Floreros Perfumes, Vasos	
		Jarras, Copas, Saleros, etc	
ACUAFIBRA	PROLONGACION ALDAMA 74 , SAN AGUSTIN C.P.: 45645, TLAJOMULCO DE ZUÑIGA, JALISCO	Toboganes de fibra de vidrio	República mexicana
		Barcos	América latina
		Figuras para parques acuáticos de todas las áreas	Caribe
VITROLAMINAS	VOLCAN POPOCATEPETL 5444 , EL COLLI URBANO , C.P 45070	Laminas de fibra de vidrio	Interior del estado

	, ZAPOPAN		
VIDRERIA MONTERREY	AV CONSTITUYENTES 143 COL. CONSTITUCION - ZAPOPAN	Cubiertas de vidrio templado para muebles	Interior del estado
Blown Glass International	Calle 16 de Septiembre # 218. Col. Centro Tonalá	Artesanías de vidrio soplado:	Toda América
		Licoreras, Floreros, Perfumes, Vasos	Algunos países europeos
		Jarras, Copas, Saleros, charolas, etc	
CRISTACOLOR	Av. Tonaltecas #200 Tonalá	Vidrio soplado:	Interior del estado
		Candiles	DF
		Esferas	Área metropolitana
		Vasos	
		Centros de mesa	
		Lámparas	
		Macetas, etc	
VITRO DISEÑOS ARTESANALES	CONTRERAS MEDELLIN #173 - - TLAQUEPAQUE	Envases de vidrio	Área metropolitana
FUSION Y FORMAS, S.A. DE C.V.	CALLE IND. ZAPATERA 73 - COLONIA ZAPOPAN NORTE 45130 - ZAPOPAN	Fabricación de botellas de vidrio	Área metropolitana
MANUFACTURERA DE ACCESORIOS FARMACEUTICOS, S.A. DE C.V.	CARRETERA GUADALAJARA-MORELIA KM 22.5 - ZONA FEDERAL TLAJOMULCO DE ZUÑIGA	FABRICACION Y DISTRIBUCION DE TODA CLASE DE ACCESORIOS FARMACEUTICOS	Área metropolitana
			Interior del estado
Fabrica en Puerto Vallarta	Tampico 226, El Mangal (48290) Puerto Vallarta	Macetas de fibra de vidrio	Interior del estado
macetas de fibra de vidrio castellanos	Jalisco, Guadalajara	Macetas de fibra de vidrio	Interior del estado
Laminas De Occidente	Av. Revolución 2609, Sector Reforma (44100) Guadalajara	Tinas de baño fibra de vidrio	Área metropolitana
		Laminas traslucida fibra de vidrio	
		Perreras fibra de vidrio	
Abastecedora Plastic	Calle 3 No 1019, Zona Industrial (44940) Guadalajara	Botellas de vidrio	Área metropolitana
		Envases de vidrio	
Central de Laminas J	Ave Prolongación Alcalde No 94, Batán (45192) Tototlán	Laminas de fibra de vidrio	Área metropolitana
		Chapoteaderos	
		Tinas para baño	
Mahese	San Patricio 2229 Colonia Vicente Guerrero, Guadalajara	Conexiones fibra de vidrio	Área metropolitana
		Fibra de vidrio y sus productos	

Osvi	Martin Del Campo No. 798, Jardines Alcalde Guadalajara	Vidrio templado	Área metropolitana
		Cristal biselado	
		Cristal blindado	
		Cristal laminado	
Roca Glass	Alcalde 1013, Guadalajara Centro (44100) Guadalajara	Vidrio templado	Área metropolitana
		Vidrio biselado	
		Vidrio blindado	
		Vidrio laminado	
Romesa	Abundancia No. 841, Esperanza (44300) Guadalajara	Vidrio templado	Área metropolitana
		Vidrio biselado	
		Vidrio blindado	
		Vidrio laminado	
		Vidrio de seguridad	
Campers y casetas la cuesta en Tepatitlan de Morelos	Crucero arandas #900 Tepatitlan de Morelos	Campers de fibra de vidrio	Interior del estado
		Casetas de fibra de vidrio	
Super Lamina Tapatia	Alfredo Carrasco No. 3917, Insurgentes 1a Secc (44820) Guadalajara	Laminas de fibra de vidrio	Interior del estado
		Tinas de baño de fibra de vidrio	
		Chapoteaderos de fibra de vidrio	
		Artículos de fibra de vidrio	
Motores Marinos Y He	Lázaro Cárdenas 2337 No. S/n, Ferrocarril (44440) Guadalajara	Lanchas de fibra de vidrio	Interior del estado
ar Industrial	Jamaica 1935-a Col. Del Sur, Guadalajara	Refacciones industriales para embotelladoras	República mexicana
		Envases de vidrio	
		Ampolletas de vidrio	
Sombrilla	Prol. Los Robles Sur 258-f, Guadalajara	Sombrillas de fibra de vidrio	Interior del estado
		Madera y acero inoxidable.	
Mundo De Cristal	E Zapata(48380) Puerto Vallarta	Azulejos	Interior del estado
		Lavabos	
		Vidrio soplado	
		Loza de talavera	
Original Mold	Lázaro Cárdenas No. 38, Santa Paula (45420) Tonalá	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado

Multiproductos Industriales	Guadalajara, Jalisco	Escaleras de fibra de vidrio:	República mexicana
		Tipo tijera y tipo extensión	
VITRALES VASARELY	Guadalajara	Vitrales:	Interior del estado
		Emplomado clásico	
		Vidrio burbuja	
		Vidrio alto relieve	
		Vidrio esmerilado y biselado	
		Vidrio biselado	
Acuario Hiroshi	Av. México # 3323 - - Guadalajara	Peceras	Interior del estado
G GALERIA	Lope de Vega 25 -Guadalajara	Cristales templados	Interior del estado
CRISTALES CURVOS	AV. COLON NO. 4195 COL. LOPEZ PORTILLO - - Guadalajara	Cristales templados	Interior del estado
GALERIA VITRALES GUADALAJARA	LOCAL J - 18 PLAZA EL PALOMAR, ZAPOPAN	Vitrales	Interior del estado
Vitro-Arte-Vidrios	Andrés de Urdaneta No. 1835-A - - Guadalajara	Vitrales	Interior del estado
TODO DE CRISTAL, S.A. DE C.V.	CALLE 8 1034 - FRACCIONAMIENTO ZONA INDUSTRIAL	GEMAS DE VIDRIO	República mexicana
		CANICAS DE VIDRIO	
El Sapito	Carr. a las Palmas No.2294 Ixtapa, Jalisco	Fibra de vidrio	Interior del estado
decoartfibra	ZAPOPAN	Piezas y artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
MACETAS CANTIERE	ZAPOPAN - JALISCO	Macetas de fibra de vidrio	Interior del estado
Fibernova	Av. Guadalupe 6601 - - ZAPOPAN	Fabricación de texturas y piezas en fibra de vidrio	Interior del estado
LAMINAS ECONOMICAS TRANSPARENTES, S.A. DE C.V.	CARRE. SAN ISIDRO MAZATEPEC KM 1.5 - PUEBLO SANTA CRUZ DE LAS FLORES 45640 - TLAJOMULCO DE ZUÑIGA	FABRICACION DE LAMINA DE FIBRA DE VIDRIO	Interior del estado
FASTEC DE MEXICO, S.A. DE C.V.	AVENIDA PROLONGACION EL COLLI 483 A - COLONIA PARAISOS DEL COLLI 45069 - ZAPOPAN	Perfiles de fibra de vidrio	Interior del estado
			Área metropolitana
ENVASES Y CRISTALERIA	Garibaldi N° 1249, Col. Sta. Teresita, Guadalajara, Jal	Envases de vidrio	Interior del estado

BANCALARI, S.A. DE C.V.			
		Cristalería	Área metropolitana
			Aguascalientes
Tequila Púrpura	Lope de Vega No. 791, 44520 Guadalajara	Personalizado de botellas de tequila	Área metropolitana
Cristaenvases, S.A. de C.V.	Luis Covarrubias No. 779 Int. A, 44969 Guadalajara	Envases de Cristal para la industria	Área metropolitana
		farmacéutica, alimentaria, cosmética	
Global Fuentes, S.A. de C.V.	Calz. Central No. 74, 45010 Zapopan	Envases de Vidrio (Molde y Tubo) línea Farmacéutico y de Perfumería	Área metropolitana

Edo de México

Vidrio Formas, S.A. de C.V.	Av. San Rafael No. 37, 52000 Lerma, Edo. de Méx	Envases de vidrio	Área metropolitana
Amunco, S.A. de C.V.	Herschel No. 192, 11590 México, Distrito Federal	Envases de vidrio	Área metropolitana
New Generation And Pharmacuetical, S.A. de C.V.	Francisco Villa 131 Deleg. Iztapalapa, 09500 México, D.F.	Envases Farmacéuticos	Área metropolitana
Decoraciones en Cristal Arozamena, S.A. de C.V.	Blvd. Centro Industrial No. 1025, Fracc., 54060 Tlalnepantla, Edo. de Méx.	Envases de Vidrio todas las líneas comerciales	República mexicana
Grupo Trama	Presidente Carranza No. 42, 04000 México, D.F.	Cristalería	República mexicana
		Artesanías de vidrio soplado:	
		Tequileros, Agitadores, vasos, jarras, etc.	
SURTIVIDRIO S.A. DE C.V.	CALLE FELIPE VILLANUEVA 408 SUR - COLONIA GRANJAS 50120 - Toluca	VIDRIOS Y CRISTALES	Área metropolitana
ALEJANDRO PEREZ SALVATIERRA	Bandera #15 - - GUSTAVO A MADERO - DF	Artesanías de vidrio soplado	Área metropolitana
ALVI-DRIO	Arturo Méndez No. 42 Col. Constitución de 1917- IZTAPALAPA	Envases para perfumerías y farmacias	Área metropolitana
Gota de Vidrio en Metepec	Av 16 de Septiembre No 205 B San Miguel Metepec	Material de Laboratorio de vidrio	Área metropolitana
		Vitrales	
		Decoración en vidrio	
		Artesanías	

modelados en Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz, Estado de México	Moldes de fibra de vidrio	Interior del estado
Epolyglas	Melchor Ocampo Núm. 43 Col. Anahuac México, D.F	Perfiles pultruidos de fibra de vidrio	República mexicana
Multiformas Plastica	Atizapan De Zaragoza, Edo de Mexico	Figuras de fibra de vidrio	Interior del estado
Plásticos Reforzados de México S.a. Plaremesa	Tenochtitlan # 1, San Juan ixhutepec, Edo. México	Tanques de fibra	República mexicana
		Rejillas de fibra	
		Velo de fibra	
Lorena Gil en Chalco	Oriente 44b, Guadalupeana (56616) Chalco, Edo de México	Piezas de fibra de vidrio	República mexicana
		Muebles de fibra de vidrio	
		Maniqués de fibra de vidrio	
		Moldes de fibra de vidrio	
Eprofisa	Av. Del Lago Sn S/n, Barrio Anal (54770) Teoloyucan	Tanques de fibra de vidrio	República mexicana
		Tuberías de fibra de vidrio	
		Piezas especiales de fibra de vidrio	
articulos militares 'mi coronel'	Naucalpan de Juarez, Estado de México	Cascos de fibra de vidrio	
		Artículos militares de fibra de vidrio	
Hana Vitrofusion	Chalco, Estado de México	Bisutería con vidrio	República mexicana
			Caribe
			Europa
			Asia
Themescares México	Hidalgo 7 (55069), Ecatepec Estado De México	Figuras, animales, personajes, muros de escalada en fibra de vidrio	República mexicana
Nueva Fabrica Nacional de Vidrio S.A. de C.V.	Via Jose Lopez Portillo 7 Lechería; Tultitlán; México; 54940	Envases de vidrio	República mexicana
AUTO CRISTALES DE TLALNEPANTLA "LOS REYES"	Av Ejidos # 154 , Los Reyes Ixtacala - - Tlalnepantla de Baz	Vidrios de seguridad	República mexicana
		Vidrios laminados	
Gerardo Hernandez	TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO	Ojos de cristal para figuras	Interior del estado
EDLUJE Templados Cristal y	Av dalias 152 b jardines de san jose 1a secc villa de las flores -Coacalco de Berriozabal	Vidrios curvos	Interior del estado

Aluminio			
		Vidrio laminado	
TECNO FIBRA	MARGARITAS 60 lomas de san miguel atizapan de zaragoza estado de mexico	Fibra de vidrio	República mexicana
LEOGAR, S.A DE C.V.	Galeana No. 136 , Col. Tlalpan 14080 México , DF	Artículos de vidrio soplado	República mexicana
LA PRIMAVERA VIDRIO SOPLADO, S.A. DE C.V.	Chihuahua No. 66 , Col. Roma 06700 México , DF	Artículos de vidrio soplado	República mexicana
GLASSER, S.A. DE C.V.	Fernando Montes De Oca No. 2, Col. Fracc. Industrial Niños Héroes 54030 Tlalnepantla De Baz, Edo. De México	Artículos de vidrio soplado	República mexicana
Refractarios Refrak, S.a. De C.v	Victoria No. 45, Alce Blanco, Naucalpan, Edo de México	Tubos, ladrillos y piezas especiales de vidrio	República mexicana

Michoacán

PROCOMAR	Km 5.5 Salida a Salamanca - - MORELIA	Botellas de vidrio	Interior del estado
Servienvases	CALLE 8 COL. MARIANO MATAMOROS - - MORELIA	Envases de vidrio	Interior del estado
toldos para tractores agrícolas	MORELIA	Toldos y partes para tractores de fibra	Interior del estado
Campers, Redilas y Carrocería	La Piedad	Campers, Redilas y Carrocería de fibra	Interior del estado

Morelos

Fibra De Vidrio El Delfín	Miguel Hidalgo 801 (63550), San Pedro Apatlaco, Villa De Ayala	Fibra De Vidrio	Interior del estado
TECNO FIBRA	Los Laureles No. 27, Col. La Joya Cd. Ayala	Fibra De Vidrio	Interior del estado
Cuernavaca Glass	Av Vicente Guerrero Ezq Nueva Alemania - CUERNAVACA	vidrio espejo	Interior del estado
Vidrio Soplado Aztek	E Zapata No. 38 S/n, Tres De Mayo (62760) Emiliano Zapata	Artesanías de vidrio soplado	Interior del estado

Nuevo León

Vitro S.A. de C.V.	Ave. Ricardo Margain Zozaya 400	Vidrio plano	República mexicana
Vidrio plano VITRO	Col. Valle del Campestre	Vidrio automotriz	USA
Vitro América	San Pedro Garza García; Nuevo León	Vidrio laminado	Portugal
Vitro Cristalglass		Vidrio de seguridad	España
Vitro Chaves		Envases	Colombia
Vitro Colombia			Caribe
Vitromart			Latinoamérica
Vitrocasa			
Vitro automotriz-- Vitrocar			
Favisa	Av. López Mateos #183, Col. La Grange, San Nicolás	Vidrio Soplado	Interior del estado
VIDRIERA SANTOS SA	Carretera Miguel Alemán Km 25.5, Apodaca	Vidrios templados	República mexicana
Prodies	Carretera a Dulces Nombres Km. 10.5 - PESQUERIA	Vidrios templados	República mexicana
		Espejos	Europa
			USA
Inovapak	Castelar 114; Col. Independencia - - Monterrey	Envases de vidrio	República mexicana
			USA
COMPAÑIA VIDRIERA, S.A. DE C.V.	CALLE MAGALLANES OTE. 517 - COLONIA TREVIÑO-064570 - Monterrey	Envases de vidrio	República mexicana
Espejos Vidrios Y Cubiertas Biseladas Monterrey	Av Coahuila Y Eloy Cavazos Col S.c.t. En N.l.	Espejos, vidrios y cubiertas biseladas	Interior del estado
Akita Fiber Glass	Lima 2305 Nte, Industrial (64440) Monterrey	Tanques en fibra de vidrio	República mexicana
		industria química, petrolera, alimenticia	
Pamsil	Carr Mty-salttillo Km 65 1005, Santa Catarina Centro	Fibra mineral de roca	República mexicana
		Perlita expandida	USA
		Espuma de poliestireno	
		Fibra de vidrio	
Cristales Inastillable	Orquidea 119, Lagos De Chapultepec (66400) San Nicolas De Los Garza	Vidrio inastillable de seguridad	República mexicana
			USA
Euro Internacional R	Av Eugenio Sada Sur 4545, Condesa	Artículos de vidrio	Interior del

	(64780) Monterrey	soplado	estado
Medipar	Miguel Hidalgo Y Costilla No. 2322, Obispado (64060) Monterrey	Productos ortopédicos en fibra de vidrio	Interior del estado
Comsantos	Río Tajo 4846, Fracc. Bernardo Reyes, Monterrey	Artículos de vidrio soplado	Interior del estado
Productos Well	Ruiz Cortinez Pte Ed-2 Sn Dpto No. 24, Fco Naranjo (64330) Monterrey	Casetas con fibras de vidrio	Interior del estado
Teisa Industrial	Futuro Nogalar Sur No. 730, Industrial Nogalar (66484) San Nicolas De Los Garza	Casetas de filtración de aire de fibra de vidrio	Interior del estado
Masonite Mexico	Carr. mty. laredo km 23 -CIENEGA DE FLORES - NUEVO LEON	Puertas de fibra de vidrio	Interior del estado
MAQUILA DE MOLDES	B. CAÑADA - - GARCIA - NUEVO LEON	Artículos de fibra de vidrio	Interior del estado
VIDRIERA VERATHI	Reforma No. 1620 Pte, Centro, Monterrey,	Artículos de vidrio soplado	República mexicana

Oaxaca

Estudio Xaquixe	Magdalena Apasco Etlá Xaquixe, Parque Industrial Oaxaca	Artesanías con vidrio soplado	Interior del estado
-----------------	---	-------------------------------	---------------------

Puebla

Fábrica De Vidrio An	Calle 29 Pte No. 522 B, Insurgentes Chulavista Centro (72420) Puebla	Vidrio antireflejante	Interior del estado
Antigua Fábrica De Vidrio La Luz	Antigua Fábrica De Vidrio La Luz, 3 Ote No. 1006, Col. Analco, Puebla	Artículos de vidrio soplado	Interior del estado
arte en vidrio	Benito Juárez poniente 112 san Felipe Hueyotlipán- PUEBLA	Artículos de vidrio soplado	Interior del estado
Cristalería México S.A. de C.V.	Av. 16 de Septiembre - - PUEBLA	Vidrio templado	República mexicana
		Vidrio automotriz	
		Vidrio Industrial	
VICHI DE MEXICO	Priv. Universidad de Tamaulipas No. 1620 Col. Universidades - PUEBLA	Instrumentos de laboratorio	República mexicana
			USA
RBM LABORATORIOS S.A. DE C.V.	DALIA # 20 JARDINES DEL SUR - - PUEBLA	Instrumentos de laboratorio	República mexicana
			USA
			Latinoamérica

Querétaro

SABIGLASS S.A DE C.V	Camino a la solana #108 col sta rosa jauregui -SANTIAGO DE QUERETARO	Tubería de vidrio	República mexicana
Mercofras de México S.A. de C.V.	SANTIAGO DE QUERETARO - QUERETARO	Instrumentos para laboratorio	República mexicana
		Rama farmacéutica	
Albercas WINGO	Av. del Parque 1099 esq. Blvr. Centro Sur - - SANTIAGO DE QUERETARO	Albercas en fibra de vidrio	Interior del estado
PRODUCTOS MOLDEADOS DE MEXICO	Mecánicos 54 Col. Peñuelas - - SANTIAGO DE QUERETARO	Figuras artísticas de personas y animales	Interior del estado
Atp Iluminación	Av. Hércules 301-B, interiores 6 y 7	Luminarias con fibra de vidrio	República mexicana
	Polígono Empresarial Santa Rosa, Santa Rosa Jáuregui	Difusor policarbonato 100%	
		Reflector de lamas	
		Tornillería acero inox	
		Postes galvanizados recubiertos con poliamida reforzada con fibra de vidrio	

Quintana Roo

Bengoa	Calle 2 #590 entre calle 3 y 5 - OTHON P BLANCO -QNA ROO	Fibra de vidrio	Interior del estado
--------	--	-----------------	---------------------

San Luis Potosí

proveedora krystal	Fuente de Trevi núm. 277 balcones del valle - SAN LUIS POTOSI	Artículos de vidrio soplado	Interior del estado
--------------------	---	-----------------------------	---------------------

Sinaloa

Equipos Nava	Mazatlán	equipos en fibra de vidrio para la industria pesquera, acuícola, hotelera, servicios	Interior del estado
Luxor Glass	Degollado 500 Nte, Centro (81200) Ahome	Vidrios decorativos	Interior del estado

Sonora

Windows and Doors Sonora S.A.DE C.V	Blvd. Ignacio Soto 220 esq Mesa del Campanero - Hermosillo	Vidrios templados	Interior del estado
Vidrio Y Aluminio Ol en Cananea	3a Oeste No. 19, Centro (84620) Cananea, Sonora	Vidrios templados	Interior del estado

Tamaulipas

florart	Carranza 826-a - - TAMPICO	Vidrio laminado	Interior del estado
CRISTALERA REYNOSA SA DE CV	REFORMA 650 - COLONIA LONGORIA 88660 - REYNOSA	Vidrios templados	Interior del estado
		Vidrio laminado	
JOSE DE JESUS MASCORRO MARTINEZ	AV CUARTA 809 A - COL. JARDIN VEINTE DE NOVIEMBRE89440 - CIUDAD MADERO	Artículos de vidrio soplado	Interior del estado
Resinas Industriales de Tampico	Emilio Portes Gil # 506 Col. Magdaleno Aguilar -TAMPICO	Piezas de fibra de vidrio	Interior del estado
PLASTICOS INDUSTRIALES DE ALTAMIRA	GRECIA N° 125 COL. SOLIDARIDAD VOLUNTAD Y TRABAJO CD. TAMPICO	Productos de Fibra de vidrio	Interior del estado
TERMOPLASTICOS INDUSTRIALES DE ALTAMIRA	RIO PANUCO #819 COL.LAS PALMAS - - ALTAMIRA	Productos de Fibra de vidrio	Interior del estado
industrias fibra mar	1era calle esq seg. ave . la isleta Pérez 201 - - TAMPICO	Productos de Fibra de vidrio	Interior del estado
RIO	CARRETERA SENDERO NACIONAL KM. 6 S/N - EJIDO LOS ARADOS 87560 - MATAMOROS	Rollos de fibra de vidrio	Interior del estado

Veracruz

Arte Vidrio	Orizaba 1140, Jiménez - - VERACRUZ	Vidrio plano liso y labrado	Interior del estado
Grupo Mexican Fiber's S.A. DE C.V.	FLORES MAGON 508 - - COATZACOALCOS	rejillas y perfiles de plástico reforzado de fibra de vidrio	Interior del estado
EA INDUSTRIAL	CAMINO A AMATLAN S/N ENTRE VIAS DEL FFCC Y FAC. AGRONOMIA - - AMATLAN DE LOS REYES	FIBRA DE VIDRIO	Interior del estado
INDUSTRIAS VI-GO	CALLE 35 NO. 102 COL. SAN CAYETANO - - CORDOBA	FIBRA DE VIDRIO	Interior del estado
Millet Industria D e Vidrio	Av. López Portillo L4 Mza. 2 SM 65 Benito Juárez, Cancún	Vidrio templado	República mexicana
	Km 23 + 350 Anillo Periferico	Vidrio Curvo	Latinoamérica

		Vidrio Laminado	Caribe
		Vidrio insulado	Sudamérica

7.1.1. RECICLADORAS

AGUASCALIENTES

VIBOTELLA_AGS	Compra de botella de vidrio 4492662265 AGUASCALIENTES - AGUASCALIENTES
DISENVAGS	Reciclaje de envases de vidrio 014492415531 Aguascalientes, Aguascalientes
RECOLECTOR Y MANEJO DE DESPERDICIOS	Calle Jose Ma. Romo 119 ciudad industrial Aguas Calientes, Aguascalientes
RECICLAYSER DE AGUASCALIENTES SA DE CV	Av. Aguascalientes pte 704 Aguas Calientes, Aguascalientes
MAJOSE RECICLADORA	<i>Mahatma Gandhi 1696 san francisco del arenal Aguas Calientes, Aguascalientes</i>
LAMBARRY FONSECA CESAR	Abraham González 202 Pilar Blanco Infonavit, 20289 Aguascalientes
Comercial de Reciclaje y Maquinaria Industrial	Avenida Siglo XXI 3817 Vicente Guerrero, 20286 Aguascalientes
Ecología y Reciclaje Sustentable de México	Del Campestre 201 El Rosedal, 20126 Aguascalientes

BAJA CALIFORNIA

Envases de Baja California	Calle Circulo del Progreso No.38, Parque Industrial Progreso – - MEXICALI – BAJA CALIFORNIA
-----------------------------------	---

CHIHUAHUA

CARLOS QUIÑONES RODRIGUEZ	COMPRA VENTA DE VIDRIO Y ALUMINIO (636)694 5178
ERNESTO ARZAGA HERRERA	VENTA DE VIDRIO
Gen	Av. Palestina No. 11102, Palestina, Chihuahua, Chihuahua 31376, Tel: 614.436-1183
RECICLADOS ECOLOGICOS DIVERSOS S.A. DE C.V.	PASCUAL OROZCO No. 591 JUAREZ – CHIHUAHUA

COAHUILA

Reciclaje Inteligente	Reciclaje de vidrios, Av. Avila Camacho #3800 Col. Las Carolinas - - TORREON - COAHUILA Ir al sitio web www.reciclajeinteligente.com.mx
CHACO RESIDUOS SA DE CV	Fernando bustos 10 Z zona ind torreón, Coahuila
GLOBAL LINE S.A. DE C.V.	CALLE PRIMERA 537-A COL. NAZARIO ORTIZ GARZA SALTILLO, Coahuila
PROVEEDORA DE MATERIALES RECICLABLES	Col. la asunción 201 la hibernia Saltillo, Coahuila
PROCESADORA DE MATERIALES RECICLABLES	Col. asunción 201 la hiberna Saltillo, Coahuila
GRUPO MARESA	Blv.d Eulalio gtz1004 , praderas Saltillo, Coahuila
PALACIOS VAZQUEZ EDUARDO ING	Cll. valle grande 1010 Lourdes Saltillo, Coahuila
Reciclados RECA	Zaragoza 813, zona centro, Piedras Negras, Coahuila

COLIMA

RECICLADORA DE LA COSTA	Colinas de Santiago, calle 2 lote 48 – - MANZANILLO
CARLOS ALBERTO ZEPEDA CASIAN	CALLE EDO. DE MEXICO 86 – COLONIA LA GLORIA – 28980 – VILLA DE ALVAREZ

HIDALGO

Reciclados de hidalgo	Arnulfo r. Gomez # 39 col Adolfo López m. – - PACHUCA DE SOTO
------------------------------	---

JALISCO

Vidrio Soplado Reciclado	PRIV COLON 14, TONALA 45400, JALISCO Tel: 3336833553
ECOCENTER	reciclaje de vidrio 348 102 2303 o 347 102 2303 - - SAN MIGUEL EL ALTO - JALISCO
SALVADOR GARCIA	ZARAGOZA 177 - - TLAJOMULCO DE ZUÑIGA - JALISCO
MAGDALENO HERNANDEZ RODRIGUEZ	AVENIDA CRUZ DEL SUR 3372 - COLONIA LOMA BONITA EJIDAL 45085 - ZAPOPAN - JALISCO
FUSION Y FORMAS, S.A. DE C.V.	CALLE IND. ZAPATERA 73 - COLONIA ZAPOPAN NORTE 45130 - ZAPOPAN - JALISCO
Mundo De Cristal en Puerto Vallarta	- Insurgentes No. 333, E Zapata(48380) Puerto Vallarta, Jalisco
ECOPLAN SOLUTIONS RECICLADORA IMMEX EN GUADALAJARA	ALICANTE 2337 – - ZAPOPAN

EDO DE MÉXICO

SURTIVIDRIO S.A. DE C.V.	CALLE FELIPE VILLANUEVA 408 SUR - COLONIA GRANJAS 50120 - Toluca
Recicladora de vidrio venteo	Lisboa, Estado De Mexico 0445516102647
Recicladora de Vidrio VENTE	Lisboa - - Tlalnepantla de Baz - ESTADO DE MEXICO Recicladora De Vidrio Santa Catarina, S.A. De C.V.
Fundación Mexicana para el Reciclaje Tecnológico a favor de la Educación A.C.	Toluca, Edo de Mexico 7224930819

MICHOACÁN

PROCOMAR	Venta de botellas de vidrio 01(443)3134587 Km 5.5 Salida a Salamanca - - MORELIA
Servienvases	CALLE 8 COL. MARIANO MATAMOROS - MORELIA
La Primavera Vidrio Soplado	Nicolas Romero S/N . Col. Centro . Hidalgo Mich. . Tel. (761)782-1178
Salvador maldonado	Venta vidrio reciclado triturado 01-(443)-3-26-45-52 MORELIA -
Fibras secundarias Lupita	Av. Madero PTE. No. 3433-C, Centro Tel: 327 77 06
Compra-venta Desperdicios Industriales	Lago de Cuitzeo No. 254, Ventura Puente, Morelia. Tel: 1657822
El Gigante	Santos Degollado No. 400 Col. Industrial Tel: 4431257651 y 2095419
S/nombre	Icuacato No. 230, Col. Lago II, Tel: 3264552

S/nombre	Av. Madero Poniente No. 5292, Col. Niño Artillero, Tel: 3267398
Compra-venta Desperdicios Industriales	Av. Solidaridad No. 921, Col. Morelos Tel: 3274063
Compra Venta de Chatarra	Congreso de Anahuac No.20 , Independencia tel: 3133954
Ambiental Michoacana	Periférico paseo de la república No. 2675, Hermanos López Rayón, tel : 3265560
Leticia Herrera Jaimes	Circuito Educadores Mexicanos No. 1084, Col. Jesús Romero Flores. Morelia, Tel: 3212764
Maria Belen Orozco Escutia	Felipe Rivera No. 83, Col. Mariano Escobedo. Morelia
Marie Esther Villagomez	Icucuat No. 230, Col. El Lago. Morelia.
Organización “Lizandro Tapia Baez” S.C. de R.L.	Periférico Paseo De La República No. 1538, Col. El Realito III, Morelia. Tel: 3262157
Emeterio Miranda González	Cuitzillo No 33, Col. Cuitzillo. Morelia
Juana Bedolla Mauricio	Av. Francisco I Madero Poniente No. 6136, Col. Tzindurio de Morelos. Morelia

MORELOS

FedersArtisticGlassGallery	Hidalgo 30-3 Centro Histórico, Cuernavaca
-----------------------------------	---

OAXACA

La Cizalla	Símbolos Patrios 501 Col. Candiani Mina No. 603 Centro, Oax
Compra de desechos industriales	Calle 16 de septiembre No. 425, Ixcotel, Oax.
Centro Vidriero Muñoz, S.A. de C.V.	Calle Benito Juárez No. 100. Col. Presidentes de México, Pueblo Nuevo, Oaxaca.

PUEBLA

Reciclaje industrial de ajalpano	Antonio Ruanova Vargas #212 AJALPAN Puebla
VICTOR BRENES RODRIGUEZ	CALLE 4 SUR 304 C - ZONA FEDERAL CIUDAD SERDAN 75520 - CHALCHICOMULA DE SESMA

QUERÉTARO

SABIGLASS S.A DE C.V	Fabricación de tubería de vidrio 442912239 camino a la solana #108 col sta rosa Jauregui - - SANTIAGO DE QUERETARO
Mercofras de México S.A. de C.V	- SANTIAGO DE QUERETARO - QUERETARO
Grupo Faddul-material reciclable	Libramiento a Tequisquiapan Km 5 - - SAN JUAN DEL RIO
JOSE LUIS LARRACOECHEA RUIZ	CALLE COFRE DE PEROTE 301 - COLONIA LOMA BONITA NORTE 76118 - SANTIAGO DE QUERETARO

QUINTANA ROO

PUNTO VERDE	Monte Mulhalcenmza. 3 Lt. 3 -- Cancún
--------------------	---------------------------------------

TLAXCALA

CATSA RECICLADOS	Marcos Mota No. 1 Col. La Luz Villa Alta Tlaxcala - - TEPETITLA DE LARDIZABAL
MARTHA GUTIERREZ RAMIREZ	CALLE 16 DE SEPTIEMBRE 26 – PUEBLO SAN JOSE TEACALCO – 90492 – TZOMPANTEPEC

VERACRUZ

RECICLAJE DE MATERIALES INDUSTRIALES	CALLE FRAY SERVANDO TERESA DE MIER #43 - - ORIZABA – VERACRUZ
Recuperaciones Veracruzanas Sa de CV	Av. 2 De Abril S/n Entre Calle Josefa Ortiz de Domínguez y de Díaz Mirón – - IXTACZOQUITLAN

En la presente investigación se encontraron 274 recicladoras de diversos materiales, no incluidos centros de acopio municipales. Estos recicladores son los que cuentan con una localización vía web.

7.2. ESTUDIO TÉCNICO

Sirve para hacer un análisis del proceso de producción de un bien o la prestación de un servicio. Incluye aspectos como: materias primas, mano de obra, maquinaria necesaria, plan de manufactura, inversión requerida, tamaño y localización de las instalaciones, forma en que se organizará la empresa y costos de inversión y operación.

Factores que determinan el tamaño de la empresa

Un proyecto de inversión debe mostrar, en su estudio técnico, las diferentes alternativas para la elaboración o producción del bien o servicio, de tal manera que se identifiquen los procesos y métodos necesarios para su realización, de ahí se desprende la necesidad de maquinaria y equipo propio para la producción, así como mano de obra calificada para lograr los objetivos de operación del producto, la organización de los espacios para su implementación, la identificación de los proveedores y acreedores que proporcionen los materiales y herramientas necesarias para desarrollar el producto de manera óptima, así como establecer un análisis de la estrategia a seguir para administrar la capacidad del proceso para satisfacer la demanda durante el horizonte de planeación. Con ello se tiene una base para determinar costos de producción, los costos de maquinaria y con los de mano de obra.

En la evaluación de proyectos se realiza en un primer momento el estudio de mercado donde se muestran las tendencias de la demanda, a partir de la identificación de las necesidades de los clientes reales y potenciales, la oferta real y proyectada del producto o servicio, así como la comercialización y la determinación de los precios de venta; a partir de estos elementos el siguiente momento es realizar el análisis del estudio técnico el cual proporciona información cuantitativa para determinar el monto de la inversión y los costos de operación necesarios para su desarrollo.

1. Capacidad de diseño.
2. Capacidad del sistema.
3. Capacidad real.
4. Demanda del producto.
5. Los suministros e insumos

LOS OBJETIVOS:

Son parte fundamental del estudio técnico por lo cual deben ser claros y precisos, a continuación se muestran los siguientes:

- Verificar si el producto o servicio a ofrecer se puede llevar a cabo; si se cuenta con la materia prima adecuada, los equipos y herramientas necesarias e instalaciones óptimas para su producción.

Por lo que el estudio debe contener:

- Ingeniería básica: Descripción detallada del producto, incluyendo sus especificaciones, así como la descripción del proceso de manufacturación.

- Determinación del tamaño de la planta tomando en cuenta la demanda, la materia prima requerida, la maquinaria y equipo de producción, la capacidad instalada, incluyendo especificaciones de origen, cotizaciones, fechas de entrega y formas de pago.
- Localización de la planta, incluyendo un estudio de la macro y micro localización para identificar las ventajas y desventajas del mismo.
- Diseño de la distribución de la planta.
- Estimación de los costos de construcción de los edificios y mejoras al terreno
- Estimación de los costos en los que se incurrirán para llevar a cabo la habilitación de la producción o comercialización del producto.

PRESUPUESTO

Es un plan de acción dirigido a cumplir una meta prevista, expresada en valores y términos financieros que, debe cumplirse en determinado tiempo y bajo ciertas condiciones previstas, este concepto se aplica a cada centro de responsabilidad de la organización.

1. Funciones de los presupuestos

1. La principal función de los presupuestos se relaciona con el Control financiero de la organización.

El control presupuestario es el proceso de descubrir qué es lo que se está haciendo, comparando los resultados con sus datos presupuestados correspondientes para verificar los logros o remediar las diferencias.

2. Los presupuestos pueden desempeñar tanto roles preventivos como correctivos dentro de la organización.

2. Importancia de los presupuestos

1. Presupuestos: Son útiles en la mayoría de las organizaciones como: Utilitaristas (compañías de negocios), no-utilitaristas (agencias gubernamentales), grandes (multinacionales, conglomerados) y pequeñas empresas
2. Los presupuestos son importantes porque ayudan a minimizar el riesgo en las operaciones de la organización.
3. Por medio de los presupuestos se mantiene el plan de operaciones de la empresa en unos límites razonables.
4. Sirven como mecanismo para la revisión de políticas y estrategias de la empresa y direccionarlas hacia lo que verdaderamente se busca.

5. Facilitan que los miembros de la organización se den cuenta de los informes económicos.
6. Cuantifican en términos financieros los diversos componentes de su plan total de acción.
7. Las partidas del presupuesto sirven como guías durante la ejecución de programas de personal en un determinado periodo de tiempo, y sirven como norma de comparación una vez que se hayan completado los planes y programas.
8. Los procedimientos inducen a los especialistas de asesoría a pensar en las necesidades totales de las compañías, y a dedicarse a planear de modo que puedan asignarse a los varios componentes y alternativas la importancia necesaria
9. Los presupuestos sirven como medios de comunicación entre unidades a determinado nivel y verticalmente entre ejecutivos de un nivel a otro.

Una red de estimaciones presupuestarias se filtran hacia arriba a través de niveles sucesivos para su posterior análisis.

10.- Las lagunas, duplicaciones o sobre posiciones pueden ser detectadas y tratadas al momento en que los gerentes observan su comportamiento en relación con el desenvolvimiento del presupuesto.

3. Finalidades de los presupuestos

1. Coordinar los diferentes centros de costo para que se asegure la marcha de la empresa en forma integral.
2. Planear los resultados de la organización en dinero y volúmenes.
3. Controlar el manejo de ingresos y egresos de la empresa.
4. Coordinar y relacionar las actividades de la organización.
5. Lograr los resultados de las operaciones periódicas.

Presupuesto de las instalaciones en donde será proveerá al público en general, en donde se sitúa todo lo referido a la construcción total del inmueble, haciendo referencia a todo el material necesario para la construcción del mismo por completo, incluyendo la renta o compra del terreno a pesar que se está suponiendo que el terreno fue rentado o prestado.

7.3. ESTUDIO FINANCIERO

En el estudio financiero está integrado por elementos informativo cuantitativo que permiten decidir y observar la viabilidad de un plan de negocios, en ellos se integra el comportamiento de la operaciones necesarias para que un empresa marche y visualizando a su vez el crecimiento de la misma en el tiempo. De ahí la importancia que al iniciar cualquiera idea de proyecto o negocio contemple las variables que intervienen en el desarrollo e implementación, consideran el costo efectivo que con lleva el operar el proyecto en términos financieros que implica el costo de capital de trabajo, adquisiciones de activo fijo y gastos preoperativo hasta obtener los indicadores financieros en los Estados Financieros como son: El Balance General, Estado de Pérdidas y Ganancias y Flujo de Efectivo.

Determinación de los costos

- Costos de producción:
 1. Costos de materia prima
 2. Costo de mano de obra
 3. Bases
 4. Costo de energía eléctrica
 5. Costo de agua
 6. Combustible
 7. Control de calidad
 8. Mantenimiento
 9. Cargos de depreciación y amortización
 10. Otros costos
 11. Costos para combatir
- Costos de administración
- Costos de venta
- Costos financieros

COSTOS DE PRODUCCIÓN

La empresa estará operando, hasta el momento, lo que compete a una jornada, que son 8 (ocho) horas diarias de trabajo, aunque si la demanda de trabajo aumenta queda la posibilidad de aumentar el número de horas laborables o en su defecto un turno extra para mejoramiento del negocio. La intención y el objetivo del análisis es lograr que se aumente en al menos este porcentaje y reflejarlo al fin de año.

Los siguientes elementos son los que se utilizaran como materia prima en la elaboración del vitro electro-cerámico.

Materiales	Precio	Unidad	Precio por gramo	Precio por loseta
Silicato de Potasio	30	kg	0.03	5.04
KOH	3	kg	0.018	0.504
(Al OH)3	18	kg	0.003	0.252
Vidrio cribado	5	kg	0.005	2.1
Marmolina	0.8	kg	0.0008	0.336
LED's	10.5	c/u	45	472.5
Circuito impreso	10	c/u	3	30
Soldadura y conectares	10			2.5

Tabla 7.1. Componentes del producto.

Inversión que será fija, o sea, la inversión inicial que es necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Activo fijo de producción		Importe	
Mezcladora	1	30000	500
Mesa vibratoria	1	20000	333.33
Moldes		62284	62284
Bascula	1	1250	1250
Pala	2	175	350
Cucharilla	2	41	82
Hule para curado	1	2052	2052
		\$	66,851.33

Tabla 7.2. Componentes para elaboración.

Equipo necesario en una oficina para llevar a cabo la contabilidad de la empresa y la limpieza de la misma.

Activo fijo de oficinas y de ventas	
Computadora	\$ 5,000.00
Impresora	\$ 2,000.00
Fax	\$ 1,100.00
Artículos de limpieza	\$ 300.00
Escritorio	\$ 2,550.00
Silla	\$ 250.00
	\$ 11,200.00

Tabla 7.3. Componentes del producto.

Equipo de transporte	Importe
Carretilla	\$ 780.00
Equipo de transporte	\$ 160,000.00
Gastos de distribución local	\$ 2,800.00
	\$ 163,580.00

Tabla 7.4. Componentes del producto.

Será necesario adquirir un vehículo para distribución local del producto así como llevarlo a la empresa de transporte de paquetería para su venta en otros estados del país.

Gastos de administración, operación y mano de obra				
		Quincenal	Mensual	Cantidad mensual
6	Personas	\$ 3,300.00	\$ 6,600.00	\$ 39,600.00
1	Contador	\$ 3,500.00	\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
1	Personal de limpieza	\$ 600.00	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
1	Velador	\$ 2,800.00	\$ 5,600.00	\$ 5,600.00
				\$ 53,400.00

Tabla 7.5. Componentes del producto.

Cada uno de del personal empleado tendrá una función en específico y cada uno de ellos es necesario para su puesto, para llevar a cabo el proceso del producto. Es importante recalcar que la persona de limpieza es indispensable por el proceso y los materiales utilizados. Así mismo el contador encargado dará la pauta para que la empresa funcione correctamente en la parte administrativa y correcta colocación o distribución del producto en otras partes del estado, y si fuera requerido, del extranjero.

Estos insumos se deben tomar en cuenta, ya que contribuyen al gasto de cada mes y que devenir incluidos en el precio final del producto para no obtener números negativos en los estados financieros de la empresa.

Insumos	Importe
Energía eléctrica	\$ 1,100.00
Renta de bodega	\$ 4,500.00
Agua	\$ 210.00
Teléfono	\$ 450.00
Internet	\$ 300.00
	\$ 6,560.00

Tabla 7.6. Componentes del producto.

Es importante este equipo de seguridad será obligatorio, ya que el no portarlos en el trabajo contribuye un riesgo para el personal encargado del proceso.

Equipo para trabajar necesario			
	Cantidad	Precio	Importe
Lentes	5	\$ 160.00	\$ 800.00
Mascarilla	5	\$ 380.00	\$ 1,900.00
Uniforme	5	\$ 300.00	\$ 1,500.00
Guantes de hule	5	\$ 35.00	\$ 175.00
Botas	5	\$ 250.00	\$ 1,250.00
Cartón	2000	\$ 10.50	\$ 21,000.00
			\$ 26,625.00

Tabla 7.7. Componentes del producto.

En la siguiente tabla se presentan los materiales de los que está hecha la loseta, así como la cantidad necesaria para un día, una semana y un mes, expresada en gramos, ya que así es como se estuvo haciendo durante todas las pruebas.

Tabla 7.8. Componentes del producto.

Costos de producción				Cantidad necesaria (grs) x día	Cant. X semana	Cantidad x mes (grs)
	Placa 1.4 cm	Placa 1.1 cm				
SP6	60	168	138	220000.00	1237500	4950000
KOH	10	28	23	36666.67	206250	825000
Hidróxido Al	30	84	69	110000.00	618750	2475000
Vidrio	150	420	345	550000.00	3093750	12375000
Marmolina 1	75	210	172.5	275000.00	1546875	6187500
Marmolina 2	75	210	172.5	275000.00	1546875	6187500

Esta tabla es la continuación de la presentada anteriormente, presenta el numero de losetas que s podrían hacer en una jornada laboral, lo propio n una semana y en un mes, así como la inversión requerida para cada elemento que integra la loseta para la producción durante un mes.

No de placas x Jornada	No de placas x semana	No de placas x mes	Cantidad x mes (kg)	Precio por kg	Inversión por mes
1309.52	7366.07	29464.29	4950.00	30.00	\$ 148,500.00
menos 0.3%			825.00	3.00	\$ 2,475.00
3.93	22.10	88.39	2475.00	18.00	\$ 44,550.00
1305.60	7343.97	29375.89	12375.00	5.00	\$ 61,875.00
			6187.50	0.80	\$ 4,950.00
			6187.50	0.80	\$ 4,950.00
			Circuitos impresos		\$ 88,392.86
			Led's		\$ 1,325,892.86

Tabla 7.9. Componentes del producto.

La inversión que será requerida para la producción de las losetas es la que se muestra en la siguiente tabla, desglosada según los rubros. La inversión que se presenta en la primer celda coloreada es la inversión de las materiales necesarios para la producción de un mes, la segunda celda muestra la inversión fija que es la del equipo y elementos para llevar a cabo dicho producción y la ultima celda es la suma de las dos anteriores dando el resultado final de la inversión inicial.

Cantidad x mes (kg)	Precio por kg	Inversion por mes
4950.00	30.00	\$ 148,500.00
825.00	3.00	\$ 2,475.00
2475.00	18.00	\$ 44,550.00
12375.00	5.00	\$ 61,875.00
6187.50	0.80	\$ 4,950.00
6187.50	0.80	\$ 4,950.00
Circuitos impresos		\$ 88,392.86
Led's		\$ 1,325,892.86
Cantidad invertida por mes		\$ 1,681,585.71
Inversion inicial de equipo		\$ 269,956.33
InversionTotal		\$ 1,951,542.05

Tabla 7.10. Componentes del producto.

La tabla presenta el costo de la loseta y cuál es el coste de cada una en diferentes posturas de venta, aclarando lo antes dicho es lo siguiente:

Costo directo de loseta: Es el costo que tiene una loseta sin la repercusión de agregarle ningún tipo de ganancia o gasto hasta el momento, es decir, el costo es solo el de los ingredientes de la mezcla y los de tipo eléctrico.

Costos directos, Costos indirectos y MO (Mano de Obra): Son los gastos que se incluyen en el costo de la loseta por la compra de la maquinaria, equipo para laborar, de oficina, mano de obra, etc., esto ya descrito en el inicio del tema.

Gastos de distribución externa: Son los insumos que da referencia al transporte del producto dentro de la ciudad y fuera de ella, en otras ciudades, otros puntos de distribución.

Costo en sitio: Es la suma de las anteriores explicaciones, es lo que cuesta en el lugar de producción sin obtener aun una ganancia.

Costo Obra: Es el costo que tendría al consumidor directamente sin un intermediario.

Costo Distribuidor: Es el referido a lo que se va a ganar el intermediario, o sea, el distribuidor.

Costo de loseta en sitio: Este último es el que se dará en venta al público.

Es importante recalcar que el costo de la loseta se eleva con la inclusión de los led's, si se produjera solo losetas estándar el coste sería muy económico y mucho más accesible.

Elementos	Costo	Unidad	Costo grs	Precio para loseta
Silicato de Potasio	30	kg	0.03	5.04
KOH	3	kg	0.018	0.504
Hidroxido Al	18	kg	0.003	0.252
Vidrio cribado	5	kg	0.005	2.1
Marmolina	0.8	kg	0.0008	0.336
LED's	10.5	c/u	45	472.5
Circuito impreso	10	c/u	3	30
Soldadura y conectares	10			2.5
Costo Directo loseta				\$ 513.23
Costos directos, Costos indirectos, MO				\$ 11.20
Gastos de distribución externa				\$ 0.70
Costo de loseta en sitio				\$ 525.13
Costo Obra				\$ 656.42
Costo Distribuidor				\$ 708.93
Costo de loseta en sitio				\$ 921.61

Tabla 7.11. Componentes del producto.

Loseta estándar	Loseta 15 Leds	Loseta 30 Leds	Loseta 45 Leds	
\$ 8.23	\$ 8.23	\$ 8.23	\$ 8.23	
	\$ 157.50	\$ 315.00	\$ 472.50	LED's
	\$ 10.00	\$ 20.00	\$ 30.00	Circuito impreso
	\$ 0.83	\$ 1.25	\$ 2.50	Soldadura y conectares
	\$ 176.57	\$ 344.48	\$ 513.23	
\$ 20.13	\$ 188.47	\$ 356.38	\$ 525.13	
\$ 25.17	\$ 235.58	\$ 445.48	\$ 656.42	
\$ 27.18	\$ 254.43	\$ 481.12	\$ 708.93	
\$ 2.78	\$ 26.02	\$ 49.21	\$ 72.51	Dólares USD
\$ 35.33	\$ 330.76	\$ 625.45	\$ 921.61	Pesos MXP

Tabla 7.12. Componentes del producto.

Se incluyen los mismos rubros de la tabla anterior, sólo que ahora se desglosan los costos en la loseta sin la incorporación de leds. Aunado a esto el costo en el mercado mexicano y en el mercado extranjero.

Análisis de Fuerzas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (F.O.D.A.) del vitro-electrocerámico emisor de luz de estado sólido.

Fuerzas • Los LED's son ahorradores de luz. • Se utiliza material 100 % reciclable. • El material reciclable no es flamable. • Las materias primas son económicas. • Material fácil de conseguir ya que hay suficientes proveedores en el país. • Los LED son más económicos que las bombillas incandescentes y/o las fluorescentes. • El cerámico no presenta olor. • No genera bacterias ni hongos. • Hay menor probabilidad de incendios que con plásticos. • La durabilidad del material es prolongada. • Los LED's disminuyen los efectos del calentamiento global. • Se logra dar iluminación con poco voltaje. • Los LED's provocan menos calor que los bombillos incandescentes o fluorescentes. • Nula conductividad eléctrica de la cerámica. • Baja la emisión de contaminantes por estar hecho a base de un adhesivo ecológico. • Absorbe el ambiente húmedo del interior.	Debilidades ▪ Posibles descuidos en el procedimiento causado fallas estéticas en el producto. ▪ Pérdidas considerables de mezcla durante la elaboración.
Oportunidades ▪ El producto es novedoso. ▪ No se encuentra en el mercado. ▪ Los principales posibles clientes son el comercio hotelero, cadenas de restaurantes, hospitales, entre otros, que no necesitan la luz fuerte ▪ Sirve como iluminación adicional en caso de suscitarse un averío en la corriente eléctrica pública. ▪ No necesita de gran cantidad de energía. ▪ Se utilizan baterías alcalinas fáciles de conseguir	Amenazas • La competencia con otros cerámicos inteligentes. • Competidores con imitaciones con mala calidad, degradando la imagen de este producto. • Trabas burocráticas y políticas para llevar a cabo el desarrollo y distribución del mismo.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del presente trabajo de innovación y desarrollo de producto de la siguiente tesis se logra obtener un Vitro-electrocerámico Emisor de luz de Estado Sólido el cual es un nuevo producto funcional el cual puede ser lanzado al mercado comercial por sus características ópticas, de bajo consumo energético y sustentable.

Dentro del presente trabajo se realizo la propuesta de la idea, la investigación de mercado, vigilancia tecnológica, el diseño del producto, su caracterización de materiales, el análisis de factibilidad o viabilidad comercial.

Se recomienda elaborar una planeación financiera (plan de negocio) el cual permita buscar fondos y apoyos financieros para la producción y explotación comercial previamente siguiendo los mecanismos de protección intelectual para su explotación comercial basados en los marcos legales de propiedad intelectual, nacional e internacional, así como la ley federal de trabajo y el marco jurídico de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

CAPITULO 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://es.wikipedia.org/wiki/Vidrio>
- [2] ([http://www.fiteqa.ccoo.es/comunes/recursos/29/pub23098_Estudio de las causas y propuestas de medidas preventivas para disminuir la siniestralidad en la industria de vidrio.pdf](http://www.fiteqa.ccoo.es/comunes/recursos/29/pub23098_Estudio_de_las_causas_y_propuestas_de_medidas_preventivas_para_disminuir_la_siniestralidad_en_la_industria_de_vidrio.pdf))
- [3] <http://html.rincondelvago.com/proceso-de-fabricacion-del-vidrio.html>
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicio>
- [5] http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/berazategui/Vitrales%20e%20historia%20del%20vidrio1.htm [Investigación y elaboración a cargo de Martín A. Cagliani, estudiante de Antropología Arqueológica e Historia en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Victoria, Buenos Aires, Argentina.]
- [6] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_6.html
- [7] <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20060713062557AAW5oc9>
- [8] <http://www.trituradora.biz/solutions/gypsum-crusher.html>
- [9] <http://www.slideshare.net/ingemmet/explotacin-y-comercializacin-de-la-slice>
- [10] <http://html.rincondelvago.com/na2co3-carbonato-de-sodio.html>
- [11] <http://es.wikipedia.org/wiki/Caliza>
- [11.1] www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r66004.DOC
- [11.2] <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/ocw/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=133>
- [11.3] <http://presentacionespp.blogspot.com/2008/06/sal-gema-o-halita.html>.
- [11.4] http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Lectura/prepa4/Qui_NaCl.pdf
- [12] <http://www.escolares.net/quimica/fabricacion-del-vidrio/>
- [13] <http://html.rincondelvago.com/proceso-de-fabricacion-del-vidrio.html>
- [14] <http://es.scribd.com/doc/65728377/Proceso-Del-Vidrio>
- [15] http://www.youtube.com/watch?v=Vd3hoH_JpdY
- [16] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_6.html
- [17] <http://www.ictsl.net/productos/propiedades tecnicas/vidriopyrex/index.html>
- [18] [http://es.wikipedia.org/wiki/Coloraci%C3%B3n del vidrio](http://es.wikipedia.org/wiki/Coloraci%C3%B3n_del_vidrio)

- [19] <http://foros.monografias.com/showthread.php/20019-COMO-FABRICAR-ESPEJOS>
- [20] http://vidriosoplado.mex.tl/297949_Proceso-de-Elaboracion.html
- [21] http://html.rincondelvago.com/vidrios_1.html
- [22] Fuente: Ahorro de Energía en la Industria del Vidrio. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA (UPME) Y EL INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” (COLCIENCIAS). Originariamente de: British GlassManufacturersConfederation (BGMCM), 1999.36 37
- [23] <http://www.abcpedia.com/fibra-de-vidrio/fibra-de-vidrio.htm>
- [24] http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio
- [25] Fuente de la información: Matias S. Perez, España.
- [26] Tesis “ Elaboracion y correcta aplicación del programa de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo A unidad de acondicionamiento de clima tipo Chiller”
- [27] http://html.rincondelvago.com/vidrios_1.html
- [28] http://es.wikipedia.org/wiki/Conductor_el%C3%A9ctrico
- [29] <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080115171336AARaktN>
- [30] www.tiposde.org/ciencias.../322-tipos-de-conductores-electricos/
- [31] <http://www.mineral-s.com/geodas-calcita-cuarzo.html>
- [32] http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=7501:conociendo-sobre-el-peltre&catid=64:industria&Itemid=87
- [33] <http://www.aerogel.mx/index.php/contacto-con-aerogel-mexico>
- [34] <http://www.neoteo.com/aerogel-un-material-asombroso>
- [35] <http://aerogel.blogspot.es/>
- [36] http://www.ehowenespanol.com/aerogel-como_57512/
- [37] (Translation from English by [Adolfo Gómez-UrdaMontijano](http://www.zerogaerogel.com/sapreps.htm), University of Granada, Spain). <http://www.zerogaerogel.com/sapreps.htm>
- [38] <http://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel>
- [39] <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080611131515AAkzT4K>
- [40] <http://es.wikipedia.org/wiki/Reolog%C3%ADa>, <http://es.wikipedia.org/wiki/Anelasticidad>

- [41] <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3624/1/tema3RUA.pdf>
- [42] <http://es.wikipedia.org/wiki/Viscoelasticidad>
- [43] <http://www.paho.org/spanish/dd/ped/Fundamentos-cap3.pdf>
- [44] <http://www.gef.es/Congresos/27/pdf/4.pdf>
- [45] <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf>
- [46] <http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje>
- [47] <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/607/60713488007.pdf>
- [48] <http://html.rincondelvago.com/proceso-de-fabricacion-del-vidrio.html>
- [49] http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/
- [50] <http://www.recycled-pvb.eu/descripcion.php>
- [51] http://www.fitega.ccoo.es/comunes/recursos/29/pub23098_Estudio_de_las_causas_y_propuestas_de_medidas_preventivas_para_disminuir_la_siniestralidad_en_la_industria_de_vidrio.pdf
- [52] <http://www.ecopilos.com/proceso-de-reciclaje-del-vidrio/>
- [53] <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf> tesis
- [54] http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico
- [55] <http://www.astromia.com/glosario/foton.htm>
- [56] <http://astrojem.com/teorias/fotones.html>
- [57] <http://es.wikipedia.org/wiki/Superconductividad>
- [58] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/064/htm/sec_11.htm
- [59] <http://equipo1mona.blogspot.mx/2012/02/materiales-aislantes-conductores-y.html>
- [60] http://personalcareassociates.com/index.php?option=com_content&view=article&id=56:clasificacio_n-de-materiales-aislantes-por-temperatura&catid=48:aislamiento&Itemid=70
- [61] <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>
- [62] http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Ohm
- [63] <http://es.wikipedia.org/wiki/Luminosidad>
- [64] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/08/resina-epoxi.html>
- [65] http://es.wikipedia.org/wiki/Iluminaci%C3%B3n_de_estado_s%C3%B3lido

- [66] <http://cambioclimaticoglobal.com/>
- [67] <http://elmedioambiente325.wordpress.com/el-calentamiento-global/>
- [68] <http://vidaverde.about.com/od/Vida-Verde101/a/Que-es-calentamiento-global.htm>
- [69] http://www.explora.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=574:ique-es-la-ferroelectricidad&catid=203:ciencias-fisicas-y-matematica&Itemid=1090
- [70] <http://ayudaelectronica.com/materiales-piezoelectricos/>
- [71] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/materiales-compuestos.html>
- [72] <http://www.textoscientificos.com/quimica/ceramicas-avanzadas/ceramica-electronica>
- [73] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Temall.2.3.6.TERMICAS.ResistenciaFuego.pdf>
- [74] <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=323>
- [75] <https://www.budenheim.com/es/soluciones/construccion/proteccion-contra-incendios/>
- [76] <http://www.asifunciona.com/tablas/leds/leds.htm>
- [77] <http://infoleds.wordpress.com/caracteristicas-fisicas-de-los-leds/>
- [78] <http://www.apcsoluciones.es/index.php/especial-tubos-led/comparativa-fluorescente-vs-led>
- [79] <http://blog.ledbox.es/ciencia-innovacion/led-adios-hola-oled>
- [80] http://es.wikipedia.org/wiki/Resina_epoxi
- [81] <http://www.compromisoempresarial.com/medio-ambiente/2011/10/las-otras-vidas-del-vidrio/>
- [82] <http://esp.terratzosgraus.com/procesos.html>
- [83] http://www.cambioclimaticochiapas.org%252Fportal%252Findex.php%252Fcambio_climatico%3B700%3B458