



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Tesis Profesional

Uso de fibras textiles recicladas y sílice como sustituto del
cemento en la elaboración del concreto hidráulico

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

Presenta:

Luis Alberto González Luna

Director de Tesis:

Dr. Hugo Luis Chávez García

Codirector de Tesis:

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán

Morelia, Michoacán, noviembre de 2023

Resumen

Desde la revolución industrial se ha tenido que la elaboración de los productos se ha incrementado tanto en cantidad como en calidad y esto se debe a que se tiene la ley de la oferta y la demanda en la cual ha ido incrementando con el paso de los años en donde uno de los factores es el incremento de la población que se ha ido de manera exponencial con el paso de las décadas, esto ha llevado que muchas de las industrias que con respecto a la demanda de materiales que requieren para su manufactura en cuanto a los bienes y servicios se tiene que en cuanto a los procesos que se llevan a cabo para su ejecución son los que generan un impacto antes, durante y después de la elaboración de los productos, todo esto generado por una economía del tipo lineal en donde se ha llevado a cabo todo tipo de impactos desde la contaminación de los medios que producen el cambio climático, como la alteración de los medios naturales “ecosistemas”. Además, en el pasado se tiene que desde la generación de la revolución industrial estaban separadas las cuestiones económicas, sociales y ambientales. Con el paso de los años se tiene que estas cuestiones se van ligando con respecto en la producción de las cosas para lo cual se tiene que hay una tendencia a la economía circular. Para el caso de esta investigación se pretende hacer una propuesta de la liga de tres tipos de industria completamente distintas que son la generación de la electricidad con la producción de textiles y con la producción del concreto que es una de las partes de la industria de la construcción. Todos estos elementos se tuvieron un enfoque en la generación de concreto en donde se empleó los residuos de la industria textil que en este caso fue elementos de pre-consumo de los cuales son el resultante o sobrante de la elaboración de las prendas y se empleó a modo de fibras textiles de polyester con medidas de 5 cm de largo por 5 mm de espesor en adición con respecto a la masa del concreto. También se empleó material que resulta del proceso de la generación de la electricidad que en este caso es la sílice en donde este material se le aplico un tratamiento de procesamiento por pulverización en el cual se empleó este material que pasa la malla #200 que son tamaños menores a .075mm en sustitución de la masa de cemento con el fin de determinar ciertos aspectos como lo son que tan compactibles son los materiales con el concreto y que tanto impacto se ve reflejado con respecto a su empleo en el concreto. Se realizó un diseño de mezclas de concreto con el método del american concrete institute “ACI” en el cual se eligió un diseño por durabilidad

en donde se eligió una relación agua cemento de 0.45 por lo que da una resistencia de 38 mega pascales (MPa) para lo cual se hizo un desarrollo preliminar en donde que para el caso de las muestras que contienen las fibras se tuvo que hacer mezclas de adiciones de 1, 2, 3, 4% de la masa del cemento y para el caso de las muestras con el subproducto se tiene que se analizaron muestras con el 3, 5 y 10% en donde se eligieron las muestras que en adición de fibras fue del 2% y en sustitución del concreto fue de un 3% debido a su comportamiento mecánico de la compresión, además de que se realizo concreto con la combinación de ambos y un concreto convencional para hacer una comparación en donde se realizaron muestras para hacer pruebas destructivas como compresión, tensión y flexión; pruebas no destructivas como resistividad eléctrica y frecuencia de resonancia, prueba de absorción capilar y un análisis de ciclo de vida de la mezcla que mejor comportamiento tuvo donde nos dio como resultado las muestras que contienen la sílice como la mejor mezcla en donde incrementa con respecto al diseño en valores del 10 al 20% de estos y donde se obtuvo una reducción de los impactos de un máximo de 5% de los 18 impactos que se analizaron.

Palabras Clave: Economía circular, concreto con adiciones, concreto con suplementos, concreto durable, reducción de impacto en concreto.

Abstract

Since the industrial revolution, the production of products has increased both in quantity and quality and this is due to the law of supply and demand in which it has increased over the years. where one of the factors is the increase in the population that has gone exponentially over the decades, this has led to many of the industries that with respect to the demand for materials that they require for their manufacturing in terms of goods and services, in terms of the processes that are carried out for their execution, are those that generate an impact before, during and after the production of the products, all of this generated by a linear economy where has carried out all types of impacts from the pollution of the media that produce climate change, such as the alteration of natural environments “ecosystems”. Furthermore, in the past, since the generation of the industrial revolution, economic, social and environmental issues were separated. As the years go by, these issues become linked to the production of things, for which there is a trend towards the circular economy. In the case

of this research, it is intended to make a proposal for the association of three completely different types of industry, which are the generation of electricity with the production of textiles and the production of concrete, which is one of the parts of the construction industry. construction. All these elements had a focus on the generation of concrete where waste from the textile industry was used, which in this case was pre-consumer elements of which are the result or leftover from the production of garments and was used mode of polyester textile fibers measuring 5 cm long by 5 mm thick in addition to the mass of the concrete. Material that results from the electricity generation process was also used, which in this case is silica, where this material was applied a spray processing treatment in which this material was used that passes the #200 mesh, which are sizes less than .075mm in replacement of the cement mass in order to determine certain aspects such as how compactible the materials are with the concrete and how much impact is reflected with respect to their use in the concrete. A concrete mixture design was carried out with the method of the American Concrete Institute “ACI” in which a design was chosen for durability where a water-cement ratio of 0.45 was chosen, giving a resistance of 38 mega pascals (MPa). for which a preliminary development was made where in the case of the samples that contain the fibers, mixtures of additions of 1, 2, 3, 4% of the cement mass had to be made and in the case of the samples with The by-product is that samples with 3, 5 and 10% were analyzed where the samples were chosen that in addition of fibers was 2% and in replacement of concrete was 3% due to their mechanical behavior of compression, In addition, concrete was made with the combination of both and conventional concrete to make a comparison where samples were made to perform destructive tests such as compression, tension and bending; non-destructive tests such as electrical resistivity and resonance frequency, capillary absorption test and a life cycle analysis of the mixture that had the best behavior which resulted in the samples containing silica as the best mixture where it increases with respect to the design in values of 10 to 20% of these and where a reduction in impacts of a maximum of 5% of the 18 impacts that were analyzed was obtained.

Keywords: Circular economy, concrete with additions, concrete with supplements, durable concrete, impact reduction in concrete.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias y por darme fuerzas para seguir todos los días para poder hacer el arte supremo de servir, también por haberme dado mucha templanza y voluntad de hacer las cosas con disciplina para poder afrontar todos los obstáculos que se me han venido presentado con el paso de este proceso de la realización de este trabajo.

A CONAHCYT por haberme dado los medios para que se compraran los elementos o materiales necesarios para la realización de este trabajo, sin este apoyo no sería posible tener este proyecto.

Al programa de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental que es un gran grupo de eruditos que sin su conocimiento ni sus consejos no habría encontrado los factores o los problemas que pueden influir en la ejecución de las pruebas o de las cosas teóricas que pueden ser de gran utilidad en el futuro y que me han ayudado a especializarme en un aspecto que en mi punto de vista es muy interesante como lo que es el analizar los materiales para que no generen impactos en el medio ambiente.

A mi asesor el Dr. Hugo Luis Chávez García por darme ánimos y por su mentoría para con un servidor y por su amabilidad en el momento de algunas dudas que tenía con respecto algunos factores y por haberme acompañado en la obtención de los materiales para la experimentación

A la empresa RETEX la cual fue la encargada de proporcionar amablemente el material textil en la elaboración de una parte de este proyecto que sin duda se aprendió mucho gracias a su disposición de donar el residuo textil

A la CFE en sus instalaciones de la planta de los Azufres por haberme donado los materiales de la sustitución en el concreto, por su amabilidad al donar este material que resultó en la obtención de datos muy interesantes los cuales me dieron muchos aprendizajes

A mis compañeros de la maestría Miguel Angel Contreras y Fabricio Ali por ayudarme a la elaboración de las mezclas y la ejecución de las pruebas en este trabajo, sin su apoyo no podría haber hecho nada y me hubiera tomado más tiempo en cuanto la elaboración de este

trabajo, así como su ayuda para la parte de determinar los impactos ambientales que se me dificultó un poco.

A laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” tanto en personal como en sus instalaciones en cuanto la elaboración y la ejecución de las pruebas ya que aquí se llevo la gran parte de la investigación para la obtención de los datos, así como a la gente de servicio social que pusieron su grano de arena en cuanto apoyo para que pudiera obtener estos datos.

Dedicatorias

A mis abuelos Antonio Luna Villalón, Bertoldo González Calderón, Sara Origel, que les mando un abrazo donde quiera que se encuentren y que siempre los llevo en mi memoria, así como en mi corazón. A mi abuela Magdalena Santillán que la quiero mucho.

A mis papas que son una gran fuente de inspiración y son un ejemplo para seguir en cuanto a hacer las cosas con pasión, templanza y disciplina que sin ellos no sería quien soy

A mis hermanas que sin duda en algunas cosas no concordamos pero que siempre respeto y las quiero mucho, aunque mi cara o mi forma de ser no concuerde con lo que digo, pero lo hago con todo cariño por ustedes

A todos aquellos que considero mis amigos ya que sin ellos la vida no me resultaría tan llevadera si no los tuviera y sin sus ocurrencias o compañía estaría sin nada de alegría

Contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Agradecimientos	5
Dedicatorias	6
Índice de ilustraciones	9
Introducción.....	13
Antecedentes.....	15
Hipótesis	18
Objetivo	19
Marco teórico.....	20
Elaboración de textiles.....	20
Crecimiento de la población	21
Moda rápida.....	21
Polyester	23
Algodón	23
Piel.....	23
Manufactura.....	24
Generación de electricidad	25
Generación carboeléctrica	26
Paneles solares.....	26
Generadores eólicos.....	27
Plantas de energía geotermiales.....	28
Elaboración del concreto	29
Agregados	29

Cemento.....	33
Aditivos	55
Economía circular.....	62
Desarrollo experimental	64
Caracterización de los agregados	64
Pruebas del cemento	80
Pruebas no destructivas al concreto.....	92
Resistividad eléctrica.....	92
Frecuencia de resonancia.....	93
Pruebas destructivas en el concreto	95
Resistencia a la compresión en el concreto	95
Módulo de elasticidad en el concreto	97
Tensión por compresión diametral	101
Módulo de ruptura del concreto.....	102
Prueba de durabilidad del concreto	104
Prueba de absorción capilar tipo Fagerlund	104
Análisis de ciclo de vida.....	106
Resultados.....	112
Preparación del subproducto de la geotérmica	112
Preparación de las fibras textiles	114
Pruebas de caracterización.....	115
Diseño de la mezcla de concreto	117
Pruebas preliminares.....	117
Prueba en elementos donde se empleó las fibras textiles	118
Pruebas en elementos con sílice (subproducto de la geotérmica)	119

Resultados de las pruebas no destructivas al concreto	120
Resistividad eléctrica en cilindros	120
Resistividad en prismas	121
Frecuencia de resonancia.....	122
Resultados de las pruebas destructivas	123
Resistencia a la compresión del concreto	123
Módulo de elasticidad del concreto	124
Tensión por compresión diametral	126
Módulos de ruptura del concreto	127
Prueba de durabilidad	128
Resultados de la prueba de absorción capilar tipo Fagerlund	128
Análisis de ciclo de vida	132
Unidad funcional	132
Límites del sistema	132
Criterios de cohorte y asignación de cada escenario	133
Escenario de la creación de concreto ecológico	134
Conclusiones.....	139
Bibliografía.....	143

Índice de ilustraciones

Gráfica 1 aumento de la población en México desde 1910 hasta 2020. Fuente INEGI.....	21
Gráfica 2 Resultados de las pruebas preliminares del concreto con fibras textiles.....	118
Gráfica 3 Resultados del esfuerzo a la compresión en muestras que contienen sílice de la geotérmica de los Azufres	119
Gráfica 4 Resultados de la resistividad eléctrica en cilindros	121

Gráfica 5 resistividad eléctrica en prismas de 15x15x60 cm	122
Gráfica 6 módulos de elasticidad dinámicos del concreto en vigas	123
Gráfica 7 Resistencia a la compresión simple en elementos cilíndricos de 10x20 cm	124
Gráfica 8 líneas de la tendencia del esfuerzo con respecto a la deformación unitaria	125
Gráfica 9 resultados de la compresión diametral.....	126
Gráfica 10 módulos de ruptura del concreto en prismas de concreto.....	127
Gráfica 11 Penetración del agua.....	128
Gráfica 12 estimación del coeficiente de permeabilidad de una muestra estimado con aproximaciones.....	129
Gráfica 13 absorción capilar del promedio de las muestras	130
Gráfica 14 porcentajes de la porosidad efectiva.....	131
Gráfica 15 sorción del promedio de las muestras.....	132
Gráfica 16 estimación de los impactos generados por la producción de concreto convencional	138
Gráfica 17 estimación de los impactos generados con la producción del concreto con la sílice	138
Gráfica 18 comparación de los impactos generados por las dos mezclas	139
Ilustración 1 Diagrama del concreto convencional	134
Ilustración 2 diagrama de procesos del concreto ecológico	136
Figura 1 Muestra representativa de arena puesta a secar. Por Luis Alberto González	65
Figura 2.- Cuarteo de agregado fino. ilustración propia.....	68
Figura 3.- Llenado y enrasado del agregado fino. Ilustración propia.....	68
Figura 4.- Toma de la lectura de la masa del agregado más el recipiente. ilustración propia	68
Figura 5.- Muestreo de agregado grueso. Ilustración propia.....	68
Figura 6.- Llenado del recipiente con agregado grueso. Ilustración propia	68
Figura 7.- Toma de la lectura de la masa del agregado grueso más el recipiente. Ilustración propia	68

Figura 8.- Material cuarteado para prueba de masa volumétrica. Ilustración propia	70
Figura 9.- Proceso de compactación del agregado fino. Ilustración propia	70
Figura 10.- Toma de la lectura de la masa del agregado más el recipiente. Ilustración propia	70
Figura 11.- Agregado grueso cuarteado para la prueba de masa volumétrica. Ilustración propia.....	70
Figura 12.- compactación del agregado grueso. Ilustración propia.....	70
Figura 13.- Toma de la lectura de la masa del agregado grueso más el recipiente. Ilustración propia.....	70
Figura 14.- Cuarteo del agregado fino para la prueba de granulometría. Ilustración propia	72
Figura 15.- Proceso de la distribución de las partículas con el raf-taf. Ilustración propia ...	72
Figura 16.- Distribución de las partículas de las distintas mallas. Ilustración propia	72
Figura 17. Una muestra de agregado fino que se puso en calor para que perdiera humedad. Por Luis Alberto González	75
Figura 18. Prueba del molde troncocónico. Por Luis Alberto González	75
Figura 19. Obtención de la humedad por medio del cristal. Por Luis Alberto González.....	76
Figura 20. Determinación del peso seco del agregado. Por Luis Alberto González	76
Figura 21. El agregado está en estado óptimo para la realización de la prueba. Por Luis Alberto González.....	77
Figura 22. Obtención de la masa del vaso de Chapman. Por Luis Alberto González.....	78
Figura 23. Vaso llenado con agua hasta la marca de 200 ml. Por Luis Alberto González...	78
Figura 24. Colocación del agregado y homogeneizado con el agua. Por Luis Alberto González	78
Figura 25. Relleno de agua hasta la marca de 400 ml. Por Luis Alberto González	78
Figura 26. Aparato de Vicat. Por Luis Alberto González	81
Figura 27. Obtención de los 300g de cemento. Por Luis Alberto González	82
Figura 28. Colocación del cemento en la capsula para mezclar con el agua. Por Luis Alberto González	82
Figura 29. Prueba de revenimiento.....	89
Figura 30. elaboración de las muestras de concreto. Fuente propia	91

Figura 31 curado por inmersión en agua. Fuente propia	92
Figura 32. Ejecución de la resistividad eléctrica en una muestra cilíndrica. Fuente propia.....	93
Figura 33 prueba de frecuencia de resonancia en vigas. Fuente propia	95
Figura 34 prueba de compresión en cilindros de 10 cm de diámetro. Fuente propia	96
Figura 35 prueba del módulo de elasticidad del concreto	99
Figura 36 ejecución de la prueba de compresión diametral. fuente propia	101
Figura 37 prueba para obtener el módulo de ruptura del concreto. Fuente propia.....	103
Figura 38 ejecución de la prueba de absorción capilar en elementos de concreto. Fuente propia.....	105
Figura 39 ubicación de la planta geotérmica de Los Azufres. Fuente Google Maps	113
Figura 40 extracción y secado del subproducto de la geotérmica. Fuente propia	113
Figura 41 reducción del tamaño del material a finos. Fuente Propia	114
Figura 42 localización del centro de acopio. Fuente Google Maps.....	115
Figura 43 elaboración de las fibras de textiles. Fuente propia	115
Figura 44 Ubicación del banco de materiales de agregados finos. Fuente Google Maps ..	116
Figura 45 Ubicación del banco de materiales del agregado grueso. Fuente Google Maps	116
Tabla 1 fuente de obtención para el ICV	136

Introducción

Desde que se comenzó con lo de la época industrial en el siglo XVIII se ha incrementado el uso de nuevas formas de producción de todos los productos que se tienen y que requieren de un procesamiento para la generación de todos los bienes y servicios. Todos estos tienen su función en que tanto se necesitan porque en este tipo de materiales se van teniendo tendencias que van cambiando a través de los años, todas estas industrias se iban enfocadas en tres aspectos importantes: el primero que trata de que las personas necesitan un lugar donde habitar, aquí entra lo que viene siendo la industria de la construcción en donde antes los lugares así como las edificaciones se realizaban de modo empírico para el cual se realizaban de acuerdo con la experiencia que iban teniendo las personas para hacer sus edificaciones e infraestructura. Otra de las cuestiones que se iban teniendo en desde épocas antiguas es el alimento, que desde la prehistoria se tiene que los alimentos se iban recolectando, además de que otro tipo de provisiones se cazaban, por lo que antes los humanos eran nómadas que era un estilo de vida en el cual las personas se tenían que mover de un sitio a otro para conseguir alimento, no fue sino hasta la época de las antiguas civilizaciones que descubrieron la agricultura para la producción de los alimentos, no fue hasta el siglo XVIII que se comenzó la época industrial en donde se comenzó con lo de la generación de elementos en masa para el abastecimiento de alimentos en este caso para toda la población. Uno de los aspectos más importantes es el impacto que tiende a generar el aumento de la población en la cual en el siglo XVIII eran aproximadamente mil millones de personas, en el siglo XX se tenía que la población era de 6 a 7 mil millones de personas, en el presente año del 2023 se tiene que la población ya superó los 8 mil millones de personas, todo esto es de acuerdo con las demandas propias de la población es el alimento que para abastecer a toda la población se tiene un gran impacto. otro de los aspectos tiene que ver con las tendencias que se tienen de acuerdo con la calidad de vida, así como de la obtención de recursos que son necesarios para que la gente haga sus funciones como el vestido en la cual se tiene otro tipo de industrias como la textil o el en curtimiento de pieles, para el caso del estilo de vida se tiene como la generación de elementos combustibles o energéticos, una de las industrias que más se requieren en la

actualidad es la energía eléctrica que se ha vuelto indispensable para las necesidades diarias de las personas, todos estos factores son un detonante combinado con el caso del estilo de vida que tienen las personas de acuerdo con las distintas culturas, gracias a los hábitos que van teniendo las personas pueden afectar positiva o negativamente el ambiente en el que se desarrolla. Para el caso del funcionamiento de las industrias se tenía que eran de modelo lineal en el cual es que todos los productos están en un proceso que van de la extracción de los insumos, el habilitado de estos, la manufactura de los productos, el empleo de estos productos, y finalmente la disposición final de los mismos, todos estos factores han ido evolucionando a través de los años ya que eran solamente aspectos económicos, ecológicos o sociales por lo que estaban dispersos. Con el paso de los años se tenía un crecimiento de la demanda de los productos que iba desde el abastecimiento de agua, abastecimiento de alimentos, entre otras cuestiones que sin duda se requieren de una mayor cantidad de productos tales que el impacto va creciendo de manera exponencial. En la actualidad se tiene los tres aspectos mencionados anteriormente han ido combinándose hasta formar uno solo que sin duda suele ser el percusor en la producción de los productos que suelen ser empleando otros procedimientos para el cual se tiene que deben ser más eficientes, más fáciles de elaborar y que cumplan con un cierto estándar de calidad en el cual si se cuida un aspecto en general se reducen los otros dos, esto a lo largo del tiempo ha traído que los nuevos insumos se vean reducidos y se emplee el caso de elementos que se reutilizan para la formación de materiales sin embargo el determinar su calidad suele ser una tarea que en estos tiempos es lo que se tiene estar analizando a cada rato. Las nuevas tendencias son de cambiar los modelos de economía en el cual se tiene que reemplazar los métodos y normativas de las empresas en donde se aproveche al máximo los insumos o que los residuos se puedan usar en otros procesos esto se trata de un modelo lineal a uno circular. Hay una gran cantidad de factores que influyen en la generación de impactos hacia el medio ambiente de los cuales genera problemas como la pérdida de la biodiversidad o el propio cambio climático en donde todo tiene que ver con el aspecto social, así como de las cuestiones políticas que pueden llegar a tener los gobiernos, organizaciones y algunas empresas internacionales. La economía circular es una respuesta a el impacto que puede generar el aprovechamiento de los materiales para el cual trata de hacer el uso de los materiales hasta su máxima expresión de uso, además

de la prolongación de la vida útil de los materiales. En este caso se ve las condiciones de tres tipos de empresas distintas como lo es el caso de la elaboración del concreto, la elaboración de textiles, y de la generación de energía eléctrica, cada una de estas industrias tiene una gran variedad de elementos, factores, procesos y residuos de los cuales se tiene que estos suelen ser un potencial material en otros procesos y así fomentar la parte de la economía circular.

Antecedentes

Recent trends in a sustainable textile. Menciona un esquema de cómo se va teniendo la producción de textiles en el mundo para el cual menciona con datos sobre la producción de estos insumos en un esquema general y el cual ve acerca del incremento de la producción, así como de la economía propia de los textiles a través del inicio del siglo, así como de las cantidades de materiales que se emplean en la elaboración de las prendas que viste la gente a lo largo de su vida. La propia vida útil de las prendas y de sus métodos de disposición final que dependiendo de las prendas unos pueden repercutir más que otros de acuerdo con los parámetros dados para su disposición final de la cual se tenía que estos materiales eran un generador de elementos que pueden alterar la atmosfera como gases de efecto invernadero, por ultimo menciona acerca de los procesos que tienen los textiles para su reciclaje como por ejemplo la generación de carbón empleando elementos de algodón para este fin, realizando por medio de procesos de pirolisis, hay otros métodos de los cuales se emplea el polyester como materia prima y se re sintetiza este material para obtener elementos combustibles como el metano y algunas variantes de diésel, además de que menciona que puede resultar imposible la reelaboración de nuevas prendas debido a que estas debido al desgaste que tienen y de las prendas que se suele desconocer el estado en el que se encuentran por cuestiones higiénicas o sanitarias, otra de las razones por la que su reciclaje en la elaboración de nuevas prendas es debido a que todas si no es que la mayoría de ellas se suele colocar otros objetos para sujeción o confinamiento de estas prendas como cierres, botones, velcros y otros elementos que impiden la recuperación completa de los materiales.(Pensupa et al., 2017)

A state-of-the-art review on sustainable low costing housing and adaptation of textile reinforced concrete. Menciona prácticas de construcción en las cuales es un análisis desde

cuando la India se independizó y se tuvo un auge en el empleo de elementos prefabricados en la construcción de viviendas en los sectores más pobres de la sociedad. Para el cual se elaboran elementos prefabricados de concreto en lo cual se incorporan elementos textiles en la compensación de volúmenes y otros aspectos que hacen que el concreto en este caso suele ser un elemento aligerado, con un alto grado de ductilidad y que no es susceptible a la corrosión en la cual se le hicieron pruebas de resistividad, así como en la fabricación de elementos representativos en el cual suele ser muretes de concreto en los que se le agrego una capa de textiles para lo cual se tiene que estos se hizo un entrelazamiento como si fuera una malla entre las capas de concreto y se le realizaron pruebas de flexión y de compresión.(Immanuel & Baskar, 2023)

On the separation and recycling behavior of textile reinforced concrete on experimental study. Es una experimentación acerca de lo que es una serie de muestras de concreto y explica la adherencia o impregnación de distintos tipos de fibras como las de vidrio, carbón u otros componentes como polímeros que son de los esteres tales como el polyester en donde se hicieron pruebas de impacto y pruebas de flexión esto en muestras en las cuales se tiene que se decrece el esfuerzo de la flexión comparada a las muestras que contienen carbón sin tratamiento, sin embargo, tres diferentes métodos fueron investigados con respecto a su influencia en la recuperación de estireno, butadieno recubriendo con textiles de carbón, el impacto del material así como de los materiales empleados en cuanto a su comportamiento se tiene que se deducen en cuanto a los experimentos.(Kimm et al., 2018)

Mechanical properties or lightweight concrete partition with a core of textile waste. Menciona el uso de fibras de residuo en la elaboración de concreto del cual aligera la masa del concreto y aumenta sus características de flexión. El tipo de experimentación que se realizo fue en muestras de concreto en las cuales se le incorpora en las muestras en formas de prisma en la cual en su elaboración se hicieron en base de concreto y para la cual es una base de concreto y en la parte interna para la cual es la matriz propia del concreto se le colocó una parte de fibra de textiles que son de fibras de vidrio, los que ocasiona que el concreto se aligera el concreto además de que las muestras en el momento de hacer la prueba de la flexión en la cual se tiene un comportamiento en la cual no se fallan súbitamente las muestras cuando se sometieron. (Aghae & Foroughi, 2013)

A textile waste fiber-reinforced cement composite compassion between short random fiber and textile reinforcement. Este artículo es sobre un análisis en el cual se hace un análisis de impacto que va teniendo el concreto y las fibras textiles que se componen de polyester y otros elementos que son de esta naturaleza en las cuales son fibras en las que se transformaron en una especie de membrana de las cuales se tiene que se realizaron pliegue de este material, para lo cual se realizaron muestras de dos tipos para el cual se tiene que las muestras son en forma de prismas y en forma de paneles par el cual estas membranas que se tiene que se elaboraron a partir de un método en el cual se hizo una pasta de cemento que se mezclaba con las capas de membranas y que se compactaron con una prensa en los cuales a los prismas se sometieron a la flexión en la que a los prismas fue una flexión en el centro del claro y en los paneles se le aplico una carga a los 2/3 de claro observándose que las muestras se tienen que se tienen altos grados de deformación con respecto a los paneles y los prismas tienen una falla no tan crítica de la cual no se separan las muestras. Otra de las pruebas que se realizaron fue la deformación en la cual se midió con un micrómetro para el cual se midió con respecto a los procesos de secado en la cual se ve con el aumento de las dimensiones y determinar qué tan aislantes térmicos. (Sadrolodabae et al., 2021)

Estudio comparativo sobre los efectos de las adiciones de nano-Sio₂ y humo de sílice en concretos base cemento portland expuestos a altas temperaturas. Se trata de un análisis del cual se tiene una elaboración de concreto en la cual se emplea el material subproducto de la planta geotérmica de cerro prieto del cual se tiene que los análisis para el cual se tiene que las mezclas que se realizaron con el material aumentaron las propiedades mecánicas del concreto en este caso para pruebas de resistencia a la compresión y otros elementos que pueden mejorar sus características al agregar este tipo de materiales. (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015)

Adición de geotermiales para incrementar el desempeño mecánico en cerámicos base portland. Es una investigación en la cual se tiene que se hicieron experimentos con morteros en los cuales se agregaron el subproducto de dos tipos de elementos de la producción de la energía eléctrica de la cuales realizaron distintos tipos de muestras de mortero para la cual se tiene que se realizaron elementos con sustituciones de este material con respecto a un porcentaje de la mas de cemento que se emplea en la elaboración de las muestras de mortero.

En esta investigación se ve todos los datos para la elaboración de las mezclas para la cual se tiene que las mezclas son realizadas y el momento de la ejecución de las pruebas el cómo se va comportando las muestras con respecto a una mezcla convencional en la cual no se tiene los materiales con los que se realiza la experimentación y se ve que se tienen un crecimiento en cuanto a la mezcla testigo en ciertas edades.(Susana et al., n.d.)

Hipótesis

Las fibras textiles pueden ayudar al concreto a que no resulte frágil por su naturaleza debido a la naturaleza que tiene el material en cuanto a resistir esfuerzo a tensión por lo que puede volver a los elementos más dúctiles adquiriendo propiedades plásticas de acuerdo con la combinación de estas mezclas se tiene que estas mezclas de concreto tienen la capacidad de que no se limitan a los esfuerzos que hacen el concreto más frágiles, evitando que este se agrieta o se parte. Con las fibras hacen que el concreto tenga un comportamiento más elástico ya que otra de las condiciones que puede generar las fibras para lo cual se tiene que tienen cierta tracción o adherencia con las mezclas que en este caso suele ser el cemento que puede unir estas partes para aumentar la parte de la resistencia a la tensión. El aprovechamiento de estas fibras puede reducir la masa del cemento que las fibras suelen ser un elemento para el cual el cemento puede aprovecharse de la mejor manera puesto a que con tan solo un porcentaje menor que el 10% de la masa del cemento par el cual se tiene un cierto porcentaje considerable para el cual se aumenta el volumen de la mezcla de concreto.

El subproducto de la planta geotérmica suele darle más resistencia al concreto debido a sus características para lo cual se hace mención de que este elemento es un material del que se puede hacer el cemento por lo que tiene una gran cantidad de este elemento que se puede aprovechar de acuerdo con su generación que es sin duda el caso de la generación de la electricidad. Su empleo reduciría el uso de suelo para su almacenamiento debido a que este material suele ser reactivo generando impactos en la salud humana para lo cual se tienen cientos de toneladas almacenadas que se tiene que hacer con ellos. Ambos materiales pueden mejorar las propiedades del concreto la combinación de las partes de la generación de este tipo de concretos se puede tener dos ventajas, sin embargo, se tiene que al combinarse unos residuos en otras industrias para lo cual estos residuos tienen las propiedades que otros

procesos requieren aprovechando así los materiales para adquirir un mejor funcionamiento. Este aprovechamiento puede hacer que las empresas tanto de la construcción, como de la generación de electricidad y textil formen ligas en la industria de la construcción para el aprovechamiento de los materiales que en las dos primeras se consideran residuos y provocando la mitigación de los impactos que estos residuos puedan producir.

Objetivo

Generales:

- Emplear residuos textiles de pre-consumo en adición a las mezclas de concreto para un mayor aprovechamiento
- Emplear un material subproducto de la generación de electricidad por géiseres como sustitución del cemento en mezclas de concreto
- Hacer una mezcla con la adición de los residuos textiles en combinación de la sustitución del subproducto de la geotérmica de los azufres en mezclas de concreto
- Promover lo de la economía circular englobando las industrias de la construcción, generación de la electricidad y la industria textil en hacer elementos de concreto.

Específicos:

- Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas para determinar qué proporción es la idónea
- Determinación de las características de las mezclas como la resistencia a la compresión, resistividad eléctrica, masa, resistencia a la flexión, resistencia a la tensión indirecta, porosidad, ataque por sulfatos, entre otras. Para ver la durabilidad y resistencia
- Promover la sustentabilidad en las industrias para que aprovechen sus materiales y reciclen.

Marco teórico

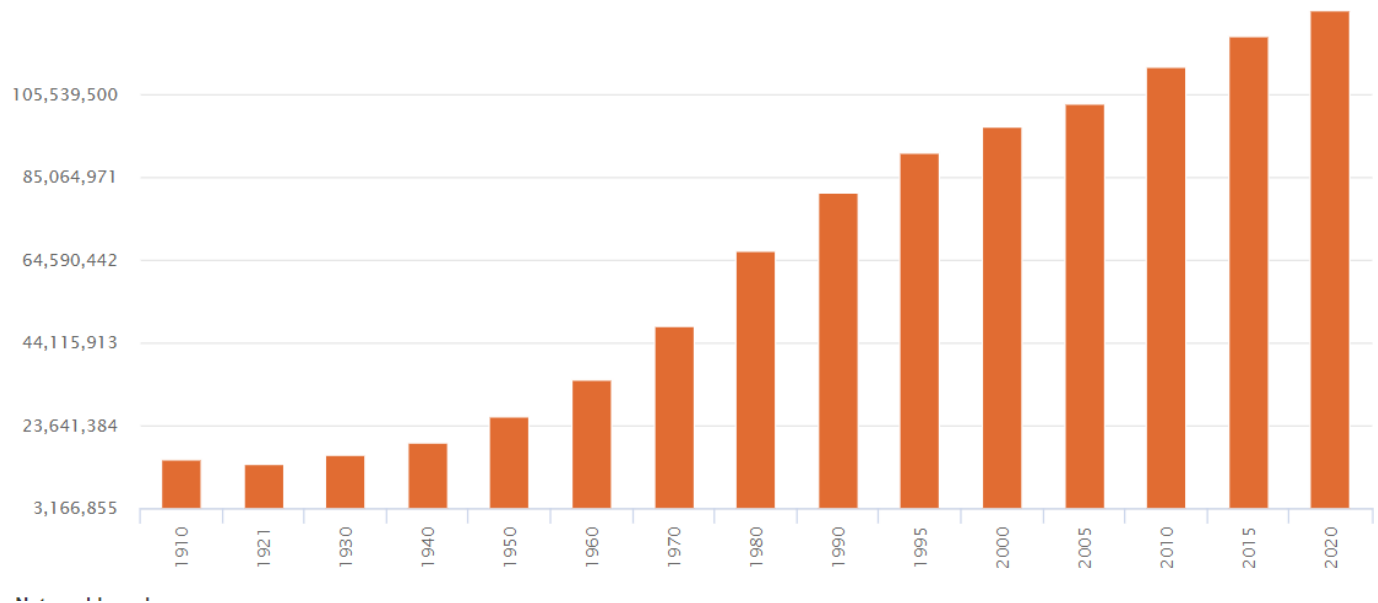
Elaboración de textiles

Desde épocas prehistóricas el hombre ha ido evolucionando con respecto a las costumbres que ha estado desarrollando, dichas costumbres han hecho que los rasgos de los humanos han estado cambiando a lo largo de los años, uno de estos hábitos o costumbres ha sido la vestimenta que en épocas muy antiguas el hombre no usaba prendas de vestir hasta que se vio desafiado por las condiciones propias de la naturaleza como la temperatura y algunos parásitos u organismos que eran propagadores de enfermedades y los que hacía era que el hombre falleciera. Gracias a estos factores se ha tenido que recurrir al empleo de elementos como las pieles de algunas bestias que se empleaban para recubrirse y evitar estos factores. A lo largo de la historia se han domesticado varios animales para la generación de las pieles y otros elementos para la generación de las prendas que se empleaban en la antigüedad, entre estos animales fueron los bovinos y ovinos de los cuales se han usado pieles en el caso de los bovinos para la elaboración de prendas, otra de las especies eran los ovinos de los cuales se tienen la capacidad de la generación de pelo que ha sido aprovechado para la elaboración de prendas. Se han estado indagando sobre el empleo y el proceso de la generación de las prendas de vestido con otros materiales, uno de ellos es sin lugar a duda el algodón que es un material de origen vegetal para el cual se tiene un uso o aprovechamiento muy grande en el cual se ha empleado en prendas que son de este material que se han usado muy frecuentemente. Hay otros materiales que se elaboran de manera sintética de cual son esterres, (polyester) que son materiales del cual se hace de una base de hidrocarburos que al ser sintetizados quedan elementos que son de tejido más fino.

Como todos los procesos de la generación de bienes y servicios se han seguido un proceso del cual es la extracción u obtención de materia prima el siguiente paso es de la manufactura de la elaboración del producto que se trata de la confección de las prendas que tienen un cierto grado de efectividad en cuanto al uso de las prendas que simplemente se ocupa un máximo de un 75% de la materia para la elaboración de las prendas, esto va dejando un cierto grado de generación de residuos producto de la confección de las prendas.

Crecimiento de la población

Este es uno de los impactos que más generan en cuanto al aumento de la población ya que esta aumenta de manera exponencial de la cual en lo que va tan solo en México hay una población de aproximadamente 126 millones de habitantes en el 2020, como se sabe uno de los productos que más se realizan son los de vestido que por lo general toda la población requiere de prendas de vestir.



Gráfica 1 aumento de la población en México desde 1910 hasta 2020. Fuente INEGI, año

Desde el año 2010 hasta la actualidad este crecimiento con una tasa de 1.16% lo cual es un crecimiento muy general que se ve reflejado en cuanto la elaboración de las prendas la cual incrementa la población y aumenta la demanda de los productos que se consumen y de acuerdo con su vida útil se tiene que estos producen alrededor de 13000 toneladas de residuos que se van a los vertederos en el cual se van reciclando del 0.5% al 1% de los residuos totales. (SEMARNAT, 2018)

Moda rápida

Este es un fenómeno que ocurre en la industria textil en la cual se ha generado su auge desde la década de 1980 en la cual se van ofreciendo a el público en general que en periodos de tiempo relativamente cortos se van sacando nuevas tendencias, por lo que se opta por la producción en cadena de nuevas prendas bajo un sistema que busca que las prendas tengan

un cierto grado de tendencia sin poner en consideración elementos como la calidad propia de las prendas, haciéndolas más baratas y que tengan un corto periodo de tiempo de su uso, como un esperado uso o creciente demanda de estos elementos que se encuentran en grandes fuentes todo por el uso de las tendencias que se tienen o que están pasando a lo largo del tiempo por lo cual muchas de las empresas se tienen que son cada vez más recurrentes el empleo de la manufactura de países en vías de desarrollo para abastecer la gran demanda. El incremento del neoliberalismo es otra de las causas de que haya moda rápida donde los académicos argumentan acerca de la producción ha creado una insaciable demanda por las modas, con algunos negocios que ofrecen arriba de 20 temporadas por año y creando la cultura de la adicción con un consumo llegando a ser algo incontrolable, esto puede convertirse en una adicción en la cual se atribuye a llenar un vacío hedonista y necesidades psicológicas. De acuerdo con la literatura se tiene que cercar de 40 millones de personas trabajan en la manufactura en donde el 90% provienen de países semidesarrollados y en vías de desarrollo en donde la seguridad no es una prioridad, aunque el comité de auditoría ambiental reconoció que la moda rápida provee trabajo, ellos también están de acuerdo con las labores forzadas continuas. Se estima que el impacto generado por la moda rápida es perjudicial en donde se gastan alrededor de 93 billones de metros cúbicos de agua en actividades de producción por año además de que se estima que cerca del 8 al 10% de las emisiones de carbono se deben a esta industria, así como del 20% de problemas con el agua que se consume. Hay empresas que para que sus productos que no se venden optan por quemar todas las prendas que producen para evitar que sean revendidas, sin mencionar en cuanto la venta de prendas en línea que es lo que se tiene en tendencia de lo cual está haciendo un cambio muy importante para el consumo de las prendas. Uno de los materiales que más se emplean para la elaboración de las prendas es sin duda el algodón del cual se tiene que para la producción de textiles de algodón se requieren alrededor de 65000kWh de electricidad y más de 250 metros cúbicos para la producción de una tonelada de algodón, para finalizar también se emplean elementos con el fin de garantizar el crecimiento de este material se emplean materiales como pesticidas e insecticidas que contaminan los suelos en el mundo. Otro de los problemas es la disposición final de las prendas que en algunos casos se tiene que

la vida útil de estas prendas sea de alrededor de 1 a 2 años como máximo.(Herold & Prokop, 2023)

Polyester

Consiste en la producción de fibras, hilados giratorios, tejer y tejer en fábricas, teñir y coser. Las fibras usadas en el polyester son sintéticas de polímeros de base fósil que son derivadas de carbón, aire, agua y petróleo. Las fibras pueden ser hiladas en polímeros de color o teñidas después de tejidas. Las prendas se hacen en la etapa de la manufactura en la cual en su presentación final suelen ser vendidas para lo cual se tiene una amplia variedad de prendas y su duración depende de una relación de uso con respecto a la cantidad de ciclos de limpieza que van teniendo las prendas.(Horn et al., 2023)

Algodón

Este elemento se usa cotidianamente cada día debido a su suavidad, calidez y su capacidad de hacer que el cuerpo respire, la innegable ventaja del algodón es que es una bio fuente hecho de materiales amigables y es un polímero biodegradable que es extremadamente importante en el punto de estrategias de reducción. La celulosa del algodón se compone de una larga subbase de grupos hidroxilos que se forman de bonos de hidrogeno con moléculas de agua, además son higroscópicos, hidrofílicos y pueden absorber agua que lo hacen muy útil en muchas aplicaciones como la separación del agua. Por lo antes mencionado la celulosa de este material tiende a ser de fácil degradación en la presencia de factores naturales como humedad, microorganismos. Además, su protección apropiada es requerida, la presencia de hidroxilo abre posibilidades usando transformaciones en reacciones químicas. Januszewski et al., 2023, uno de los usos más recurrentes del cual se tiene un empleo en elementos de mezclilla tales como pantalones, camisas, etc., los pantalones son sin lugar a dudas una de las prendas más usadas por las personas lo que hace este uno de los materiales más empleados en la manufactura de prendas.

Piel

Otros de los elementos que se emplean para la elaboración de prendas se trata de elementos de piel, tales como animales bovinos, ovinos que son elementos de los cuales se hacen bolsas, calzado y sombreros, otro de los animales más exóticos que se emplean para la elaboración

de prendas es conejos o nutrias que suele ser de lo que se hacen algunos sombreros, otros animales que se han empleado son de algunos felinos grandes como leones que se han usado en la elaboración de prendas. Muchos de los elementos que se requieren en la manufactura de las pieles es que adquieran una textura suave y evitar que tengan un aroma fétido en su uso, la industria del curtimiento crea una gran cantidad de Volumen de sólidos y residuos líquidos que son para el proceso, curtido, protección de la degradación microbiana, calor, suavidad y humedad. Uno de los elementos que más se emplean en el curtido de la piel es el cromo que ofrecen una excelente estabilidad hidrotérmica, sin embargo, este material tiene también desventajas con respecto a su empleo ya que tienden a contaminar el agua para el cual se tiene un elevado costo en el tratamiento del agua.(Jimenez-Paz et al., 2023)

Manufactura

Esta es una parte importante en el proceso de la producción de las prendas las cuales se tienen que hacer recortes de los materiales, estos recortes no son regulares, en contexto, el material que en este caso suele ser pliegos rectangulares se hacen recortes de otras formas como triángulos y círculos por lo cual gracias a este cambio en la forma de las piezas que se necesitan para la confección de las prendas se tiene un cierto porcentaje en la producción de las prendas se maneja una cantidad de desperdicios de estos materiales. Otro de los factores es el desgaste que en algunas prendas se realizan, por ejemplo tenemos los jeans, que en si es una prenda de bastante calidad, pero que debido a las tendencias que se tienen de la moda resultan que estas prendas son menos claras o que tienen partes que son desgastadas debido a las tendencias, esto hace que la vida útil de las prendas se vea reducida de 5 años a máximo 1 año, de acuerdo con las tendencias, otro aspecto es el cambio rápido de prendas que tiene una persona por su edad para el cual se tiene que una persona en cuanto a su edad no usa las mismas prendas debido al crecimiento de la gente en cuestión, otro de los factores puede ser el gusto adquirido que suele cambiar de mentalidad de las personas y las tendencias de la ropa también pueden ser otro factor. Los elementos se tiene una gran variedad de elementos del cual son accesorios u otras partes que llevan las prendas para su funcionamiento y estándares de durabilidad, tales objetos son botones, sierres, velcros, agujetas, etc. Debido a los elementos antes mencionados y a los ciclos de lavado, el reciclaje de las prendas suele

ser menor por el desgaste que tienen las prendas en el caso de hacer reciclaje en la elaboración de nuevas prendas.

Generación de electricidad

La generación de electricidad suele ser una de las industrias de las cuales suele ser una de las energías que más se usan en la actualidad que por sí misma se tiene un aumento de la demanda debido a ciertos factores como la generación y uso de nuevas tecnologías como el empleo de elementos como electrónicos, elementos de línea blanca y para procesos industriales como en la manufactura, empaque y otro tipo de novedades que han estado saliendo en cuanto a opciones de transporte para el cual ya los automóviles se tiene que ya se está cambiando la tendencia al hacer autos eléctricos. Para la generación de la electricidad se tiene varias fuentes como lo son en base a la generación de corriente directa o alterna mediante el movimiento mecánico de turbinas que generan la energía. Una de las cosas que se tiene en cuanto a la generación de la electricidad es que se está aumentando la demanda de la energía, como lo es el uso de elementos de uso permanente como los refrigeradores del cual se tiene que estos elementos sirven para la manutención de los alimentos que están frescos, hay también elementos que son de uso cotidiano del cual se tienen que solamente lo usamos por una cantidad de horas al día, muchos de estos elementos se trata de dispositivos electrónicos como computadoras, elementos que necesitamos para hacer una tarea como la de cocinar la cual es un elemento muy arraigado en la vida de la gente en varios países, se requiere de la energía para hacer horneados, o en la molienda de los alimentos, así como el procesado. Hay elementos que se emplean en sitios que son de modo temporal como si se vive en sitios con temperaturas cálidas o frías, aunque es más común en condiciones más cálidas de la cual ya se está empleando el uso de aparatos refrigerantes como climas o aire acondicionados para el cual se requiere de energía para hacer que estas se tratan de emplear en ciertas temporadas del año eso dependiendo del lugar como en las épocas de verano. Todos estos factores son los que hacen el empleo de la energía eléctrica como uno de los servicios de los cuales se han vuelto una necesidad ya que sin electricidad no sería posible la comunicación o el simple conocimiento de las nuevas tendencias o novedades que han pasado en el mundo, también es un indicador para avisar cuando hay catástrofes como de que hay sismos u otros fenómenos

de naturaleza destructiva. Las fuentes de obtención de energía eléctrica son variadas y cada una tiene sus variantes, así como de algunas problemáticas que tienen en consideración.

Generación carboeléctrica

Este tipo de la generación de electricidad del cual se requiere de dos factores importantes: el primero es de acuerdo a la generación de energía térmica la cual es por medio de la ignición de elementos que pueden ser elementos sólidos como el carbón del cual se tiene que extraer este elemento de la naturaleza de la cual se tiene que extraer este mineral del cual se tiene un cierto potencial de poder calórico que va desde un 45 a un 60% de esta condición para la generación de la electricidad el proceso es muy simple, se trata de la combustión de este elemento para que se caliente una caldera, de la cual se tiene que este se está lleno de agua para el cual se tiene que elevar la temperatura para que se evapora y debido a las altas presiones que tiene el agua en este estado se conduce hacia las turbinas las cuales van generando la electricidad. Hay otras maneras del empleo de elementos que contienen carbón, unas por lo regular son un poco de mayor poder calórico como el empleo de gas, este por lo regular tiene un poder de un 80 al 95% del calor generado para el cual se considera como el mayor generador de la energía térmica y en términos de calidad y tiempo de producción de las llamas se tiene que estas si empleamos el poder del carbón puede demorar en la combustión completa de estos elementos, en caso contrario del gas que se tiene una cantidad más limitada de tiempo de combustión por lo cual se tiene que se va gastando de una manera más rápida. Debido a la producción de la electricidad se tiene que genera cierto impacto como la generación de gases de efecto invernadero o gases como del monóxido o dióxido de carbono que son de las grandes repercusiones en la producción de la electricidad. Estudios de la IPCC publicaron que en a finales del siglo se prevé el derretimiento de los cascos polares en un 80%, del cual se debe en gran medida en la quema de combustibles fósiles que alteran en gran medida a los ecosistemas, así como la reducción de la economía social que uno de los impactos más generales es el incremento de la población que hasta cierto punto.(Lin et al., 2023)

Paneles solares

Esta es una de las alternativas en cuanto a la generación de la energía eléctrica que va de acuerdo a ciertas condiciones, se considera un tipo de energía verde por lo cual no emite

gases de efecto invernadero por lo que puede ser uno de los principales reemplazantes en cuanto a la obtención de energía, su empleo ha sido muy reciente por lo que es una obtención de energía de vanguardia, consta de una serie de paneles los cuales recubren una cierta área, al captar la energía del sol por medio de procesos convierten la energía solar que se mide en radiación a electricidad en cuanto a la radiación requerida para satisfacer al planeta es de alrededor de 1.2×10^5 TW esto dependiendo de varios estudios realizados de los cuales se tiene que ver con la efectividad de estos paneles que se pueden usar ejes dobles en la producción de la energía solar que simplemente usando un sistema simple se tiene que se reduce la producción de la electricidad en un orden del 5 al 10%. Para el empleo de los paneles voltaicos se puede reducir las emisiones de dióxido de carbono en un rango de 600 a 2000 toneladas. Se puede tener un beneficio de acuerdo a el empleo de los paneles solares que al principio se tiene que estos sistemas se requiere una inversión considerable, pero que al paso de los años esta inversión se ve recuperada en un periodo de 5 a 10 años en cuanto al empleo de las tecnologías convencionales para la obtención de la energía, por lo regular y viendo en comparación con respecto con otros métodos este suele ser menos efectivo que en el caso de la carboeléctrica debido a que no se tiene tanta efectividad para la obtención de la electricidad. Otra de las consideraciones que se toman en cuenta al momento de colocar este sistema es debido a ciertos parámetros que son sin duda la extensión de terreno que se requiere para la producción de la electricidad, así como de la manutención que se puede llegar a dar a los componentes para que tengan un buen funcionamiento.(Alomar et al., 2023a)

Generadores eólicos

Este es otro de los sistemas de los cuales se puede obtener electricidad el cual consiste en el aprovechamiento de la energía del viento la cual suele estar presente en lugares muy abiertos en donde no se presenta una gran cantidad de desniveles en el terreno causadas por cadenas montañosas por ejemplo, el método consiste en instalar el sistema que es un poste que alrededor de ellos o en su eje se colocan unas aspas o hélices las cuales son de un tamaño considerable y estas giran, para lo cual giran un generados que producen la energía eléctrica, éste método tiene una de las condiciones de las cuales es de moderado costo de la producción de electricidad. Uno de los inconvenientes es la vida de los rotores que sin duda se desgastan por lo que el mantenimiento de los equipos suele ser de un costo elevado, además de la

pérdida de tiempo que se lleva a cabo para el reemplazo y sustitución de las piezas.(Alomar et al., 2023b)

Plantas de energía geotermales

La energía geotermal es un tipo de energía limpia con un alto potencial de energía en los cuales se tiene que se puede emplear en la generación de la electricidad usando generadores termoeléctricos, se considera energía limpia de la cual no afecta las condiciones del clima de la cual es usada en un 0.4% de la generación de electricidad en el planeta que en cantidades es aproximadamente 13.3 Giga Watts, estas plantas son fáciles de instalación en la cual usa cambios termales que son similares a los ciclos geotermales, este líquido absorbe el calor, se evapora y se eleva, transfiriendo el calor geotermal a los generadores, una porción de esta energía se convierte en energía eléctrica y el remanente de esa energía se regresa, los tubos de calor son un método de transferencia usado, esta conductividad afecta la temperatura del lado caliente de la planta, estos fluidos llenan el tubo de calor, el diámetro de la tubería afecta la conductividad del tubo de calor, esa cantidad de calor absorbida y libera el proceso de evaporación y condensación del líquido puede mejorar el rendimiento del intercambio de calor, el cambio de fase de los fluidos de trabajo que tiene cierta capacidad de almacenamiento de calor para mantener la transferencia de calor. (Zeng et al., 2023)sin embargo, para el empleo de este tipo de proceso se tiene que el vapor esta combinado con otros elementos que suelen ser un problema que para el cual puede alterar el funcionamiento de la planta generadora puesto a que estos elementos están combinados con el vapor a una temperatura muy elevada, a más de 5000° C, esto elementos están a tamaños coloidales y en el momento en el que se enfrían adquieren cohesión y entre sus partes se hacen masas grandes de este material que puede desgastar el equipo de generación de la electricidad, estos elementos son un problema para el cual puede alterar la generación por completo, este material es sílice SiO_2 el cual se genera en grandes cantidades y puede llegar a alterar el uso de suelo de una región de acuerdo a la cantidad generada de este material

Elaboración del concreto

Agregados

Los agregados pétreos son económicamente muy baratos respecto al cemento. Los agregados componen $\frac{3}{4}$ partes de la mezcla, por lo que es de suma importancia el identificar la calidad de estos, para que no afecte la resistencia y durabilidad del concreto o mortero. Los agregados se consideran de naturaleza inerte, es decir no reaccionan químicamente, pero aportan propiedades importantes como densidad y volumen de la mezcla; sin embargo, las investigaciones han demostrado que existen agregados con propiedades químicas que ocasionan reacciones con los componentes del cemento, esta reacción es conocida con el nombre de álcali-agregado. (Neville, 1999)

Definición

Los agregados son materiales que se utilizan en la elaboración del concreto o mortero, estos se dividen en 2 gravas y arenas. Las gravas son agregados de tamaño mayor que 5mm hasta un tamaño máximo de 2". Por otro lado, están las arenas que van de tamaños desde 5mm hasta $>150\mu\text{m}$ dependiendo del reglamento de cada país con el que se realicen los concretos y los tamices con los que se clasifiquen los materiales en sus respectivas normativas.

Uno de los aspectos a considerar en el diseño de cualquier mezcla es que se llene la cantidad de vacíos, por lo que al momento en que se realiza una mezcla para colar cualquier elemento se debe de vibrar o varillar y así garantizar su poca porosidad. Sin embargo, es necesario que las mezclas tengan granulometrías continuas, lo cual beneficia al acomodo de los agregados y se reduce el número de vacíos. Al reducir los vacíos se reduce considerablemente la relación agua-cemento.

Geológicamente las rocas pueden ser ígneas, metamórficas y sedimentarias, la cuales dan origen a los distintos tipos de agregados. Los minerales que componen a los agregados son en general de cuarzo, feldespato, mica y caliza principalmente. Los agregados para uso en concretos y morteros deben de cumplir con las siguientes características de calidad: limpieza, alta dureza, alta resistencia, bajo % de desgaste, bajo % de absorción, baja cantidad de sustancias químicas, alta masa volumétrica, granulometría continua y alta rugosidad. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Adherencia del agregado

La adherencia entre el agregado y el cemento dependen de la aspereza de los agregados. Por lo que a un concreto o mortero con partículas más ásperas tienden a tener mejor adherencia, lo cual se logra con un proceso de trituración de las rocas que dan origen a los agregados. Por caso contrario hay partículas de agregados que no poseen gran adherencia debido principalmente a su forma redondeada y a su baja absorción superficial, aunque hay otros factores como la composición mineralógica y química de los agregados, además del polvo que puede estar adherido a las partículas y que no permiten la adherencia entre el agregado y el cementante. Para la determinación de la adherencia entre el cemento y agregados es necesario utilizar pruebas de tensión indirecta en elementos cilíndricos, sin embargo, no existen parámetros específicos que indiquen si el elemento tiene buena o mala adherencia (Neville, 1999).

Resistencia del Agregado

Es importante mencionar que no es posible determinar la resistencia a compresión simple sobre un área de los agregados, debido a sus caras irregulares y a su bajo tamaño, por lo que solo se puede determinar la resistencia puntual, sin embargo, esta prueba no es totalmente confiable. Aunque existen otras formas para la determinación de su resistencia por medio de ensayos de resistencia del concreto o mortero a compresión, si el resultado es de baja resistencia respecto al diseño, se demuestra cualitativamente que los agregados tuvieron baja resistencia, y si pasa lo contrario se dice que los agregados son de buena calidad. La resistencia de los agregados depende de su microestructura, textura y composición química principalmente. (Neville, 1999)

Materiales potencialmente perjudiciales

Estos materiales consisten en arcillas, limos, sustancias o impurezas orgánicas, óxido de hierro, carbón mineral, etc. Estos materiales se consideran dañinos para la elaboración del concreto o mortero, ya que en gran medida son químicamente reactivos con el cemento. Las principales reacciones que ocasionan los materiales perjudiciales son el incremento de volumen de la pasta de la mezcla, la variabilidad de los tiempos de fraguado y baja resistencia del mortero o concreto. Algunos de los materiales que pueden perjudicar el funcionamiento

del concreto son el carbón mineral y las fibras orgánicas de la madera, que afectan la durabilidad del concreto. Las partículas blandas o frágiles provocan erupciones y más demanda de cemento respectivamente. Las arcillas presentes en el cemento absorben el agua, afectando la resistencia al desgaste, generando grietas y reduciendo la durabilidad.

Para evitar que se produzcan los defectos anteriormente descritos se requiere de la realización de una serie de pruebas que consisten en identificar estos materiales indeseables. Por ejemplo: si a una muestra de agregados se le pone una porción de lechada de cal, la cal reaccionará con el agregado cambiando de color verde azulado para después de cierto tiempo cambie a un tono marrón, identificando así que si hay sustancias no deseadas en el concreto como lo son el óxido de hierro. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Reactividad Álcali-Agregado

Los agregados en ocasiones contienen compuestos que tienden a reaccionar con los componentes alcalinos del cemento, dichas reacciones podrían ser del tipo Álcali- Sílice o Álcali-Carbonato. Sin embargo, estos fenómenos no son muy recurrentes en México debido a varios factores:

- La estabilidad de los agregados en el cemento
- Los agregados son de muy buena calidad en casi todas las regiones del país.
- La mayoría de los concretos se encuentran secos como para que se produzca algún tipo de reactividad antes mencionada.
- Algunas reacciones no producen expansión significativa.

Reacción Álcali-Sílice

La reacción Álcali-Sílice genera muchos problemas, ya que genera un aumento en la pasta de cemento, lo cual genera en el concreto una formación de grietas, juntas cerradas, desplazamiento relativo de diferentes partes de la estructura y aparición de erupciones en la superficie. Otro fenómeno que genera es el deterioro que puede ser perjudicial cuando existan casos de congelamiento y deshielo, aunque las probabilidades de que fallen catastróficamente es bajo los problemas que causa es de funcionalidad.

Causas que generan la reactividad Álcali-Sílice:

- 1.- Un compuesto reactivo de sílice en el agregado
- 2.- Una solución alcalina alta entre los poros de los agregados
- 3.- Bastante humedad

Como identificar la reacción. - Ese identifica mediante exámenes petrográficos con ayuda de un microscopio óptico, esto consiste en observar un gel entre las fisuras y como constituyente perimetral de los agregados pétreos. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Reacción Álcali-Carbonato

Este tipo de reacción es sumamente raro ya que los agregados que son susceptibles a esta reacción por lo general son materiales que pueden llegar a tener muy poca resistencia cuando se emplean en los concretos debido a que en algunas rocas sus cristales se encuentran un poco dispersos por los que en los espacios que hay en estos cristales se suelen llenar de otros materiales como arcillas que contienen materiales orgánicos sin embargo las arcillas no son las culpables de todo el problema y para que ocurra este tipo de reacción se requieren de varios factores como por ejemplo que el contenido de arcilla y material insoluble este en un rango del 5 al 25% , los cristales presentes en estas rocas para que ocurra la reacción son dolomitas que en relación con la calcita se de 1:1.

Otras fuentes de obtención de Agregados

Se ha visto que hay agregados que se obtienen de la naturaleza, materiales que se obtienen de la explotación de bancos en los que son obtenidos directamente, seleccionándolos mediante tamices, hay otros materiales que son obtenidos mediante procesos más complejos mediante la trituración de rocas, estos medios de obtención de agregados tiene varios aspectos negativos en los que a veces no es conveniente el uso de los mismos, tales aspectos consisten desde la mala calidad de los agregados hasta la alteración de los medios o ecosistemas donde se obtienen. Sin embargo, hay otros tipos de agregados que ya se está implementando para minimizar el impacto ambiental, los cuales son agregado producto de trituración de concreto y agregados provenientes de proceso de dragado de los mares en las playas. Se ha demostrado que estos materiales tienen buenas características en cuanto a su

uso dando buenas resistencias y mejor durabilidad. A continuación, se mencionan los factores que influyen en el uso de estos agregados antes mencionados:

Agregados dragados del mar.

Para este tipo de agregado hay dos factores que alteran su caracterización y resultan perjudiciales, estos son que están cubiertos por agua salada, misma que hace corroer las varillas de acero, por lo que se debe de realizar lavado del material con agua dulce además de proporcionarle los tratamientos adecuados para reducir las cantidades de sal al mínimo y que estén en condiciones óptimas para su uso. Otro aspecto es la cantidad de conchas marinas que pueda llegar a tener el agregado, ya que estas conchas pueden producir porosidad en las mezclas y baja adherencia con la pasta, por lo que es recomendable es retirarlas.

Agregados de concreto triturado

Este tipo de agregados ha sido una tendencia en cuanto a su uso en los últimos años, ya que se han encontrado buenos resultados de resistencia y durabilidad, que básicamente son los aspectos que en los concretos y morteros se requieren. Su obtención consiste en el siguiente proceso: remover el concreto que ya perdió su funcionalidad, después se tritura de manera primaria y secundaria, se le retira el acero y otros elementos embebidos, se procede a lavarlo, cribarlo y amontonarlo separado en agregado grueso y fino. Este material no siempre es el más apto debido a su porcentaje de absorción el cual es muy alto respecto al agregado común, pero está dentro de los límites permisibles, sin embargo, la demanda de agua al ser mayor también genera mayor porosidad de las mezclas de concreto y mortero. Si se elige usar este tipo de agregado triturado como sustituto del agregado natural, se recomienda realizar pruebas de reactividad Álcali-Agregado, para garantizar que no existan expansiones de la pasta debido a la antigüedad del material triturado.

Cemento

Definición

El cemento portland es un material que se usa en la construcción, su composición se basa principalmente por silicatos hidráulicos de calcio, que al estar en contacto con el agua sufre un estado al que se le conoce como hidratación y provoca reacciones exotérmicas que al

transcurso del tiempo adquiere rigidez y dureza, la combinación del cemento con el agua se le denomina pasta; el cemento es uno de los materiales más usados en el mundo debido a su versatilidad, ya que puede ser muy trabajable y puede ganar resistencia importante ideal para usarse en la construcción.

Al cemento para que mejoren sus características se le agregan de primera instancia otros materiales denominados agregados pétreos que dependiendo del tamaño de los agregados a la mezcla se le nombra de distinta manera: en el caso de que solo se le agregue arena (agregados de tamaño de malla de no.200 a la de no. 4) a la mezcla se le llama mortero; si a la pasta además de agregarle arena, se le pone grava (agregados de tamaño de malla de no. 4 hasta 3”) a la mezcla se le conoce como concreto u hormigón. El cemento ya sea en mortero o concreto adquiere su mayor resistencia en el transcurso de 28 a 30 días y puede mejorar sus características de adherencia y resistencia con un proceso denominado curado, el cual consiste en evitar la evaporación de agua mediante una barrera impermeable (plástico) e hidratar la mezcla en el momento en que el cemento adquirió su fraguado final, lo cual depende del clima. El clima es un factor que interviene en las condiciones favorables para que el cemento (empleado en concreto o mortero) gane resistencia extra al paso de los años. (Steven H. Kosmatka, 2004).

Historia

En la antigüedad se han descubierto indicios de haber usado la arcilla como unión de piedra con el fin de hacer muros o estructuras sólidas para protección propia del ser humano .En el año de 1985 en Galilea, Israel; existen elementos hechos a base de concreto que datan desde 7000 A.C. uno de ellos es la carretera de Yiftah .El, la cual estaba construida a base de cal, obtenida de la calcinación de la caliza con la que se producía cal viva, este producto se mezclaba con agua y piedras, se colocaba en la superficie y endurecía, hasta formar un concreto. (Eddy, 2011)

Otro antecedente histórico importante sobre el cemento data del año 2500 A.C. cuando se construyeron las pirámides de Guiza en Egipto, algunos historiadores afirman que se usó la cal como cementante (mortero) para la unión de las rocas, aunque hay otros que dicen que se utilizó otro cementante a base de la quema del sulfato de calcio. Los griegos a

partir del año 500 A.C. usaban la cal como mortero para el recubrimiento de muros, y como conglomerante de piedras y ladrillos para templos y monumentos, además de utilizar la cal como revestimiento de las calizas ya que eran muy porosas. (Eddy, 2011)

Los romanos fueron los responsables del nombre que hasta la actualidad se le conoce al concreto que proviene del latín “*concretus*”, que significa crecido junto o compuesto. Los romanos perfeccionaron el cemento al mezclar cal con ceniza que provenía del monte Vesubio cerca del pueblo de *Pozzuoli*, por lo que llamaron a esta mezcla cemento Puzolánico, un cementante con mejores características, ya que en las cenizas se encuentran compuestos como la sílice y alúmina. Los muros, monumentos y centros históricos de Roma, así como el Coliseo y el Panteón se hicieron a base de este cemento, además del teatro en Pompeya con una capacidad para albergar a 20000 espectadores. La mezcla puzolánica no se usó en la edad media, sino hasta en el siglo XIV a consecuencia de que las construcciones resultaban menos refinadas y carentes de calidad. Hasta el siglo XVIII en Inglaterra *John Smeaton* observó que la cal que contenía arcilla tenía mejores propiedades cementantes respecto a otras mezclas, dicho descubrimiento lo llevó a ser nombrado padre de la ingeniería civil. (Eddy, 2011) *Smeaton* importó la mezcla puzolánica desde Italia con el fin de reconstruir el Faro de Eddy Stone en el Canal de la Mancha, Suroeste de Plymouth, Inglaterra. Este proyecto duró 3 años, comenzando a operar en 1759. Esta obra ganó reconocimiento por desarrollo en la industria de la construcción. (Eddy, 2011)

Años después se han hecho descubrimientos sobre los cementos naturales. La diferencia que hay entre la cal hidráulica y el cemento natural, está en función de la temperatura alcanzada durante la calcinación, además de que el cemento natural tiene que molerse de manera muy fina y la cal se puede rehidratar formando terrones. El cemento natural es más resistente que la cal, pero menos resistente que el Cemento Portland. La invención del cemento se le atribuye al albañil *Josep Aspidin* quien después lo patentó con el nombre de Cemento Portland para el año de 1824, diciéndole Portland debido a la isla de mismo nombre, ya que de ahí era de donde se extraía el material (caliza) el cual es una de las materias primas para su fabricación. Este nombre ha trascendido generaciones, ya que muchas empresas productoras usan el nombre para ponérselo a sus materiales (cemento) en sus respectivas marcas. (Eddy, 2011)

Aspidin fue el primero en patentar el cemento prescribiendo la fórmula de fabricación mientras que en 1845, I.C. Johnson de White & Sons, Swanscombe, Inglaterra. Afirmó que había quemado los materiales a temperaturas altas vitrificando así su masa lo que dio al cemento como lo conocemos actualmente. A partir de lo que hizo Johnson de White se comenzó a usar el Cemento Portland para construcción hacia la mitad del siglo XIX exportándose el material a distintas partes del mundo. Comenzando también la producción en Bélgica, Francia y Alemania, exportándose además a Estados Unidos para el año de 1865. La primera productora del cemento en USA fue en Pensilvania, en 1871 siguiendo los países Latinoamericanos entre ellos México en los siguientes años desde 1888 hasta 1949. (Steven H. Kosmatka, 2004)

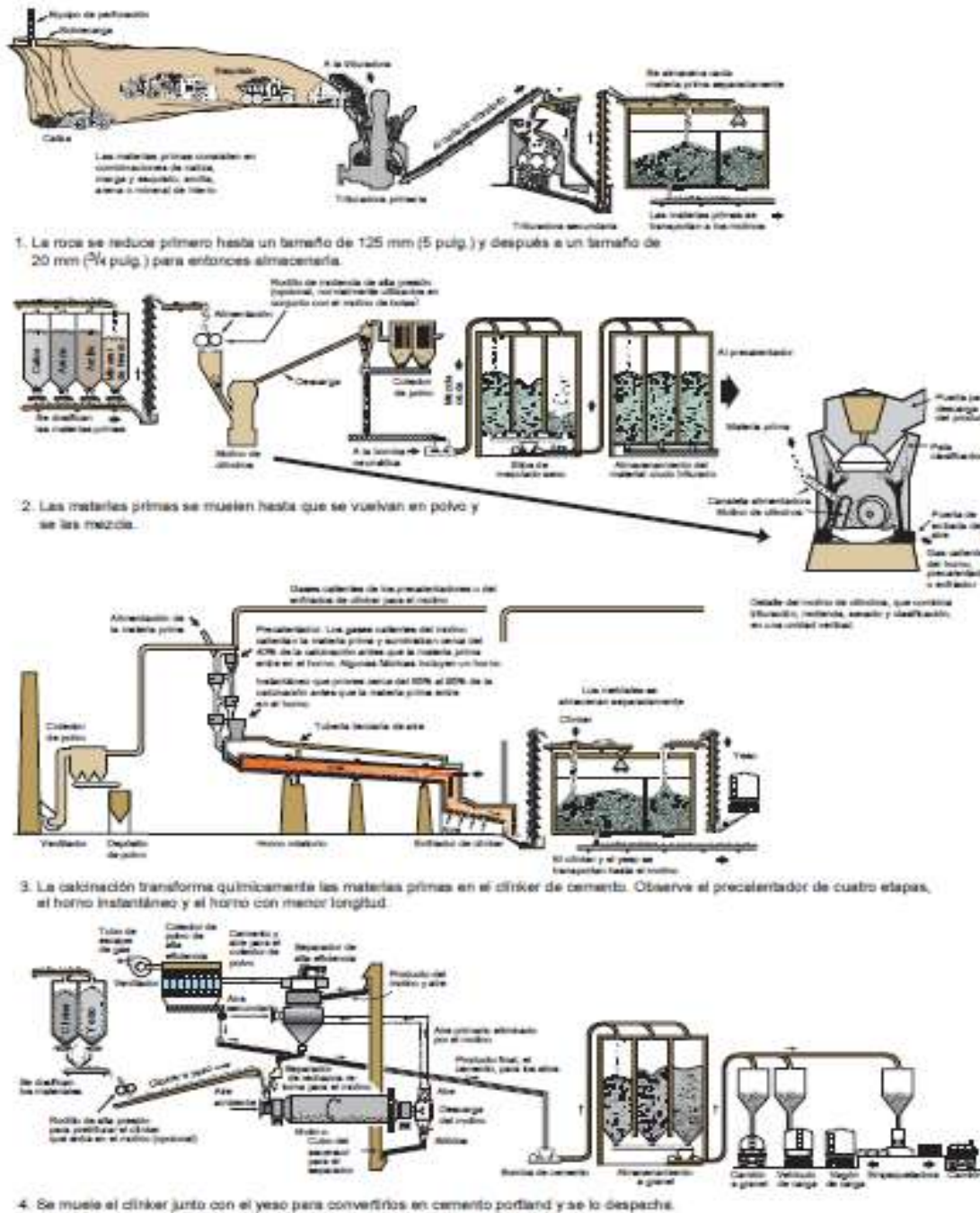
Proceso de elaboración del cemento

El cemento Portland es producto de la pulverización del Clinker, que es un material que contiene compuestos como el Sílice, Aluminatos de Calcio, Ferro aluminatos de calcio y yeso. Donde los materiales normalmente provienen de las canteras, sin embargo, suelen provenir también del resultado de procesos de producción de otros materiales que consumimos de manera cotidiana, estos materiales se deben de agregar con cierta proporción, ya que la correcta dosificación de los compuestos al mezclarse garantiza que el cemento sea de buena calidad.

Cada planta cementera lleva su propio procedimiento para la fabricación, cumpliendo los estándares de calidad que rigen las normativas vigentes, de manera general a continuación se explica el proceso de fabricación:

- I. La mayoría de los materiales son extraídos de las canteras y un porcentaje menor son subproductos de industrias (acereras, termoeléctricas, azucareras, etc.). Los materiales se trituran, muelen y dosifican en porcentajes óptimos antes de su calcinación.
- II. El cemento puede fabricarse por la vía seca o por la vía húmeda. Por vía seca los materiales se mezclan al momento de su trituración y molienda, mientras que por vía húmeda a los materiales se les agrega agua durante el proceso de triturado y mezclado.

- III. Después de haberse mezclado los materiales éstos se disponen para colocarlos en el horno inclinado a velocidad rotatoria constante. Estos materiales se someter a energía térmica de 1400 a 1500°C ocurriendo una reacción endotérmica, que da origen al producto llamado Clinker.
- IV. El Clinker se enfría, posteriormente se agrega yeso para continuar con un proceso de trituración y así formar el cemento.
- V. El cemento se almacena en silos, o es puesto a la venta en sacos o en tanques a granel para venderse al público. (Steven H. Kosmatka, 2004)



. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO (Steven H. Kosmatka, 2004) *esta imagen no es clara*

Cal, CaO	Hierro Fe₂O₃	Sílice SiO₂	Alúmina Al₂O₃	Yeso o Sulfato, CaSO₄·2H₂O
Desechos industriales	Polvo de humo de horno de fundición	Silicato de calcio	Mineral de aluminio*	Anhidrita
Aragonita*	Arcilla*	Roca calcárea	Bauxita	Sulfato de calcio
Calcita*	Mineral de hierro*	Arcilla*	Roca calcárea	Yeso*
Polvo del horno de cemento	Costras de laminado*	Ceniza volante	Arcilla*	
Roca calcárea	Lavaduras de mineral	Greda	Escoria de cobre	
Creta	Cenizas de piritita	Caliza	Ceniza volante*	
Arcilla	Esquisto	Loes	Greda	
Greda		Marga*	Granodionita	
Caliza*		Lavaduras de mineral	Caliza	
Mármol		Cuarcita	Loes	
Marga*		Ceniza de arroz	Lavaduras de mineral	
Coquilla		Arena*	Esquisto*	
Esquisto*		Arenisca	Escoria	
Escoria		Esquisto*	Estauroлита	
		Escoria		
		Basalto		

fuentes principales de las materias primas para la fabricación del cemento (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipos de cemento

Por lo general en cada país la clasificación del cemento es diferente, pero sólo nos enfocaremos en las normas ASTM de USA y las normas mexicanas.

Tipos de cemento en Estados Unidos

La norma más común de clasificar los cementos en Norteamérica es la ASTM C150, aunque existen otras como la AASHTO M85 y la ASTM 1157. La ASTM C150 tiene 8 tipos de cemento clasificándolos con números romanos como se muestra a continuación:

- Tipo I: Normal.
- Tipo IA: Normal con aire incluido.
- Tipo II: Moderada resistencia
- Tipo IIA: Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido.
- Tipo III: Alta resistencia inicial (Alta resistencia temprana)
- Tipo IIIA: Alta resistencia inicial con aire incluido
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo I.

Este cemento es usado en lugares o situaciones donde no requiere características específicas, su uso es muy común por lo que se usa para hacer pavimentos, pisos, puentes,

estructuras de concreto armado e infinidad de elementos y productos de concreto precolado como blocks, adocretos, tabicones, etc. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo II.

Por una proporción menor o igual que 8% de aluminato tricálcico (C_3A) que contiene este tipo de cemento tiene una resistencia moderada a los sulfatos por lo que su uso está en estructuras normales, miembros que están en contacto con suelos y estructuras que se encuentran en contacto con aguas subterráneas. Los sulfatos presentes en el agua o suelos penetran directamente por los poros que se encuentran en el concreto provocando expansiones, desgarramientos y agrietamientos a causa de que los sulfatos reaccionan con el Aluminato tricálcico (C_3A). Esto se evita usando este tipo de cemento, además de controlar la relación Agua-Cemento y que tenga permeabilidad relativamente baja. Este cemento es ideal para usarse en estructuras de concreto que se encuentran expuestas al agua de mar. Ya que ésta además de tener una cantidad considerable de sulfatos, tiene cloruros que inhiben la expansión producida por la reacción que resulta al combinar el C_3A con sulfatos. Este tipo de cemento cuenta además con un moderado calor de hidratación por lo que es ideal para usarse en estructuras de gran volumen como pilares, cimientos y muros de contención, ya que son estructuras que requieren que no tengan mucha temperatura o moderada liberación de energía térmica, que por esta misma reacción exotérmica pueden agrietarse, por lo que es muy importante que el diseñador tome en cuenta el calor de hidratación a la hora de hacer sus diseños. Este cemento tiene las mismas cualidades que el cemento de tipo I con la excepción de que resiste sulfatos y tiene menor calor de hidratación. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo III.

La partícula de este tipo de cemento es más fina debido al proceso de molienda, lo cual indica que su resistencia inicial aumenta por lo que es ideal para usarlo en construcciones donde el concreto requiere que su descimbrado o desencofrado sea en menor tiempo, o en lugares donde hay climas muy fríos. Este cemento adquiere una resistencia igual o semejante a los 3 días que con el cemento de tipo I a los 7 días. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo IV

Este cemento es de bajo calor de hidratación y por lo general es usado en estructuras masivas como las presas a gravedad, donde se necesita que el calor de hidratación sea mínimo para no generar agrietamientos, este tipo de cemento es muy raro en el mercado y por lo tanto no existe a la venta, ya que solamente se produce sobre pedido mediante cantidades importantes para obras de características especiales. Una de las estructuras más famosas hechas de concreto con este tipo de cemento fue la presa Hoover, que es una de las principales hidroeléctricas que abastecen de energía eléctrica el estado de Nevada en USA. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo V

A este tipo de cemento se le atribuye que son muy resistentes a los sulfatos, ya que tienen una proporción de aluminato tricálcico menor o igual al 5%, por lo que son ideales para construir estructuras que estén expuestas a cantidades elevadas de sulfatos, tales como algunos suelos y yacimientos de aguas subterráneas, sin embargo no es tampoco un material excesivamente bueno por lo que también se le debe de cuidar su relación Agua-Cemento, así como su baja permeabilidad. (Steven H. Kosmatka, 2004). Unas de las estructuras que presentan estas condiciones de sulfatos son las plantas generadoras de electricidad por medio de energía geotérmica, como es el caso de la planta geotérmica que se encuentran en los Azufres, Michoacán. Es importante señalar que todos los tipos de cemento sin excepción no resisten el ataque de los ácidos o alguna otra sustancia dañina, sin embargo, existen cementos con mejores características que otros para enfrentar a estos ácidos, y así poder extender su vida útil de servicio.

Cementos hidráulicos con adiciones (Mezclados o compuestos) Clasificación USA.

Para la producción del concreto actualmente existen muchos materiales que se le adicionan al cemento o lo sustituyen parcialmente. Estos materiales por lo general tienen propiedades cementantes y pueden mejorar sus características físico-mecánicas. Estos materiales en su mayoría son resultado de otros procesos industriales, los cuales quedan como residuos o desechos, como es el caso de las escorias de alto horno, cenizas volantes, puzolanas, entre otros. Algunos de estos residuos se usaban mucho antes de la invención del cemento debido

a sus propiedades cohesivas, y ahora en conjunto con el cemento proporcionan resultados extraordinarios. A continuación, se menciona la nomenclatura y significado de las adiciones más importantes que se agregan al Clinker + yeso para producir Cemento Portland de acuerdo con la ASTM C595:

Tipo IS.- Cemento Portland de alto horno.

Tipo IP y Tipo P.- Cemento Portland puzolánico.

Tipo I (PM). - Cemento Portland modificado con puzolanas.

Tipo S.- Cemento con escoria o siderúrgico.

Tipo IS.

Para la realización de este cemento lo que se requiere es que, al momento de la molienda del Clinker, se le agrega escoria granular de alto horno. La proporción de escoria representa del 25 al 70% en masa del cemento.

Tipo IP y Tipo P

Lo que caracteriza a estos cementos es su adición de puzolanas, las puzolanas son cenizas que provienen de forma natural (ceniza de volcanes) o que provienen de procesos industriales como la producción de azúcar (los residuos son la ceniza de bagazo de caña). Este tipo de cemento se puede utilizar para cualquier construcción de forma general y estudios anteriores han demostrado que a edades tardías existe una reacción puzolánica que densifica la matriz cementante de los elementos de concreto.

Tipo I (PM)

El uso de este cemento es generalizado y su producción se basa en la combinación de cemento con escoria granular y puzolanas o cemento ordinario con puzolanas; ya sea en molienda o agregándose directamente al cemento, con la característica de que la puzolana debe de tener una proporción menor que el 15% en masa.

Tipo S

Este tipo de cemento no se puede usar de manera estructural, solo para concreto pesado o de alta densidad. Está conformado por la combinación de escoria granulada y cemento portland o escoria con cal hidratada, o al combinar escoria con cal y cemento. La proporción mínima en masa para este cemento es de un 70%.

Tipo I (SM)

Los cementos modificados con escoria se usan en todos los ámbitos de la construcción en general, su proporción en masa deberá ser máximo del 25% y es producido a partir de la molienda con el Clinker, o agregándolo ya molido. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Clasificación de los cementos en México

En cuanto a clasificación de los cementos en México son regulados por la norma NMX-C414-ONNCCE. Teniendo en cuenta a 6 tipos de cemento, además la norma mexicana clasifica al cemento de acuerdo con las adiciones que se le puedan agregar, otro aspecto que toma en consideración es su función específica. Los cementos se clasifican de la siguiente manera:

CPO. - Cemento Portland Ordinario; este cemento es el más básico por lo que tiene muy poca proporción de otros materiales como es el humo de sílice, escoria, puzolanas o caliza. Tienen una proporción no mayor del 5% en masa.

CPP. - Cemento Portland Puzolánico; este cemento se caracteriza por tener una considerable cantidad de puzolanas, que son cenizas de distintos procesos industriales. Dicha cantidad es de una proporción del 6 al 50% en masa de la mezcla en realización al cemento.

CPEG. - Cemento Portland con Escoria de Alto Horno; a este cemento al igual que el que se le adiciona puzolanas, a este se le agrega escoria granular de alto horno desde 6 al 50% en masa.

CPC. - Cemento Portland Compuesto; este cemento se compone de Clinker, yeso y dos o más adiciones en proporción, ya sea: caliza, material puzolánico o escoria del 6 al 35%; y en humo de sílice del 1 al 10% en masa. Sea cual sea la combinación la cantidad de Clinker que se requiere es del 50 al 94% en masa.

CPS. - Cemento Portland con Humo de Sílice; este humo proviene del resultado de la producción de silicio, este humo es de naturaleza puzolánica que solamente se mezcla con el cemento en una proporción del 1 al 10% en masa.

CEG. - Cemento con Escoria de Alto Horno; este tipo de cemento es similar al CPEG solamente que para la realización de este cemento se le agregó una proporción mayor del 61 al 80% en masa.

En cuanto a condiciones específicas que se le agregan a los cementos existen más sufijos o nomenclaturas para identificarlos, estas son resistencia a sulfatos (RS), baja reactividad álcali-agregado (BRA), bajo calor de hidratación (BCH) y blanco (B).

Por lo general cada saco de cemento se le pone en su nomenclatura de contenido el tipo de cemento según la norma mexicana, la cantidad o el número de mega pascales que pueden llegar a resistir y en dado caso alguna condición en especial. Estas resistencias van desde los 20, 30, 40 mega pascales (200, 300, 400 kg/cm² respectivamente).

Para todos y cada uno de los cementos su fraguado inicial debe ser mínimo de 45 minutos. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Fraguado.

El fraguado del cemento es un fenómeno de naturaleza fisicoquímica, en el cual, por medio de la hidratación del cemento con el agua, ésta última reacciona con los componentes del cemento y genera cristales que a su vez se van compactando y adquiriendo dureza. Esto hace que la pasta de cemento adquiera rigidez y cambie la pasta de un estado fluido a sólido con características resistentes. (Neville, 1999)

El cemento está constituido principalmente de cuatro componentes fundamentales en un 90%, además de un 10% de excedentes que no aportan propiedades mecánicas al cemento pero que algunos sirven como catalizadores en el proceso de fabricación del cemento y algunos otros representan un sobre costo para ser eliminados. Lo principales componentes son: Silicato di cálcico, Silicato Tricálcico, Aluminato tricálcico y Ferro aluminato tetra cálcico, dependiendo del tipo de cemento estos materiales están en proporciones distintas y sus partículas se pueden visualizar en un microscopio a partir del Clinker. El tamaño

promedio de partículas es de 15 micrómetros, por lo que en 1 kg de cemento existen aproximadamente 1600 billones de partículas de diversos tamaños, y cabe destacar que si tuvieran el tamaño promedio habría un aproximado de 300 billones de partículas de material en el cemento. Del 90 % de las partículas o componentes principales del cemento un 75% son silicatos, que al hidratarse con el agua son los que producen los cristales y son considerados como el núcleo de las mezclas de concreto o mortero, este material al hidratarse además tiene la función de que suelen adherirse a los agregados provocando una conglomeración uniforme. Es importante mencionar que el agua puede mejorar la trabajabilidad de la mezcla, sin embargo, este incremento genera mayor porosidad de esta, provocando disminución de la resistencia y durabilidad del elemento fabricado. (Steven H. Kosmatka, 2004)

El proceso de fraguado consiste en la reacción de los componentes del cemento con el agua, a lo cual se le llama “hidratación”, los componentes que primeramente reaccionan son el Aluminato tricálcico (C_3A) y el Silicato tricálcico (C_3S) que producen una reacción exotérmica de cristalización. El elemento que se cristaliza primero es el aluminato tricálcico (C_3A), por lo que al Clinker se le adiciona yeso para reducir el tiempo de fraguado conocido como “fraguado relámpago”, y así lograr que primero se hidrate y fragüe el Silicato tricálcico (C_3S) que eleva la resistencia a edades tempranas y por último se genera la reacción del Silicato di cálcico (C_2S) que eleva la resistencia a edades medianamente tardías, por último es importante mencionar que el Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) no representa reacción importante. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Para medir el tiempo de fraguado final de una mezcla de cemento-agua, se utiliza el equipo de Vicat y Gilmore, que consisten en agujas que penetran a la mezcla hasta su endurecimiento total, y entre mayor es este tiempo mayor será su fraguado final. Otra manera práctica de medir el fraguado o identificar que esta pasta ya alcanzó su fraguado final es al pasar por la mezcla una corriente eléctrica midiendo la conductividad a través del agua que contiene la pasta y conforme al tiempo va disminuyendo, el agua se va evaporando hasta no haber conductividad. (Neville, 1999)

Cabe destacar que el cemento al mezclarse con agua libera calor debido a su reacción, por lo que en lugares de clima frío se incrementa el tiempo de fraguado, lo cual provoca un endurecimiento más lento y homogéneo de la mezcla; sin embargo en lugares de clima cálido se reduce el tiempo de fraguado, lo cual provoca un endurecimiento más rápido que ocasiona mayor porosidad y agrietamiento entre los agregados y la pasta, afectando la durabilidad de los elementos fabricados, ya sea de concreto o mortero. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Fraguado falso.

Este fenómeno consiste en un endurecimiento rápido de la mezcla al estar en contacto el cemento con el agua, sin embargo, esta reacción solo dura unos minutos, ya que después se continúa con un fraguado normal al no liberar calor como es el caso del “fraguado relámpago”. Una de sus principales causas es que el yeso se deshidrata al momento de que se mezcla con el Clinker en la formación del cemento portland, provocando este tipo de reacción que genera compuestos como el anhídrido. Otra posible causa para este fraguado es debido a la aireación en lugares que son muy húmedos lo que produce que el propio cemento retenga la humedad del ambiente y este comience a reaccionar. (Neville, 1999)

Estructura del cemento hidratado

Muchas de las propiedades mecánicas del cemento, así como químicas suelen depender de la hidratación del cemento para la formación estructural de la cristalización del cemento hidratado, por lo que la forma de sus cristales puede beneficiar o condicionar las características mecánicas del elemento construido. Dicha estructura se puede identificar a nivel coloidal mediante un microscopio y así poder analizar la reacción y los productos formados. Para el estudio es necesario contar con esquirlas de la pasta hidratada y así poder realizar la prueba con el microscopio.

Al momento de la hidratación de las mezclas tienen una fase de hidratos no cristalizados que generalmente se denomina gel de hidratación, en general es hidróxido de calcio, además de espacios vacíos ocupados generalmente por agua en la pasta fresca, estos espacios son llamados como poros capilares, aunque dentro del mismo gel existen vacíos intersticiales que se les denomina poros de gel. La mayoría de las partículas de cemento son de naturaleza coloidal, cuando se hidratan tienden a aumentar de volumen de una manera extraordinaria.

Una gran porción del agua es absorbida por esta superficie. En la pasta se presenta un fenómeno en el que, si no hay movimiento de agua hacia la pasta, las reacciones del cemento consumen el agua, esto disminuye la humedad relativa de la pasta; dicho fenómeno se conoce como auto desecación. Este fenómeno puede variar con respecto a su relación agua/cemento en donde menos agua se le agregue al cemento, más tiende a que se produzca por lo que es conveniente hacer pruebas en las que se tendrá que buscar el volumen adecuado para que el agua cubra toda la mezcla y así poder cubrir todo el cemento y cuidando que no se exceda para que no afecte la resistencia del cemento. (Neville, 1999)

Volumen de los productos de hidratación.

El espacio total que disponen los productos hidratados se compone básicamente de cemento y agua agregada. Sin embargo, existen fenómenos como el sangrado y la contracción de la pasta en estado plástico. Por ejemplo, el silicato di cálcico y el silicato tricálcico aumentan en peso un 24% y 21% respectivamente, en cuanto el aluminato tricálcico y el ferro aluminato tetra cálcico aumentan un 40% y 37% respectivamente. El peso específico de los productos de hidratación del cemento ocupa mayor volumen que del cemento no hidratado, pero es menor que la suma del cemento seco y del agua no evaporable que es aproximadamente 0.254 cm^3 del volumen último. Un valor promedio de la densidad relativa de los productos de hidratación en estados saturado es de 2.16.

Experimentalmente si se coloca al cemento el agua necesaria en un tubo de prueba sellado, la pasta tiende a disminuir de volumen, esto se debe a la capilaridad que tiene el cemento en sus poros. Sin embargo, si se le pone menos agua no alcanza la hidratación total de la mezcla y la reacción química no se realizaría, faltaría el agua para los poros de gel por lo que no se podrá realizar la pasta. (Neville, 1999)

Poros capilares.

En cualquier estado de hidratación los poros capilares representan parte del volumen que no forma parte de los productos de hidratación o que no han sido llenados para el producto de hidratación y representa el doble de volumen de la fase original sólida. La porosidad capilar depende tanto de la relación agua/cemento de la mezcla como del grado de hidratación. Los poros no se ven a simple vista sino que se calculan por medio de presión de vapor y hay

investigaciones que indican que su tamaño es de $1.3\mu\text{m}$. Estudios de Glasser demostraron que el tamaño de los poros capilares son de variados tamaños, dando como mínimo de $1\mu\text{m}$ y siendo la máxima de $100\mu\text{m}$, y que su forma varía mucho, lo cual depende de los componentes del cemento y de la cantidad de agua agregada a la mezcla, además se ha comprobado que existe una interconexión de estos poros que ocasiona una permeabilidad en la pasta y consecuentemente esta sea vulnerable debido a la capilaridad. Para la reducción de la formación de poros interconectados en la mezcla se debe de elegir una correcta combinación de relación agua/cemento, además el curado es una técnica muy importante que ayuda a completar la reacción de cemento no hidratado, lo cual beneficia en la reducción de poros interconectados. El curado consiste en poner al concreto o mortero endurecido en contacto con agua, ya sea en inmersión completa o camas de arena en condiciones de laboratorio. Es importante cuidar este aspecto de los poros capilares porque entre menos capilares tenga, más resistente es la mezcla y por lo tanto se considera una mezcla buena. (Neville, 1999)

Poros de gel.

Estos poros son de mucho menor tamaño que los poros capilares, ya que se forman entre las partículas de gel y son producto del agua que se evapora y deja esos pequeños espacios huecos al salir de la pasta. Estos poros constituyen el 28% del volumen de gel considerando el material que se seca de manera habitual. Estos son muy distintos a los poros capilares ya que no dependen de la relación agua/cemento o del curado del concreto, sino que en este caso los poros se van generando debido a la reacción exotérmica generada. Al aumentar el volumen de gel, aumentan los poros de gel y al aumentar el volumen de gel, disminuyen los poros capilares en el proceso de hidratación. El volumen de los poros de gel equivale 3 veces al volumen de agua que forma la capa de una molécula de espesor, sobre la superficie total de gel.

Si el curado fue realizado con vapor a presión se genera una cristalización de la pasta y no un gel de hidratación. Esto se puede deber a las temperaturas que intervinieron en el curado que no permite que se formen las partículas de gel y directamente se producen los cristales. La superficie específica del curado del concreto depende de su composición química, así

como de la temperatura de curado. Se ha sugerido que las proporciones en cuanto a la masa del agua en el cemento no evaporable es a: $0.230(C_3S) + 0.320(C_2S) + 0.317(C_3A) + 0.368(C_4AF)$ donde se puede apreciar que para los últimos compuestos del cemento sus coeficientes son muy similares ya que la superficie específica de la pasta de cemento varía poco con respecto a la composición química del cemento. (Neville, 1999)

Resistencia mecánica del gel de cemento.

Hay dos teorías sobre cómo se endurece el cemento así de la generación de su resistencia. Una de ellas la propuso en 1882 H. Le Chatelier en la que dice que “debido a que los productos hidratados del cemento tienen menor solubilidad con respecto a sus componentes originales, de tal modo que los hidratos se precipitan desde una solución sobresaturada. Esta precipitación forma cristales que son de naturaleza alargada y entrelazada que contienen propiedades de coherencia y adhesión”. Por otra parte, está la teoría de W. Michaëlis que establece que “los aluminatos y los hidróxidos de calcio generan la resistencia inicial. El agua saturada de cal ataca a los silicatos, lo que origina un silicato de calcio hidratado, insoluble y forma una masa gelatinosa, la misma que se endurece gradualmente, debido a la pérdida del agua producto del secado extremo de la superficie o a la hidratación de los núcleos que no alcanzaban a hidratarse con lo que adquiere la cohesión”. Sin embargo, se ha descubierto con el paso de los años que ambas teorías tienen algo de razón o puntos a considerar en su favor, además se ha encontrado que los componentes químicos son de naturaleza coloidal y que las partículas de cemento son micro estructurales con grandes áreas superficiales, las cuales dan propiedades distintas respecto a materiales convencionales. Se ha comprobado que el cemento portland al combinarlo con bastante agua se produce una solución sobresaturada de $Ca(OH)_2$ dentro de las primeras horas con una parte de silicato de calcio hidratado considerable y metaestable. El cual se precipita tal y como lo mencionó Le Chatelier. El endurecimiento se debe al retiro del agua tal y como dice Michaëlis y subsecuentemente se precipita el hidrato de calcio $Ca(OH)_2$. Posteriormente se experimentó con la misma interrogante, que en el cemento se encuentran nano cristales que entre ellos forman conexiones como si de engranes se tratan, debido a su tamaño pueden considerarse como un gel. Si al agregarle una cantidad de agua escasa de cemento, se pueden formar cristales deformes, por lo tanto, ambas teorías tanto la de Le Chatelier como la de Michaëlis

es reducida a una simple terminología, ya que se trata de un gel compuesto de cristales. Otro factor importante es que la solubilidad de la sílice aumenta con el pH mayor a 10 por lo que se descubrió que el procedimiento de Michaëlis ocurre primero y consecuentemente el procedimiento de Le Chatelier. En términos generales no se puede llamar como un “gel de cemento”, con el fin de incluir el hidróxido de calcio cristalino. Por lo que el termino gel aplica como la masa cohesiva de cemento hidratado en su pasta más densa, incluyendo los poros de gel, donde la porosidad característica es de un 28% aproximadamente. No se ha comprendido a ciencia cierta la causa del endurecimiento de la pasta, pero posiblemente se deba a los dos enlaces cohesivos. El primero se trata de la fuerza de Van Der Waals que es la atracción física entre superficies sólidas separadas solo por pequeños poros de gel. La segunda se trata de un enlace químico, puesto que el gel de cemento es del tipo de expansión limitada, parece ser que las partículas de gel están reticuladas por fuerzas químicas. (Neville, 1999)

Sangrado y asentamiento.

Es un proceso en el cual en la mezcla de concreto o mortero una parte del agua que se usó en su elaboración tiende a subir a la parte superior o en la superficie de la mezcla a causa de que las partículas sólidas de mucha más densidad tienden a consolidarse en la parte inferior de la mezcla. Es importante mencionar que los curados tienen que ser controlados ya que una mezcla que tiene demasiada agua produce un sangrado excesivo, esta tiende a que los agregados se desmoronen más fácilmente cuando la mezcla haya fraguado y por consiguiente ser de menor durabilidad. En cuanto a una mezcla pobre de agua produce un sangrado escaso y al momento de que se comience a fraguar tiende a formarse fisuras por la plasticidad y la mezcla queda en un estado “reseo” y uno de sus principales defectos cuando no tiene la suficiente agua es que no se mezcla adecuadamente, por lo que no es homogénea, es difícil de mezclar y presenta excesiva porosidad. Para identificar que la mezcla tiene la cantidad de agua adecuada, esta debe de ser manejable y de sangrado estable, lo cual permite un vibrado y compactado adecuado, ya sea con vibrador mecánico o mediante varillado.

La retracción por sedimentación es un proceso en el cual el volumen de concreto endurecido suele ser menor que el volumen de la superficie colocada, esto se debe a la evaporación del agua de curado y una evaporación equivale a pérdidas en volumen. La cantidad de sangrado

o exudación de la mezcla depende de varios factores como en su colocación, su compactación, además de varias cuestiones de las características de los materiales que componen a estas mezclas. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Agua retenida en la pasta de cemento hidratado

Se ha mencionado en muchas ocasiones que la pasta de cemento es de naturaleza higroscópica, ya que tiene características hidrófilas y a los poros ultramicroscópicos que posee. El contenido real de agua de la pasta depende mucho del ambiente, ya que los poros capilares tienden a vaciarse en lugares o situaciones donde la humedad está en un rango menor de un 45%, sin embargo, el agua es absorbida por los poros de gel en donde por muy baja que sea la humedad del ambiente queda retenida en esta pasta. Se ha determinado gracias a esto que el agua tiene ciertos grados de retención a distintas firmezas, en un extremo hay agua libre, en el otro forma parte de la reacción química o ya está químicamente combinada con los elementos que forman el cemento debido al proceso de la hidratación.

Existen varias fases del agua en el cemento que serán a continuación mencionadas tales como el agua adsorbida la cual consiste en una parte del agua que es retenida superficialmente en las partículas del gel y el agua zeolítica que prácticamente es retenida superficialmente en los planos de cristales. Además, tenemos el agua de celosía que corresponde al agua que está asociada con la cristalización y que no se asocia con los principales constituyentes del enjarrado. No existe ninguna técnica en la determinación de cual va ser el destino del agua que se mezcla con el cemento, ni tampoco es predecible determinar qué tanta agua se utiliza para los capilares o que otra cantidad se utiliza para la formación de gel, puesto a que la energía de enlace en la combinación del hidrato es del mismo orden o magnitud que el agua absorbida, sin embargo se ha determinado que gracias a resonancias magnéticas nucleares se ha sugerido que el agua de gel posee la misma energía de enlace que algunas arcillas expansivas, por lo que el agua de gel puede estar en forma de gel entre estas capas.

Existen métodos para clasificar el agua del cemento, entre una de las más tributarias está el agua evaporable y no evaporable que básicamente se obtiene por medio del secado de la pasta del cemento hasta que tenga una masa constante, lográndose esta último aplicándole vapor a

presión. Otro método de obtener la masa constante es dejar la pasta de cemento al vacío, lográndose esto sometiendo la pasta a temperaturas muy bajas hasta alrededor de 79°C bajo cero, en un espacio conectado por una trampa de humedad. Otra manera de medir el agua es determinando el agua evaporada y que esta sea evaporada a temperaturas mayores a 105°C o por congelación y remoción de solventes.

Todos estos procedimientos son muy distintos, pero tienen el objetivo común de que se obtiene la cantidad de agua retenida y la evaporable que resultan de la presión reducidas del vapor. Esta clasificación es arbitraria puesto a que está relacionada la cantidad de agua retenida en la pasta con el agua evaporable. El agua no evaporable ya tiene los compuestos químicos del cemento en combinación, pero esta parte de agua no se ligó a enlaces químicos. Esta agua tiene una presión de vapor menor que la del ambiente y además esta agua constituye gran parte de la presión del ambiente. La cantidad de agua que no se evapora aumenta gradualmente mientras el cemento se está hidratando, pero en una pasta sobresaturada nunca puede ser superior a la mitad del agua total. En cuanto a cemento bien hidratado el agua no evaporable puede llegar a valores máximos del 18% por masa del material anhidrido, lo cual aumenta a un 23% del cemento totalmente hidratado. De la cantidad de agua no evaporable más la que se combina con la pasta al solidificarse se llega a la conclusión de que el primer volumen puede utilizarse como una medida de la cantidad de gel de cemento presente. La energía de gel se define como la manera que tiene para enlazarse el agua en una pasta de cemento, ya que por ejemplo se requiere 167J para que haga un enlace un gramo de agua no evaporable y para que haya cristalización del hidróxido de calcio es de 3560 J/g. Mediante la medición de la adsorción de microondas por la pasta de cemento endurecido se conforma que las propiedades del agua adsorbida es diferente a la del agua normal o libre. (Neville, 1999)

Influencia en la composición de compuestos en las propiedades del cemento.

Los dos silicatos principales de la resistencia del cemento son: el Silicato Di cálcico (C_2S) y el Silicato Tricálcico (C_3S). El C_2S es el responsable de que el cemento obtenga su resistencia a edades tempranas al orden de las primeras cuatro semanas y consecuentemente el C_3S comienza a adquirir su resistencia a las 4 semanas en adelante. Ambos componentes en su estado puro pueden llegar a una resistencia a compresión de 700 kg/cm² a la edad de 18 meses, sin embargo, a la edad de 7 días el Silicato di cálcico no tiene resistencia alguna

mientras que el otro silicato si presenta una resistencia de 420 kg/cm^2 . Se experimentó con los componentes del cemento donde se han hecho varios análisis en donde la condición óptima con la distribución de tamaños y una condición fija de agua/sólido de 0.45, se ha encontrado que el silicato di cálcico su resistencia es inferior que la del silicato tricálcico, sin embargo, la resistencia de los silicatos es superior a la de los otros componentes que son aluminato tricálcico y ferro aluminato tetracálcico.

Los hidratos de calcio se presentan de manera impura por lo que estas impurezas afectan la rapidez de reacción del cemento y de la resistencia de los hidratos, la rapidez con que se hidrata el Silicato di cálcico también es afectada por varios compuestos, pero en cementos modernos donde el contenido de este silicato alcanza un 30% no hay grandes efectos.

Materiales cementantes suplementarios.

Estos materiales son empleados en el concreto al momento de que se requiere de la mejora de las propiedades del concreto en general de las que son la ceniza volante, escoria de alto horno, humo de sílice (micro sílice) y puzolanas naturales como el metacaolín. Las puzolanas son compuestos silícicos o silícicos aluminosos que estando en forma de polvo y con la humedad del agua pueden reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento para la creación de silicato de calcio hidratado y otros componentes cementantes. El uso que se les da a estos materiales ha ido al alza desde la década de 1970 debido al aumento de los materiales que son el subproducto de varios procesos industriales, aunque el empleo de estos materiales da un impacto positivo hacia las mezclas en cuanto al aumento de la resistencia, cabe mencionar que es también un impacto positivo hacia el medio ambiente. Estos materiales son adicionados como parte del sistema cementante y se agrega como una adición o sustitución parcial del cemento portland dependiendo de las propiedades que se requiera colocar en las mezclas de concreto. Los materiales suplementarios se emplean principalmente para la reducción de la reacción álcali-agregado en la cual se debe de establecer dos aspectos: el primero es determinar si el material realmente mejora la propiedad y segundo determinar la cantidad correcta ya que una sobredosis o una dosis baja puede no ejercer el efecto deseado. La ceniza volante, escoria, arcilla calcinada, entre otros se usaban por separado en el concreto por las propiedades que a este le daba, pero se ha dado un auge en realizar mezclas con tres materiales cementantes las

cuales son llamadas mezclas ternarias. A continuación, se describen los materiales que pueden considerarse cementantes suplementarios:

Cenizas Volantes

Es un subproducto que se forma de la combustión de carbón pulverizado en las plantas que generan electricidad. Se genera en el proceso de la ignición del carbón en la cual hay una parte volátil el cual es quemado y que durante la combustión de los materiales se funden en suspensión, transportándose afuera de la cámara por los gases de escape. El material fundido se enfría y solidifica como pequeñas esferas vítreas llamadas cenizas volantes. Se colecta la ceniza volante en un polvo finamente dividido parecido al cemento portland. Las partículas de la ceniza volante varían de menos de 1 μm hasta más de 100 μm . la ceniza volante es un vidrio de silicato de sílice, alúmina, hierro y calcio. Los constituyentes menores son magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono. Este tipo de suplementos cementantes son empleados como aditivos universales.

Escoria

La escoria granulada de alto horno es conocida como cemento de escoria es producido como un subproducto de la industria siderúrgica de alto horno del cual es un cemento que consiste en aluminosilicatos de calcio y silicatos. Se produce en el estado de fundición del acero en el alto horno. La escoria que está cerca de los 1500 °C suele enfriarse más rápidamente apagándose en el agua y formando un material granulado vítreo del cual su tamaño es de menos de 45 μm . la escoria granulada suele ser áspera con forma angular que en presencia con el agua y un activador ya sea NaOH o CaOH ambos son fornecidos por el cemento portland, pero este material no presenta la propiedad hidráulica de las escorias enfriadas por agua. Su primer uso va desde Alemania en 1853 y usándose a inicios de siglo XX.

Humo de sílice

A este material también es conocido como micro sílice, humo de sílice condensado o sílice activa, que se usa como una puzolana. Es el subproducto del resultado de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos eléctricos durante la producción de liga de silicio o ferro silicio que sube como un vapor oxidado de los hornos a 2000°C cuando se enfría, el

humos se condensan y se colectan en bolas de tela enormes del cual se procesa para que se remuevan las impurezas y el tamaño de las partículas. Este humo es condensado en una forma amorfa que su tamaño es menor de 1mm de diámetro y con un diámetro promedio de cerca de $0.1\mu\text{m}$ que es aproximadamente cien veces menor que el promedio de las partículas del cemento. Este tipo de suplementos son empleados en donde haya condiciones de permeabilidad alta.

Puzolanas naturales

Estas puzolanas se usan desde tiempos muy antiguos, teniendo registros desde el año del 79 DC del pueblo italiano de Pozzuoli el pueblo Nápoles en Italia (El nombre de puzolana proviene de hecho de Pozzuoli) del cual se realizaron muchas estructuras romanas, griegas, indias y egipcias por las cuales tienen un grado muy alto de durabilidad puesto a que se han visto estructuras que se ven hoy en día que fueron hechas con este tipo de materiales. Estos materiales van desde arcillas calcinadas, esquistos calcinados y meta caolinita. Se emplean de manera universal y como un sustituto del cemento y normalmente se encuentra del 15 al 35% y también para aumentar la resistencia a los ataques por sulfatos.

Aditivos

Son adiciones que se mezclan con el concreto o mortero, y que le dan una característica especial, es decir que mejora las propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado fluido o en estado endurecido. Los aditivos pueden ser de origen natural o artificial, orgánico e inorgánico, etc. Y actualmente se ha incrementado su uso debido a que además de mejorar las propiedades de las mezclas, también se mejora el rendimiento de la mano de obra. (Neville, 1999)

Los aditivos dependiendo de sus características y de acuerdo con la ficha técnica se pueden colocar antes o durante la revoltura de la mezcla, es por ello que las puzolanas y escorias no se consideran aditivos como tal, ya que el cemento suele tener en su composición este tipo de materiales. Las fibras son otro material que no se consideran aditivos, ya que es un material solamente usado en concretos poco convencionales. Las puzolanas y escorias solamente se

consideran aditivos si se maneja por separado del cemento y que sean en otras proporciones en adiciones y sustituciones. (Martinez Montoya, 1999)

Beneficios de los aditivos

Uno de los muchos factores que propician el empleo de los aditivos son las condiciones adversas del clima y de los elementos a colar. Por lo cual en muchas obras es necesario combinar más de un aditivo de características similares para mejorar la calidad de los elementos. Otro factor benéfico del uso de aditivos es el costo, ya que su uso da muchos beneficios en cuanto el ahorro de materiales y en mano de obra, aunque a veces el costo de adquisición es elevado, sin embargo, al paso del tiempo se mejoran características a las mezclas y tienen poco o nulos gastos futuros en reparaciones o mantenimientos, lo que resulta una gran inversión respecto a mezclas convencionales. Es importante mencionar que los aditivos se emplean para mejorar las características de la mezcla, mas no para corregir los defectos de la mezcla, como lo es un mal proporciónamiento, manejo y colocación de esta. (Neville, 1999)

Factores para tomar en consideración para el uso de aditivos.

Los aditivos se deben de utilizar cuando se requiere mejorar o cambiar las propiedades de una mezcla como: incremento de su resistencia, mezclas más fluidas, reducción o incremento del fraguado, etc. Varios de estos factores pueden ser controlados por la experiencia y en base a la prueba y error en donde se han determinado varios métodos o procesos que conllevan a hacer mezclas con características similares, sin embargo existen factores que exigen el uso de aditivos, que no se pueden controlar como las condiciones ambientales adversas de lluvia, hielo, viento y sol principalmente.

Otro factor es el proceso de la construcción que pueden tener relevancia para las características de la mezcla en cuanto su resistencia. Como el uso de los vibradores, el ejemplo más conocido es que si se vibra más, los agregados más gruesos se tienden a poner en la parte inferior de la mezcla y los finos quedan en la parte superior lo que puede ocasionar una reducción de la resistencia por homogeneidad. Otro aspecto a considerar es que los trabajadores no permiten el uso de mezcla espesa o que sean poco trabajables ya que se retrasa su colocación y trabajabilidad.

Antes del empleo de algún aditivo se deberá considerar los siguientes aspectos:

- Identificar los o el clima predominante de la zona en donde se va a construir, así como de la vida útil de la construcción en cuestión.
- Analizar previamente las cualidades de los concretos que se van a usar previamente diseñados, para deducir si es necesario el usar alguna adición, ya que en algunos casos puede ser contraproducente.
- Se tendrá que evaluar y analizar si se deben mezclar dos a más aditivos para encontrar el comportamiento deseado en dichas mezclas.
- Para el caso de nuevos aditivos se debe de evaluar su beneficio y si requiere de ciertas limitantes en cuanto a su uso para evitar los defectos importantes del comportamiento.

Para garantizar que el uso de un aditivo sea adecuado su comportamiento se tiene que observar estas cuestiones en las mezclas en estado fresco así como cuando ya están rígidos o endurecidos en cuanto a su fraguado. Una de las cualidades que pueden otorgar los aditivos en la mezcla fresca con:

- Aumento en la trabajabilidad, que consiste en el manejo y colocación del concreto sin reducir o aumentar su relación Agua-Cemento o reducir esta relación para obtener una resistencia similar con menor cantidad de cemento, lo que resulta económico.
- Acelerar el tiempo de fraguado, que consiste en reducir el tiempo de endurecimiento de las mezclas y pueden construirse estructuras en cuestión de horas
- Retrasar el tiempo de fraguado, que básicamente facilita el transporte de las plantas de concreto a lugares muy prolongados.
- Reducción de la segregación o sangrado, que se refiere a que pueden ser capaces de darles una mejor fuerza de adherencia entre las partes de la mezcla logrando así que las partículas más densas a la hora de vibrar la mezcla no se asienten en la parte inferior de las estructuras de concreto, mientras que las partículas que son de menor densidad viajan a la parte superior de la estructura. Este aditivo ayuda a tener mezclas más homogéneas y menos porosas.

- Un mejor acomodo de las partículas, ya que en algunos casos hay estructuras que su armado metálico es muy estrecho o tiene poca separación entre una barra y otra lo que puede dificultar su colocación y con los aditivos esto se puede resolver.
- En cuanto a su colocación final, en ocasiones es difícil llevarla a lugares difíciles, por lo que se opta por los bombeos que requieren de cierta energía para transportar por un ducto la mezcla hasta su lugar de colocación, que puede ser en sitios que tienen gran altura o se encuentran en lugares de difícil acceso lo que se hace es un bombeo pero con los aditivos fluidificantes se puede lograr.
- Hay aditivos que lo producen un pequeño cambio en su volumen con respecto a la temperatura y evitan el agrietamiento del cemento por contracción o dilatación.

Para la mezcla ya endurecida se pueden destacar los distintos aspectos benéficos en cuanto a sus propiedades:

- Un aumento en cuanto a sus propiedades Físico-Mecánicas.
- Aumento o disminución en cuanto a su resistencia a edades tempranas dependiendo del aditivo, así como del tipo de cemento.
- Aumento en la durabilidad, en mezclas expuestas a cambios bruscos de temperatura o construcciones en zonas con atmosfera marina, que pueden ocasionar corrosión de la armadura.
- Reduce el cambio de temperatura o energía térmica que produce el cemento cuando este se está hidratando al igual en cuanto ya está adquiriendo algo de rigidez. En pocas palabras hay aditivos que pueden moderar el calor por la hidratación y endurecimiento a edades tempranas.
- Adquieren más cualidades de durabilidad que básicamente de las pruebas que evalúan este comportamiento son las de ataques por sulfatos en las que adquieren un buen comportamiento.
- Suelen además de ganar más comportamiento a los impactos o abrasión, esto nos puede beneficiar un poco para que no tienda a desgastarse o a fracturar cuando se pone en contacto con materiales de la misma naturaleza o que pueden ser más duros.

- Tiene más control en contacto a la reacción álcalis en algunos agregados que pueden presentar este factor.
- Una mejor adherencia entre las mezclas en las que ya están colocadas y funcionando y una nueva que se desea aplicar.
- Una mejor adherencia entre la mezcla y el acero de refuerzo tratándose de estructuras de concreto armado o reforzado
- Disminuye la permeabilidad de la mezcla, ya que hay una mezcla más densa y con menos poros que pueden ser causados por un exceso de agua.
- Pueden disminuir la corrosión del acero o los metales inmersos en la mezcla o en el mejor de los casos que no tengan este fenómeno y una mejor durabilidad de las estructuras.
- Producción de mezclas que no conlleven el uso de los agregados “concreto celular”.

Para el uso de aditivos recapitulando se deberán de considerar estas condiciones para su empleo:

1. Que no produzcan efectos secundarios importantes en cuanto a la funcionalidad del cemento o de la mezcla en sí.
2. Que haya algún beneficio económico en su empleo
3. Llegar al efecto en la mezcla que se espera sin alterar la dosis básica. (Martínez Montoya, 1999)

Aspectos económicos para el uso de Aditivos.

Algunos de los aspectos a considerar para el uso de los aditivos es su impacto económico que pueden generar, ya que uno de los propósitos de los aditivos es el de mejorar las cualidades de la mezcla, de tal modo que se pueden usar materiales básicos de la mezcla en menor proporción. Entre las principales consecuencias en cuanto al uso de aditivos en lo económico es: reducir el costo del concreto, obtener las cualidades de la mezcla requeridas por métodos más versátiles, garantizar una calidad del concreto y para solucionar algunas situaciones que involucren la colocación de la mezcla en el colado.

Cuando se elija un aditivo se debe de evaluar si es factible su uso, porque al poner alguna adición a la mezcla se generan cambios y al dosificar de manera incorrecta se pueden generar

efectos contrarios a los esperados y resulta contraproducente. Otro aspecto es el del aumento de volumen de la mezcla al agregarle el aditivo, ya que también aumentan las proporciones del cemento.

Un factor más en el uso de los aditivos sería que requieren un costo adicional respecto a una mezcla tradicional. Es por ello que los que lo aplican son los productores de concreto a gran escala (concretaras), ya que su aplicación requiere de gente capacitada para su empleo en aditivos. En algunos casos el empleo de los aditivos puede justificar el costo de su misma adición con su empleo y el aumento de sus cualidades que contengan. (Martinez Montoya, 1999)

Tipos de aditivos

Un aditivo se define como un producto químico o natural, que se le agrega a las mezclas en un máximo de 5% de la masa del cemento en el proceso de mezclado, con el fin de elaborar mezclas con mejores características tanto para su trabajabilidad como para sus características resultantes finales.

Los aditivos se clasifican en su función en el concreto de acuerdo a la norma C 494-92, sin embargo, hay aditivos en los que se les atribuye más de una función:

- Tipo A Reductores de agua
- Tipo B Retardantes
- Tipo C Acelerantes
- Tipo D Reductores de agua y Retardantes
- Tipo E reductores de agua y acelerantes
- Tipo F Reductores de agua de alto rango o súper fluidificantes
- Tipo G Reductores de agua de alto rango y retardantes, o súper fluidificantes y retardantes

Los aditivos para su uso se comercializan como productos patentados, aunque en sus instrucciones nos puede marcar otros atributos o efectos adicionales en su empleo, tales efectos suelen ser ciertos, pero a consecuencia de otros factores que influyen en la mezcla.

El concreto tiene que ser trabajable, de fácil acabado y resistente al desgaste; cada una de estas cualidades deben de ser una prioridad, ya que son aspectos a tomar en consideración por el simple hecho de que resultará más rápido el hacer un elemento de concreto de cualquier tipo, si se considera que en una obra se requiera que el concreto o mortero tenga ciertas propiedades como el reducir el tiempo de fraguado o que se aumente este tiempo, se requerirá el uso de aditivos. Sin embargo, se puede hacer cementos que tengan ciertas características, aunque para que una cementera tenga que hacer de un tipo de cemento se requiere de habilitar las instalaciones de las cementeras en cuestión. Para esto es el uso de aditivos, el adicionarle más elementos en su mezcla para que esta tenga características especiales.

De acuerdo con las cualidades que suelen ganar las mezclas de cemento nunca se considera como un sustituto o reemplazarlo por uno de los elementos más primordiales para la mezcla. La eficiencia de un aditivo depende de varios factores: tiempo de mezclado, temperatura de la mezcla; contenido de agua; granulometría y proporción de los agregados; tipo, marca, y cantidad de cemento. Un aspecto muy fundamental en el uso de aditivos es que se deben de comparar con mezclas convencionales para garantizar que efectivamente mejoró sus características. Para realizar comparaciones se requiere que las mezclas tengan condiciones similares; Por ejemplo: tiene que ser la misma temperatura para el mezclado, la misma época del año, que las mezclas sean elaboradas por la misma persona, el mismo día y de ser posible a la misma hora. Todo esto con la finalidad de mantener las mismas condiciones y así comprobar su efectividad. Es importante destacar que todos los aditivos en el mercado cuentan con una ficha técnica, que indican el porcentaje de adición y los cambios que proporcionará a la mezcla (fluidez, resistencia, durabilidad, etc.). (Steven H. Kosmatka, 2004)

Los aditivos están de forma sólida o líquida siendo esta última la de más uso, ya que un líquido se dispersa fácilmente por toda la mezcla y los aditivos que son sólidos se requiere de mezclar en más tiempo para distribuirlo de manera uniforme. Para dosificar el aditivo se requiere de recipientes debidamente calibrados con el fin de garantizar su empleo adecuado, ya que si se excede su empleo podrá afectar otras características como de resistencia y durabilidad de la mezcla. De la misma manera si se le agrega muy poco aditivo puede que no se logren los efectos que se necesitan en la mezcla, por lo que es importante tomar las

medidas adecuadas en su empleo y buen uso. Cabe destacar que hay otro tipo de aditivos en los cuales se debe de tener cierta precaución en cuanto a su manejo como es el caso de los súper fluidificantes, que deberán estar sujetos a condiciones especiales para su aplicación por mencionar algún ejemplo.

En cuanto a su administración en la mezcla es conveniente especificar su empleo, que por lo general se usa en proporción de la masa del cemento en la mezcla, aunque todo está en las circunstancias para lo que se deben de usar. La efectividad de los aditivos varía de acuerdo con su dosificación con la mezcla. Los aditivos líquidos se deben de incluir en la cantidad de agua total de la mezcla.

El efecto de los aditivos suele ser afectado por la variación de la temperatura que suele reaccionar con las temperaturas altas, por lo que es recomendable estudiar los efectos de los aditivos en temperaturas extremas antes de su empleo.

Otro aspecto es el manejo adecuado de los aditivos, ya que pueden afectar el cuerpo humano si es ingerido, además pueden ocasionar reacciones adversas en la piel y los ojos principalmente. (Neville, 1999)

Economía circular

Los modelos que se tienen actualmente en cuanto a la producción de bienes son de modo lineal del cual es desde la recolección de la materia prima, pasando por los procesos de síntesis en algunos casos para el caso de algunos materiales para el cual es necesario por cuestiones de funcionalidad, la manufactura o producción de los productos, distribución, vida útil y por último la disposición final de los productos. Este tipo de modelos son de manera lineal y cada uno de los pasos no suele ser más efectivos o tienen cierto grado de efectividad y para cierto uso se tiene una gran sobre explotación de los recursos debido a la demanda que estos puedan generar, este tipo de modelos de producción dieron sus inicios desde la revolución industrial para el cual se dio un auge en cuanto a la manufactura de los procesos de producción. Sin embargo, en cuanto al paso de los años se tiene un incremento de la población, así como de la generación de procesos que son más efectivos en el cual se obtienen productos más novedosos o que se pueden reducir su vida útil de acuerdo con sus componentes se tiene que su calidad puede bajar o tiende a bajar. El problema con el modelo

actual es que se genera un gran impacto ambiental en lo que se tiene la consecuencia del cambio climático o la pérdida de la biodiversidad. La economía circular es una transición que va de un modelo de la economía linear que es un constante empleo de materiales y que, en su empleo de materiales en la manufactura, además que por su uso se va teniendo un porcentaje de residuos. El modelo de la economía circular es un método en el cual se encargó de la vida útil de los materiales sea lo más prolongada posible. El modelo de la economía circular trata de transformar los residuos en recursos hasta el punto de que los procesos empleados no tengan el término de residuos. Esta transición que suelen manejar los máximos aprovechamientos de los recursos tiende al crecimiento de la propia economía por la cual se deduce el crecimiento de la economía y se reducen los impactos ambientales. La implementación de una economía circular siempre tiene un potencial de crecimiento del negocio, así como una oportunidad de oportunidades de prácticas de cuidado, reparación y reúso que solo se puede implementar a una escala pequeña. Esta transición entre la economía linear a una economía circular que no es del todo certero, aunque el problema relacionado es escaso. Este término no es del todo nuevo y ha sido implementado en distintas épocas y contextos. Por ejemplo, la economía ambiental por Kenneth Boulding que escribió un ensayo de la economía del espacio venidero en la tierra y que las personas deben de adaptarse a sistemas ecológicos cíclicos. La economía circular es un término que se ha popularizado a mediados de la década del 2010. Además, cerca de tres décadas de una fuerte creencia en crecimiento del desarrollo sustentable. Desde 1980 la política ambiental ha sido discutidos globalmente por partes privadas. Este proceso se ha descrito como “marketizacion” y explica el enfoque de emprendimiento, políticas públicas y en coordinación que permanecía incluidas en políticas sustentables. La creencia que innova la transformación mejor ocurre a través del emprendimiento de actores comerciales y a través de la responsabilidad del consumidor han sido analizados en la aplicación de conceptos ecológicos. La modernización ecológica, se va desde un proceso de individualización. Donde la responsabilidad del cambio en la sociedad al cambio ha movido no solamente en el sector privado no solamente en el sector privado. Es importante resaltar que el proceso de individualización no solamente presume que es a través individual que asciende a lo gubernamental que transferir lo sustentable debe de ocurrir, pero solamente referidos a reacciones desiguales de poder. Los reportes de la economía circular

han tomado un flujo lineal descrito como “tomar, hacer, disposición” es el origen de la situación sustentable. Un reporte de la economía circular por otra parte tiene pocas limitantes. Problemas relacionados con la extracción de recursos, consumo y producción son excluidos. Los residuos son enmarcados como el problema principal de la economía circular donde los materiales son dispuestos en sitios equivocados que los ecosistemas están en peligro y el valor económico del material es perdido. La única cosa que sería limitada en la economía circular que sería limitada en la economía circular es una derrama de economía por redirigir residuos de la economía en si. Respecto a los materiales secundarios como un producto en mercados globales sin obstáculos necesarios que traducen a la creación de nuevas oportunidades. La economía circular formula el problema y beneficios principalmente en bases locales, un problema es el desecho del fosforo que en ambientes determinados causa la eutroficación. Uno de los factores que determina la economía circular es un ganar-ganar el cual crea puentes entre negocios y políticas ambientales. Los puntos más sobresalientes de este tipo de economía es la creación de nuevos empleos y el desarrollo e innovación circular. Puede incluir diferentes medidas del incremento de reúso como la reducción de impuestos por reparaciones, fortalecer derechos o quejas acerca de productos diferentes e incrementar la legalidad en productos de segunda mano. Las industrias tienen la responsabilidad para lograr una economía circular donde deberá ofrecer soluciones que en otras vías habilita productos para ser circulados a través del reúso o prácticas de reciclaje. El papel del estado está representado como cualquier obstáculo inherente o como facilidad para otros factores. Un problema identificado son los bloqueos de la legislación en una economía lineal, además del empleo de instrumentos más sofisticados.(Camacho-Otero et al., 2020)

Desarrollo experimental

Caracterización de los agregados

Muestreo y cuarteo de los agregados

El muestreo de los agregados es de suma importancia ya que lo que se busca es que los agregados sean representados para poder hacer todas las pruebas que a estos se le hacen con motivo de que si se toma una parte parcial del lote o montón de agregados puede que resulten de buena calidad pero no resulta representativo para lo que es necesario hacer una obtención

de los agregados tal que se obtengan pequeñas porciones del lote para garantizar que el material está debidamente muestreado. Para el muestreo del material se requiere de una cantidad de material de aproximadamente 100 kg dependiendo del tamaño del agregado que en este caso es arena o agregado fino mismo que suelen obtenerse de distintos lugares o fuentes tales como los de origen volcánico o triturados o de materiales que están e alguna manera almacenados y que se requiere de realizar alguna mezcla con estos materiales y debe de ser el necesario para la realización de las mismas pruebas los agregados y para hacer los especímenes para después las otras respectivas pruebas. Para hacer el muestreo en este caso el material se deberá de obtener de pates aleatorias del montón en este caso debe de ser de nueve partes distribuidas de todo el montón variando el lugar y la altura de este. (NMX-C-030-ONNCCE-2004, 2004)



Figura 1 Muestra representativa de arena puesta a secar. Por Luis Alberto González

El cuarteo es una técnica que consiste en reducir la muestra de arena previamente obtenida del lote del tamaño o cantidad necesaria para cada una de las pruebas. Existen tres métodos para realizar el cuarteo, el primero es un cuarteo manual en el que consiste en que por medio del uso de palas el material es revuelto para garantizar su homogeneidad, se hace un traspaleo del material con la pala, de un lugar a otro, por lo mínimo en tres ocasiones y sin permitir que se haga de una manera brusca para evitar que los agregados más finos se dispersen en el aire, un método para evitar que los finos se dispersen es humedeciendo el material para que haya poca adherencia de las partículas más finas o que simplemente se tenga un poco de cuidado, ya que mojar los agregados se suelen lavar los finos, por lo que no sería representativo a la hora de hacer las pruebas posteriores, una vez que se haya hecho el

traspaleo se tiene el montón de arena en forma cónica, se aplana la punta del cono con la pala de tal modo que quede una forma troncocónica para después dividir este material en cuatro partes iguales de las cuales solamente se escogen las que están opuestas y el otro material se descarta, este método es para reducir el material en una gran proporción pero tiene la desventaja de que los agregados se pueden dispersar y además puede que el material se contamine con los sedimentos propios de la atmosfera por lo que se recomienda hacer este cuarteo en un lugar limpio, rígido y cerrado para evitar la contaminación del material con otro no deseado. Hay otro método de cuarteo es para muestras de donde las condiciones del lugar no son las óptimas o se requiera de una cantidad de material bastante pequeña y la cual consiste en colocar el material sobre una lona o un material que sea lo bastante amplio para contener el material y el método consiste en juntar las puntas opuestas del hule, lona o bolsa de plástico de modo que el material se vaya homogeneizando y se separa el material en dos partes para que se tome una parte y la otra se descarte para otras pruebas, este método es más eficiente en aquellos casos en donde el lugar para hacer la reducción de las muestras no es el adecuado porque no se cuenta con las condiciones para hacer los cuarteos con los otros métodos

El segundo método consiste en un cuarteo más mecánico y se usa el cuarteador que es una herramienta que consta de varios conductos de los cuales para el caso de las arenas deben de ser mínimo doce conductos por lo que son seis pares del mismo tamaño cada uno y donde el tamaño de los conductos debe de ser un 50% más grandes que el tamaño máximo del agregado que para este caso son agregados que pasen la malla número cuatro (4.75mm). (NMX-C-170-1997-ONNCCE, 1997) en la que después de hacer el traspaleo se coloca el material en una charola para verter el material sobre esta herramienta que al momento de que el material cae por la herramienta este se va repartiendo en dos charolas individuales de modo que el material se reparte de manera homogénea y quedando aquella cantidad reducida en dos mitades para lo que una se toma y la otra es descartada este método de cuarteo es más exacto y más rápido pero tiene la limitante de que el material que se está cuarteando es un poco menor que con el método anterior para lo que es el ideal para obtener el material en la realización de las distintas pruebas,

Masa volumétrica seca y suelta.

Esta prueba trata de determinar la masa del material que es contenida en una unidad de volumen tal y como se encuentra en su estado natural, esta prueba se hace con la finalidad de que se puedan contabilizar varias cuestiones como es el caso de volúmenes de material y saber cuánto pesa este material además de tener una idea de que tanto influye el peso de los determinados viajes de arena que son transportados a dichas obras. La masa volumétrica seca y suelta es un parámetro que nos sirve para el cálculo del proporcionamiento de saber la cantidad de botes de agregados necesarios para la realización de una mezcla de concreto de cualquier resistencia. Cabe destacar que el material debe de estar seco en su totalidad, ya que de presentar una mínima cantidad de agua no resultaría representativo al momento de su realización. Para realizar esta prueba se requiere un recipiente calibrado, de masa y volumen conocidos, de acero inoxidable preferentemente, en forma cilíndrica y que sea apto para un uso rudo. Los recipientes varían su capacidad dependiendo de los agregados ya que para los agregados finos se requiere de un recipiente de aproximadamente 3 litros y para el agregado grueso se requiere de un recipiente de aproximadamente 10 litros de capacidad. Este recipiente se tiene que llenar de agregados ya sea arena o grava mediante un cucharón, cuidando no colocar el material desde una altura mayor a 5 centímetros, ya que se pueden perder los finos que integran el material. El recipiente se debe de llenar de manera uniforme hasta que el material sobrepase los bordes del recipiente y el material sobrante se enrasa, se limpia el recipiente de las orillas para quitar el exceso de material y por último se toma la masa del recipiente más el agregado. (NMX-C-073-ONNCCE-2004, 2004)



Figura 2.- Cuarteo de agregado fino. Ilustración propia



Figura 3.- Llenado y enrasado del agregado fino. Ilustración propia



Figura 4.- Toma de la lectura de la masa del agregado más el recipiente. Ilustración propia



Figura 5.- Muestreo de agregado grueso. Ilustración propia



Figura 6.- Llenado del recipiente con agregado grueso. Ilustración propia



Figura 7.- Toma de la lectura de la masa del agregado grueso más el recipiente. Ilustración propia

Para obtener la masa volumétrica seca y suelta se requiere de la siguiente formula:

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Donde:

M.V.S.S.: Masa Volumétrica Seca y Suelta (g/cm³)

M: masa de la arena (g)

V: volumen del recipiente (cm³)

Para la realización de la prueba se hacen por lo menos tres veces y el resultado de dicha prueba no debe de tener mucha varianza de un resultado de la prueba con el otro.

Masa volumétrica seca y varillada.

Esta prueba es muy similar a la de masa volumétrica seca y suelta solo que para esta el único cambio que tiene es el modo de su realización, ya que para esta prueba se requiere de un cierto grado de compactación en su proceso de realización y debido a esta compactación es que se pierde más cantidad de vacíos por lo que su masa es mayor. La prueba se hace de la siguiente manera: se comienza a llenar el recipiente descrito en el tema anterior de la misma manera de cómo se llenó con la prueba de la masa seca suelta, solo que para este caso se llena en tres capas y a cada capa la arena se compacta con una varilla de punta de bala que debe de ser de un tamaño de 600 milímetros y de un calibre de 16 milímetros en donde se le aplican 25 compactaciones distribuidas en toda el área del recipiente. Existe otro método que consiste en golpear el molde contra una superficie firme durante 50 ocasiones, sin embargo esta compactación es muy poco recomendable, ya que el recipiente sufre de mucho desgaste y abolladuras, se llena con creces pero en la última capa se debe de cuidar que al compactar el material no se desborde y si ya no se cubre el borde del recipiente se detienen las compactaciones y se vuelve a rellenar con creces terminando de compactar la arena y se enrasa y después se limpia el recipiente y se pesa. (NMX-C-073-ONNCCE-2004, 2004)



Figura 8.- Material cuarteado para prueba de masa volumétrica. Ilustración propia



Figura 9.- Proceso de compactación del agregado fino. Ilustración propia



Figura 10.- Toma de la lectura de la masa del agregado más el recipiente. Ilustración propia



Figura 11.- Agregado grueso cuarteado para la prueba de masa volumétrica. Ilustración propia



Figura 12.- compactación del agregado grueso. Ilustración propia



Figura 13.- Toma de la lectura de la masa del agregado grueso más el recipiente. Ilustración propia

Para obtener la masa volumétrica seca y varillada se requiere de la siguiente fórmula sin tomar en cuenta la masa del recipiente:

$$M.V.S.V. = \frac{M}{V}$$

Donde:

M.V.S.V.: Masa Volumétrica Seca y Varillada (g/cm³)

M: Masa de la arena (g)

V: Volumen del recipiente (cm³)

Granulometría en arenas

Esta es una prueba en donde se busca determinar la cantidad individual de cada tamaño en una muestra de arena, para lo cual hay ciertos límites permisibles para la elaboración de concretos y morteros. La prueba consiste en la siguiente manera: se toma una muestra de agregado de 600 gramos que previamente fue homogeneizada para lo que se usan una serie de mallas o tamices que son de #4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola. Estas se acomodan de manera ascendente de modo que la 4 quede hasta la parte superior y la charola en el fondo, se vierte el agregado sobre estas y se le pone una tapa, para llevarlas al aparato raf-taf. Este aparato hace que las mallas se muevan por medio de vibraciones durante un tiempo de 10 minutos para lo cual al terminar este tiempo se retiran las mallas del aparato y el material que fue vertido se distribuyó en todas las mallas hasta en la charola debido a la variabilidad de los tamaños que en esta muestra se encuentran obteniéndose así la masa de material retenido en cada una de las mallas, en donde la suma de todos los retenidos debe ser igual al peso inicial de la muestra. (NMX-C-077-1997-ONNCCE, 1997)

En cuanto a la obtención del porcentaje retenido de granos de los distintos tamaños se obtienen con la siguiente fórmula:

$$\%Retenido = \frac{\text{peso retenido}}{\text{suma del peso retenido}} * 100$$

Para el porcentaje acumulativo se calcula con la siguiente formula.

$$\%acumulativo \text{ de la malla} = \%retenido \text{ malla} + \%acumulativo \text{ de malla anterior}$$

Otra cosa que se necesita es el cálculo del % que pasa:

$$\%que \text{ pasa la malla} = 100 - \%acumulativo \text{ de la malla}$$

Lo que se debe de calcular con la granulometría en arenas es el módulo de finura y el cual es calculado con la siguiente formula:

$$M.F. = \frac{\sum \text{porcentaje acumulativo de malla \#8 a \#100}}{100}$$

El propósito de esta prueba es conocer el módulo de finura, dato que se requiere para el cálculo del proporcionamiento y para la calidad del material, ya que en el reglamento estipula que deben de pasar cierto porcentaje para cada una de las mallas.



Figura 14.- Cuarteo del agregado fino para la prueba de granulometría. Ilustración propia



Figura 15.- Proceso de la distribución de las partículas con el raf-taf. Ilustración propia



Figura 16.- Distribución de las partículas de las distintas mallas. Ilustración propia

Esta prueba es de las más importantes para obtener los datos necesarios para encontrar el volumen o peso de los agregados que se requieren en el diseño de las mezclas. Además de que hay ocasiones en las que falta algún tamaño de agregado para hacer alguna compensación o si las muestras contienen mucho material fino, ya sea arcillas o limos lo ideal es hacer un lavado de agregados en este caso en esta prueba debe de tenerse un cierto equilibrio de que para tanto porcentaje que retiene ciertas mallas debe de ser el adecuado, cabe destacar que para el caso de las arenas son aquellas que pasan la malla número 4, si hay material retenido por esta malla se considera grava.

Granulometría en gravas

El análisis granulométrico en gravas es un proceso en el que se realiza de manera manual de la que se requieren de las mallas #4, 3/8", 1/2", 3/4", 1" y 1 1/2", además de que se requirió de el recipiente para masa volumétrica, palas, cucharones y una balanza con aproximación al gramo. El proceso para hacer la granulometría en gravas consiste en hacer un cuarteo con

una muestra de grava de como mínimo 50 kg, se selecciona el material previamente cuarteado con el que se llena el recipiente, este debe de ser de que debido al proceso del cuarteo se tienen una división del material en 4 partes iguales por lo que se toman de dos partes opuestas, haciéndose la parte del llenado que en el recipiente y con ayuda de un cucharón se valla llenando de tal manera que el cucharón se deja de al menos 5 cm de separación con respecto al borde del recipiente hasta llenarlo. Se enrasa y se toma la lectura de la masa del recipiente más agregado. Se le resta la masa del recipiente para tener solamente la masa del agregado y se pasa el material a través de las mallas comenzando con la del numero 4, siguiendo con la de $3/8$, $1/2$, $3/4$, $1''$, hasta que el material sea cribado y no quede en ninguna malla. Posteriormente de que todo el material fue cribado se procede a tomar la masa de cada porción que se retuvo de las mallas en donde el material que pasa la malla de $1''$ es el que se retiene de la malla de $3/4$ y así con todas la que pasa la $3/4$ es la que retiene la de $1/2$, por ejemplo. Se obtiene la suma de todas las porciones del material cribado para la obtención de la cantidad de arenas que se tienen en la grava. Para la obtención de los porcentajes retenidos se tiene que dividir la cantidad de masa retenida en cada malla entre la masa de los agregados que se obtuvo anteriormente con el recipiente y se multiplica por 100. Otro de los datos que se obtienen con este análisis de la granulometría es el porcentaje retenido acumulativo que se obtiene del porcentaje retenido en el cual el primer porcentaje se pasa tal cual, para el resto de los porcentajes es sumando la cantidad anterior del porcentaje retenido acumulativo más el porcentaje retenido, con este dato lo que se obtiene es el tamaño máximo nominal del agregado que es un dato indispensable en un diseño de mezclas. Por ultimo se obtiene el porcentaje que pasa en que se obtiene del porcentaje retenido acumulativo que se resta de 100 para obtenerse.



Humedad superficialmente seca y Humedad de absorción.

En esta prueba nos indica el porcentaje de agua que absorbe los agregados que en este caso es arena. Para hacer esta prueba se requiere de una preparación en donde se tiene que poner la arena superficialmente seca en donde para lo cual resulta imposible el secar superficialmente grano por grano y secarlos con este método resultaría poco productivo ya que al retirarle el exceso de humedad se quedarían los finos en el lienzo que se usaría para retirarle la humedad superficial. Para esto de poner el agregado fino en el estado superficialmente seco se requiere de cierto equipo que consiste en un molde troncocónico que por lo general es de lámina inoxidable como el bronce y con un espesor mínimo de 0.8 milímetros con medidas internas de 40 milímetros de diámetro superior y 90 milímetros de diámetro inferior, y 75 milímetros de altura todas las dimensiones antes mencionadas excepto el calibre pueden variar con 3 milímetros, además de que se debe de contar con un pisón de forma cilíndrico y con una masa de 340 gramos y varianza de 15 gramos con una superficie de apisonamiento plana y normal al eje longitudinal, con diámetro de 25 milímetros con varianza de 3 milímetros y una charola metálica se pone a saturar agregado con agua durante

24 horas, con motivo de garantizar que los agregados que tengan poros se saturen completamente de agua, se colocan en un lugar donde se produzca calor que en este caso puede ser una parrilla o en un soporte universal con un mechero de tal modo que esta charola o recipiente este calentándose para que el agua contenida en el agregado se evapore, lo que se tiene que hacer es que con el uso de una espátula se va revolviendo el material de modo que se valla secando progresivamente, para que el material se encuentre en estado seco superficialmente se va a colocar dentro del molde troncocónico de tal manera que se llena en tres capas y en total se le aplica 25 compactaciones con el pisón en la primera capa se compacta 12 veces distribuidas uniformemente, en la segunda capa se le aplican 8 compactaciones y en la última capa se le aplican 5 compactaciones, una vez lleno el molde se enrasa y se retira el molde de la muestra cuidando de no tocar la muestra con el molde y lo que pasa es que la arena se tiende a disgregar con la perdida de humedad para lo que al identificar que la arena se encuentra superficialmente seca esta se disgrega de modo que se forma un cono con la muestra de agregado o que una parte de esta muestra empiece a disgregarse. (NMX-C-165-ONNCCE-2014, 2014)



Figura 17. Una muestra de agregado fino que se puso en calor para que perdiera humedad. Por Luis Alberto González



Figura 18. Prueba del molde troncocónico. Por Luis Alberto González

Una vez que el material se encuentre en esta condición se pesa cierta cantidad de material en este estado para anotarse este dato como masa superficialmente seca, se pone otra vez en calor el material previamente pesado hasta que se seque de manera total obteniéndose otra vez la masa y por diferencia se saca el porcentaje de agua contenida. Para identificar que el

material se encuentra en estado seco se usó un método el cual consiste en usar un cristal que se coloca en la parte superior del agregado empañándose con el agua que se evapora con el calor, de esta manera se determina que el material aun contiene humedad para lo que se tendrá seguir en contacto con el calor para lo cual una vez que el material se encuentra absolutamente seco el cristal ya no se empañara.



Figura 19. Obtención de la humedad por medio del cristal. Por Luis Alberto González



Figura 20. Determinación del peso seco del agregado. Por Luis Alberto González

Para la determinación de la humedad se requiere de la siguiente formula:

$$\% Abs. = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} * 100$$

Donde:

%Abs.: porcentaje de Absorción.

Mss.: Masa superficialmente seca.

Ms.: Masa seca.

Densidad de la arena.

La densidad de los agregados es la relación entre la densidad de los agregados superficialmente secos y la densidad del agua y es equivalente a la masa superficialmente

seca de los agregados entre el volumen de agua desalojado en donde se consideran la masa de las partículas de agua que se adhieren en la parte interna de los agregados. (NMX-C-165-ONNCCE-2014, 2014) La prueba consiste en preparar una muestra representativa igual como en el capítulo 3.2.5 en donde se tiene que poner los agregados superficialmente secos con el molde troncocónico.



Figura 21. El agregado está en estado óptimo para la realización de la prueba. Por Luis Alberto González

Una vez preparada la muestra se hace la prueba de la siguiente manera:

Con el uso del vaso de Chapman y conociendo su peso se llena de agua hasta la primera marca que son 200 mililitros, se coloca una cantidad de agregados en masa como por ejemplo unos 300 o 350 gramos de agregados, una vez que el material se coloca el vaso se agita de tal modo que el agua se uniformice con los agregados, por último se le coloca agua hasta la marca de 450 mililitros para que después se le tome la masa del vaso más el material más el agua. Lo que se pretende con este vaso relleno de agua es el de eliminar en totalidad los vacíos contenidos entre agregados para lo que es necesario eliminar esto ya que estos vacíos pueden causar errores en el volumen de la muestra.



Figura 22. Obtención de la masa del vaso de Chapman.
Por Luis Alberto González



Figura 23. Vaso llenado con agua hasta la marca de 200 ml. Por Luis Alberto González



Figura 24. Colocación del agregado y homogeneizado con el agua. Por Luis Alberto González



Figura 25. Relleno de agua hasta la marca de 400 ml.
Por Luis Alberto González

Para la obtención de la densidad de los agregados finos se usa la siguiente formula:

$$D = \frac{As}{Vf - (k - F - As)}$$

Donde:

D: Densidad en g/cm^3

As: Masa Superficialmente seca del agregado fino en g.

Vf: Volumen del vaso de Chapman en cm^3

F: Masa del vaso Chapman en g.

k: Masa del vaso más el agua más el agregado en g.

Absorción en gravas

En esta prueba es un proceso que se lleva a cabo para determinar la cantidad de agua que puede retener las partículas de grava, su proceso consiste en tomar una muestra de grava de alrededor de 2 kg que tiene que estar entre las mallas de $3/8''$ a $3/4''$ del que tiene que pasar la de $3/4$ y retenerse en la de $3/8$, estos materiales se colocan en un recipiente saturándose en agua en un tiempo de 24 horas con el propósito de saturar los poros de las partículas de grava, una vez que se cumple el tiempo se extrae una porción de esta muestra secándose superficialmente con un lienzo o franela, se toman aproximadamente 300 gramos de esta muestra y se colocan en una fuente de calor sometiéndose a este hasta que la muestra esté completamente seca, el método para obtener que esta se encuentra seca es por medio de un cristal que se coloca directamente sobre la muestra de en este caso la grava que si este se logra empañar se debe de dejarlo más tiempo en la fuente de calor hasta volver a repetir el proceso y que este cristal ya no se empañe, en ese momento se confirma que la muestra de los agregados no contienen humedad se retiran de la fuente de calor dejándose reposar y tomándose nuevamente la masa de esta misma muestra. (NMX-C-164-ONNCCE-2014, 2014)

Densidad en gravas.

Para esta prueba se toma una muestra de agregado que en este caso es la grava y que para la cual se tiene que tomar una muestra de 2 kg de material que pase la malla de $3/4''$ y que se retenga en la malla de $3/8''$, este material se coloca en un recipiente que se tienen que saturar en agua para que estos se llenen sus poros internos con agua, una vez de que se tenga la muestra húmeda se extrae una porción que se seca superficialmente con un lienzo y se toma la muestra de 300 gramos, para esta prueba se requiere además de una probeta graduada, un

picnómetro, el proceso de trata de que se tiene que ir colocando las gravas dentro de este picnómetro que se tiene que estar previamente calibrado que es simplemente llenarlo con agua, el propósito es que al momento de que se llena con las gravas el picnómetro este se va aumentando el agua de nivel hasta que se termina de llenar el agua se desaloja en la probeta hasta que el sifón del picnómetro deje de gotear ya por último de toma la lectura del volumen de la probeta. (NMX-C-164-ONNCCE-2014, 2014)

Pruebas del cemento

Las pruebas al cemento son de vital importancia ya que se requiere de saber cuánta agua se requiere para que tenga su consistencia óptima para que se pueda manejar así de lo que tarda en fraguar el cemento con respecto al agua que se le aplica para dependiendo de que si las adiciones o al agregarle nuevos materiales que tanto le influyen en esta estas pruebas son de gran utilidad ya que dependiendo del tipo de cemento es el agua que necesitan y en base a la distinta composición del cemento fragua más rápido o más lento o tiene menor calor de hidratación por lo que estos son factores que intervienen en los parámetros antes establecidos.

Consistencia normal del cemento

La consistencia del cemento se refiere a la cantidad de agua necesaria para que el cemento sea manejable en donde es una prueba de hacer varias proporciones e iteraciones ya que hay ocasiones en las que la pasta resulta o muy espesa o aguada. La realización de la prueba consiste en pesar una cantidad fija de cemento que y al combinarla con agua se colocaba en el aparato de Vicat.

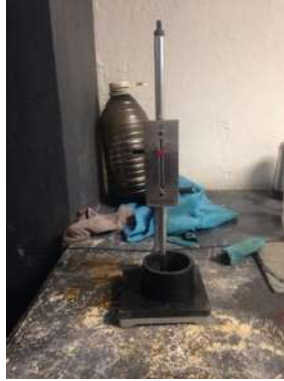


Figura 26. Aparato de Vicat. Por Luis Alberto González

En este caso se usaron muestras de cemento de 300g que de la cual se colocaba en una capsula de porcelana que es lo suficientemente grandes para su colocación o que la mezcla del cemento y el agua sean contenidos y así realizar la mezcla, con el cemento se hace una forma troncocónica de tal modo para verter ahí el agua.



Figura 27 Obtención de los 300g de cemento. Por Luis Alberto González



Figura 28 Colocación del cemento en la capsula para mezclar con el agua. Por Luis Alberto González

Se propuso un porcentaje de agua para mezclar en donde este porcentaje se multiplica por la cantidad de cemento en peso para obtener la cantidad de agua en peso. Se le agrega el agua en la mezcla de modo que no se desborde por las orillas de la forma tomando el tiempo en el que el agua entra en contacto con el cemento para futuras pruebas y corriendo un cronometro para el desarrollo de las pruebas se esperan 30 segundos, a otro intervalo de 30 segundos se cubre completamente el agua de cemento dejando reposar la pasta, en otros 30 segundos se mezclan el agua y cemento cuidando que no quede ninguna parte de cemento quedara sin hidratar para después juntar toda la pasta en una esfera para posteriormente consolidarla mejor y se pasa de una mano a otra en seis ocasiones en una distancia de aproximadamente 15 centímetros en el cual al hacer este procedimiento deben de pasar los 30 segundos para dejar la pasta reposar en una mano y al pasar el tiempo se ponen en el molde del aparato de Vicat la pasta de modo que se colocan en pequeñas porciones hasta llenar el molde por la

parte más ancha y enrasándolo con una espátula, se coloca el molde con la pasta en un cristal de aproximadamente 5mm donde la parte más ancha este en contacto con el cristal y si hay un pequeño exceso de pasta se enrasa para poner en contacto la aguja del aparato en la pasta calibrando este para que la marca de cero y se deja caer la aguja de modo que va penetrando la pasta en un tiempo de 30 segundos y al pasar este intervalo de tiempo se revisa la distancia de penetración de la aguja para el valor que debe de dar es de 10 milímetros más menos uno. En el caso de que las agujas den un valor menor se repite la misma prueba con un porcentaje de agua más grande y si la aguja da un valor mucho mayor se ajusta un porcentaje de agua menor hasta que la aguja marque el rango de los 10mm y con el porcentaje de agua que nos dio se repite una segunda vez para garantizar que ese es el porcentaje optimo (NMX-C-057-ONNCCE-2015, 2015)

Tiempos de fraguado del cemento

En esta prueba se hacen mediciones del tiempo en el que el cemento hace su fraguado tanto el inicial como el final, y la prueba se realizó con las pastas resultantes de la prueba de consistencia, en donde se expanden las pastas al diámetro de la longitud del cristal cuidando que la pasta tenga un espesor de aproximadamente 7mm, y para realizar esta prueba se requirió de las agujas de Gilmore que es un aparato que consta con dos agujas, una con un calibre relativamente grueso con un peso ligero y otra aguja con el calibre menor y un peso más considerable. Esta prueba consiste penetrar la pasta con estas agujas en un intervalo de 20 a 30 minutos, de modo que se aplique la penetración hasta que la mezcla se endurezca, primero se le aplica la penetración con la aguja de calibre más grueso y hasta que no deja marca, lo cual indica que se cumplió el fraguado inicial, se anota la hora y se le resta la hora registrada cuando el agua entra en contacto con el cemento. Después de que se encontró el fraguado inicial se aplica la penetración con la aguja más delgada para analizar el fraguado final. Esta prueba también tiene sus limitantes, es decir, depende mucho del tipo de clima y de la temporada en la cual se realiza la prueba, debido a que a temperaturas muy elevadas el cemento fragua más rápido y en caso contrario fragua más lento, esto sin mencionar los tipos de cemento. Para este caso las muestras se colocan en un cuarto de curado o un cuarto húmedo en el que se garantice la temperatura constante. Estas condiciones son de gran importancia, ya que los cambios de clima afectan gravemente la prueba. En épocas de calor resulta que

hay más lluvias y en épocas de frío el clima es muy variable, pero también depende del tipo de cemento que unos fraguan más rápido que otros, esto sin mencionar las adiciones de elementos que son las adiciones de las mezclas en donde hay adiciones que aceleran esta condición, así como también hay adiciones que la retrasan, aunque también existe lo que es el fraguado falso que es una condición o fenómeno en el que las pastas adquieren una resistencia o dureza más temprana y que no permite medir las condiciones del fraguado normal del cemento ya que ha adquirido una resistencia temprana aunque también cabe recalcar que el uso excesivo de las adiciones o aditivos en general también pueden afectar esta condición ya que estos al agregarse en porciones muy elevadas afectan de manera consistente el fraguado.



Figura 6 Determinación de los tiempos de fraguado con las agujas de Gilmore. Por Luis Alberto González

Elaboración del concreto.

El concreto es un material el cual es una mezcla entre agregados que son la arena y grava, un material aglomerante que en este caso el cemento y agua, cuya función es la de hacer que el cemento tenga una reacción que en su función primordial es la de adherir los agregados y una reacción exotérmica en la cual el cemento tenga la propiedad de fraguado haciendo que la mezcla tenga una consistencia aguada y que con el paso del tiempo esta mezcla tienda a endurecerse. El determinar la resistencia del concreto depende en gran medida de las

propiedades que puedan llegar a tener los agregados como la distribución del tamaño de las partículas que los agregados tengan que representan hasta un 90% del volumen de la mezcla, así como la cantidad de poros que pueda tener que puede ser una condición de los agregados que pueda en el concreto requerir de una mayor cantidad de agua, otro de los factores a considerar es la resistencia con la que se diseña el concreto el cual depende de muchos factores como el elemento que se piensa elaborar y a que condiciones puede estar expuesto y que por lo regular suele estar diseñado bajo un cierto factor como lo es la resistencia a la compresión que en este caso es denominada como f'_c , el segundo factor es la consistencia que debe de tener la mezcla en que se determina para facilitar la colocación y que depende de las condiciones de la obra en cuestión que en algunos casos se debe de bombear la mezcla y se necesita que esta sea con una consistencia líquida.

Diseño de mezclas

Para el caso del diseño de las mezclas se tienen varios métodos con lo que se realizan las mezclas, uno de los que más se emplean es el diseño americano “ACI” el cual consiste en realizar primeramente la caracterización de los agregados y obtener datos como la densidad y el tamaño del agregado que son datos indispensables en la secuela del cálculo del diseño de las mezclas, otro de los datos que se requieren es la resistencia que uno necesita para el concreto que hay de los pobres que tienen resistencias de 100 a 150 kg/cm² (10 a 15 MPa) hasta concretos que son de alta resistencia que son mezclas de concreto que pueden llegar a resistir de 400 a 500 kg/cm² (40 a 50 MPa) hasta concretos de un grado elevado de resistencia, todo esto depende de la relación agua cemento con la que se desea diseñar, otro de los factores con la que se comienza a diseñar mediante este método es la consistencia que puede llegar a tener que dependiendo en donde se coloque a la mezcla o el tiempo de recorrido desde el lugar de la elaboración hasta el lugar de la obra, por ejemplo hay obras en las que se requiere de solo la colocación a nivel de piso y que para esto se requieren consistencias espesas, sin embargo, no todas las obras están a nivel de piso sino que hay elementos que se encuentran a una altura considerable con respecto de este nivel de piso por lo tanto, lo que se requiere es de hacer un bombeo con otro equipo para su colocación, para esto se requiere de que el concreto obtenga una consistencia fluida lo suficiente para que no se obstruya el equipo de bombeo y sea más sencillo la colocación, hay por ejemplo elementos

en los que se reduce su tamaño máximo del agregado para su fácil colocación en elementos que tienen elementos de acero, pero que se encuentran en posiciones muy estrechas, todo depende en gran medida de los factores antes mencionados por lo que en resumen se requiere de las características de los agregados, resistencia y consistencia de la mezcla, como primer paso lo que se requiere es de obtener la cantidad de agua para 1 metro cubico de concreto el cual se obtiene de la primer tabla del diseño de cálculo de la mezcla. Adicionalmente se obtiene la cantidad de aire atrapado en la mezcla con los datos de la parte inferior de la tabla

Como paso numero 2 es de la determinación de la resistencia con la que va a ser diseñada que dependiendo de las solicitaciones es la cantidad de cemento que de ocupa, para cada resistencia se propone una relación agua cemento que de igual manera se encuentran en las tablas de diseño por el método, para el caso de que la resistencia requerida no se encuentre dentro de los parámetros lo que se hacen son interpolaciones las cuales ayudan a el correcto cálculo de la relación agua cemento para la resistencia que uno requiera.

Como paso número tres se va a obtener la cantidad necesaria de cemento en masa con los datos obtenidos anteriormente los cuales son la cantidad de litros de agua y la relación agua cemento.

$$\text{Cemento en masa} = \frac{\text{Cantidad de agua para } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}{\text{Relacion } \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} \text{ en masa}}$$

Una vez que se tiene la cantidad de cemento en volumen lo que a continuación sigue es la obtención de la cantidad de cemento en masa requerido con los propios datos para el cual se requiere de la densidad de este último.

$$\text{Cemento en volumen} = \frac{\text{Cemento en masa}}{\text{Densidad del cemento}}$$

Otro de los datos que se obtiene es el volumen de aire atrapado que simplemente se obtiene mediante el dato obtenido anterior del porcentaje del aire atrapado.

Volumen de aire atrapado

$$= \text{Litros de concreto para } 1 \text{ m}^3 * \text{porcentaje de aire atrapado}$$

Como siguientes datos son los correspondientes a los que se obtienen de los agregados y como paso número cuatro es sobre la obtención del porcentaje de agregado grueso, obteniéndose por medio de la tabla que para la cual se toma como datos de partida el módulo de finura de la arena y el tamaño máximo del agregado.

El dato obtenido es un indicativo y es fundamental para el siguiente paso que es de la obtención de el calculo de la cantidad de agregado grueso (grava) en masa.

Agregado grueso en masa

$$= \text{Masa volumétrica seca y varillada del agregado grueso} \\ * \text{porcentaje del agregado grueso.}$$

Una vez obtenido la cantidad del agregado grueso en masa se debe de obtener la cantidad de este mismo agregado, pero en volumen.

$$\text{Agregado grueso en volumen} = \frac{\text{Masa del agregado grueso}}{\text{Densidad del agregado grueso}}$$

Para este punto ya se tienen los datos del agua, grava y cemento por consiguiente se obtienen los datos que son los correspondientes a la arena y que serían los últimos dos pasos. El paso número 5 es la obtención de la arena en volumen la cual es a través de los datos antes calculados los cuales la suma de estos se le resta a 1000 que es la cantidad de litros que equivale 1 m³. Para la cantidad que se obtiene se multiplica por la densidad de la arena para la obtención de la cantidad de esta en masa. Con esto se obtienen las cantidades propias de los materiales fundamentales que lleva el concreto.

Para el caso de que se coloquen otros materiales como adiciones o sustituciones es por medio del porcentaje de materiales como el cemento o los agregados, para el caso de muchos materiales suplementarios como cenizas o puzolanas o también como es el caso de algunos aditivos como reductores de agua o fluidificantes se hace en base a la masa del cemento.

Para obtener las cantidades requeridas para hacer las muestras es mediante la obtención del volumen de las propias muestras que se desean realizar, además de agregar un cierto porcentaje que corresponde al material que suele desperdiciarse, con este dato se multiplica para las cantidades requeridas para 1 metro cubico de concreto y obtener las cantidades en masa de todos los materiales.

Prueba de revenimiento.

El objetivo de esta prueba es la medición cuantitativa de la consistencia del concreto, esta prueba estándar nos identifica si un material con la cantidad de agua que se le agrega es la ideal con respecto al diseño. El método de prueba requiere del siguiente equipo:

- Muestra de concreto
- Palas
- Cucharones
- Varilla punta de bala de 5/8''
- Cono de Abrams
- Flexómetro
- Nivel de burbuja
- Placa de metal

Para la ejecución de esta prueba lo que primero se requiere hacer es primero humedecer la placa y el cono de Abrams con agua debido a que estos equipos pueden adsorber el agua de la mezcla, como siguiente paso lo que se realiza es la colocación de estos equipos que tienen que estar completamente nivelados y poniendo sobre la placa el cono con la parte ancha en el inferior y sosteniéndola con los pies, el siguiente paso es de la colocación del concreto que previamente se elaboró y se mezcló adecuadamente con las palas y tomando con el cucharón porciones del concreto para llenar el cono, este se llena en tres capas y que para cada capa se

compacta con la varilla por 25 veces, en la última capa lo que se realiza es que si al momento de las compactaciones el concreto se baja de nivel, se dan 20 compactaciones, se agrega concreto adicional para completar las compactaciones, se enrasa el cono retirando el excedente, se toma el cono con las manos presionando contra la placa y se retiran los pies del cono, seguido de que se retira el cono de la placa en un periodo de 5 segundos para que al final se vea el comportamiento de la mezcla que si toma la forma del cono es porque le hace falta mas agua o que si la mezcla se fluye por toda la superficie de la placa es porque tiene exceso de agua, una de las maneras de saber que la mezcla tiene la consistencia ideal es mediante la medición de la altura que da la mezcla con respecto a la altura propia del cono de abrams que tiene que coincidir con la medida calculada en el propio diseño o que se acerque a esta dependiendo de las especificaciones de la norma.



Figura 29. Prueba de revenimiento.

Elaboración de muestras

Cilindros. con este tipo de muestras lo que se realiza son pruebas no destructivas y pruebas destructivas, desde pruebas para medir la resistencia, pruebas que miden la durabilidad propia del concreto. Los cilindros se hacen de distintas dimensiones que por lo regular se tienen que realizar a partir de que el diámetro sea 3 veces mayor que el tamaño máximo del agregado, los cilindros deben de ser de una relación 2 a 1 el cual tiene que ser el doble del espesor, respecto al diámetro. Para realizar los cilindros se requiere el siguiente equipo:

- Muestra representativa de concreto
- Moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro
- Cucharones

- Varilla con punta de bala de 3/8''
- Maso de goma
- Instrumento para enrasar
- Material para lubricar

La elaboración de los cilindros se realiza después de que las mezclas tengan la consistencia ideal, los cilindros se deben de estar lubricados, preferentemente el material tiene que ser de aceite quemado para evitar que la mezcla se adhiera al molde. Se llenan los moldes en capas que para el caso de los cilindros de estas dimensiones hacerlo en dos capas y a cada capa se le hace compactaciones con la varilla punta de bala en la parte interna y en contacto con el concreto y compactaciones con el maso de goma en el exterior de la mezcla 25 y de 10 a 15 respectivamente. Cuando se llena la segunda capa se le retira con el instrumento de enrasar y se dejan reposar por un tiempo de 20 a 24 horas.

Elaboración de vigas. Estos elementos se emplean para hacer pruebas del tipo destructivas como no destructivas, pero una de las principales maneras para este tipo de muestras es para determinar la ruptura del concreto, se requiere del siguiente equipo:

- Muestra representativa de concreto
- Moldes prismáticos de dimensiones 15cm x 15cm x 60cm
- Pala
- Varilla punta de bala de 5/8''
- Lubricante
- Instrumento para enrasar

Las muestras se hacen después de que el concreto adquiere la consistencia ideal y los moldes deben de estar debidamente engrasados. Estos se llenan en dos capas, a cada una de ellas se da compactaciones una cada 14 cm² con la varilla punta de bala que para cuestiones practicas es a cada capa se dan alrededor de 65 compactaciones y se compacta en el exterior simplemente golpeando el molde contra el suelo par prevenir las burbujas de vacíos que se generan. Finalmente, se le retira el exceso de mezcla en la parte superior del molde con el instrumento para enrasar para dejarse en reposo durante un periodo de 20 a 24 horas.



Figura 30 elaboración de las muestras de concreto. Fuente propia

Curado del concreto

Este es un proceso del cual comprende en mantener en un estado húmedo a el concreto para el cual hace que el concreto adquiera su mayor resistencia posible por el caso de que el cemento en su proceso puede ser que este no reaccione completamente con el agua y partículas de este queden inertes, los procesos de curados son de distintas maneras:

- Puede ser a base de colocar membranas plásticas (lonas) sobre la superficie de concreto terminada, esto es debido a que al momento de que el cemento entra en contacto con el agua, el cemento reacciona de modo que genera calor el cual este hace que el agua se evapore al momento de que el cemento se comience a cristalizar. El agua evaporada queda retenida en esta membrana para que después esta vuelva a escurrir en el concreto manteniendo una humedad constante y haciendo mas el proceso de cristalización.
- Otro de los métodos de curado es por medio de un encharcamiento que lo que realiza es la aplicación de agua en la superficie de concreto por medio de aspersores, distribuyendo el agua en toda la superficie de concreto hasta que tenga un exceso de agua, esta parte del concreto es que haya una compensación del agua perdida por el proceso de la evaporación del agua por la reacción del cemento.
- Para el caso de las muestras de concreto hay aparte otros métodos de curado que hacen que el concreto adquiera mejor sus propiedades y como la cantidad de volumen de concreto es menor del cual su proceso puede ser total y no parcial como es el caso de el concreto en gran volumen.

- Uno de los tantos es por medio de la inmersión en agua y el cual las muestras deben de estar a una temperatura constante que es de un mínimo de 18 °C.
- Otro de los métodos es por medio de la aspersión constante y consiste por medio de atomizadores en una cámara la cual hacen un ambiente húmedo en un espacio confinado, manteniendo húmedas las muestras de concreto.



Figura 31 curado por inmersión en agua. Fuente propia

Pruebas no destructivas al concreto

Para estas pruebas son del tipo que en su ejecución o métodos de realizarlas no alteran físicamente la forma de las muestras representativas y en las que sus lecturas suelen tomarse de manera directa si embargo, no quiere decir que carezcan de importancia, pueden realizarse a las mismas muestras que se realizan así como en elementos que se encuentran en el campo, dependiendo de los equipos y de algunas especificaciones y sirven para determinar ciertos parámetros en el concreto así como en otros materiales como rocas o suelos.

Resistividad eléctrica

Esta prueba consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través del concreto para determinar su estructura interna, este dato es de suma importancia ya que se puede interpretar para muchos aspectos como el posible potencial de corrosión y algunos aspectos en la porosidad del concreto.

- Muestra representativa de concreto saturada y superficialmente seca
- Vernier
- Flexómetro
- Lienzo o franela húmeda

- Resistómetro con su respectivo equipo

Para hacer esta prueba se tiene que realizar inmediatamente después de la extracción de las muestras del curado,

1. se toman las medidas de las muestras con ayuda de los equipos de longitud tales como el diámetro de las muestras cilíndricas y del ancho y espesor propios de las vigas, todo dependiendo de la muestra que se va a analizar, así como la longitud propia de la muestra que se requieren para obtener el dato de la resistividad,
2. el siguiente paso es de el habilitado del equipo de medición de la resistencia, este habilitado es la conexión tanto de los cables que van hacia el equipo hasta de la conexión de los platos metálicos y humedecer los lienzos,
3. se colocan los lienzos en contacto con la muestra, las placas sobre estos y se ejecuta la prueba.



Figura 32. Ejecución de la resistividad eléctrica en una muestra cilíndrica. Fuente propia

Para la resistividad el dato que se obtiene del equipo se tiene que realizar un cálculo que es de la siguiente manera:

$$\text{Resistividad eléctrica} = \frac{\text{Resistencia eléctrica (kW)} * \text{area de la seccio de la muestra (cm}^2\text{)}}{\text{longitud de la muestra (cm)}}$$

Frecuencia de resonancia

Esta es una prueba que se le realiza al concreto que consiste en hacer pasar una vibración a través de la muestra y con este obtener el modulo de elasticidad del concreto de modo directo.

Para hacer esta prueba se requiere del siguiente equipo:

- Muestra representativa de concreto en forma prismática
- Báscula con aproximación al gramo
- Flexómetro
- Aparato de obtención de la frecuencia de resonancia
- Lienzo o franela

Para la ejecución de la prueba es mediante el siguiente procedimiento:

1. Se extraen las muestras de la zona de curado y se cubren con el lienzo que fue previamente humedecido
2. Se toman lecturas de la masa de la muestra representativa en g
3. Se toman lecturas de longitud por medio del flexómetro en cm
4. Se coloca la muestra apoyada en el centro y se ponen en contacto los transductores con la muestra
5. Se ejecuta la prueba encendiendo el aparato haciendo que los transductores agreguen vibraciones a la muestra
6. El aparato funciona de la siguiente manera: la amplitud de las vibraciones tiene que estar en un valor de aproximadamente 1, la escala de la medición de la vibración tiene que estar en un rango de 1000 a 10000. Hay una escala en la cual se tiene un rango que tiene que llegar al 80 como mínimo, debido a la naturaleza de las muestras puede tener mas picos de lecturas por lo que el valor donde se encuentre el ultimo pico es el que determina la frecuencia de la muestra. Esta última se ve directamente en el aparato de modo digital



Figura 33 prueba de frecuencia de resonancia en vigas. Fuente propia

El dato que se obtiene con la frecuencia de resonancia es el módulo de elasticidad dinámico del cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$M.E. = l^4 * \rho * n$$

Donde:

l = longitud en cm

ρ = densidad del concreto en g/cm^3

n = valor de la frecuencia obtenida en el aparato en Hz

Para la obtención del volumen de la muestra es en base a las dimensiones de la muestra que se logra con una cinta métrica de la cual se tiene que sacar el área de la sección y esta se multiplica por la longitud de la muestra para obtener el volumen, para la obtención de la densidad es dividiendo el valor de la masa entre el volumen de la muestra

Pruebas destructivas en el concreto

Resistencia a la compresión en el concreto

Con la resistencia del concreto es uno de los factores mas importantes en cuanto al diseño de elementos con este material del cual se trata de determinar el esfuerzo que soporta una muestra de concreto para el cual se requiere del siguiente equipo:

- Muestras de concreto en forma cilíndrica con relación diámetro, longitud de 1:2
- Azufre
- Fuente de calor

- Moldes de cabeceo
- Máquina universal de pruebas

Para la obtención de la resistencia a la compresión se tiene que hacer un proceso previo en las muestras de concreto del cual trata de un emparejamiento (cabeceo) de las muestras con el motivo de que se tiene que realizar la prueba sobre una superficie totalmente plana y en la cual no tiene que tener ningún vacío entre la prensa y la muestra, este proceso se realiza de la siguiente manera:

1. Se coloca azufre en un recipiente especial y se somete a calor, hasta que el azufre se ponga en estado líquido
2. Se someten a calor los moldes para emparejar los cilindros de concreto, sin embargo, otro proceso es la lubricación de este el cual se puede realizar por medio de una combinación de aceite lubricante de autos con diésel, aplicándole una capa de este material
3. Se coloca el azufre sobre el molde de emparejamiento y el cual se tiene que colocar el cilindro consecutivamente para que el concreto y quede adherido al concreto y lograr que la muestra tenga la cara totalmente plana. El proceso se realiza con la otra cara de la misma manera.

Una vez que el concreto tiene sus caras emparejadas con el azufre se coloca la muestra en la prensa y se someten a la compresión hasta el momento de la falla.



Figura 34 prueba de compresión en cilindros de 10 cm de diámetro. Fuente propia

Para la obtención del esfuerzo del concreto es mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

Donde:

S: esfuerzo en Mega Pascales

W: carga máxima aplicada en la muestra en kg

A: área de la sección transversal en cm²

Para la obtención del área es por medio de la fórmula del círculo que es igual a:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área de la sección transversal

D: diámetro de la sección transversal

π : constante de la sección circular que es un aproximado a 3.1416

Para la ecuación de la obtención del esfuerzo es por medio de la ecuación se obtiene el dato en kg/cm² en la cual se tiene que hacer la conversión en donde 1 MPa es aproximadamente 10.2 kg/cm² (NMX-C-083-ONNCCE-2014, 2014)

Módulo de elasticidad en el concreto

Esta prueba se necesita en varios procesos, pero en varias de las aplicaciones es en la de determinar si el concreto es frágil o tiene un comportamiento plástico u el cual se trata de medir los esfuerzos con respecto con una deformación unitaria

Para la obtención de los módulos se requiere el siguiente equipo:

- 4 muestras representativas del concreto previamente cabeceadas
- Prensa hidráulica
- Micrómetro con aditamentos

Para la obtención del módulo de elasticidad es por medio de someter una muestra de concreto a la compresión la cual se realiza a un elemento. Una vez que se obtiene este dato se obtiene un par de factores los que son necesarios para la obtención de los módulos de elasticidad de las muestras restantes; el primero es que la carga última se multiplica por un 12% que es un factor que sirve para el habilitado de los aditamentos y el micrómetro, y el otro factor es para la obtención del valor máximo requerido para la duración de la prueba.

El proceso de la prueba es el siguiente:

1. Se coloca los aditamentos sobre la muestra de concreto, la cual consiste en un par de anillos que por lo general están sujetos a unos apoyos que sirven como guías, se coloca la muestra en un sitio parejo o plano, los anillos se colocan sobre la muestra y se sujeta con los tornillos el concreto, se coloca el micrómetro y se retiran las guías de los aditamentos.
2. Se coloca la muestra en la prensa hidráulica y se somete a una carga de compresión hasta que se llegue al primer factor, se descarga y se revisa que el micrómetro tiene la lectura de la deformación en cero
3. Si la muestra no se encuentra con el micrómetro en cero se procede a ajustar los aditamentos y se repite el paso anterior
4. Si el micrómetro se encuentra en cero se procede a la realización de la prueba en la cual se realiza en una velocidad que sea para la toma de las lecturas, se toman lecturas de cargas a cada centésimo de milímetro hasta llegar al valor del segundo factor
5. Se retira la carga a la que es sometida y se retiran los aditamentos de la muestra y se somete a una carga hasta el momento de la falla



Figura 35 prueba del módulo de elasticidad del concreto

La prueba se hace de igual manera para todas las muestras faltantes. Para la obtención de los datos es mediante los siguientes parámetros de los cuales se obtienen como sigue:

Para la obtención del esfuerzo es por medio de la ecuación que se explicó en la prueba de la compresión. La obtención de la deformación unitaria es por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{l_i}$$

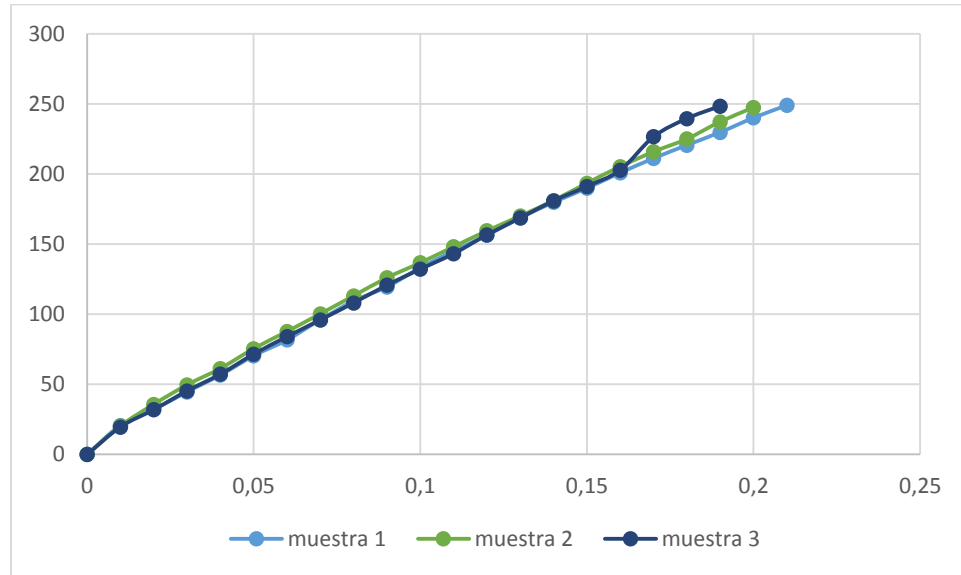
Donde:

ε = deformación unitaria

Δ = deformación en mm

l_i = longitud inicial en mm

En la obtención del módulo de elasticidad es preciso obtener una grafica en las que se determina los valores de los esfuerzos con respecto a la deformación unitaria en la cual se obtuvieron estos valores:



Cuando se va determinando la grafica se determina en que puntos se encuentra la zona más constante se obtienen los datos de los valores del esfuerzo en los puntos inferior y superior para aplicar la fórmula siguiente:

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

S: esfuerzos

E: deformación unitaria

Otra de las maneras de la obtención del módulo de elasticidad es por medio de en la gráfica cuando los datos no son del todo coherentes en el sentido de que se tiene una dispersión muy alta en cuanto a la varianza de los datos se tiene un método en el cual se trata de la deformación máxima en la que se tiene en la cual se obtiene el 0.2% y se obtiene ese valor con respecto en la deformación, luego ese valor se proyecta en el valor del esfuerzo máximo se tiene que obtener el valor de los esfuerzos de la nueva línea en la que se obtienen los valores del esfuerzo y el valor de la deformación unitaria para la cual con estos nuevos valores se saca el valor del módulo de elasticidad (NMX-C-128-ONNCCE-2020, 2020)

Tensión por compresión diametral

Esta es una prueba que sirve para la obtención de la tensión del concreto en la cual se realiza de una manera específica. Este parámetro es de gran importancia para el cual determina que tan frágil puede ser el concreto. Para la obtención de la tensión por la compresión diametral se requiere del siguiente equipo:

- Muestras representativas de concreto en forma cilíndrica de relación diámetro: espesor es de aproximadamente 2
- Máquina universal con aditamentos

Para la obtención de la tensión es por medio del siguiente proceso:

1. Se colocan los aditamentos en la máquina universal
2. Se coloca la muestra sobre la maquina
3. Se coloca el aditamento superior sobre la muestra y se procede a aplicar una carga con la prensa
4. Se aplica carga de manera lenta y constante hasta la ruptura de la muestra



Figura 36 ejecución de la prueba de compresión diametral. fuente propia

Para la obtención de los resultados de la tensión es mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{2P}{\pi l D}$$

Donde:

P: es la carga máxima aplicada sobre la muestra

1: es la longitud de contacto de la muestra

D: es el espesor de la muestra

π : es un dato constante de 3.1416 aproximadamente (NMX-C-163-ONNCCE-2015, 2015)

Módulo de ruptura del concreto

La prueba del módulo de ruptura es una prueba que se realiza a elementos de concreto en forma prismática, hay muchas maneras de la realización de la prueba, sin embargo, el método estándar es por medio de vigas que sean de 15 cm de sección y a los 2/3 del claro del prisma.

Para su ejecución se requiere del siguiente equipo:

- Muestra representativa de concreto de forma prismática
- Aditamentos especiales para la prueba
- Instrumentos de medición (flexómetro)
- Instrumentos para marcar

Para la ejecución de la prueba es necesario hacer los siguientes pasos:

1. Se toma la lectura de las dimensiones de la muestra de concreto
2. Se hacen marcas en la muestra, si la muestra es de 60 cm las marcas en los extremos se suele marcar a 7.5 cm, si es el caso de que las muestras tienden a tener 50 cm las marcas se hacen a los 2.5 cm. Las otras marcas se realizan a cada 15 cm de las otras marcas por lo que son tres marcas a cada 15 cm, comenzando con uno de los extremos
3. Se procede a colocar los aditamentos sobre la máquina, primeramente, el que se pone en la parte inferior
4. Se coloca la muestra sobre los aditamentos y se coloca el aditamento de la parte superior y se ajusta la máquina hasta una altura de 1 pulgada entre la platina y los aditamentos
5. Se ajusta la platina hasta que entra en contacto con el aditamento y se pone en ceros la lectura de la carga en la maquina
6. Se aplica carga de manera constante hasta el momento de la ruptura de la muestra

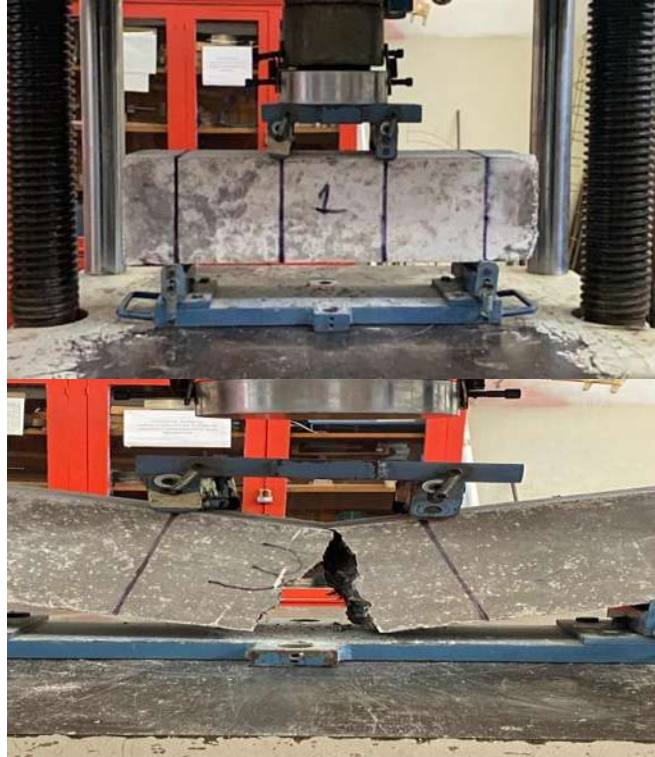


Figura 37 prueba para obtener el módulo de ruptura del concreto. Fuente propia

Para la obtención del módulo de ruptura es por medio de la siguiente ecuación:

$$M. R. = \frac{PL}{BD^2}$$

Donde:

M.R.: Módulo de ruptura en kg/cm²

P: carga máxima aplicada en la muestra en kg

L: longitud del claro en la muestra en cm

B: ancho de la sección transversal de la muestra en cm

D: peralte de la sección transversal de la muestra en cm (NMX-C-191-ONNCCE-2018, 2018)

Prueba de durabilidad del concreto

Prueba de absorción capilar tipo Fagerlund

Esta prueba es un indicativo de cuanto potencial de interconectividad de poro tiene las muestras de concreto en la que se realizan las pruebas a elementos de concreto. Se puede determinar una cantidad de agua que puede entrar en las muestras de concreto que puede ser un parámetro importante para si el elemento está armado que no se pueda oxidar el acero de refuerzo y por ende los elementos en este caso estructuras tengan una mayor durabilidad. La absorción capilar se define como el incremento de la masa por unidad de área que puede ser absorbida por los poros capilares cuando el concreto entra en contacto con el agua. Para la obtención de esta prueba es preciso utilizar el siguiente equipo:

- Muestras representativas de concreto de forma cilíndrica de diámetro de 10 cm con un espesor de 50 mm
- Báscula con aproximación a 0.1 g
- Un recipiente con agua
- Material impermeable (brea, parafina)
- Esponja
- Instrumentos de medición

Para hacer esta prueba se requieren ciertos preparativos para la realización de la prueba en la cual se tiene un cierto orden:

El primero es mediante la elaboración o la preparación física de las muestras en las cuales se tiene que recortar las muestras a el tamaño requerido en el cual se tiene realiza bajo un cierto estándar el cual tienen que ser de al menos 5 cm, para esto se utilizan elementos de concreto que se realizaron anteriormente, estas muestras son de un diámetro de 10 cm y de una profundidad de 20 cm, se tomaron al menos tres muestras de 5 cm las cuales se recortaron con una sierra para concreto. Una vez que se recortó la muestra se colocó en el horno hasta la obtención de la masa constante y después se recubre las muestras con el elemento impermeable el cual se tiene como una combinación de resina de pino o brea con parafina, estos materiales se combinan hasta la obtención de una pasta de color amarillo con la cual se recubrió la parte longitudinal de la muestra en la cual tiene la función de que el agua no entre

por succión en la parte perimetral y que solamente absorba por la parte inferior. Cuando se recubrieron se cuidó que las muestras no tuvieran derramadas con la resina en las caras de la muestra, se tomó en consideración la masa de la muestra más la resina, más un elemento impermeable que se coloca en la parte superior de la muestra, todos estos valores como la masa inicial de la muestra. Se colocó en el recipiente con agua las esponjas con las cuales se tienen para garantizar dos aspectos: el primero que las muestras tengan la suficiente humedad para que puedan succionar a lo largo de toda la prueba. La otra parte es mediante el tirante de agua que puedan tener el concreto el cual tiene que ser de máximo 3 mm de la base o del área de contacto con las muestras. Se registró la hora a la cual se entró en contacto las muestras con el concreto en la cual se dejaron en reposo con estas para que las muestras succionaran el agua, se tomaron lecturas en los siguientes tiempos: 1/12, 1/6, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24, 48, horas este tiempo es el más crítico y los otros tiempos son cada día hasta que la muestra tiene un lugar en que se mantiene a masa constante y que no tenga varianza de 0.2g una lectura con la otra:



Figura 38 ejecución de la prueba de absorción capilar en elementos de concreto. Fuente propia

Con los valores de la absorción capilar se pueden obtener varios valores que son indispensables para el comportamiento en cuanto a la durabilidad del concreto. Los valores que se obtienen con esta prueba son los siguientes:

La resistencia a la penetración del agua (m):

$$m = \frac{t}{z^2}$$

Donde:

t: tiempo de absorción del agua en segundos

z: espesor de la muestra de concreto en metros

El coeficiente de absorción capilar (k):

$$k = \frac{(W_t - W_0)/A}{\sqrt{t}}$$

Donde:

Wt-W0: es la masa de agua absorbida con respecto al tiempo en kg

A: Área de la sección transversal en m²

t: tiempo de absorción del agua de la muestra en s

La porosidad efectiva es otro de los parámetros que se pueden calcular:

$$\varepsilon_e = \frac{k\sqrt{m}}{1000}$$

Con algunos de los coeficientes se puede obtener el valor de la sorción capilar que es más que nada la capacidad de penetración que tiene el concreto con respecto a los fluidos que están en contacto con este y se calcula de la siguiente manera:

$$s = \frac{1}{\sqrt{m}}$$

Donde:

M: es la resistencia de la penetración del agua

S: es la sorción capilar en m/s^{1/2}(*DURAR PARTE 2*, n.d.)

Análisis de ciclo de vida

Se trata de una herramienta la cual sirve para hacer varios tipos de análisis en los cuales pueden ser del tipo económico o para medir los impactos ambientales que pueden llegar a dar la elaboración de un producto en el cual depende de los análisis puntual o un análisis más

general para el cual si es un análisis puntual se determina en ciertas partes del proceso de la producción de estos, los análisis de ciclo de vida por lo general se tiene que ver los procesos desde la obtención de los minerales, la manufactura, uso de los materiales, hasta el empleo de estos productos que por lo general después tienen un sitio de disposición final que por lo general se tiene que estos residuos o elementos de disposición final se tiene que son los que más generan los impactos, o en la extracción de la materia prima o en la manufactura de estos. Este tipo de análisis una de las empresas que mas invierten en este tipo de cálculos se trata sin duda de la Coca Cola® que es una empresa en la cual ha estado intercambiando los materiales por lo cual se van teniendo que cambiar elementos de vidrio por elementos de pet, esto sin duda hace que el pet sea una gran solución para mitigar el impacto del consumo del combustible, se tiene que las botellas de vidrio tienen una masa más grande que las de pet y por eso se opto por cambiar este tipo de materiales, otra de las cuestiones era que las botellas de vidrio se tienen que dar un tratamiento para el reúso de estas botellas. Este tipo de análisis también tiene otro uso el cual es el empleo en los impactos ambientales que dependiendo del análisis en el que se tenga previsto se tiene un cierto tipo de impactos que se pueden analizar, para el caso de la estimación de un análisis de ciclo de vida se tiene esta regulado por ciertas normativas que es la normativa ISO que en este caso son las 14000 y en mas especifico las ISO 14040 e ISO 14044 en la cual se estima el método para la medición de los análisis de ciclo de vida que permiten flexibilidad en la metodología en la adecuación de proyectos individuales de acuerdo con los objetivos que tiene el usuario. Una de las consideraciones es que se tienen ciertos parámetros en cuanto la estimación de los ciclos de vida en que se tienen ciertas etapas en cuanto la generación de un producto, dichos aspectos se mencionan a continuación:

De la cuna a la puerta

Este tipo de análisis se trata de que los elementos que se analizan es desde la extracción de los elementos (materia prima) lo que es su extracción, la síntesis de estos materiales, la manufactura y la salida de dicho producto.

De la cuna a la tumba

En este tipo de análisis se tiene que los análisis se hacen de acuerdo a la extracción, manufactura, entrega y vida útil de los productos, para este tipo de análisis se tiene previsto que los productos tienen un análisis más completo así de cuanto más impacto generan con respecto a su vida útil como es el caso de los elementos para el cual se les da el mantenimiento necesario. Como en el caso de un automóvil en el cual se tiene que estos son productos que se les tiene que poner otro tipo de combustibles en ciertos tiempos y a cada cuando se les da mantenimiento para aumentar la vida útil de estos vehículos o en otros elementos para el cual se requiere a cada tiempo por ejemplo el cambio de neumáticos o de otros elementos que sin de igual manera con su propia vida útil y tienen su tiempo determinado y el fin de los análisis en este caso es cuando los elementos .en cuestión son puestos a disposición final

De la cuna a la cuna

Este tipo de análisis es del que se trata de la generación de los productos, su vida útil, su mantenimiento y su disposición final en la que a fin de cuentas se tiene que estos suelen ser un análisis de los mas elaborados posibles ya que se trata de un análisis de un producto en el cual se tiene que hacer desde la extracción de la materia prima, la síntesis de los materiales para la producción, la manufactura, la salida y distribución del producto, la vida útil de este, y por ultimo ver que partes suelen servir para otros productos como por otros procesos y otras utilidades. Tomaos el mismo ejemplo de un automóvil en el cual se tiene que son elementos que tienen una vida útil de acuerdo con su elaboración, el mismo vehículo tiene otro tipo de vida útil que va dependiendo de que tanto uso se le da, así como de sus cuidados que tiene con respecto al trato , esto puede aumentar la vida útil del vehículo , sin embargo hay ciertos parámetros o eventos que pueden reducir la vida del vehículo como lo es en este caso alguna colisión importante que lo deja inservible, otro caso seria las partes que se puedan recuperar y de los materiales que puedan emplearse como reciclajes, en este caso estos materiales suelen ser empleados en otros procesos como los metales o el motor que pueden servir como materia prima de otros factores.

Sea cual sea el método aplicado el más complicado que se hace con respecto a el caso de un análisis de ciclo de vida se tiene que son de un análisis variado en el cual se puede analizar desde al último proceso al inicio, o en dados casos se tiene que se traslapan los procesos o

los pasos del análisis para lo cual se tiene que ver todas las transiciones que están dentro de la norma ISO 14044. Todos estos análisis se tienen que pueden ser muy sencillos, pero en cuanto se va cambiando el enfoque del análisis es como una manera de complicar el propio análisis en si, para lo cual se tiene que el material o producto suele ser un análisis complejo que puede determinar tiempo y recursos para hacerlos más complicados como se requiera. En cuanto a los análisis de ciclo de vida se tiene que pueden analizar los impactos ambientales con respecto a la cantidad de factores y de acuerdo con el método empleado para el análisis de ciclo de vida, se tienen muchos ejemplos que van de acuerdo con ciertos tipos de análisis. Por ejemplo, está el método desarrollado por el CML2000® que puede analizar como un mínimo de 6 categorías de impacto que son calentamiento global, acidificación, eutroficación, adelgazamiento de la capa de ozono, y oxidación fotoquímica, hay otros análisis de los cuales se tiene que pueden analizar hasta 18 categorías de impacto, como el ReCipe® se tienen muchos tipos de análisis de los cuales se tiene una gran herramienta con respecto al análisis de impacto. Y a continuación se enlistan algunos de los impactos que se analizan.

Unidad funcional

Otro de los aspectos que se analizan es la unidad funcional que suele ser la unidad que se suele tener el material que se está analizando por el cual entre más complejo sea esa unidad funcional más difícil será el análisis o si se elige la unidad funcional se complica el análisis, las unidades mas comunes que se emplean en el análisis de ciclo de vida son por ejemplo unidades de masa: pueden ser de cualquier sistema como el kilogramo, tonelada, libra, etc.; unidades de volumen: que son un tipo de unidades que se refiere al espacio que pueden generar un análisis de algún líquido o de algún material que pueda mantener el material en cuestión; otro tipo de unidad funcional suele ser la cantidad de energía que puede producirse como es el caso de la generación de la electricidad o en el caso de algunos equipos para la cantidad de energía que requieren así como del rendimiento que puede tener que en si suelen ser kilowatts por hora y la cantidad de trabajo generadas son los Joules o la cantidad de trabajo que se requiere para hacer es que los materiales se combustionen por ejemplo; hay otro tipo de unidades que en si tiene que ver con la cantidad de piezas generadas por lo cual esta suele ser de las mas complicados ya que se tienen un sinnúmero de materiales que suelen ser

o tener materiales con distintas unidades las cuales en su análisis se varia mucho la cantidad de insumos y la cantidad de factores que se tienen que hacer para llegar al producto final. En este caso la unidad puede ser pieza o unidad, par, seis, docena, centena, millar, y lote como la unidad mas grande en este aspecto(Bongiovanni & Tuninetti, n.d.)

Categorías de impacto

Para este caso se van a enunciar las categorías de impacto que suelen analizarse de acuerdo a los análisis de ciclo de vida:

Calentamiento global o huella de carbono: este tema ha venido ganando lugar o importancia a lo largo del tiempo para el cual se tiene que debido a los eventos que se crean con respecto con el paso del tiempo se ha descubierto que para el caso de los elementos que contienen carbón son aquellos que simplemente son provocados primordialmente por la actividad humana en la cual se tiene que estos son el incremento del empleo del uso de los combustibles que se trata de materiales derivados de petróleo de los cuales se emplean en muchas de las cosas cotidianas que se tiene con respecto a la vida en las personas como en el empleo de los vehículos en el cual se emplea derivados como la gasolina o el diésel, otro de los materiales que se emplea es el gas liquido peligroso del cual suele ser un material que se emplea en calderas, estufas y otros elementos como secadoras que se emplean todos los días. Este tipo de impacto se vio desde los años 60 y 70 y no fue sino hasta en la década de los años 80 del siglo XX fue que se tomo la responsabilidad publica de acuerdo con la generación de estos elementos de carbono. En 1992 en la convención del marco de las naciones unidas con respecto al cambio climático tuvo como objetivo la estabilización o reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la prevención de interferencias humanas sobre el clima. Se ha suscitado en cuanto el análisis del cambio climático se dice que se está aumentando la temperatura aumenta 0.5°C cada 100 años uno de los análisis esta de acuerdo que para el aumento del cambio de la temperatura con respecto al paso del tiempo se tiene que controlar con respecto al cambio del empleo de elemento procedentes de los hidrocarburos, eso se hace como la generación de energías limpias que pueden reducir las emisiones del dióxido de carbono o el monóxido de carbono. La generación del impacto que se obtiene con este método es en kilogramos de CO_2 generados.(Wang et al., 2023)

Acidificación: este es un proceso en el cual se tiene que los medios tales como el suelo, el agua o la atmósfera están sufriendo una disminución en su pH producto de la combinación o de la solución de elementos que pueden acidificar estos ambientes. Tales ambientes se reduce su pH con varios elementos que dependiendo de su composición química suelen ser mas reactivos que otros, uno de los principales es el dióxido de carbono del cual se tiene que puede acidificar ambientes como la atmosfera o el agua, otro de los elementos que pueden acidificar es el azufre que debido a su composición puede reaccionar con otros elementos , pero que en cualquier caso trae consigo la unión con elementos con hidrogeno lo cual indica el incremento de los niveles de acidez. Este impacto se mide con respecto a la cantidad de dióxido de azufre generado

Eutroficación: esta categoría de impacto se tiene que ver para el caso de las emisiones de uno de los elementos más básicos de la naturaleza que es el fosforo, hay ciertos productos que pueden venir de sitios más comunes como en el caso de el empleo de detergentes y otros materiales o procesos que pueden contener el fosforo. Este tipo de impacto se debe o lo que produce es mas en ambientes terrestres y en ambientes acuáticos. El asunto con este tipo de impactos se hace crecer vegetación sobre los lagos o ríos y haciendo que el agua sea inservible en estos lugares. Este tipo de impacto es de categoría individual que se tiene como caracterización los índices de red Field que supone el aumento de las emisiones de nutrientes puede tener mayores impactos y se ignoraba el destino final de los nutrientes ya sea en los ecosistemas acuáticos y terrestres, hay estudios e los cuales ya pueden determinar la cantidad de fósforo que se emiten con algunos evaluadores del impacto.(Dong et al., 2023)

Reducción de la capa de ozono: este tipo de impacto es de los mas importantes si se requiere resguardar la vida en el planeta ya que el ozono es una capa que se encentra en la estratosfera y es una especie de escudo que tiene el planeta para protegerlo de la radiación solar, el adelgazamiento de la capa de ozono se tiene que sin ella los polos se derriten o se están derritiendo y para el cual se está aumentando el nivel del agua en los océanos. Otro de los problemas que se están generando con respecto a la reducción de la capa de ozono es las afecciones en la piel para el cual suele ser un problema ya que en la salud humana se genera el cáncer de piel. Uno de los materiales que más pueden reducir o el material por el cual se tiene los estudios de la reducción de la capa de ozono es los clorofluorocarbonados (CFC) el

cual se podía encontrar en elementos tan básicos como aerosoles o líquidos para el cual se tiene en refrigeradores. Se tenía la creencia de que estos elementos no eran contaminantes ya que no eran más que los óxidos de carbono, pero se demostró que estos elementos suelen ser 60 veces más potentes que los óxidos de carbono. La unidad de obtención o la unidad de elementos que pueden ser para el calculo de este impacto es la cantidad de kg de CFC que básicamente es la unidad por la que se empleo o se hizo importante este parámetro.(Boccacci et al., 2023)

Oxidación fotoquímica: este impacto en particular suele ser de los más tóxicos que puede haber sino en el cual se tiene que los propios elementos en el cual se tiene que los químicos suelen ser uno de los productores de este tipo de impacto en cual se tiene que se forma una capa de ozono en la troposfera, el ozono es un elemento que suele ser se los más temperamentales para el caso de del ozono es un compuesto químico que por si solo es muy tóxico, es un compuesto que se suele asentar en sitios como en la superficie de la corteza, en si el ozono suele ser un material que se asienta y puede ser toxico para todos los seres vivos.(Boccacci et al., 2023)

Resultados

Preparación del subproducto de la geotérmica

La sílice es un material que sale como un subproducto de la generación de electricidad por medios geotérmicos, este material por lo general se encuentra en una fase evaporada, esto es a temperaturas elevadas que se encuentra este tipo de materiales en donde se habla de 5000° este material por lo general cuando se condensa tiende a depositarse sobre los conductos, este material se suele limpiar de estos conductos porque pueden obstruir el paso del vapor por el cual se hace la generación de la electricidad. Este material se suele retirar y se deposita en un sitio, este material suele ser un elemento que puede causar un impacto muy grande sobre las zonas en cuestión, por lo general en una planta se recolectan alrededor de 50000 toneladas de este producto solo a disposición final. Le material que se presenta en esta investigación es aquel extraído de la planta geotérmica de Los Azufres que se encuentra en el oriente del estado de Michoacán:

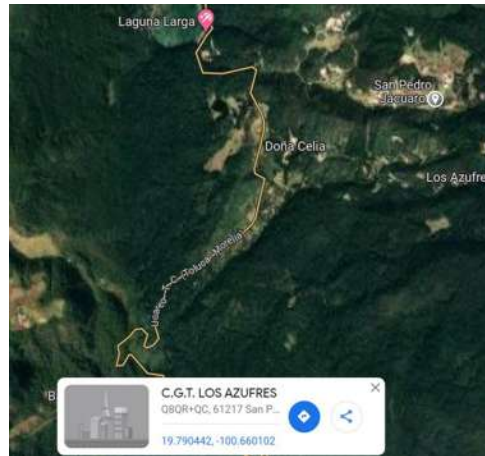


Figura 39 ubicación de la planta geotérmica de Los Azufres. Fuente Google Maps

Este material se llevo al laboratorio en el que se aplico dos tratamientos, el primero se consta de un secado del material, este paso se debido a que como el material cuando se extrae viene con humedad propia del vapor de agua que se genera en el proceso geotérmico para el cual es uno de los pasos más importantes porque se vio que en la generación de este producto como viene combinado con el agua se tiene que la masa del producto se reduce, pero se tiene la peculiaridad el volumen no cambia, por lo tanto este material se tuvo en procesos de secado en periodos de un mínimo de 5 días expuesto al sol y donde se le aplicaba movimientos para que se tuviera un secado más uniforme con el sol:



Figura 40 extracción y secado del subproducto de la geotérmica. Fuente propia

Para el empleo del material se tuvo que hacer otro proceso de adecuación que consiste en mas que nada un proceso de triturado y cribado en el cual este proceso se llevo a cabo con dos instrumentos, el primero es la maquina estándar de desgaste de los ángeles en la cual reduce el tamaño de los terrones a polvo, en este proceso lo que se realizo es ciclos de

molienda de material de un aproximado de 10 litros de material, lo correspondiente a medio bote de 19 litros de los que se emplean para almacenar pintura por ejemplo, el tiempo que se empleaba para los procesos de trituración son de 25 a 30 minutos, este material después de aplicar la trituración se tiene que hacer ciclos de cribado o tamizado para lograr obtener el material deseado que son finos que deben de pasar la malla numero 200, por lo general este tamaño es el mas reactivo, por lo tanto se tenia que acumular una cantidad considerable, para los tamices empleados en la criba fueron las mallas del 50, 100, 200 y charola.



Figura 41 reducción del tamaño del material a finos. Fuente Propia

Las cantidades totales de material que se emplearon en toda la experimentación fue de un aproximado de 9.2 kilogramos aproximadamente.

Preparación de las fibras textiles

Este material es de los resultantes o excedentes de la manufactura de la industria textil de las ciudades aledañas a la ciudad de morelia en la cual se tiene de lugares como de las zonas industrializadas de Guanajuato en la cual es de las que mas producen elementos textiles, el centro de acopio se encuentra por la colindancia entre los estados de Guanajuato y Michoacán, mas precisos por la zona de Santa Ana maya en donde se recolectan elementos de pre-consumo para lo cual se hace un deshilachado y se hacen otros elementos como edredones o madejas de hilo.



Figura 42 localización del centro de acopio. Fuente Google Maps.

Para la elaboración de las fibras se obtuvo una cantidad de este material para la elaboración de las fibras se pidieron alrededor de unos 30 kg de material de acopio en el cual se tiene que son elementos que suelen ser muy voluminoso, sin embargo, de estos se venia mezclada una gran cantidad de este tipo de materiales para el cual se eligieron los que son de polyester en los cuales con la ayuda de unas tijeras se elaboraron las fibras que son de dimensiones de 5 cm de largo y 5 mm de espesor. Estas dimensiones se obtuvieron con la ayuda de un flexómetro para la elaboración de las fibras:



Figura 43 elaboración de las fibras de textiles. Fuente propia

Pruebas de caracterización

Los materiales empleados en la elaboración del concreto fueron agregados finos que se obtuvieron de los bancos de materiales de la ciudad de Morelia que se encuentran en el occidente:

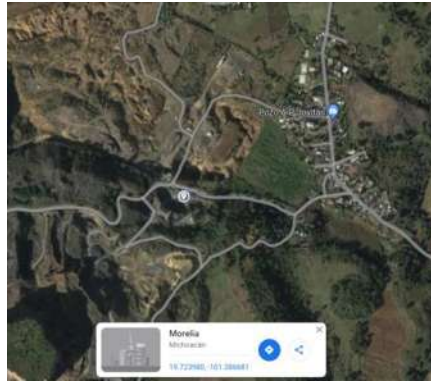


Figura 44 Ubicación del banco de materiales de agregados finos. Fuente Google Maps

Para el caso de los agregados gruesos empleados en esta investigación son de otro tipo de bancos que se caracteriza por ser de agregados triturados de roca, estos agregados se encuentran en la ciudad de Morelia en la parte norte de la ciudad:

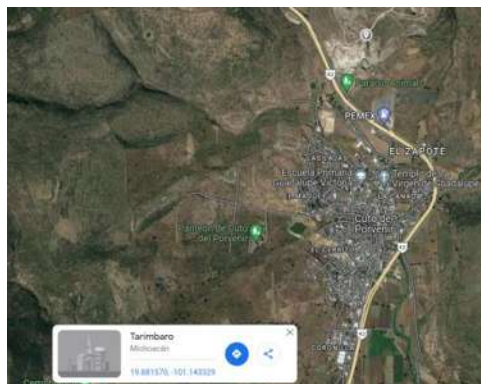


Figura 45 Ubicación del banco de materiales del agregado grueso. Fuente Google Maps

Para las pruebas de la caracterización se realizaron las pruebas correspondientes a un diseño de mezclas de concreto por el método americano ACI estas pruebas son la masa volumétrica seca suelta (MVSS), masa volumétrica seca y varillada (MVSV), absorción, densidad, y análisis granulométricos:

	Arena	Grava
MVSS (kg/m ³)	1373	1504.4
MVSV (kg/m ³)	1498.7	1627.04
Absorción en %	4.33	1.35
Densidad en g/cm ³	2.42	2.87

Módulo de finura	3.23	-
Tamaño máximo	-	$\frac{3}{4}$ ''

Todos estos datos se obtuvieron en el laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”

Diseño de la mezcla de concreto

Este diseño fue bajo las condiciones del tipo americano en el cual se obtuvo un diseño bajo criterios de durabilidad en el cual este diseño fue bajo una relación agua cemento de 0.45 que en cuestiones de resistencia fue de un aproximado de 380 kg/cm² este diseño puede ser el más óptimo para el cual se tiene que este diseño es para soportar las condiciones de que el concreto está sometido a ambientes como en las playas o en sitios en donde las condiciones son la variación de la humedad, y la exposición con varios materiales.

Este diseño se realizó para un metro cubico en el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Material	Masa (kg)	Volumen (litros)
Cemento	475.11	153.3
Arena	943.7	328.8
Grava	687.6	284.1
Agua	213.8	213.8
Aire		20
Suma	2320.2	1000

Esta es la base en la elaboración de las muestras de concreto de toda la experimentación.

Pruebas preliminares

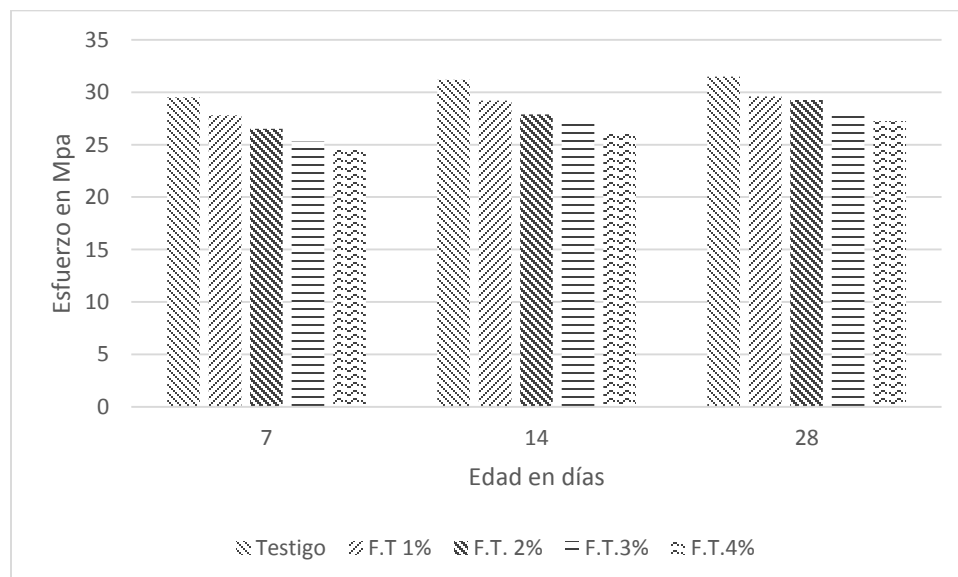
Para las pruebas preliminares se realizaron con el propósito de escoger las mejores proporciones de los materiales que se emplearon en la investigación se empleó materiales como el caso de los elementos textiles se empleó en forma de fibras en adición con respecto a la masa del cemento y la sílice (material subproducto de la geotérmica) como sustitución con respecto a la masa del cemento.

Prueba en elementos donde se empleó las fibras textiles

Para el uso de las fibras se empleó en distintos porcentajes que sirvieron para determinar si se pueden usar en el concreto, en el empleo de las pruebas preliminares se hicieron muestras en las pruebas fueron en adición de 1, 2, 3 y 4% con respecto a la masa del cemento y se probaron a la edad de 7, 14 y 28 días. Las cantidades empleadas en esta parte fueron:

Material	Masa F.T. 1% (g)	Masa F.T. 2%	Masa F.T. 3%	Masa F.T. 4%
Cemento	7.72	7.72	7.72	7.72
Arena	15.34	15.34	15.34	15.34
Grava	11.17	11.17	11.17	11.17
Agua	3.47	3.47	3.47	3.47
Adición	.077	0.15	0.23	0.31

Cabe destacar que las cantidades mostradas en la tabla anterior son muestras de cilindros donde se realizaron 9 muestras de cada mezcla y una mezcla convencional, se realizaron pruebas de compresión con ellas donde se obtuvieron los siguientes resultados:



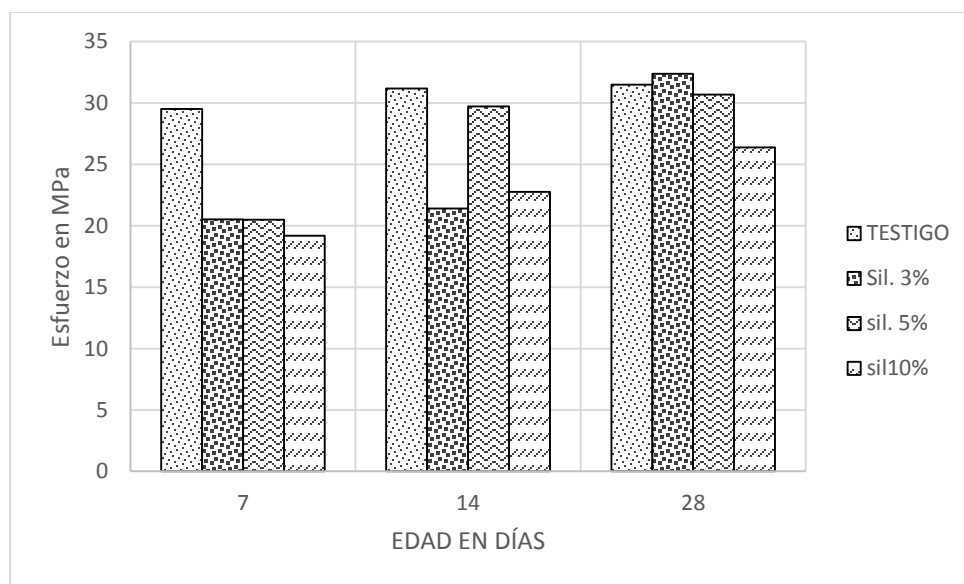
Gráfica 2 Resultados de las pruebas preliminares del concreto con fibras textiles.

Pruebas en elementos con sílice (subproducto de la geotérmica)

En cuanto al empleo de los elementos que contienen la sílice es por métodos de sustitución, este material se sustituyó con respecto a la masa del cemento empleado en el concreto, este material se empleó en 3, 5, y 10%, en donde se realizaron 9 muestras de cada mezcla en la cual se tiene que se emplearon tres muestras a cada edad en donde estas fueron a 7, 14 y 28 días y se emplearon las siguientes cantidades:

Material	Masa Sil. 3%	Masa Sil. 5%	Masa Sil. 10%
Cemento	7.49	7.33	6.95
Arena	15.34	15.34	15.34
Grava	11.18	11.18	11.18
Agua	3.47	3.47	3.47
Adición	0.23	0.39	0.77

Cabe destacar que las cantidades mostradas en el cuadro anterior se tiene que las cantidades empleadas en donde se obtuvieron los siguientes resultados:



Gráfica 3 Resultados del esfuerzo a la compresión en muestras que contienen sílice de la geotérmica de los Azufres

Los resultados nos dieron un indicativo en el cual se emplearon en la experimentación fue los elementos que contienen elementos de sílice con una sustitución del 3%, mientras que en

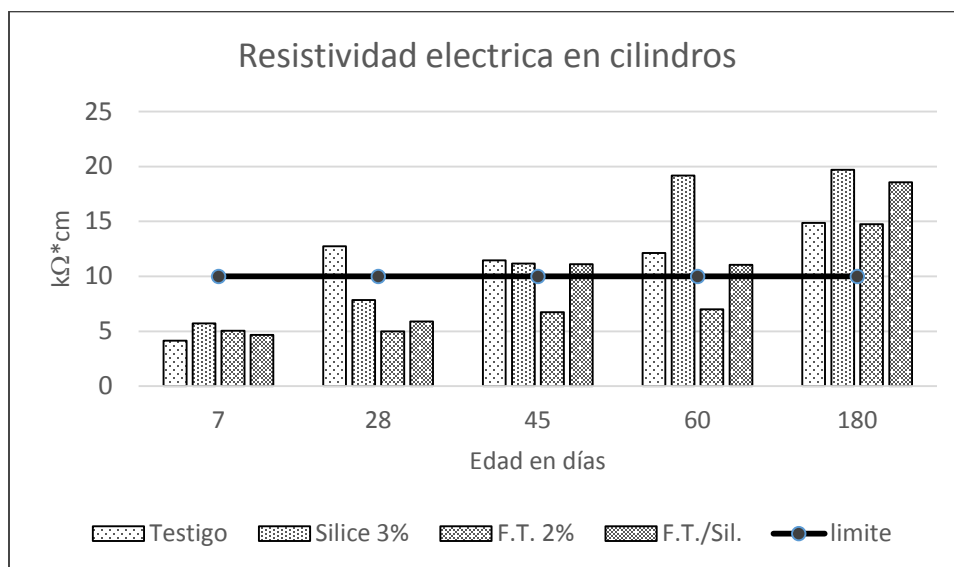
el caso de los elementos que contienen las fibras textiles se empleó en aquel concreto que tenía el 2%. Para el caso de las cantidades en las cuales se ocupan para la segunda etapa se realizaron 4 mezclas en la cual fue una mezcla convencional en la cual se llama testigo, otra mezcla en la cual se empleó la adición de las fibras textiles en un 2%, otra mezcla en la que se sustituyó el cemento con sílice en un porcentaje del 3% con respecto a la masa del cemento empleado y en donde se realizaron mezclas de concreto para realización de las pruebas, estas muestras es donde se necesitaron cilindros de concreto para la prueba de módulos de elasticidad, compresión, compresión diametral, resistividad y la prueba de absorción por capilaridad, se hicieron además otras pruebas en las cuales se tiene que es la prueba de frecuencia de resonancia y resistencia a la flexión. Para lo cual se emplearon las siguientes cantidades en la elaboración del concreto en las muestras:

Materiales	Testigo (kg)	F.T. 2% (kg)	Sil. 3% (kg)	F.T./Sil. (kg)
Cemento	126.46	126.46	122.66	122.66
Grava	251.17	251.17	251.17	251.17
Arena	183.02	183.02	183.02	183.02
Agua	56.91	56.91	56.91	56.91
Sílice	0	0	3.79	3.79
F.T.	0	2.53	0	2.53

Resultados de las pruebas no destructivas al concreto

Resistividad eléctrica en cilindros

En cuanto a la resistividad eléctrica en cilindros la prueba se realizó a la edad de 7, 28, 45, 60 y 180 días de la elaboración de las mezclas de concreto en 7 muestras en la que de obtuvieron los siguientes resultados:



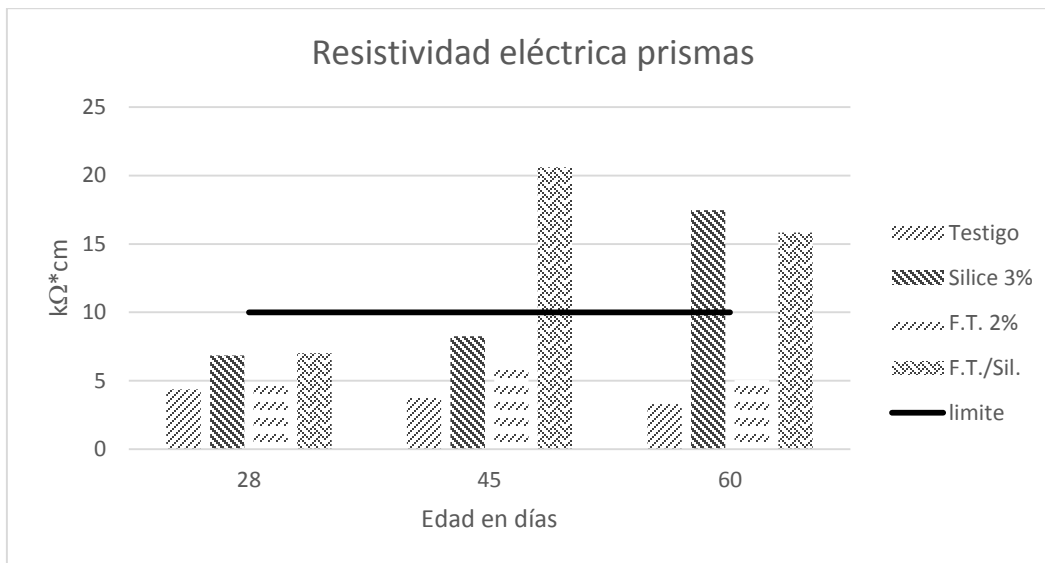
Gráfica 4 Resultados de la resistividad eléctrica en cilindros

A la edad de 28 días se muestra que los elementos se encuentran con una resistividad menos de lo que marca el primer límite del cual es de 10 kΩ-cm en el cual solamente la mezcla que sobrepasa ese límite, lo que indica que a la edad de 28 días no se presenta una condición de durabilidad y presentan condiciones para que se presente la corrosión en los elementos armados si se llegara a esas cantidades. A partir de los 45 días los elementos sobrepasan el límite empleado en lo que marca la normativa y en el cual las muestras que presentan una mejoría en la condición de la resistividad es las muestras que tienen el sílice son las que aumentaron en esta condición, la única mezcla que no presentaba aumentos en la condición de crecimiento era la de que contenía la fibra textil (F.T. 2%) sin embargo, a la edad de 180 días se tiene que en todas las mezclas se encuentran en un rango de 15 a 20 kΩ-cm de resistividad, los elementos que contienen sílice tienen esta condición de 20 KΩ-cm en resistividad, mientras que los elementos que no la contienen solo presentan una resistividad de 15 kΩ-cm.

Resistividad en prismas

En cuanto la realización de la prueba de la resistividad en prismas se tiene que los elementos están condicionados en cuanto la geometría misma del prisma, la prueba se realizaba en los prismas de las diferentes mezclas solo con la condición de que se realizan en los elementos

que en su parte media para la ejecución de la prueba y empleándose placas cuadradas de 15 cm de lado y los resultados fueron los siguientes:

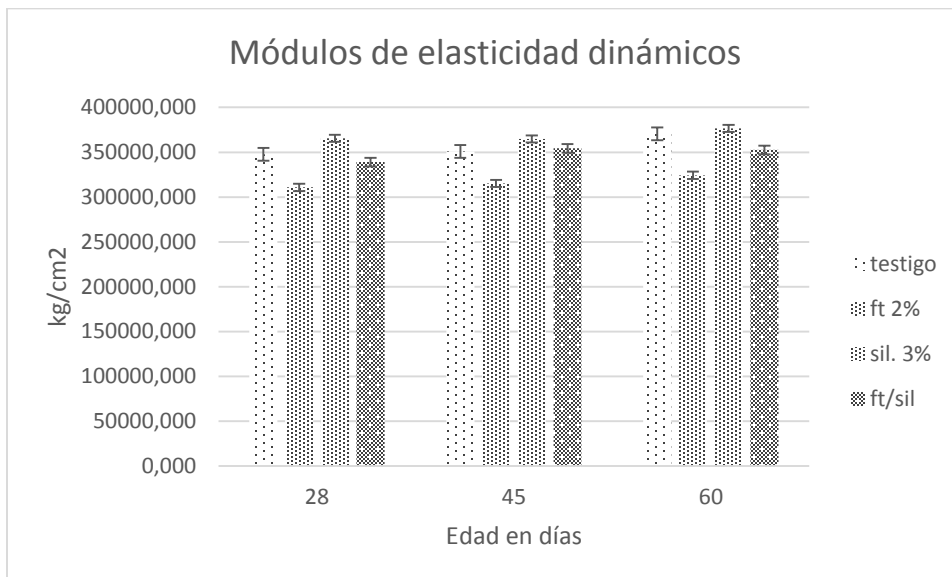


Gráfica 5 resistividad eléctrica en prismas de 15x15x60 cm

Cabe destacar que debido a las condiciones de las muestras se tiene que son menos pruebas que se realizaron debido a la cantidad de elementos de prismas realizados en los cuales se tienen menos debido a que son más voluminosos y requerían una mayor cantidad de concreto, sin embargo, presentan una condición similar a la presentada en los elementos cilíndricos en los cuales se determina que los elementos que contienen sílice mejoran esta condición de la resistividad eléctrica, en este tipo de muestras no se ve mejorías en los elementos que son de fibras textiles y se debe a el factor de forma de los elementos. También se puede presentar una incertidumbre en cuanto a los resultados arrojados ya que se puede presentar una acumulación de los elementos que dificulta los procesos de formación de las estructuras cristalinas del concreto.

Frecuencia de resonancia

Para la obtención del módulo de elasticidad dinámico del concreto se realizó la prueba de la frecuencia de resonancia en la cual se obtuvieron los siguientes valores del módulo:



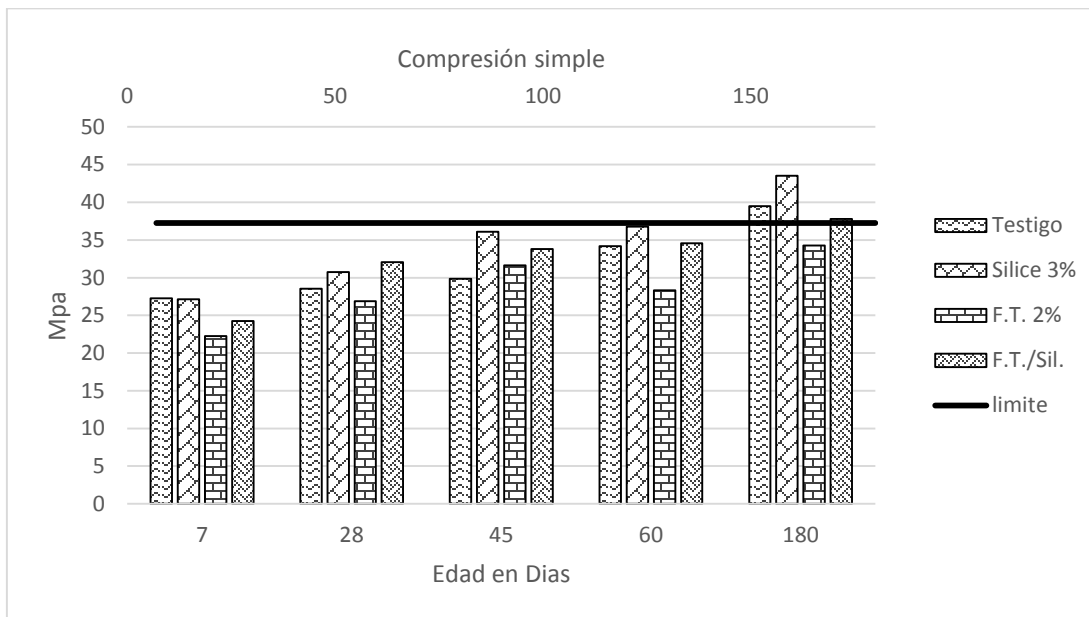
Gráfica 6 módulos de elasticidad dinámicos del concreto en vigas

En esta prueba se realizó a la edad de 28, 45 y 60 días en donde se obtuvieron valores que oscilaron entre los 300000 a los 350000 kg/cm² en la cual los elementos que más valores presentaron fueron los que contenían el sílice (subproducto de la geotérmica) para la que sobrepaso la mezcla convencional fue la que solo contenía el sílice y las muestras que contenían la combinación se tiene que son de un comportamiento similar al de las muestras que se tienen con respecto a las mezclas testigo que no contienen ningún tipo de modificación.

Resultados de las pruebas destructivas

Resistencia a la compresión del concreto

Para la ejecución de la prueba se emplearon 4 muestras de cada mezcla por edad en la cual se tiene que se realizaron pruebas a las edades de 7, 28, 45, 60 y 180 días en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

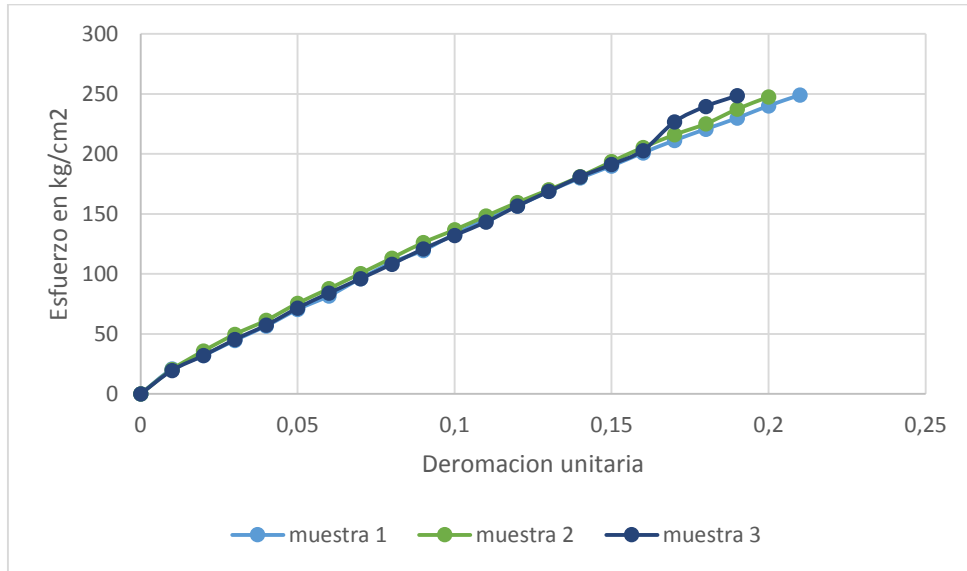


Gráfica 7 Resistencia a la compresión simple en elementos cilíndricos de 10x20 cm

En esta prueba se tiene que los elementos a la edad de 28 días no alcanzaban el máximo del diseño, sin embargo, se nota que los elementos van creciendo con respecto a el transcurso del tiempo por lo tanto a la edad de 60 días ya se está alcanzando la resistencia de diseño y hasta la edad de 180, las muestras que contienen la sílice son los que mas han resistido, la mezcla convencional es la que por lo general se tiene que también ha sobrepasado el limite del diseño en cuanto a los elementos que contienen la combinación se tiene que han aumentado hasta la línea de limite a la edad de 180 días y los elementos que solo contienen las fibras textiles sin embargo, se encuentran dentro de las tolerancia permitida.

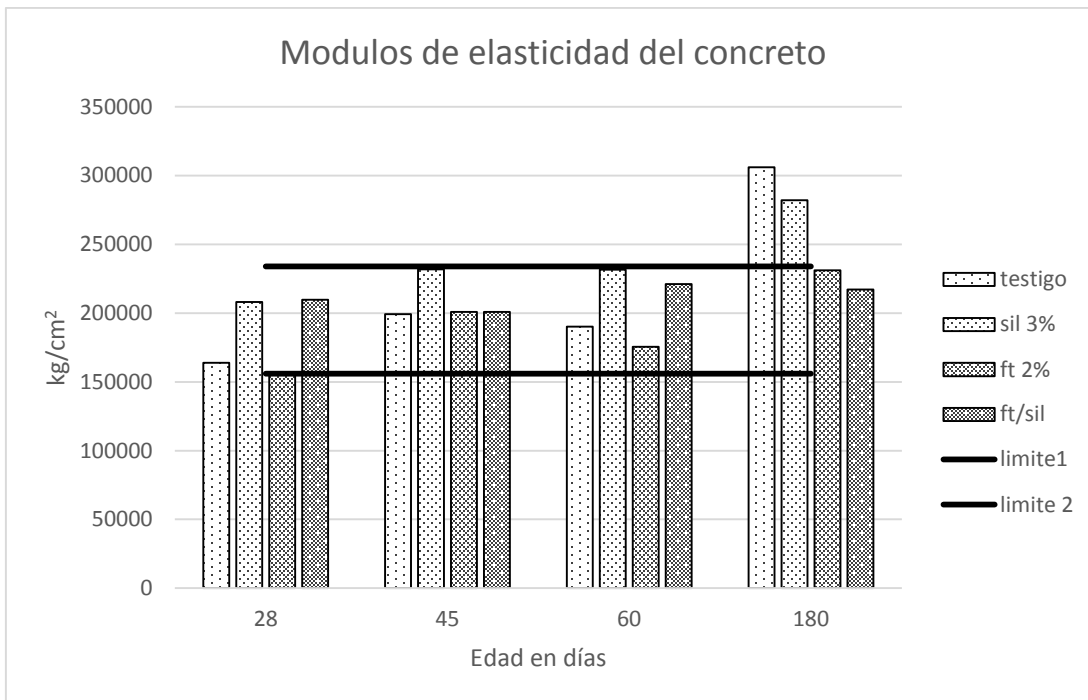
Módulo de elasticidad del concreto

Para esta prueba se requirieron de 4 muestras de concreto en las cuales se empleaba una para la obtención de la resistencia máxima de los elementos y se tiene que a las demás muestras se aplicaba la prueba de módulo de elasticidad, las edades en las que se aplicaron los módulos de elasticidad son a 28, 45, 60 y 180 días en donde se obtuvieron los siguientes datos:



Gráfica 8 líneas de la tendencia del esfuerzo con respecto a la deformación unitaria

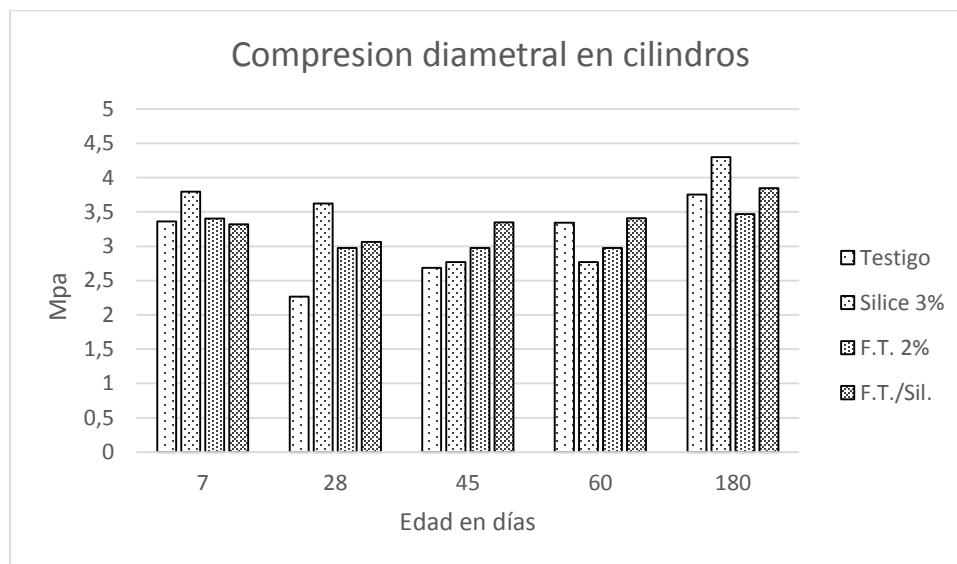
La grafica anterior sirvió de base en el cálculo de una muestra de concreto a cierta edad para la obtención del módulo de elasticidad en donde se obtuvieron en base a dos valores en donde se restaron sus respectivos esfuerzos entre su deformación unitaria. Y a las tres muestras se obtuvo un promedio para cada mezcla y para cada edad obteniéndose los siguientes resultados:



En esta prueba se determinó el módulo de elasticidad que a la edad de 28 días todas las muestras se encuentran en el límite inferior que corresponde a cuando los elementos se elaboraron con una mezcla de agregados volcánicos. A las edades de 45 y 60 días el comportamiento se encontraba semejante, siendo los elementos que contienen el subproducto los cuales son los elementos que están en el límite superior que se trata de que los elementos se elaboraron con elementos triturados, las mezclas a la edad de 180 días presentan una tendencia en cuanto los elementos que contienen las fibras a llegar al límite superior, mientras que las otras mezclas ya sobrepasaron este límite con creces lo que indica que las mezclas tienden a tener un comportamiento más frágil debido a la resistencia que adquieren.

Tensión por compresión diametral

Esta prueba se realizó en elementos cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de peralte en donde para cada muestra se probaron tres elementos y a las edades de 7, 28, 45, 60 y 180 días obteniéndose los siguientes resultados:



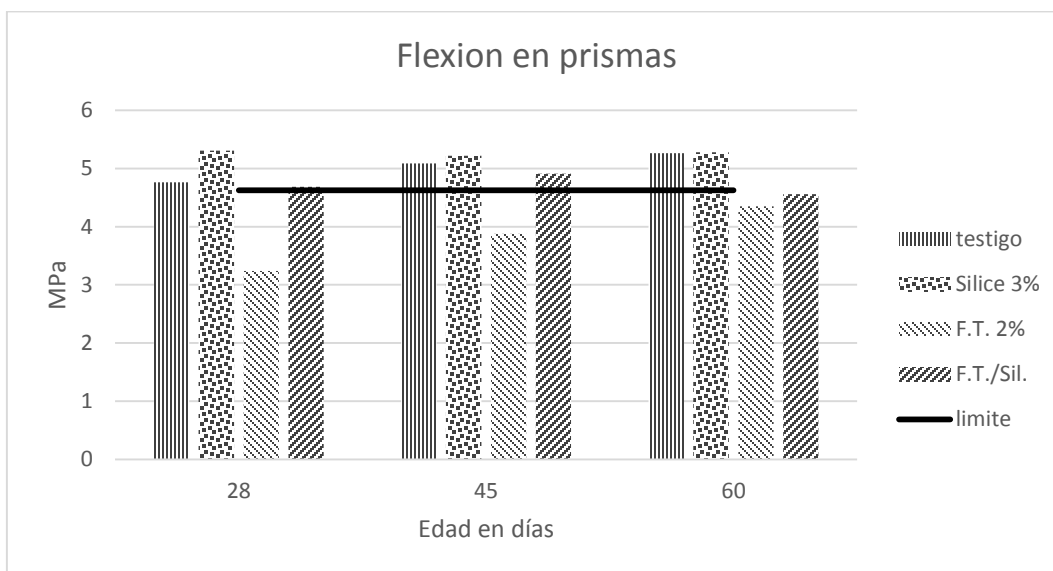
Gráfica 9 resultados de la compresión diametral

En la gráfica se muestra que las muestras que contienen el sílice (producto de la geotérmica) es la que mejores resultados ha presentado con respecto a las demás muestras, así como de la mezcla convencional para lo cual indica que esta mezcla es la que mayormente ha adquirido resistencias, pero presenta una varianza en cuanto a los resultados, la muestra que tiene un comportamiento más uniforme es la que se tiene en la combinación de las fibras

con la sílice en donde se tiene un incremento lineal, en el caso de los elementos que contienen las fibras en su momento de ejecución de la prueba se tiene en el momento de la ruptura de los elementos no se fallaban completamente como en el caso de los elementos que no contienen las fibras para lo cual tenían un comportamiento muy frágil y en el momento de la falla se tiene que se separaban muy fácilmente.

Módulos de ruptura del concreto

Esta prueba es una de las de tipo destructiva en prismas y solamente se tiene que son una prueba del tipo de 2/3 partes y se realizó esta prueba en tres elementos y a las edades de 28, 45 y 60 días y se obtuvieron los siguientes resultados:



Gráfica 10 módulos de ruptura del concreto en prismas de concreto

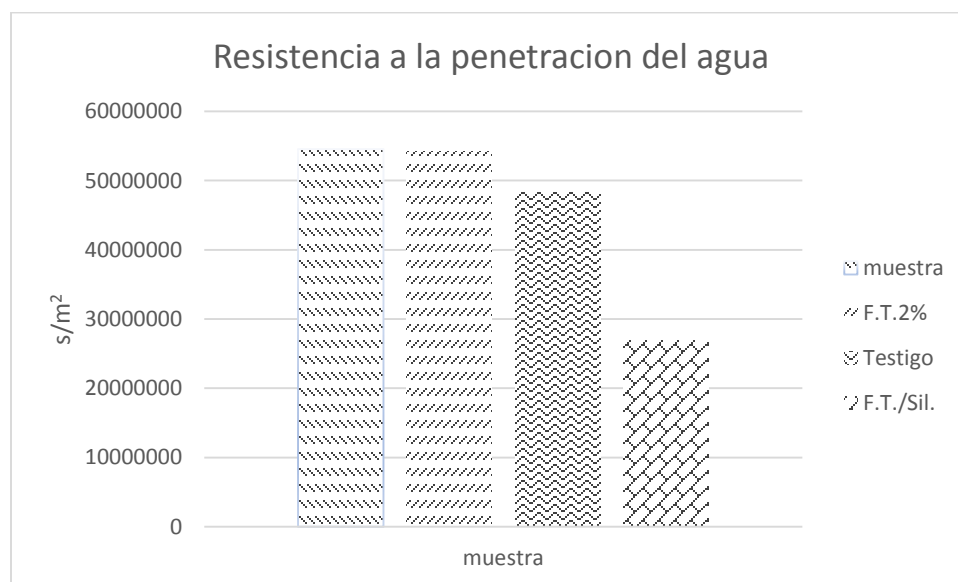
En esta prueba se determina la resistencia a la flexión en los elementos de concreto que la prueba se determinó en cuanto a los elementos que son del tipo con sílice se encuentran dentro de los límites permisibles del diseño, en cuanto el elemento que solamente contiene lo que es las fibras textiles se encuentran debajo de los límites del diseño, pero en la edad de los 60 días se tiene que se encuentra muy cerca de estos límites para los que se tiene que en esta prueba es una de las que mejores resultados ha dado en donde se determina que las prueba en esta condición. Para los elementos que son de testigo, las que contienen sílice y las que contienen la combinación para la cual se tienen resultados muy buenos, sin embargo, en el caso de los elementos testigo y los que contienen el sílice presentan un mayor

comportamiento en el cual son los elementos que mayor comportamiento generan con respecto a las demás muestras y con respecto al diseño, sin embargo, en el caso de los elementos cuales tienen las fibras textiles se tienen que son elementos en los cuales al momento de la ejecución de la prueba de la ruptura de las muestras no presentaban una resistencia tal como las muestras que son convencionales, se tiene que no tenían una resistencia tal y otra de las cuestiones es de que en el momento de la ruptura de las muestras no se fallaban como las muestras testigo sino que tenían un comportamiento más peculiar en el cual las muestras no se partían completamente y no presentaron una falla abrupta, más bien como que las muestras tenían una falla en la cual se partían parcialmente y en algunas ocasiones este tipo de muestras era del tipo en la que solamente la parte inferior presentaba fracturas en su composición.

Prueba de durabilidad

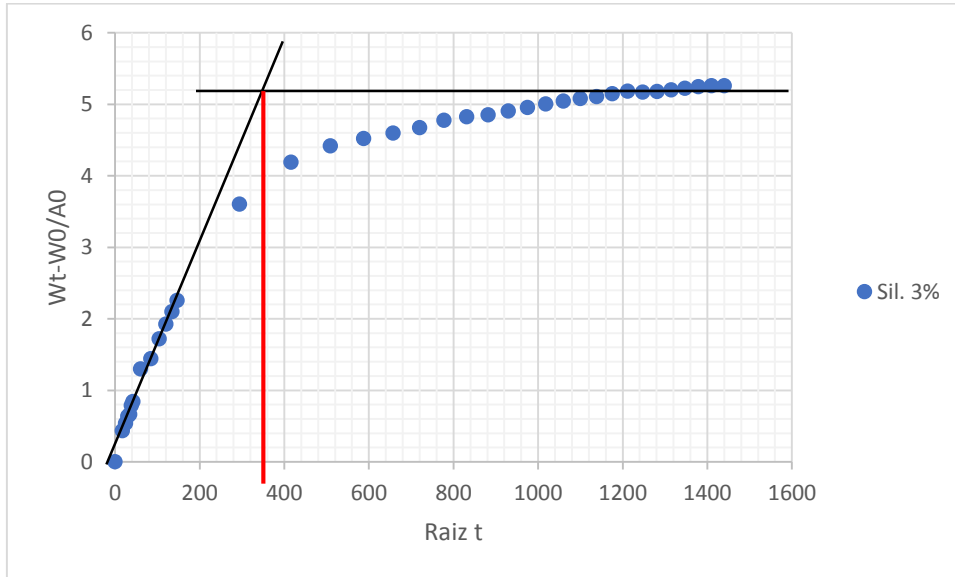
Resultados de la prueba de absorción capilar tipo Fagerlund

En esta prueba se realizó el ensaye a tres muestras de cada mezcla en la cual se tiene que se obtuvo las masas en los tiempos determinados por la prueba y teniendo una duración de un aproximado de 25 días y se obtuvieron una resistencia a la penetración del agua en cada muestra en cada muestra de:



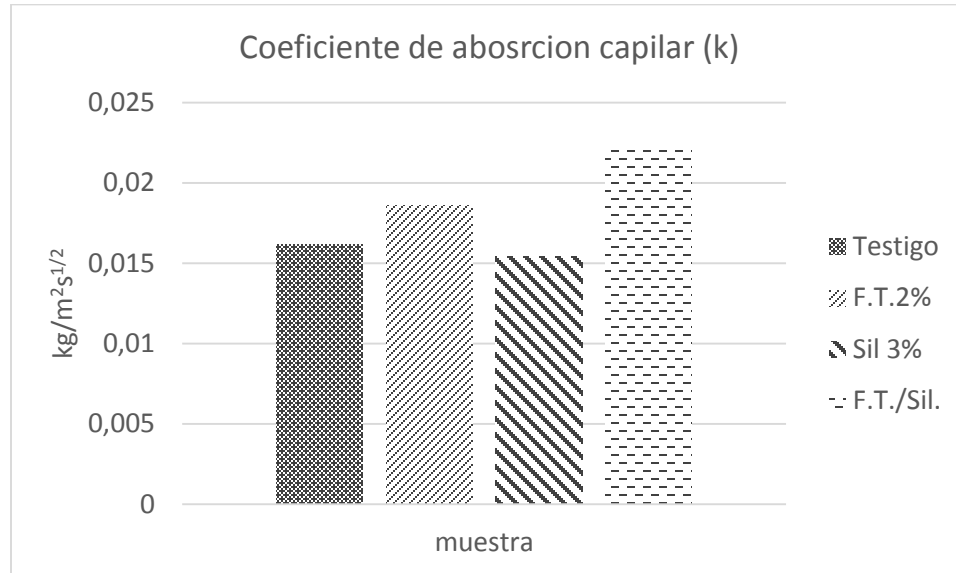
Gráfica 11 Penetración del agua

Para los tiempos que se requirieron para hacer la gráfica anterior se tomaron los de las gráficas que se tienen en el cálculo del coeficiente de la absorción capilar en el cual son graficas de este tipo:



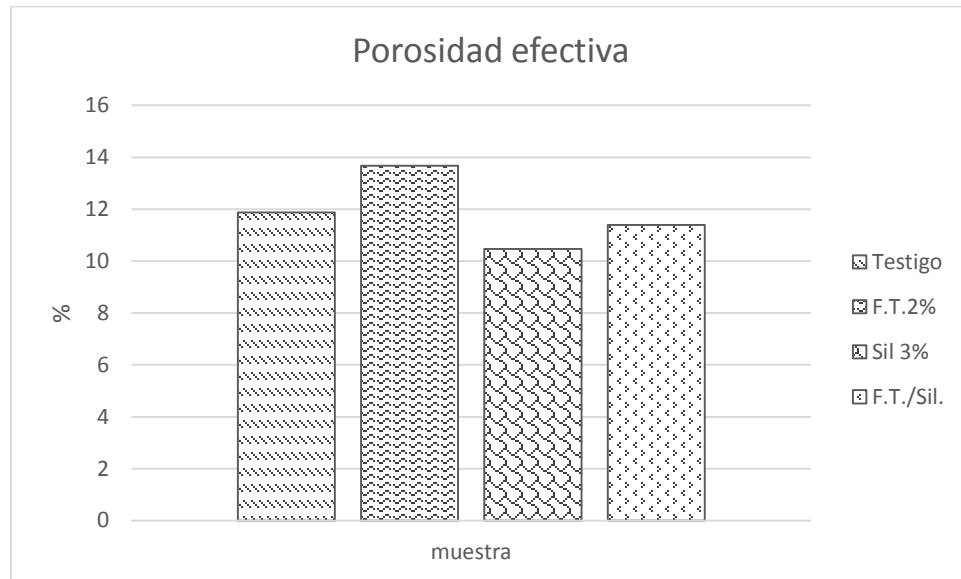
Gráfica 12 estimación del coeficiente de permeabilidad de una muestra estimado con aproximaciones

Para el caso del tiempo que se necesitó en el caso de el tiempo que marcaba la línea roja con respecto a los datos obtenidos de la raíz del tiempo para la cual se tomo como base este tiempo aumentándolo al cuadrado. Para el coeficiente de la absorción capilar es mediante la grafica anterior en la cual se dividió las relaciones de las diferencias de masa con el área entre la raíz del tiempo y en los cuales se obtuvo el tiempo del cual se obtuvieron los siguientes resultados:



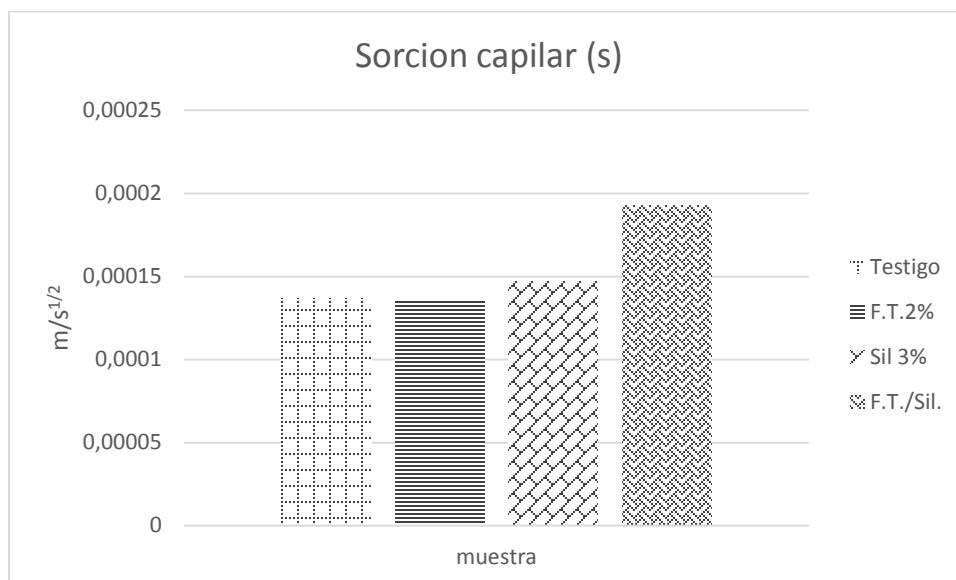
Gráfica 13 absorción capilar del promedio de las muestras

Para los coeficientes de absorción capilar se encontró que los elementos que menor valor tuvieron fue los elementos que contienen la sílice y los elementos que más agua absorben son las que contienen la combinación de las fibras con la sílice lo cual indica que esto elementos debido a la cantidad de fibras y a la que los elementos se van desgastando debido a la combinación de ambos factores. Con los datos obtenidos se obtuvo otro de los factores de los cuales es la porosidad efectiva la cual suele ser un valor que determina la interconectividad de poros y en los cuales se obtienen en porcentaje en la siguiente gráfica:



Gráfica 14 porcentajes de la porosidad efectiva

En la grafica anterior se determino que las muestras que contiene la fibra textil son las que mas porcentaje de porosidad efectiva tuvieron debido a la correlación que se tiene con respecto a las demás muestras y la que menor porosidad presento fue el caso de las muestras que contienen la sílice la cual indica que este elemento cierra más la matriz cementaria en su parte solida lo cual indica una gran cohesión de las partículas del concreto con esta sustitución y en con respecto a la mezcla testigo se tiene que los elementos que contienen la sustitución dan un menor porcentaje de porosidad por lo que si confina o cierra la interconectividad de poro. Para la sorción se tuvo los siguientes datos:



Gráfica 15 sorción del promedio de las muestras

En la grafica anterior se muestran los valores inversos de la capacidad de penetración del agua en la cual el caso que tienen mayor potencial de sorción son las que tienen la combinación y las que menor potencial tienen son el caso de sorción son las que contienen las fibras textiles.

Análisis de ciclo de vida

Unidad funcional

Para la elaboración del concreto para su elaboración y empleo de un modo prudente y adecuado a él concreto que se sustituyó con sílice, el cual es un subproducto de los procesos de la generación de la energía eléctrica de las plantas geotérmicas provenientes de la región de los Azufres en el oriente del estado de Michoacán para medir las posibles cualidades ambientales que puede tener con respecto a una mezcla de concreto tradicional manteniendo sus características de diseño. El flujo de referencia comprende del análisis de 1 metro cúbico de concreto con sustitución del material con respecto a 1 metro cúbico de concreto convencional con una resistencia de diseño de 380 kg/cm² a la edad de 28 días.

Límites del sistema

Esta investigación tiene como propósito la comparación y análisis de dos sistemas de productos: a) concreto convencional, b) concreto con sustitución de sílice.

Del proceso para un análisis de ciclo de vida en este caso en particular es del tipo de la cuna a la puerta iniciando con el proceso de la obtención de la materia prima, dejando de lado del proceso de extracción.

En este proyecto se toma en cuenta las especificaciones de las normas ISO, que por tratarse de un simple estudio de un sistema de la elaboración del concreto ya sea del que tiene la sustitución de la sílice o del caso convencional ya que va desde a la extracción de las materias primas, hasta la producción del concreto que se definirá con un sistema de la CUNA A LA PUERTA. Para ambos casos de estudio que se trabajara con los mismos materiales (cemento, arena, grava y agua) con las mismas características de los mismos bancos de materiales, solo que para el caso de al concreto con sustitución se agregará sílice que pase la malla 200.

Criterios de cohorte y asignación de cada escenario

Escenario del concreto tradicional.

Para este escenario se considera la elaboración de 1 metro cúbico de concreto, este material tiene como características principales que se emplean agregados pétreos, cemento, agua y aditivo reductor de agua y el cual se prevé que tenga una resistencia a la compresión de 380 kg/cm², donde se modelará los siguientes impactos:

- El transporte de los materiales que se requieren para la elaboración del concreto para los cuales se requieren 299 kg de arena, 410 kg de grava y 205 kg de cemento. Los vehículos empleados para los agregados pétreos (arena y grava) son camiones de Diesel con una capacidad de 7 m³, para el caso del cemento se requirió de un camión para 28 toneladas, la ruta comprendida para este caso es de la localidad de joyitas hasta la palta de concreto, y la del cemento comprende desde la planta Tláhuac de CEMEX hasta la planta de concreto.
- La elaboración del concreto en planta que está compuesto de las siguientes etapas: la adquisición de la materia prima para la elaboración del concreto, la caracterización y de loa materiales que se necesitan para la elaboración del concreto, el llenado de los vehículos que transportan el concreto. Haciendo una evaluación del impacto ambiental con las herramientas y maquinaria empleada en la elaboración del concreto, varios de estos equipos funcionan con diferentes combustibles y fuentes de energía, tales como gas L.P., diésel y energía eléctrica en donde para la creación de este concreto se emplearon un aproximado de 110 litros de agua.

- El transporte y entrega de una tonelada de concreto. El vehículo empleado para el transporte tiene una capacidad para 5 m³, y la ruta es desde la planta de concreto “loros” hasta un promedio de 10 km para la entrega del producto.

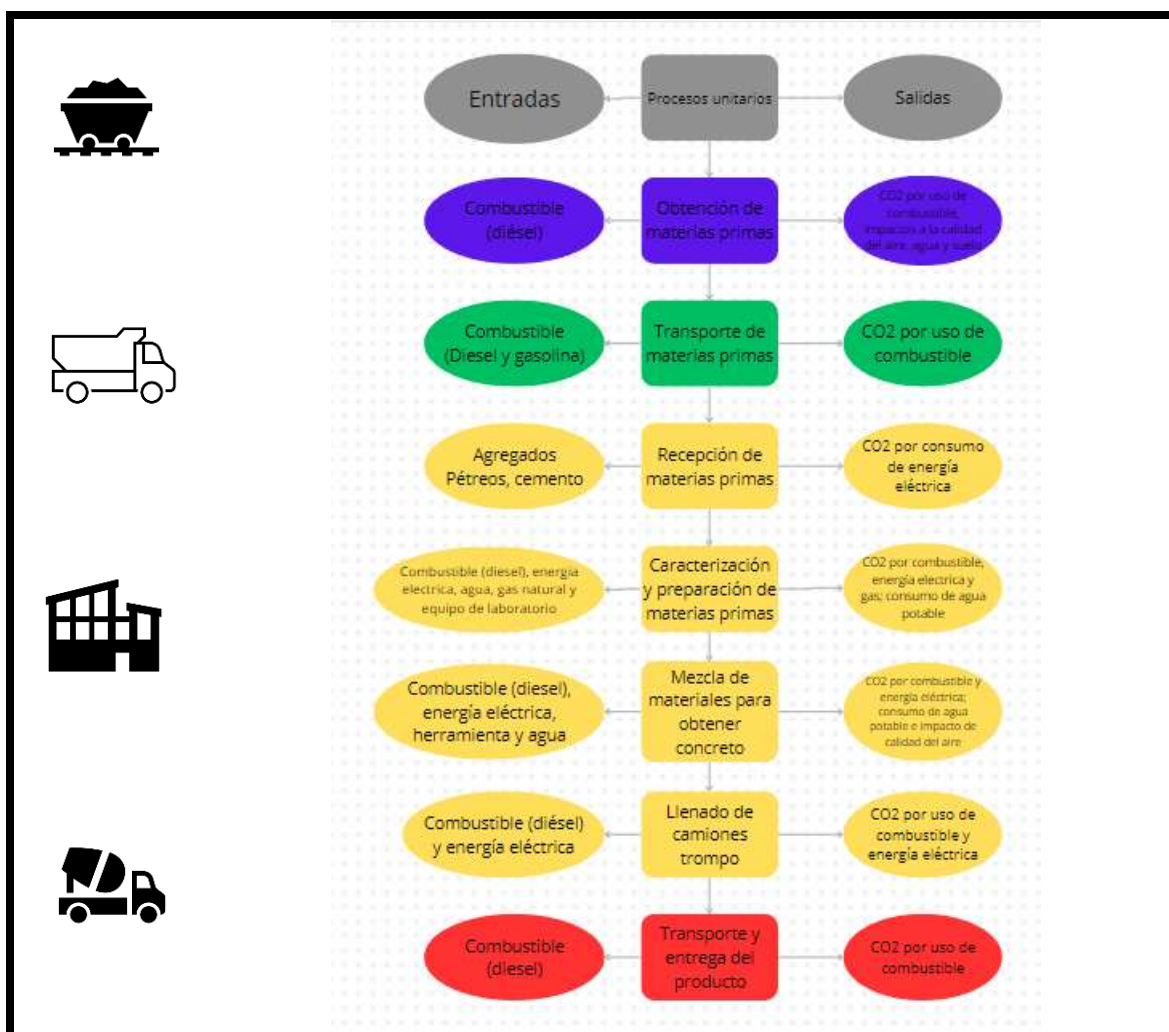


Ilustración 1 Diagrama del concreto convencional

Escenario de la creación de concreto ecológico

En este caso, se consideró la creación de una tonelada de concreto donde se sustituyó un 3% del cemento con el material subproducto de la geotérmica de Los azufres con respecto a la masa del cemento, en donde se diseñó una mezcla de durabilidad con una resistencia de 380 kg/ cm². Este concreto lo que se tiene es que incrementa la resistencia del concreto al mismo tiempo de que se reducen los impactos ambientales en donde también se tiene que puede aprovechar de un material que se tiene de la generación de otro proceso que suele ser un material que suele obstruir el proceso de la generación de la electricidad en donde suelen ser

cantidades importantes y que se tiene muy poco índice de aprovechamiento de un material que se obtiene de una fuente que no es directamente de la industria de la construcción. Se modeló el impacto ambiental de:

- El transporte de los materiales que se requieren para la elaboración del concreto para los cuales se requieren 299 kg de arena, 410 kg de grava y 199 kg de cemento y 6 kg del material de sustitución. La ruta que se emplea en el caso de la obtención de los materiales, para los agregados pétreos se tomó la parte de la ruta en el caso de la arena del banco de joyitas, para el caso de la grava fue del caso del cemento fue desde la planta de Tláhuac y el material traído de la sustitución fue traído de la planta geotérmica de los azufres que se encuentra a una distancia de 107 km con respecto a la ubicación de ciudad universitaria. Los vehículos empleados para los agregados pétreos (arena y grava) son camiones de Diesel con una capacidad de 7 m³, para el caso del cemento se requirió de un camión para 28 toneladas, la ruta comprendida para este caso es de la localidad de joyitas hasta la palta de concreto, y la del cemento comprende desde la planta Tláhuac de CEMEX hasta la planta de concreto.
- La elaboración del concreto en planta que está compuesto de las siguientes etapas: la adquisición de la materia prima para la elaboración del concreto, la caracterización y de loa materiales que se necesitan para la elaboración del concreto, el llenado de los vehículos que transportan el concreto. Haciendo una evaluación del impacto ambiental con las herramientas y maquinaria empleada en la elaboración del concreto, varios de estos equipos funcionan con diferentes combustibles y fuentes de energía, tales como gas L.P., diésel y energía eléctrica en donde para la creación de este concreto se emplearon un aproximado de 110 litros de agua.
- El transporte y entrega de una tonelada de concreto. El vehículo empleado para el transporte tiene una capacidad para 5 m3, y la ruta es desde la planta de concreto “loros” hasta un promedio de 10 km para la entrega del producto.

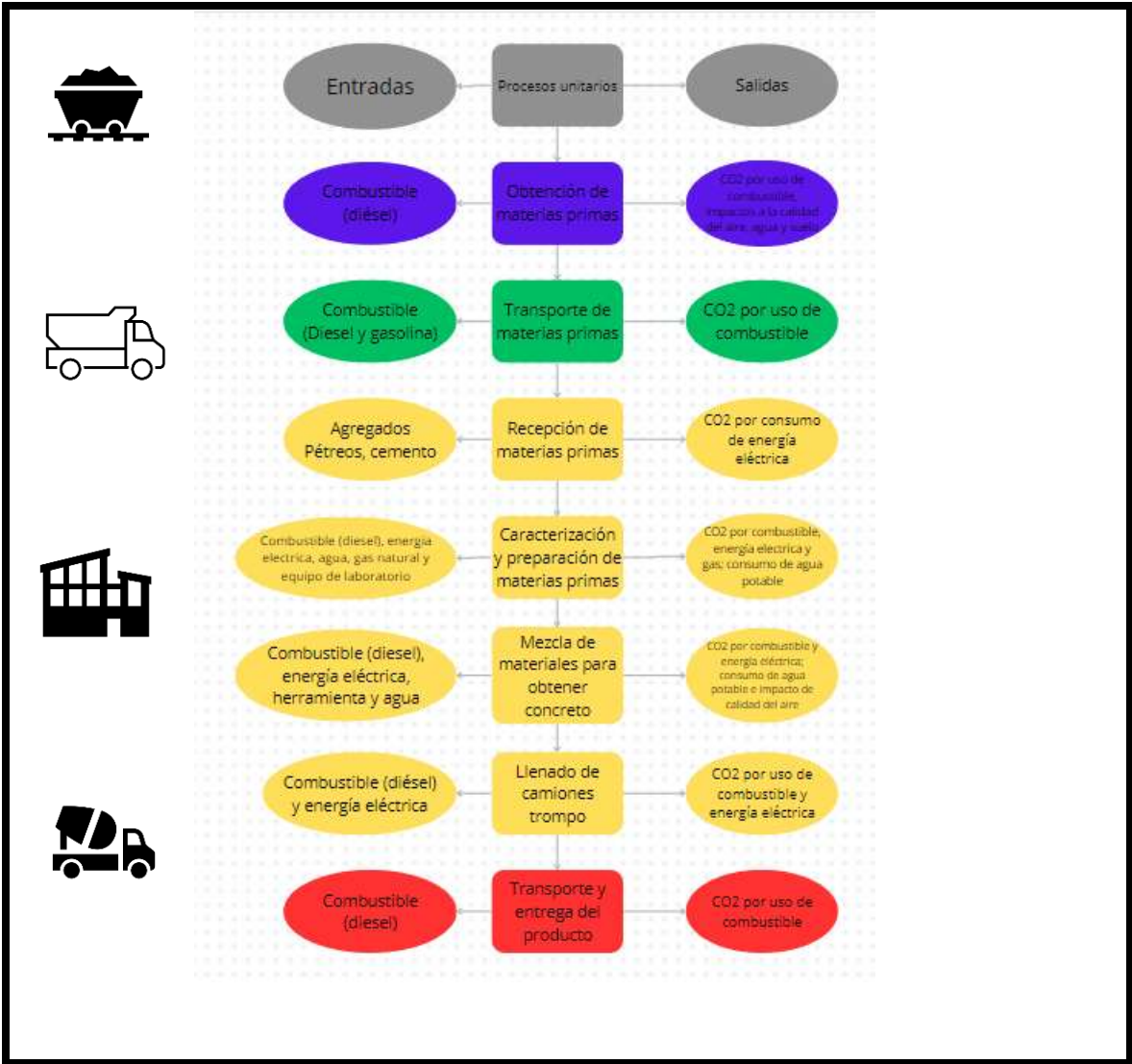


Ilustración 2 diagrama de procesos del concreto ecológico

Tabla 1 fuente de obtención para el ICV

Proceso unitario	Tipo de datos	Dato	Fuente
Obtención de materias primas	Materiales de elaboración	Calculado	American Concrete Institute 318
Transporte de materias primas	Vehículo de transporte capacidad de carga	Investigado	Ficha técnica de proveedor
Tkm	Cantidad y distancia recorrida	Calculado	Fuente de Google Maps

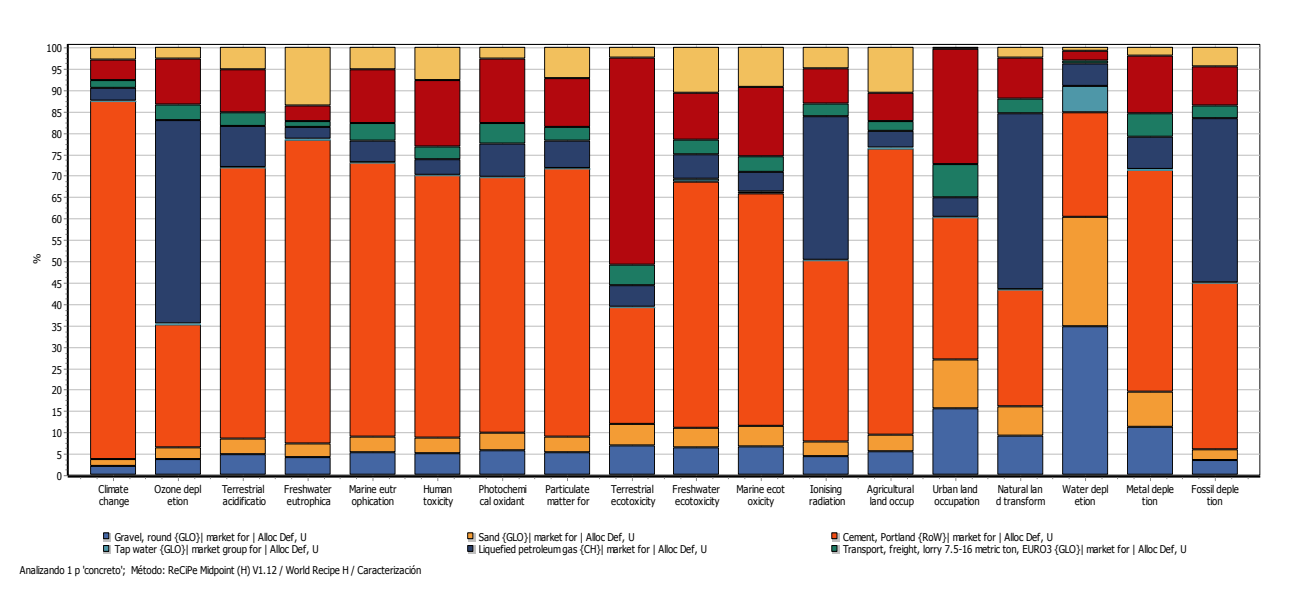
Manufactura del concreto	Cantidad de materiales	Investigado y calculado	Normas Mexicanas ONNCCE Ficha técnica de proveedor
Transporte y entrega del producto	Vehículo de transporte capacidad de carga	Investigado	Ficha técnica del proveedor
tkm	Cantidad y distancia recorrida	Calculado	Fuente de Google Maps

Evaluación del impacto de ciclo de vida

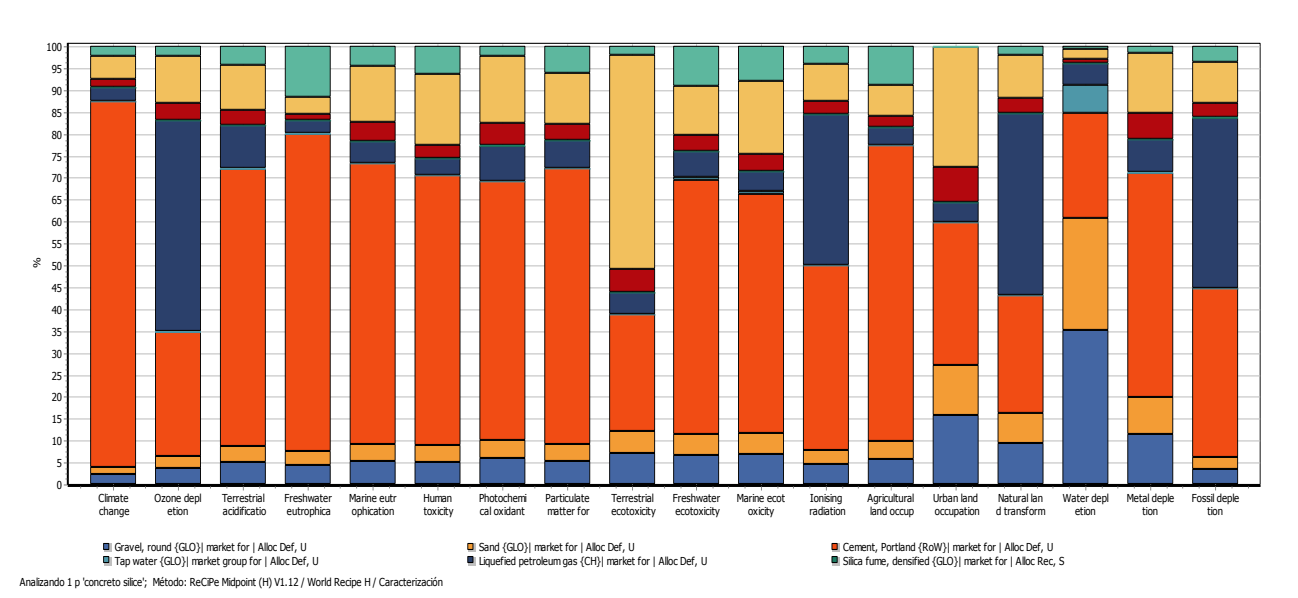
Esta etapa evalúa y analiza los datos recogidos en el inventario y evalúa sus efectos sobre el medio ambiente. En esta fase se debe tener una estimación y planeación mas precisa en cuanto el logro del objetivo y el alcance del estudio del ACV. El objetivo del ACV es el análisis de los impactos ambientales derivados de la creación de dos concretos distintos.

Caracterización del impacto ambiental

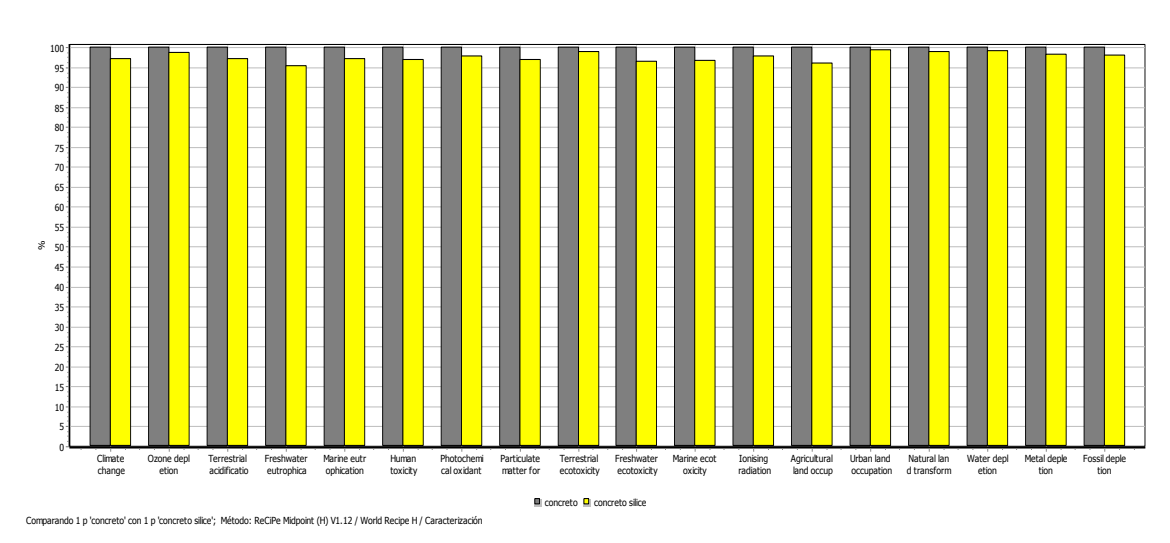
A continuación, se presenta el impacto ambiental global con un enfoque del ciclo de vida de la creación del concreto tradicional. De acuerdo con los resultados globales, en la obtención de materias primas donde se determino que las materias primas en donde se determinaron los porcentajes de los impactos para cada concreto y una comparación entre ambos:



Gráfica 16 estimación de los impactos generados por la producción de concreto convencional



Gráfica 17 estimación de los impactos generados con la producción del concreto con la sílice



Gráfica 18 comparación de los impactos generados por las dos mezclas

Conclusiones

La preparación de los materiales para esta experimentación puede tomarse su tiempo que en este caso fue de alrededor de 3 meses para la experimentación sin embargo los métodos pueden mejorarse debido a que se emplearon equipos de laboratorio para la obtención de ellos o equipos convencionales de oficina en la elaboración de las fibras, se pueden emplear equipos con mejores rendimientos pero se tendrá que hacer estimaciones de sus especificaciones en cuanto a la energía que requieren, como por ejemplo la sustitución de la maquina de desgaste de los ángeles por algún molino en el cual ya se tenga incorporado el sistema de cribado haciendo un ahorro de tiempo y energía, en cuanto la elaboración de las fibras se eligieron las de polyester ya que este tipo de material suele tener excelente respuesta con respecto a las cuestiones de la durabilidad y en lo cual puede emplearse de modo convencional, el problema está en determinar si las fibras se recortan en el sentido de que no se deshilen ya que no pueden generar los efectos deseados sobre las mezclas

El empleo de estos materiales puede reducir en el caso de la disposición final de otras empresas y ligando varias industrias para lo que compete a la economía circular en donde se tienen tres industrias que se pueden complementar y que en algunas, varios de sus materiales suelen ser desechados debido a que no tienen cabida dentro de las industrias tales como es el

caso de elementos que por la cuestión del aprovechamiento de los recursos tienen cierta efectividad o como en condiciones que son fenómenos sociales tales como la moda rápida puede influir mucho en la generación de los elementos textiles ya que este fenómeno ha sido uno de los principales percosores de que las prendas tengan una vida útil muy escasa haciendo que los elementos como prendas que se realizan en ciertas temporadas en muchas empresas optan por no desecharlas si no son vendidas y las incineran para que no haya una reventa de estos elementos, o como es el caso de las tendencias que se tienen a lo largo de las épocas ya que en el cambio de las décadas las vestimentas van evolucionando haciendo que sea una de las principales cuestiones al momento de el desecho de estas, otro aspecto que va determinando la vida útil de las prendas es los ciclos de lavado que se determina que tanto se está empleando la prenda en cuestión, desgastándola y haciendo que sea imposible emplearla en otras cuestiones. Para el caso de los elementos que no se necesitan con respecto al empleo en las propias industrias lo que se considera un desecho, por lo regular suele ser un elemento que puede hacer liga de varias industrias que por lo general se tiene que los elementos puedan comercializarse y haciendo un “ganar ganar” lo cual puede ser una de las cuestiones que pueden hacer un incremento en la generación de empleos, así como de una mejora de los procesos que puede tener los productos, tales como bienes y servicios que pueden ser de mejor calidad con respecto a los procesos antiguos que simplemente pueden tener muchos estándares arbitrarios o tener estándares de calidad más bajos debido a que no se tiene una cuestión de mejora de los métodos. En el caso de el elemento que se obtuvo de la planta geotérmica se puede emplear en la construcción en la elaboración de otros elementos como no solo el concreto, sino también otros elementos cerámicos como morteros y la producción del vidrio, se puede tener una infinidad de ligas entre industrias en donde los materiales se tienen que manipular de tal modo que se aprovechan al máximo y haciendo una disminución de los residuos y evitando que las industrias tengan un comportamiento lineal y en donde cambien sus políticas, así como sus métodos en la generación de sus productos, en donde se puede atender la gran demanda que se tenga de los mismos. El empleo del subproducto resultó ser muy bueno en la generación del concreto ya que se lleva bien con estos materiales sin que se altere la funcionalidad del concreto.

En la elaboración del concreto en el empleo de las fibras se determinó que se empleaba más agua que la estimada debido a que se tiene este comportamiento con las fibras en general para evitar que el concreto se agrieta, además de acuerdo con el diseño se observó que debido a las características de las fibras, estas abundaban en el momento de la elaboración de la mezcla de concreto por lo que aumentaba el volumen de esta mezcla y haciéndola más ligera con respecto a las mezclas convencionales lo cual puede ser una ventaja en el momento del empleo en el concreto ya que puede rendir de una manera más positiva. En cuanto al comportamiento del concreto con respecto a las mezclas convencionales se determinó que se puede reducir la resistencia en varios aspectos como la compresión o la flexión en donde para el cálculo de los módulos de elasticidad se tiene que pueden ser elementos que tengan deformaciones importantes y no se tiene un comportamiento más frágil haciendo que su fase de la falla no sea tan brusca debido a las fibras incorporadas, pero con respecto a los límites del diseño este tipo de mezclas parecen ser aceptables en cuanto a sus características. Este material lo considero como un aditivo debido a las características que otorga al concreto y cumple con uno de los requerimientos para que se considere un aditivo que es el empleo de un material en el concreto en una porción del 5% o menor y le da beneficios al concreto con respecto a si se emplea una mezcla convencional.

Para el caso de los elementos que contienen el sílice se determinó que este material fue muy bueno en la elaboración del concreto ya que mejora las características de todos los materiales de los cuales son las pruebas destructivas como la resistividad o la frecuencia de resonancia, las pruebas destructivas como la compresión, el módulo de ruptura o la compresión diametral así como de los elementos que se emplearon en la prueba para la obtención de la porosidad y otros factores como la sorción y la capacidad capilar de la muestra, en el caso de las pruebas destructivas estos valores incrementaron en compresión un 15% con respecto al diseño a la edad de 180 días y con la mezcla convencional incrementó 7.5%, para el caso de la prueba de flexión se encuentra a la par con la mezcla testigo, pero, con respecto al diseño se tuvo que incrementó un 15% con respecto a la resistencia de diseño, en cuanto al módulo de elasticidad se incrementó con respecto al límite superior en un 20%. Para las pruebas de resistividad se tuvo que incremento con respecto al límite de cuando pasa de potencial de corrosión en un valor de 96% correspondiente al valor de $10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$. En todas las pruebas

fue la que mejor resultado dio por lo tanto se estimó el análisis de ciclo de vida con esta mezcla debido a que los criterios en cuanto la industria de la construcción atiende así como los criterios de la economía circular refiere en el primer aspecto resulta que las mezclas o los elementos de concreto, primero tienen que llegar a la resistencia de diseño, segundo son los criterios de durabilidad que por consiguiente esta mezcla fue la que mejor resultados dio y por consiguiente con respecto a las mezclas convencionales si se tienen un menor impacto con respecto a las mezclas convencionales, siendo el impacto que se genera por el cambio climático, eutroficación del agua potable y la ocupación de tierras agrícolas como los que menos impacto generan en un 5% con respecto a las que se tienen con la mezcla convencional.

En cuanto a la combinación de los elementos se tiene que las mezclas ayudan en los aspectos o cualidades que se tienen con los dos elementos empleados en la elaboración del concreto, tales como que los concretos que tienen con fibras en donde se aligera su masa o como en los resultados de las pruebas que se encontraban dentro del rango que se tiene con respecto a los elementos que contienen las fibras y el subproducto por lo que el comportamiento de este material fue regular con respecto a los otros pero que se encontraba a la par de los elementos testigo que si duda suele ser una característica importante.

En lo general el empleo de las mezclas con estos elementos pueden tener ciertas ventajas como el aligeramiento de las estructuras o la durabilidad de las mismas la cual puede aumentar si se emplea el material subproducto, para el caso de los elementos que contienen las fibras se recomienda hacer un tratamiento previo con su empleo ya que suele pasar que este tipo de materiales suele absorber el agua de la mezcla, así como algunos elementos de la lechada por lo que si se cuida este aspecto puede que el comportamiento de las mezclas cambie para bien haciéndolas más resistentes, otra de las recomendaciones que hago es darles a las fibras un grosor mayor que el empleado para garantizar que estas no se deshilen, pero que las mezclas sean lo bastante fluidas para evitar el traslape o las condiciones de que la mezcla pierda consistencia.

Para el caso del otro material se recomienda bastante su empleo en cuanto a las obras civiles ya que puede reducir el empleo del cemento en la elaboración del concreto y para lo cual

suele tener excelentes resultados en todos los sentidos por lo que es apto para emplearse en ambientes muy demandantes como en las costas para la elaboración de puertos, o como en lugares donde puede ser que este el concreto expuesto a varios agentes químicos como es el caso de las obras de drenaje y saneamiento o como es el caso de elementos que pueden ir hincados en el terreno como cimentaciones, este material suele ser muy fácil de obtener y da resultados muy gratos.

Bibliografía

- Aghaee, K., & Foroughi, M. (2013). Mechanical properties of lightweight concrete partition with a core of textile waste. *Advances in Civil Engineering*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/482310>
- Alomar, O. R., Ali, O. M., Ali, B. M., Qader, V. S., & Ali, O. M. (2023a). Energy, exergy, economical and environmental analysis of photovoltaic solar panel for fixed, single and dual axis tracking systems: An experimental and theoretical study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 103635. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103635>
- Alomar, O. R., Ali, O. M., Ali, B. M., Qader, V. S., & Ali, O. M. (2023b). Energy, exergy, economical and environmental analysis of photovoltaic solar panel for fixed, single and dual axis tracking systems: An experimental and theoretical study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 103635. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103635>
- Boccacci, G., Bertolin, C., Cavazzani, S., & Siani, A. M. (2023). Multi-year total ozone column variability at three Norwegian sites and the influence of Northern Hemisphere Climatic indices. *Atmospheric Environment*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119966>
- Bongiovanni, R., & Tuninetti, L. (n.d.). *do Ciclo de Vida*.
- Camacho-Otero, J., Pettersen, I. N., & Boks, C. (2020). Consumer engagement in the circular economy: Exploring clothes swapping in emerging economies from a social practice perspective. *Sustainable Development*, 28(1), 279–293. <https://doi.org/10.1002/sd.2002>

Dong, Y., Cheng, X., Li, C., Xu, L., & Lin, W. (2023). Characterization of nitrogen emissions for freshwater eutrophication modelling in life cycle impact assessment at the damage level and urban scale. *Ecological Indicators*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110598>

DURAR PARTE 2. (n.d.).

Herold, P. I., & Prokop, D. (2023). Is fast fashion finally out of season? Rental clothing schemes as a sustainable and affordable alternative to fast fashion. *Geoforum*, 146, 103873. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2023.103873>

Horn, S., Mölsä, K. M., Sorvari, J., Tuovila, H., & Heikkilä, P. (2023). Environmental sustainability assessment of a polyester T-shirt – Comparison of circularity strategies. *Science of the Total Environment*, 884. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163821>

Immanuel, S., & Baskar, K. (2023). A state-of-the-art review on sustainable low-cost housing and application of textile reinforced concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01010-8>

Januszewski, R., Dutkiewicz, M., Nowicki, M., & Kownacki, I. (2023). Synthesis of novel bifunctional polyolefins and their application as hydrophobic agents for cotton fabrics. *Polymer Testing*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108144>

Jimenez-Paz, J., Lozada-Castro, J. J., Lester, E., Williams, O., Stevens, L., & Barraza-Burgos, J. (2023). Solutions to hazardous wastes issues in the leather industry: adsorption of Chromium iii and vi from leather industry wastewaters using activated carbons produced from leather industry solid wastes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109715>

Kimm, M., Gerstein, N., Schmitz, P., Simons, M., & Gries, T. (2018). On the separation and recycling behaviour of textile reinforced concrete: an experimental study. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 51(5). <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1249-1>

- Lin, R., Lv, X., Hu, H., Ling, L., Yu, Z., & Zhang, D. (2023). Dual-stage ensemble approach using online knowledge distillation for forecasting carbon emissions in the electric power industry. *Data Science and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2023.09.001>
- Pensupa, N., Leu, S. Y., Hu, Y., Du, C., Liu, H., Jing, H., Wang, H., & Lin, C. S. K. (2017). Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods: Current Situation and Future Prospects. In *Topics in Current Chemistry* (Vol. 375, Issue 5). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0165-0>
- Sadrolodabae, P., Claramunt, J., Ardanuy, M., & de la Fuente, A. (2021). A textile waste fiber-reinforced cement composite: Comparison between short random fiber and textile reinforcement. *Materials*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/ma14133742>
- Susana, I., Barragán, S., Wilfrido, M. A., & Molina, M. (n.d.). *UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL*.
- Universidad autónoma de nuevo león. (2015).
- Wang, L., Wang, L., Li, Y., & Wang, J. (2023). A century-long analysis of global warming and earth temperature using a random walk with drift approach. *Decision Analytics Journal*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100237>
- Zeng, J. L., Liu, X., Su, C. Q., Wang, Y. P., & Xiong, X. (2023). Numerical investigation of a geothermal thermoelectric generator using gravity heat pipe structure. *Energy Reports*, 9, 1237–1246. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.188>
- Eddy. (abril de 2011). *Blogspot.com*. Obtenido de Blogspot.com: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/los-inicios-de-la-industria-del-cemento.html>

Martinez Montoya, M. C. (1999). Aditivos para el Concreto Hidraulico. 205.

Neville, A. M. (1999). Tecnología del concreto.

NMX-C-030-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Agregados- Muestreo de agregados.*

NMX-C-057-ONNCCE-2015. (2015). *Industria de la construccion-cementoantes hidráulicos- Determinacion de la consistencia normal.* Mexico.

NMX-C-073-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción- Agregados- Masa Volumetrica- Metodo de prueba.*

NMX-C-077-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construccion- Agregados para Concreto- Analisis Granulometrico- Metodo de Prueba.*

NMX-C-083-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la consrtrucción- concreto- determiancion de la resistencia a la compresion de esepcimenes- Método de ensayo.* México.

NMX-C-088-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construccion- Agregados- Determinacion de impurezas organicas en el agregado fino.*

NMX-C-128-ONNCCE-2020. (2020). *Industria de la construccion- concreto sometido a compresion- determiancion del módulo de elasticidad y relacion de Poisson.* México.

NMX-C-163-ONNCCE-2015. (2015). *Industria de la construccion- Concreto hidráulico- Determinacion de la resistencia a la tension por compresion diametral de cilindros de concreto-método de ensayo.* México.

NMX-C-164-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construccion- agregados- determiancion de la densidad relativa y absorcion de agua del agregado grueso.* Mexico.

NMX-C-165-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construccion- Agregados- Determinacion de la densidad relativa y Absorcion de agua del agregado fino- Metodo de ensayo.*

NMX-C-170-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la construccion- Agregados- Reduccion de las muestras de agregados obtenidas en campo al tamaño requerido para las pruebas.*

NMX-C-191-ONNCCE-2018. (2018). *Industria de la construccion- concreto- determianción de la resistencia a la flexion del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.* México.

SEMARNAT. (2018). *INFORME DE LA SITUACION DEL MEDIO AMBIENTE EN MEXICO.* MEXICO.

Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* En B. K. Steven H. Kosmatka, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (pág. 459). Chicago: EB201.

Si el hombre no ha descubierto por que morir, no es digno de vivir. Martin Luther King