



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALDO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“SÍNTESIS, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS
PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, UTILIZANDO ECOCEMENTOS
Y DESECHOS INDUSTRIALES”**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C. JOSÉ MANUEL NÚÑEZ GONZÁLEZ

ASESOR:

Dr. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE DE 2010



AGRADECIMIENTOS

A LA U.M.S.N.H.

Por haberme dado la oportunidad invaluable para realizar mis estudios de Licenciatura, a pesar de venir de otro estado (Guerrero), y brindarme enormes facilidades para el ingreso a la misma.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL:

Por brindarme grandes enseñanzas en sus aulas relacionadas con la Ingeniería Civil, y ser una institución comprometida con el mejoramiento en la calidad de sus estudios, estando está acreditada por el CACEI.

A LA SECCIÓN DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

Durante mi estancia en la Licenciatura, fue un lugar donde pude conocer y observar materiales comunes en la construcción y aquellos que representan la vanguardia en el mundo de los materiales, además de realizar mi servicio social, así como la realización de la presente tesis, todo lo anterior en un ambiente de compañerismo entre todo el grupo perteneciente a esta sección y que me ha brindado grandes satisfacciones durante mi estadía.

A COECYT:

Por el apoyo económico brindado durante el “Programa de Estancias Estatales de Investigación para Estudiantes de Nivel Licenciatura”, el cual se realizó en la sección de investigación, bajo la asesoría de Dr. José Carlos Rubio Avalos.

A SIALATO, S.A. DE C.V.

Por las facilidades, en cuanto a los aditivos proporcionados y elaborados por la presente empresa los cuales fueron indispensables para el desarrollo de ésta tesis y en la cual se respetaron los derechos de propiedad intelectual y confidencialidad de la misma.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

BELINDA GONZÁLEZ OTERO

JOSÉ MANUEL NÚÑEZ PÉREZ

- ✓ QUE HAN SIDO UN ENORME APOYO Y SOPORTE A LO LARGO DE MI VIDA Y EN ESPECIAL EN MIS AÑOS DE ESTUDIANTE EN LA LICENCIATURA.

A MIS ABUELOS:

MABIL OTERO PINEDA (QEPD)

CARMEN PÉREZ CAMARENA

HIPOLITO GONZÁLEZ MANZANO

- ✓ QUE SU APOYO FUE INDISPENSABLE PARA QUE SE LOGRARAN MUCHAS METAS IMPORTANTES EN MI VIDA Y QUE EN CADA LOGRO HAN ESTADO PRESENTES.

A MI ASESOR:

Dr. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS

- ✓ UNA GRAN PERSONA DE LA CUAL HE RECIBIDO UN ENORME IMPULSO Y APOYO ESTUDIANTIL Y MORAL, EL CUAL ES UN GRAN EJEMPLO DE TRABAJO Y DEDICACIÓN.

A PERSONAS ESPECIALES DE GRAN APOYO Y AMIGOS:

ISABEL SÁNCHEZ HERNANDEZ

DE MANERA GENERAL A TODA MI FAMILIA DE LA CUAL SIMPRE HE TENIDO SU APOYO Y GRATOS MOMENTOS.

INDICE

“SÍNTESIS, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, UTILIZANDO ECOCEMENTOS Y DESECHOS INDUSTRIALES”

CAPITULO I._ INTRODUCCIÓN

CAPITULO II._ ESTADO DEL ARTE

II.1 Definiciones

II.1.1 Cemento portland

II.1.1.1 Tipos de cemento portland (Clasificación EUA)

II.1.2 Yeso

II.1.2.1 Variedades comerciales de yeso

II.1.3 Cal

II.1.3.1 Tipos de cal

II.1.4 Puzolanas

II.1.4.1 Principales tipos de puzolanas

II.2 Procesos de fabricación

II.2.1 Proceso de fabricación del cemento portland

II.2.1 Proceso de fabricación del yeso

II.2.3 Proceso de fabricación de la cal

II.2.4 Proceso de fabricación de puzolanas (desechos industriales)

II.3 Estado actual de la producción de materiales

II.3.1 Estado actual de la producción de cemento en México

II.3.2 Estado actual de la producción de yeso en México

II.3.3 Estado actual de la producción de cal en México

II.3.4 Evaluación de la producción de los materiales empleados

II.4 Ecocementos o cementos ecológicos

II.4.1 Cemento ecológico de ceniza de combustión de carbón

II.4.2 Ecocemento que absorbe CO₂ (NOVACEM®)

II.4.3 Ecocemento Geopolimérico

II.5 Materiales prefabricados

II.5.1 Productos de prefabricación de concreto vibrocompactado

II.5.2 Proceso de prefabricación de concreto celular

II.5.3 Productos de prefabricación de concreto celular

II.6 Concreto celular (concreto ligero)

II.6.1 Concreto aireado

II.7 Polvo de neumático

CAPITULO III._ DISEÑO EXPERIMENTAL

CAPITULO IV._ SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ECOCEMENTOS

IV.1 Ecocementos etapa I

IV.1.1 Registro de resultados etapa I

IV.1.2 Concentrado de evolución de resistencia en composiciones

IV.1.3 Concentrado de resistencias a 28 días

IV.2 Ecocementos etapa II

IV.2.1 Registro de resultados etapa II

IV.2.2 Concentrado de evolución de resistencia en composiciones

IV.2.3 Concentrado de resistencias a 28 días

IV.2.4 Concentrado de pesos volumétricos (kg/m³) y absorciones (%)

CAPITULO V._ SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ECOCEMENTOS CELULARES

V.1 Concentrado de resistencias a 28 días

V.2 Concentrado de pesos volumétricos (kg/m^3) y absorciones (%)

V.3 Concentrado de resistencias a 28 días de muestras recubiertas de polímero

CAPITULO VI._ DESARROLLO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS ESTÁNDAR Y CELULAR

VI.1 Ecoblock

VI.2 Minipanel celular

VI.3 Pasta ecocell

CAPITULO VII._ ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII.1 Evaluación de ecocementos con polvo de neumático

VII.1.1 Evaluación en resistencia a la compresión

VII.1.2 Evaluación del peso volumétrico (kg/m^3) y absorción (%)

VII.2 Evaluación de ecocementos con DEICV

VII.2.1 Evaluación en resistencia a la compresión

VII.2.2 Evaluación del peso volumétrico (kg/m^3) y absorción (%)

VII.3 Evaluación de muestras con agua y aditivo Al_{12}

VII.3.1 Evaluación en resistencia a la compresión

VII.3.2 Evaluación del peso volumétrico (kg/m^3) y absorción (%)

VII.4 Evaluación de muestras celulares y celulares recubiertas de polímero

VII.4.1 Evaluación en resistencia a la compresión

VII.5 Analisis de la microestructura del material mediante el microscopio electrónico de barrido (MEB)

CAPITULO VIII._ ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICO

VIII.1 Análisis del Ecoblock

VIII.2 Análisis del Minipanel celular

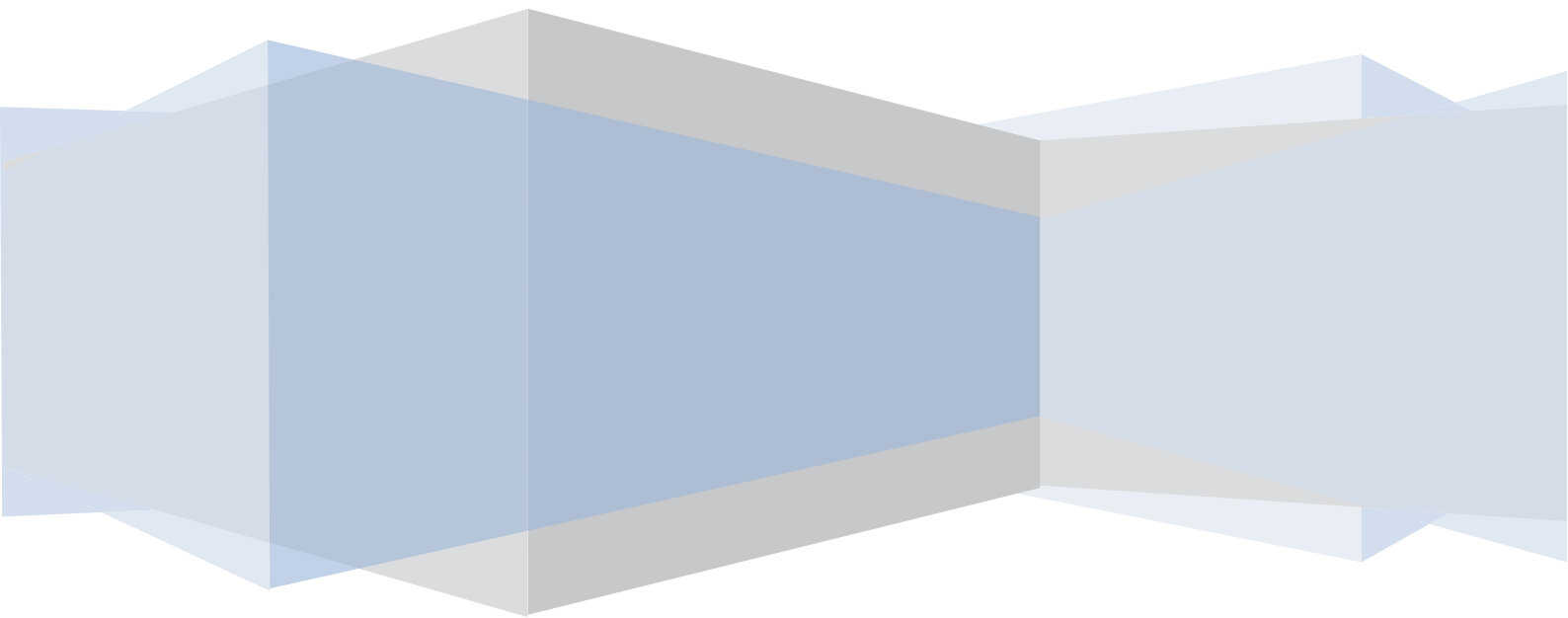
VIII.3 Análisis de la Pasta ecocell

CAPITULO IX._ CONCLUSIONES

CAPITULO X._ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN



Ante las actuales necesidades de la humanidad de generar alternativas que sirvan para disminuir las emisiones de gases contaminantes, producidas por distintos factores, desde el cocinar y agua caliente, hasta los gases de los coches y los generados por las industrias en sus distintas actividades, estos gases causan severos daños a la atmosfera y cambios climáticos.

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global: **dióxido de carbono (CO_2)**, gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

En lo referente a las emisiones causadas por la industria, se encuentra en este ámbito, aquella que sirve para generar materias primas o productos que sirvan de forma directa e indirecta en la construcción, siendo algunos de ellos el muy usado cemento portland, cal, yeso, etc. Las 20.000.000 millones de toneladas de cemento usadas anualmente en todo el mundo suponen el 5% de las emisiones mundiales de CO_2 , más que todo el CO_2 producido por toda la industria aeronáutica. Y a largo plazo parece existir la tendencia a aumentar.



http://1.bp.blogspot.com/_sdd1CLPt9QI/Rx9u8std96I/AAAAAAAAAC8/dhkCoyFX7g0/s320/1517_385+Concrete.jpg

El procesamiento del cemento portland a temperaturas superiores a 1400 °C, produce 0,8 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cemento en el mejor de los casos, pudiendo llegar y de forma más común a 1 tonelada o en algunos casos a 1.2 toneladas. Cuando se mezcla con agua para utilizarlo en construcción, cada tonelada de cemento puede absorber hasta 0,4 toneladas de CO₂, pero aún así queda una huella de 0.4-0.8 toneladas por tonelada de cemento.

Durante el proceso de fabricación de la cal se necesitan temperaturas de 1000-1100 °C, las cuales son poco menos elevadas que las del cemento portland.

TABLA 2-1		
RESUMEN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL		
Proceso	Componente	Factor de emisión
Horno de cal - alimentado con calcita	CO ₂	0,79 toneladas de CO ₂ /tonelada de cal viva producida
Horno de cal - alimentado con dolomita	CO ₂	0,91 toneladas de CO ₂ /tonelada de cal dolomítica producida

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdffiles/spnch2-1.pdf>

De acuerdo a la tabla anterior y tomando en cuenta que de manera más común se produce la cal con piedra caliza, se tienen emisiones de alrededor de 0.79 toneladas de CO₂/tonelada de cal viva producida, sin embargo durante la hidratación de la cal apagada, usada como mortero, se tiene una enorme absorción de CO₂, llegando a ser muy semejante a la requerida para producir la cal viva, provocando una huella de CO₂, casi nula.

Por otra parte durante la fabricación del yeso, se tienen temperaturas relativamente bajas, comparadas con los materiales anteriores, estando estas entre 100-400 °C, y durante la cocción del yeso, pasan a la atmósfera vapor de agua y pequeñas cantidades de gas de combustión, en flujos de masa generalmente muy pequeña y por tal motivo provocando una contaminación ambiental escasa.

Y por otra parte tenemos los desechos industriales, que suelen servir como puzolanas en el cemento, y en lo cual resulta bastante provechoso, debido a que se les da un uso importante en la construcción.

Actualmente la ingeniería civil tiende a tener sustentabilidad en sus obras y actividades relacionadas, para no generar un daño ecológico de gran importancia en las obras realizadas, en Hidráulica se tiene al tratamiento de aguas residuales, en Ingeniería Sanitaria a los rellenos sanitarios, en Carreteras y obras de infraestructura, los estudios de impacto ambiental, es por tal motivo que el área de

Materiales, está obligado a generar materiales ecológicos aplicables en la construcción, lo cual actualmente ya se realiza, sin embargo, se tiene aun poca aplicación y estudio de los mismos.

Muchas empresas productoras de cemento, contribuyen al desarrollo sustentable, de distintas maneras, las cuales podrían ser definidas en de manera directa e indirecta:

Directa:

- Brindándole al cemento, un cambio de materiales cementosos de manera complementaria (puzolanas).
- Desarrollando nuevos materiales cementoso, que durante su proceso de fabricación no generen grandes emisiones de CO₂.

Indirecta:

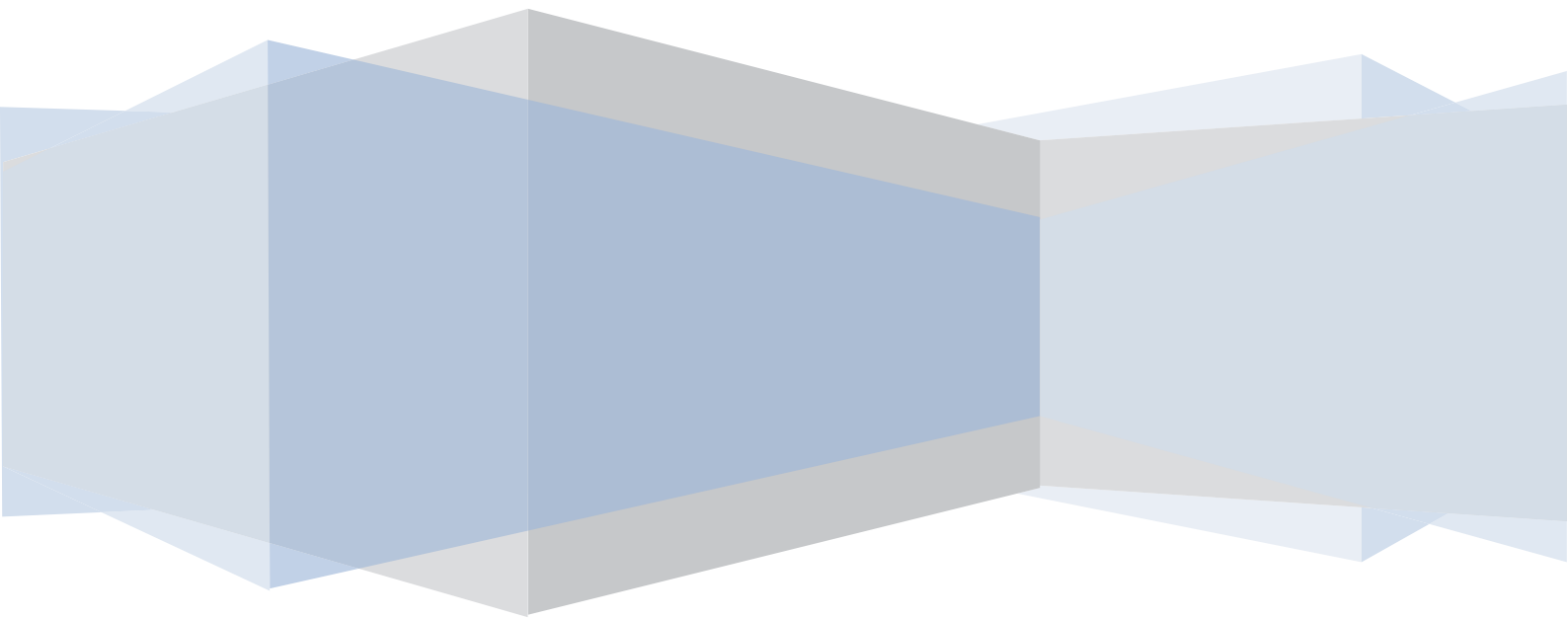
- Sustituyendo el uso del cemento, por el de otro material cementoso común.
- Desarrollando una mejor eficiencia de sus procesos de producción del cemento y con esto bajar las emisiones durante la producción.
- Utilizar residuos como materias primas de combustibles en sus hornos (biomasa, llantas, cascaras).
- Fomentando la siembra de árboles y reforestación en zonas taladas.



http://www.cemexmexico.com/images/rs/img_LandingRespSocial.jpg

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE



II.1 DEFINICIONES

II.1.1 CEMENTO PORTLAND

Se denomina así a la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante.

Los componentes principales del cemento portland son cuatro y se presentan en la siguiente tabla, junto a su composición oxida típica:

Composición óxida típica	porcentaje %	Composición por compuestos	porcentaje %
CaO	63	C ₃ A	10.8
SiO ₂	20	C ₃ S	54.1
Al ₂ O ₃	6	C ₂ S	16.6
Fe ₂ O ₃	3	C ₄ AF	9.1
MgO	1.5	Componentes menores	9.4
SO ₃	2		
K ₂ O	1	Total	100
Na ₂ O			
Otros	1		
Pérdidas en encendido	2		
Residuos Insolubles	0.5		
Total	100		

Tecnología del concreto, A.M. Neville y J.J. Brooks, Edit. Trillas

Los silicatos son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de cemento. El C₃A contribuye poco o nada a la resistencia del mismo, excepto en las primeras etapas; y cuando la pasta endurecida es atacada por sulfatos, la formación de sulfoaluminato de tricalcio (estringita) puede causar resquebrajamientos. El C₄AF no influye significativamente en la resistencia, sin embargo reacciona con el yeso para formar sulfoferrita de calcio y su presencia puede acelerar la hidratación de los silicatos.

El cemento Portland blanco es fabricado con materias primas que contienen cantidades insignificantes de óxido de hierro y de manganeso, junto con el yeso o cal libre de impurezas, que son las sustancias que dan el color al cemento blanco. Mientras se muelen las escorias, se requieren precauciones especiales para evitar que se contamine.

II.1.1.1 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND (CLASIFICACIÓN EUA)

Cemento Portland Común (Tipo I): Es el cemento más empleado en construcciones, con concreto donde no hay exposición a sulfatos presentes en suelo o en agua del subsuelo. Es un excelente cemento de aplicación general y el que más ampliamente se usa.

Cemento Modificado (Tipo II): Cuenta con un índice mayor de calor desarrollado que la del tipo IV y un índice de aumento de desarrollo de resistencia similar a la del tipo I. Este cemento se recomienda para estructuras en las que es deseable una baja generación de calor o en las que puede darse un ataque moderado de sulfato.

Cemento Portland de Endurecimiento Rápido (Tipo III): Similar al tipo I, desarrolla su resistencia rápidamente, debido a su mayor contenido de C_3S (hasta 70%) y a su mayor finura ($325 \text{ m}^2/\text{kg}$ mínimo). La finura es su mayor diferencia con el tipo I, habiendo poca diferencia en la composición química.

Se usa principalmente en casos en que la cimbra se vaya a mover pronto a fin de reutilizarla o se requiera una resistencia suficiente en un corto plazo. No debe emplearse en construcciones masivas de concreto, ni en grandes secciones estructurales, debido a su alto índice de desarrollo de calor.

Cemento Portland de Bajo Calor (Tipo IV): Desarrollado en EUA para usarse en grandes e importantes represas de gravedad, tiene un bajo calor de hidratación. La ASTM C 150-84 limita el calor de hidratación a 250 J/g (60 cal/g) en un periodo de 7 días y de 290 J/g (70 cal/g) a los 28 días.

Debido al contenido más bajo de C_3S y C_3A , hay un desarrollo de resistencia más lento que el tipo I, aunque la resistencia final no es afectada. La finura no debe ser menor de $320 \text{ m}^2/\text{kg}$ para asegurar un índice suficiente de aumento de resistencia.

Cemento Resistente al Sulfato (Tipo V): Contiene un bajo contenido de C_3A para evitar el ataque de sulfato desde el exterior del concreto; de otra manera, la formación de sulfoaluminato de calcio y el yeso pueden ocasionar rotura del concreto debido al incremento de volumen de los componentes resultantes.

El sulfato ataca con mayor rapidez si la estructura se moja y se seca en forma alternativa, para obtener la resistencia al sulfato, el contenido de C_3A en este cemento deberá estar limitado a 3.5 %, con una finura mínima de $250 \text{ m}^2/\text{kg}$; el calor desarrollado por este cemento no es mucho mayor que el de bajo calor.

II.1.2 YESO

El yeso es un sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), se presenta en cristales tabulares exfoliables en láminas, generalmente incoloros. Tiene una dureza de 2 en escala de Mohs y una gravedad específica de 2.32. Su color generalmente varía de blanco a blanco grisáceo, rosa o amarillo como consecuencia de impurezas; es suave y plástico; a altas temperaturas de calcinación pierde toda el agua.

Es un mineral con resistencia al fuego, no es abrasivo, tiene baja temperatura de calcinación; funciona como agente oxidante, de acabado en construcción y como removedor de espuma. Mejora la estructura o condiciones físicas del suelo. Es comercializado sobre la base de su necesidad de agua, resistencia, color blanco, tiempo de fraguado y las cualidades estrechamente controladas de expansión y contracción.



<http://es.wikipedia.org/wiki/Aljez>

II.1.2.1 VARIEDADES COMERCIALES DE YESO

I._ Yeso sin calcinar: Es un mineral constituido principalmente por sulfato de calcio dihidratado, tal como se encuentra en los yacimientos. La anhidrita es un sulfato de calcio sin agua.

Actividades consumidoras:

- Cemento
- Agroquímicos
- Pinturas
- Obras mineras
- Tratamiento del agua

II._ Yeso calcinado: Es el sulfato de calcio, hemihidratado, obtenido del yeso natural a través de deshidratación parcial por calentamiento.

Actividades consumidoras:

- Construcción (Productos prefabricados)
- Cerámica
- Fundición
- Medicina (Ortopedia)
- Dental
- Agricultura

En el caso del yeso que se usa en productos prefabricados, se requiere una pureza superior al 85%, entre mayor sea ésta, es mejor su calidad.

III._ Yeso reciclado: Se elabora a partir del reciclaje de páneles de yeso, como subproducto de procesos de desulfurización en plantas carboeléctricas y de calizas, así como en la neutralización de ácidos.

II.1.3 CAL

La Cal es un producto químico básico que resulta de la calcinación de piedra caliza (CO_3Ca , Carbonato de Calcio), proceso del que se obtiene la Cal viva (CaO , Óxido de calcio), la cual después de apagarse con agua (H_2O) se convierte en cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, hidróxido de calcio) y ésta se puede utilizar en innumerables aplicaciones de diversas áreas: industria, construcción, agricultura, rellenos sanitarios, tratamiento de aguas y lodos, alimentación, y muchas otras.

El carbonato de calcio (CO_3Ca) abunda en la naturaleza, presentándose asociada a distintos componentes, por lo tanto con varios grados de pureza:

- Calcita y aragonita son variedades muy puras, incoloras y de brillo vítreo. Sus cristales, a veces observables a simple vista, tienen formas poliédricas.

- En los mármoles, los cristales de calcita son de tamaño submicroscópico. De atractivas coloraciones, adquieren intenso brillo cuando son pulidos.

- Las piedras calizas son semejantes a los mármoles pero el contenido de carbonato de calcio es menor. En la dolomita, el carbonato de calcio (CO_3Ca) es acompañado por otro carbonato, el carbonato de magnesio (CO_3Mg). En las calizas arcillosas hay hasta un 40% de arcillas, que confieren un aspecto terroso. Otras impurezas son la arena y los óxidos de hierro.

- El carbonato de calcio, asociado con fosfatos de calcio, integra huesos y dientes de mamíferos.



<http://calidra.com/>

II.1.3.1 TIPOS DE CAL

Cal viva: Es el resultado de la calcinación del carbonato de calcio (CO_3Ca) a más de 1.000°C , ya que éste se descompone dando dióxido de carbono y óxido de calcio o Cal viva.

Cal Hidratada: Nombre comercial del hidróxido de calcio y se forma al agregarse agua al óxido de calcio o Cal viva para que una vez apagada (hidratada) pueda ser utilizada. Esta es la más común para la construcción en mamposterías, morteros, acabados y aplanados, impermeabilización y pinturas de bajo costo.

La Cal hidratada es trabajada en condiciones cuidadosamente controladas. Cuando el óxido de calcio recibe la cantidad estrictamente necesaria de agua, el hidróxido de calcio es obtenido como polvo seco, que se separa para obtener la finura.

Tiene muchos usos industriales como:

- Depilación de pieles en las curtidurías
- Potabilización de agua
- Depuración de melazas azucaradas
- Fabricación de otros compuestos de calcio

Desde el punto de vista de su pureza, es decir, del contenido de óxido de calcio (CaO), las cales empleadas en la construcción pueden ser clasificadas del modo siguiente:

Cales aéreas: denominadas así porque endurecen al aire mediante su reacción con el anhídrido carbónico del mismo u otra fuente de CO₂, se clasifican a su vez en:

Cal Dolomítica:

Es el resultado de la calcinación de rocas dolomíticas, de donde surge el óxido de calcio y de magnesio, que también es un óxido básico, pero no es recomendable para construcción porque se apaga muy lentamente con agua. Para la producción de cales dolomíticas de calidad se utilizan dolomías con riqueza en carbonatos cálcico y magnésico superior al 95% y cuyo contenido en óxido de magnesio sea superior al 5%.

Cal Cálcica o Grasa

Es una Cal muy pura o con muy escaso contenido de arcillas y es altamente eficiente en la preparación de las mezclas aéreas, llamadas así debido a que la acción cementante se logra por carbonatación de la Cal mediante el CO₂ (dióxido de carbono) atmosférico de acuerdo con la siguiente ecuación:



Reacción que no es más que el proceso inverso de la reacción de descomposición presentada más arriba (calcinación); lo cual nos dice que las cales se endurecen por acción del dióxido de carbono atmosférico que da lugar a la formación de carbonato de calcio, es decir, que restituye la roca caliza a partir de la cual se obtiene la Cal.

Cales hidráulicas: Son llamadas así porque fraguan y endurecen con el agua. Contienen entre un 10% y 20% de arcillas y en ellas el efecto cementante se logra tanto por medio de la carbonatación de la Cal, como por el proceso de hidratación de los silicatos y aluminatos formados por reacción a bajas temperaturas entre la caliza y la arcilla presente, de modo similar a como ocurre con los componentes minerales del cemento portland.

Las mezclas preparadas con ellas ofrecen las siguientes ventajas con respecto a las cales comunes:

- Apagar sin desprendimiento de calor.
- Se emplean inmediatamente después del apagado.
- Entre 3 y 5 días, a partir del apagado, adquieren la misma resistencia que la Cal viva a los 30 días.
- No son afectadas por la humedad, justificándose su uso en cimientos y piletas.

La producción de cales hidráulicas ha disminuido porque el albañil prefiere mezclar Cal hidratada y cemento portland en proporciones adecuadas.



II.1.4 PUZOLANAS

Material silicoso o, silicoso y aluminoso que en sí mismo no posee valor cementante, pero que lo tendrá en forma dividida y fina en presencia de humedad. Reacciona a temperaturas normales y tiene reacciones químicas con la cal, por lo cual se forman compuestos con propiedades aglutinantes.

Las puzolanas se caracterizan por una distribución granulométrica fina y altos contenidos en aluminio y silicio en fases reactivas. Estas están constituidas principalmente por un conjunto de micro esferas que pueden ser sólidas o huecas, **cenoesferas**, y pueden contener otras partículas esféricas menores en su interior, **pleuroesferas**. Conjuntamente a las partículas esféricas se identifican partículas esponjiformes de inquemados y partículas de morfología irregular compuestas por vidrio, cuarzo, calcita, anhidrita.



<http://imagenes.acambiode.com/empresas/3/3/6/9/33696100081056575354515365534569/productos/Cinta2.jpg>.

Las puzolanas reaccionan con la cal libre y dan origen a un incremento de la red cristalina de los silicatos, además de que las partículas que no reaccionan pasan a sellar los poros existentes debido a su pequeño tamaño. La consecuencia de todo este proceso es la concepción de un concreto mas impermeable, bajo contenido de poros por sello y por mayor red cristalina. Un concreto poco poroso, de alta resistencia mecánica y de fácil colocación, disminuyendo de esa forma el impacto de la colocación y la compactación en el proceso de ejecución del elemento.

II.1.4.1 PRINCIPALES TIPOS DE PUZOLANAS

Puzolanas naturales

- Rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, la piedra pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.
- Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

Puzolanas artificiales

- Cenizas volantes: las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.
- Escorias de fundición: principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

II.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN

II.2.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

El proceso de manufactura consiste especialmente en moler las materias primas (piedra caliza, yeso, arcilla o esquisto), hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas en aireadores y quemarlas en un gran horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1400 °C.

El mesclado y molido de las materias primas puede hacerse con agua o en seco, de ahí que provenga el nombre de proceso seco y húmedo. La mezcla se coloca en un horno rotatorio, que puede ser (en el proceso húmedo) hasta de 7 m de diámetro y 230 m de fondo. El horno ligeramente inclinado, recibe la mezcla por el extremo superior, mientras se introduce carbón pulverizado (u otra fuente de calor) mediante una inyección de aire, por el extremo inferior del horno, el carbón necesario para elaborar una tonelada de cemento es de 100-350 kg, lo cual depende del proceso empleado.

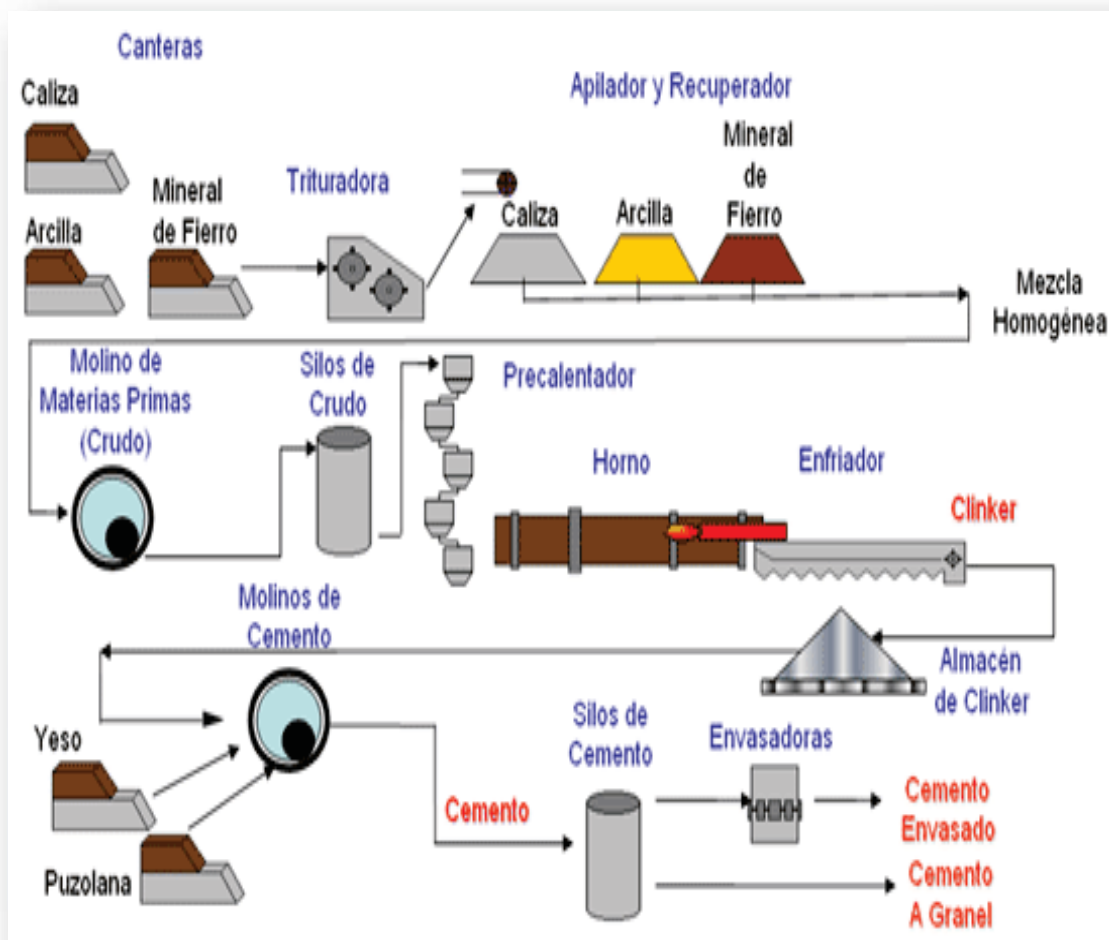
Mientras la mezcla de materiales se mueve dentro del horno, esta encontrara temperaturas progresivamente más altas, por lo que se dan varios cambios químicos. En primer lugar se eliminan toda el agua y se libera CO₂ del carbonato de calcio. Después, el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que, finalmente, en la parte más caliente del horno, entre el 20 y 30 % del material se licua y se combina cal, sílice y alúmina. La masa se funde en bolas de 3-25 mm de diámetro, conocidas como escorias (clinker).



http://es.wikipedia.org/wiki/Clinker_portland

Posteriormente; las escorias se depositan en enfriadores, que proveen el medio para un intercambio de calor con el aire que más adelante se usara para la combustión del carbón pulverizado. Las escorias frías que son muy duras se muelen con yeso para evitar que el cemento se encienda. El material molido (el cemento) tiene hasta 1.1×10^{12} partículas por Kg.

Esquema que ilustra el proceso de fabricación del cemento



http://www.canacem.org.mx/procesos_de_produccion.html

El proceso descrito anteriormente puede ser en seco o en húmedo, consumiendo mayores combustibles en los procesos húmedos.

II.2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL YESO

Etapas en el proceso de fabricación del yeso:

Extracción: Se desmonta el área a trabajar y por medio de bulldozers se lleva a cabo el descapote. Para disposición del material de desecho son utilizados cargadores frontales y camiones fuera de carretera; posteriormente, se barrena, se realiza la carga de explosivos y se vuela; la roca fragmentada es cargada en camiones fuera de carretera para alimentar la trituradora primaria localizada en la entrada de la mina.

Trituración: Se reduce el tamaño del yeso, se utilizan cribas vibratorias en el circuito para maximizar la eficiencia de la trituración y reducir la producción de ultrafinos. La roca es movida con una banda transportadora a la pila de almacenaje y la porción de desechos es separada.

Secado: Se realiza para remover la humedad y preparación de la roca con el fin de asegurar el libre flujo de material, se utilizan secadores rotatorios.

Calcinación: Paso para reducir el sulfato de calcio dihidratado a formas hemihidratadas o anhidras. Se realiza a través de una caldera en la que el calor es introducido por la parte inferior fluyendo hacia arriba. En la calcinación se pierde agua entre 43 y 49°C. La tasa de ignición es controlada a una temperatura de los contenidos de la caldera alrededor de 104°C, después de que esta etapa concluye, la tasa se incrementa produciendo diferentes propiedades en el estuco final.

Para la producción de estuco resistente y con características deseables para plafones, la caldera es operada en forma continua en la que el yeso pulverizado de una finura de aproximadamente 90% (malla 100), es introducido a la caldera por un alimentador suministrado por una tolva. Las calderas continuas descargan estuco acabado a una tolva. El estuco es descargado a una temperatura de entre 138 y 154°C. Existen sistemas de aire comprimido para fluidizar el derrame estable y la descarga.

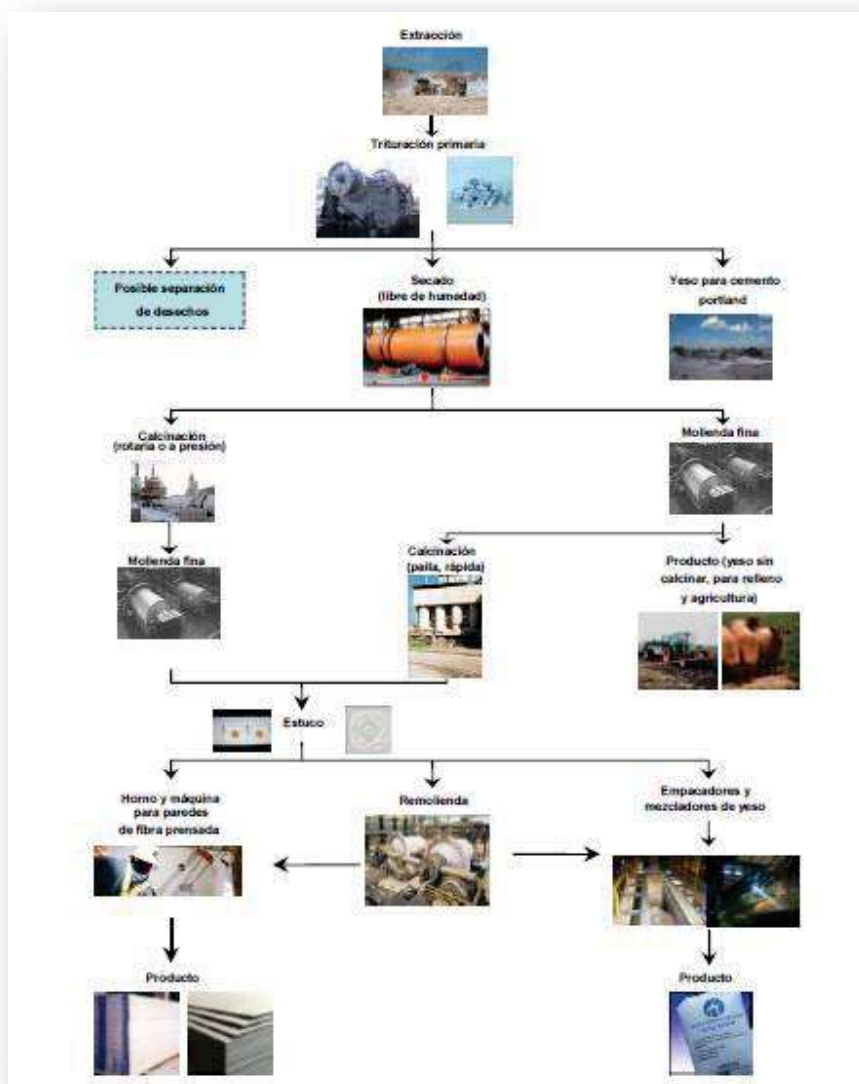
Molienda: Este proceso se hace para tener un mejor control del tamaño de la partícula. Generalmente es a través de molinos de rodillo “air swept” ajustados con separadores de aire integrales para un mejor control del tamaño de partícula, sin embargo, los molinos de impacto de alta energía también han sido usados agregando clasificadores de aire.

Manufactura: Darle algún procesamiento adicional al estuco, como molienda, aditivos mezclados o rehidratación y vaciado en bloques o plafones. El tiempo de fraguado puede ser retardado o acelerado a límites de tiempo muy exacto

mezclando con el estuco algunos materiales como goma y almidón (retardadores) y sales metálicas, pasta de yeso fraguada y anhidrita (aceleradores).

El estuco es llevado a los hornos y máquinas para plafones o bien a empacadores y mezcladores de yeso. A menudo es re-molido con molinos de rodillo en circuito cerrado con separadores de aire, después de la calcinación para impartirle calidades especiales y cuando es usado como agregado.

Esquema que ilustra el proceso de Fabricación del Yeso



<http://www.economia-dgm.gob.mx/dgpm/perfiles/Yeso.pdf>

II.2.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CAL

El proceso para la obtención de la cal se describe brevemente a continuación:

Extracción: El primer paso es la extracción, se barrena aplicando un plan de minado diseñado, lo anterior mediante una carga de explosivos, procediéndose a realizar una voladura primaria, carga y acarreo del material a la planta de trituración.

Trituración: El proceso de trituración arroja como producto trozos de tamaño pequeño (4 in, máximo), que serán calcinados en hornos verticales. A su vez se puede hacer una trituración secundaria cuando sean requeridos fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcar.

Calcinación: Durante el siguiente proceso la cal es producida por calcinación de la caliza y/o dolomía triturada por exposición directa al fuego en hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva).

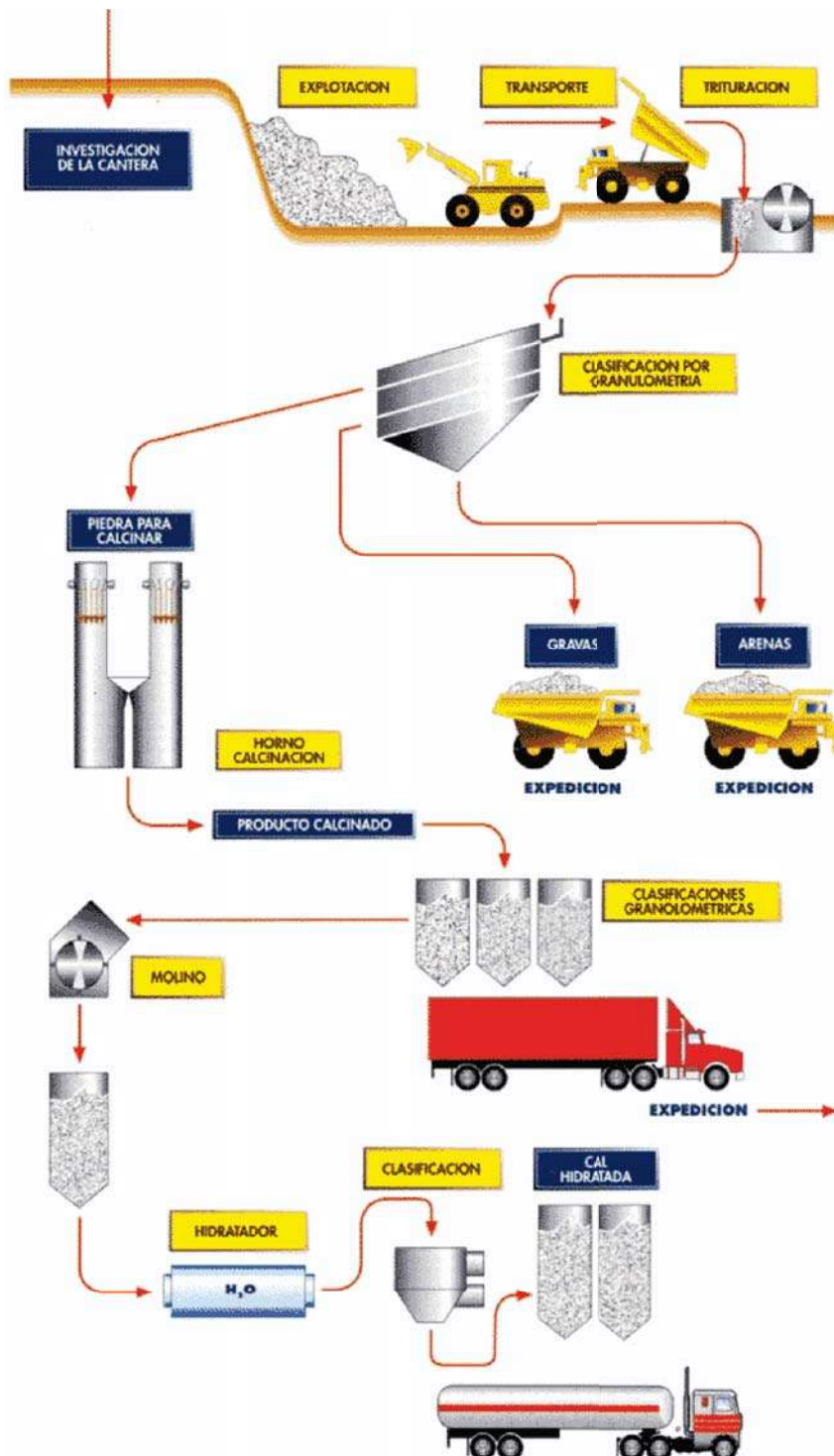
Enfriamiento: Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresen al horno como aire secundario. Se inspecciona cuidadosamente las muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcar.

Cribado: Los fragmentos se someterán aun cribado con el fin de separar la cal viva en trozo y en guijarros (piedra pequeña, redonda y lisa) de la porción que pasara por un proceso de trituración y pulverización.

Trituración y pulverización: Se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

Hidratación: Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

Envase y embarque: La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

Diagrama del Proceso de Fabricación de la Cal

<http://www.anfacal.org/proceso.htm>

II.2.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PUZOLANAS (DESECHOS INDUSTRIALES)

Debido a que las puzolanas utilizadas en el presente trabajo, son artificiales, se hablara de aquellas puzolanas que se obtienen de desperdicios industriales. La puzolana artificial más común es la ceniza de combustible pulverizada, que se obtiene por medios electrostáticos o mecánicos, a partir de gases de calderas de los hornos de estaciones que emplean carbón como fuente de energía.

Por mencionar una industria que utilice carbón para realizar sus procesos, están las plantas térmicas. El combustible se almacena en parques o depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la planta, pasando a la caldera, en la que se provoca la combustión. Esta, se emplea para calentar el agua, que se encuentra en la caldera, y producir el vapor.

Este con una alta presión, hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira solidariamente con el de un generador que produce la energía eléctrica; esta energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, comenzando de nuevo el ciclo.

El agua en circulación que refrigera el condensador expulsa el calor extraído a la atmósfera a través de las torres de refrigeración, grandes estructuras que identifican estas plantas; parte del calor extraído pasa a un río próximo, lago o al mar. Las torres de refrigeración son enormes cilindros contraídos a media altura (hiperboloides), que emiten constantemente, vapor de agua (que se forma durante el ciclo) no contaminante, a la atmósfera. Para minimizar los efectos contaminantes de la combustión sobre el entorno, la planta dispone de una chimenea de gran altura (llegan a los 300 m) y de unos precipitadores que retienen las cenizas y otros volátiles de la combustión. Las cenizas se recuperan para su aprovechamiento en procesos de metalurgia y en el campo de la construcción, donde se mezclan con el cemento.

El funcionamiento de una planta termoeléctrica de carbón, como la representada en la figura, es la siguiente: el combustible está almacenado en los parques adyacentes de la planta, desde donde, mediante **cintas transportadoras** (1), es conducido al **molino** (3) para ser triturado. Una vez pulverizado, se inyecta, mezclado con aire caliente a presión, en la **caldera** (4) para su combustión.

Dentro de la caldera se produce el vapor que acciona los álabes de los cuerpos de las **turbinas de alta presión** (12), **media presión** (13) y **baja presión** (14), haciendo girar el rotor de la turbina que se mueve solidariamente con el rotor del **generador** (19), donde se produce energía eléctrica, la cual es transportada mediante **líneas de transporta a alta tensión** (20) a los centros de consumo.

Después de accionar las turbinas, el vapor pasa a la fase líquida en el **condensador** (15).

El agua obtenida por la condensación del vapor se somete a diversas etapas de **calentamiento** (16) y se inyecta de nuevo en la caldera en las condiciones de presión y temperatura más adecuadas para obtener el máximo rendimiento del ciclo.

Esquema del funcionamiento de una planta que utiliza carbón en sus procesos de operación



<http://cuauhtemoc.org.mx/data/files/UNAM/Termodinamica/Termoelectrica.pdf>

El sistema de agua de circulación que refrigera el condensador puede operarse en circuito cerrado, trasladando el calor extraído del condensador a la atmósfera mediante **torres de refrigeración** (17), o descargando dicho calor directamente al mar o al río.

Para minimizar los efectos de la combustión de carbón sobre el medio ambiente, la planta posee una **chimenea** (11) de gran altura -las hay de más de 300 metros-, que dispersa los contaminantes en las capas altas de la atmósfera, y **precipitadores** (10) que retienen buena parte de los mismos en el interior de la propia planta.

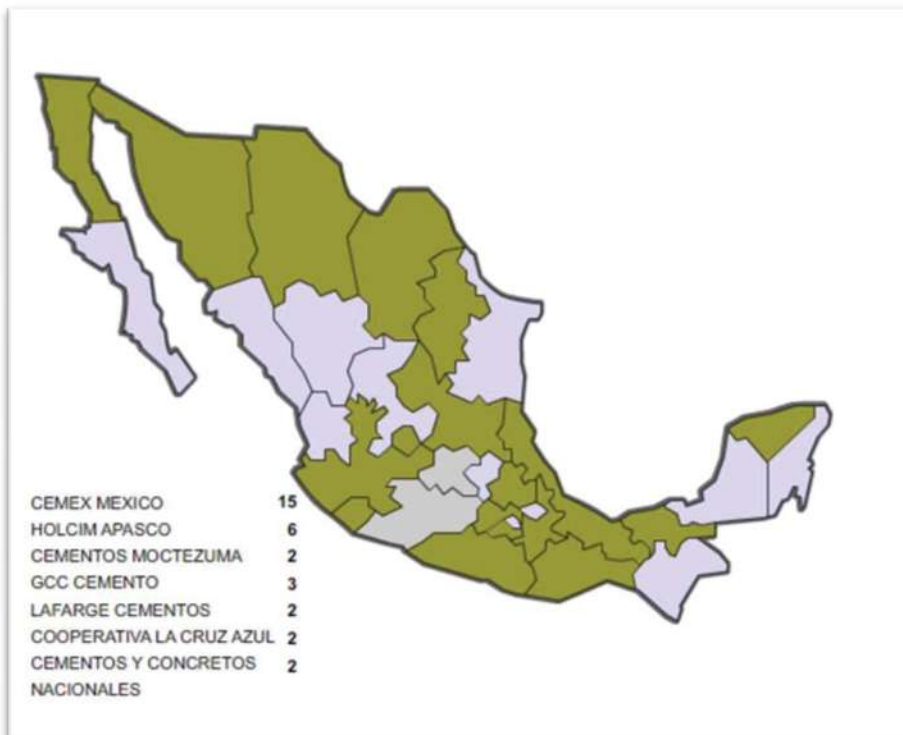
II.3 ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES

II.3.1 ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN MÉXICO

En nuestro país existe una asociación líder en el ramo de la producción de cemento, la cual es la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). Esta asociación agrupa a los principales productores del material antes mencionado.

A su vez en nuestro país existen 7 principales empresas productoras de cemento, afiliadas a la CANACEM, las cuales se mencionan a continuación:

I.	Cemex México®	15
II.	Holcim Apasco®	6
III.	Lafarge Cementos®	2
IV.	Cementos Moctezuma®	2
V.	GCC Cemento®	3
VI.	Cementos Cruz Azul®	2
VII.	Cementos y Concretos Nacionales®	2

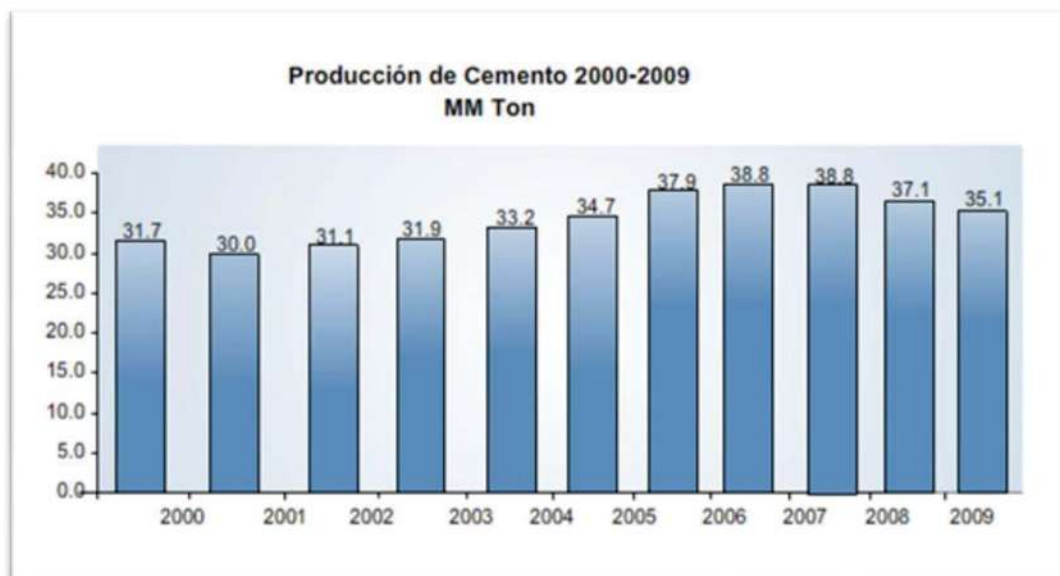


http://www.canacem.org.mx/la_industria_plantas.htm

Tabla general de relación de plantas en la republica Mexicana

Empresa	Plantas (ubicación)	Empresa	Plantas (ubicación)
Cemex		Holcim	
1	Ensenada, BCN.	18	Ramos Arizpe, Coahuila
2	Hermosillo, Sonora	19	Tecoman, Colima
3	Yaqui, Sonora	20	Orizaba, Veracruz
4	Torreón, Coahuila	21	Apaxco, Edo. De México
5	Monterrey, N. León	22	Acapulco, Guerrero
6	Hidalgo, N. León	23	Macuspana, Veracruz
7	Valles, S.L.P.	C. Moctezuma	
8	Tamuin, S.L.P.	24	Cerritos, S.L.P.
9	Zapotiltic, Jalisco	25	Tepetzingo, Edo. De México.
10	Guadalajara, Jalisco	GCC Cemento	
11	Atotonilco, Hidalgo	26	Chihuahua, Chihuahua
12	Huichapan, Hidalgo	27	Cd. Juárez, Chihuahua
13	Barrientos, Edo. De México	28	Samalayuca, Chihuahua
14	Tepeaca, Puebla	Lafarge	
15	Mérida, Yucatán	29	Tula, Hidalgo
C. Cruz Azul		30	Vito, Hidalgo
16	Hidalgo, Hidalgo.	CYCNA	
17	Lagunas, Oaxaca.	31	Aguascalientes, Aguascalientes
		32	Palmar de bravo, Puebla

En las siguientes graficas de barras, se muestra la producción Nacional de Cemento, a partir del año 2000, lo anterior en millones de toneladas, en las cuales se puede observar que nuestro país es autosuficiente en la producción de cemento, el cual es utilizado en las distintas actividades relacionadas con la construcción.



http://www.canacem.org.mx/la_industria_del_cemento.htm

Tabla general de consumo y producción de cemento en México

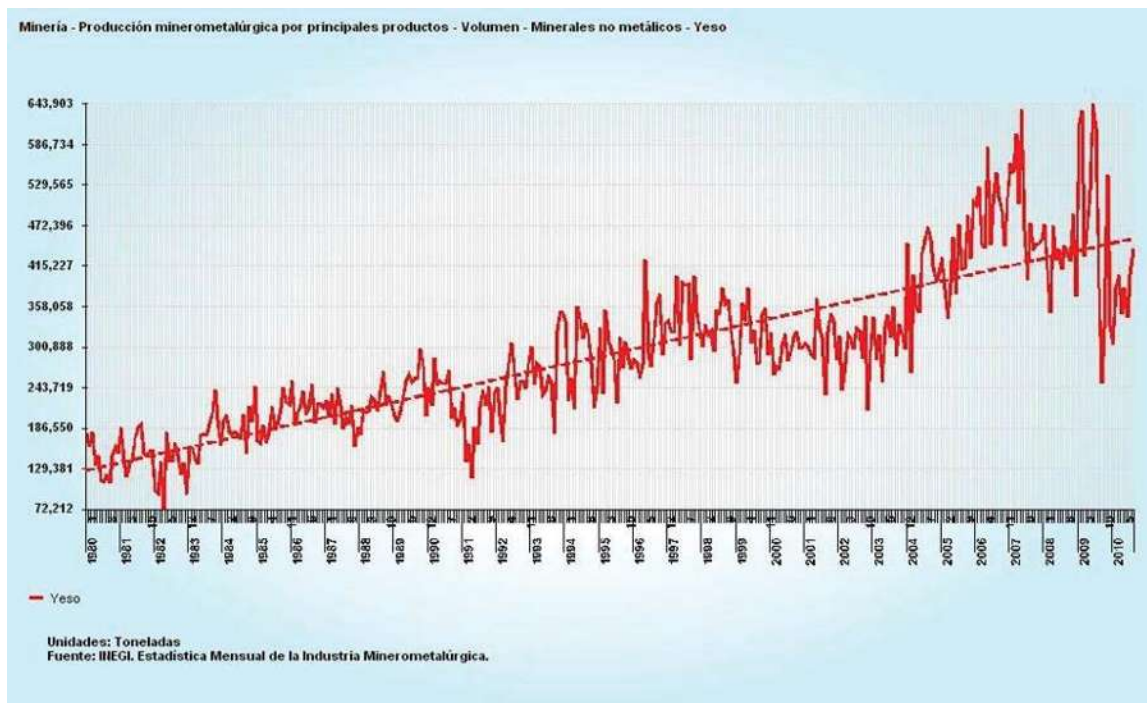
Año	Producción (Millones Tons.)	Consumo Nacional (Millones Tons.)	Habitantes	Kgs/Habitante
2000	31.7	29.4	99,929,495	294
2001	30	27.7	101,208,925	273
2002	31.1	28.8	102,443,471	281
2003	31.9	29.6	103,636,353	285
2004	33.2	30.9	104,790,554	295
2005	34.7	32.7	103,946,866	314
2006	37.9	35.9	104,874,282	342
2007	38.8	36.8	105,790,725	347
2008	37.1	35.1	106,682,512	329
2009	35.1	34.6	107,550,697	321

II.3.2 ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE YESO EN MÉXICO

Tabla General de Toneladas de yeso producidas en nuestro país anualmente:

Año	Producción (Toneladas)	Año	Producción (Toneladas)
1980	142410.3333	1995	289820
1981	156909.4167	1996	313243.5833
1982	127547	1997	351358.3333
1983	177287.75	1998	332775.4167
1984	191701.0833	1999	316618.4167
1985	197168.25	2000	296509.8333
1986	218764.8333	2001	310125.4167
1987	204850.8333	2002	295795.8333
1988	220774.1667	2003	314971.6667
1989	241550.25	2004	403341.5833
1990	234536.5833	2005	423987.4167
1991	194912.8333	2006	495899.5
1992	246677.1667	2007	496976.25
1993	273620.3333	2008	427929.25
1994	286509.0833	2009	479744.6667

Grafica de producción y tendencia



<http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieinti.exe/Consultar>

La distribución de yeso en México se localiza en varias provincias geológicas. Actualmente el Estado con la mayor producción y principal exportador de yeso es Baja California Sur, 56%; Morelos, 10%; Nuevo León, 6%; Oaxaca, 5%; Sonora, 3%; Hidalgo, 3%; San Luis Potosí, 3%; Jalisco, 3%; Durango, 2% y Coahuila 2%, entre otros.



<http://www.economia-dgm.gob.mx/dgpm/perfiles/Yeso.pdf>

II.3.3 ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE CAL EN MÉXICO

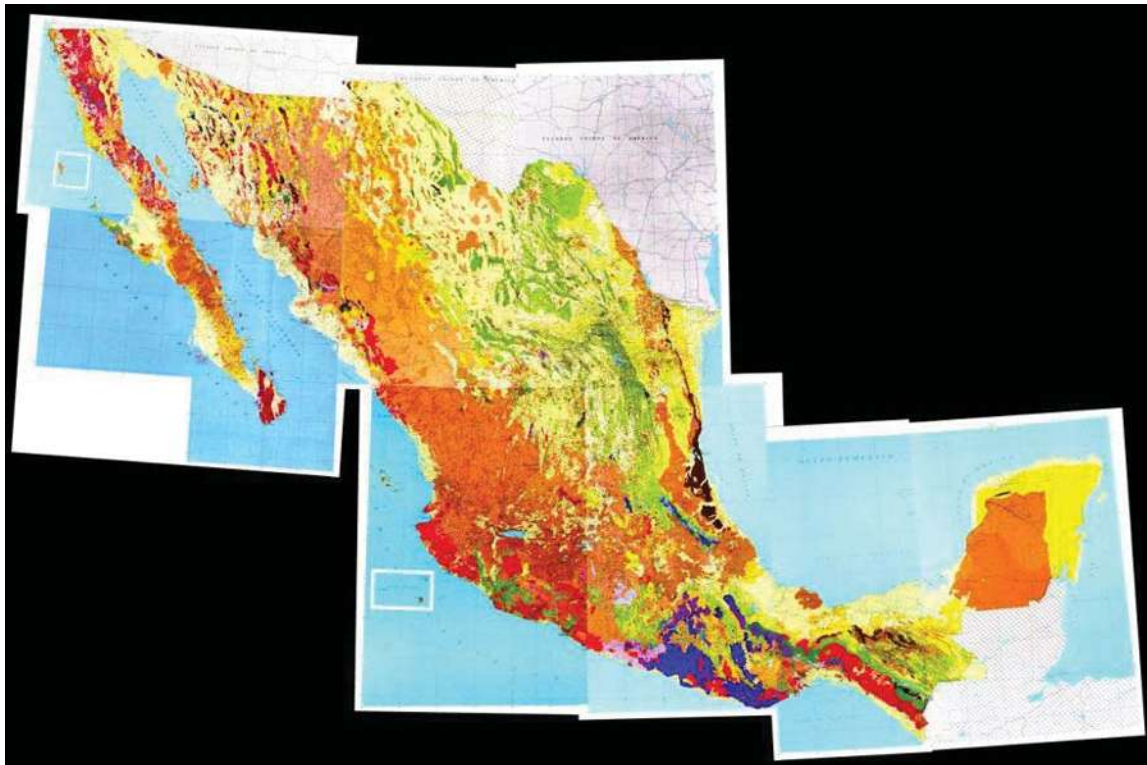
En este ámbito se encuentra como principal agrupación, la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A. C. (ANFACAL), la cual fue fundada en 1981 y para el año de 1989 ya eran más de 70 los socios, sin embargo, con el paso del tiempo algunas se fusionaron formando grupos, de los cuales en este momento se encuentran afiliados a esta Asociación:

- 1) Servicios Corporativos Calidra, S.A. de C.V. (Grupo Calidra)
- 2) Calidra de Occidente, S.A. de C.V.
- 3) Minorte, S.A. de C.V.
- 4) Refractarios Básicos, S.A. de C.V. (Rebasa)
- 5) Caleras Bertran, S.A. de C.V. (Grupo Bertrán)
- 6) Calizas de Michoacán, S.A. de C.V.
- 7) Cales y Morteros del Grijalva, S.A. de C.V.



<http://www.anfacal.org/industria-calera.htm>

Carta Geológica de la Republica Mexicana



S I M B O L O G I A

ROCAS SEDIMENTARIAS

SUELOS _____ s

LUTITA _____ lu

LIMOLITA _____ lm

ARENISCA _____ ar

CONGLOMERADO _____ cg

CALIZA _____ cz

YESO _____ y

ROCAS VOLCANOSEDIMENTARIAS

ARENISCA Y TOBA _____ ar-t

MINA _____ 

ESTRUCTURAS

FRACTURA _____ 

FALLA NORMAL _____ 

FALLA INVERSA _____ 

FALLA CON DESPLAZAMIENTO
HORIZONTAL _____ 

RASGO LINEAL _____ 

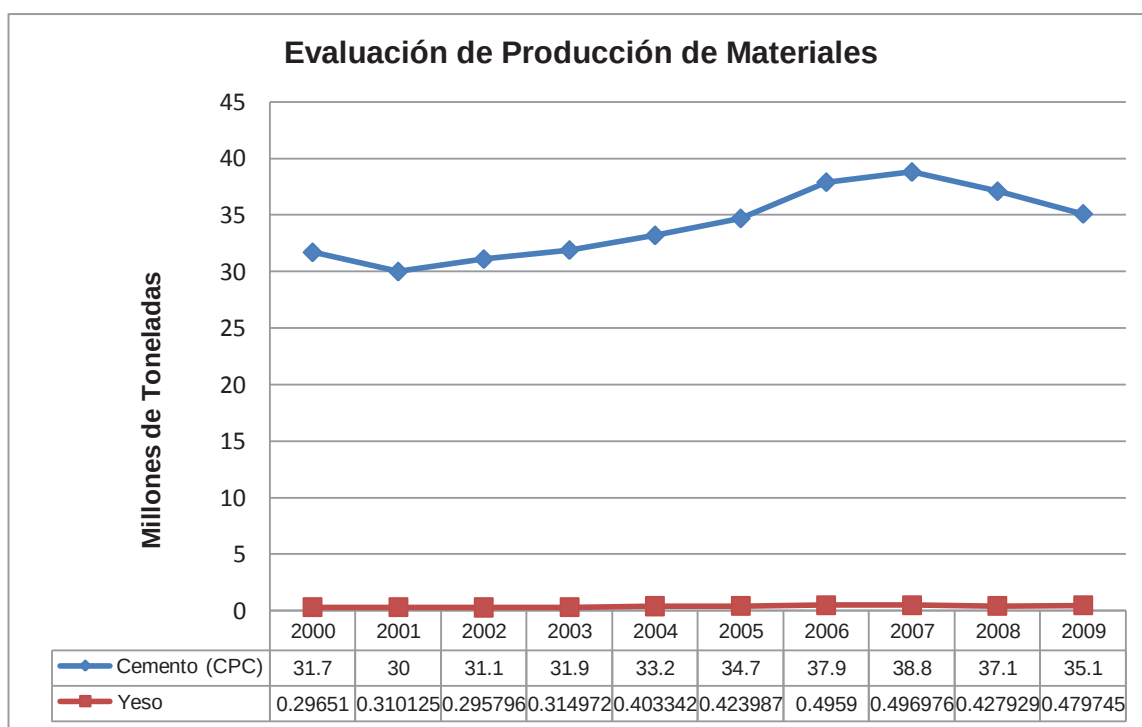
RASGO INFERIDO _____ 

VOLCAN _____ 

Imágenes de www.inegi.com

II.3.4 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Año	MATERIAL	
	Cemento (CPC)	Yeso
2000	31.7	0.29650983
2001	30	0.31012542
2002	31.1	0.29579583
2003	31.9	0.31497167
2004	33.2	0.40334158
2005	34.7	0.42398742
2006	37.9	0.4958995
2007	38.8	0.49697625
2008	37.1	0.42792925
2009	35.1	0.47974467



En las fuentes de información referentes a la producción de la cal en nuestro país, no se tiene un registro de la producción de este material.

II.4 ECOCEMENTOS O CEMENTOS ECOLÓGICOS

II.4.1 CEMENTO ECOLÓGICO DE CENIZA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN

Este es muy parecido al cemento Portland, pero en su creación provoca la mitad de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Este cemento es creado a base de cenizas de la combustión de carbón y sustituye a la piedra caliza como materia prima. Este trabaja a menores temperaturas que el cemento convencional. Ya que a diferencia del cemento Portland que trabaja con una temperatura de 1450 grados Celsius, este trabaja solo de 60 a 80 grados Celsius. Es por eso que las emisiones de CO₂ que este produce se reducen a un 50%.

Este nuevo cemento ha soportado todas las pruebas de roturas que se le han realizado, lo que garantiza una buena aprobación a la hora de ser presentado ante el principal consorcio europeo que investigan los materiales cementales.

Con esta técnica de producción se ha alcanzado un triple objetivo: realizar una gestión eficaz de los residuos a través de su reciclaje, contribuir a la preservación de los recursos naturales del planeta y evitar la emisión directa de gases de efecto invernadero a la atmósfera, a través de la eliminación de la calcinación de la materia prima.

En este ámbito son varias las organizaciones y empresas que han puesto a este material en la mira tales como la Unión Europea y otras como EcoSmart Concrete.

II.4.2 ECOCEMENTO QUE ABSORBE CO₂ (NOVACEM®)

Novacem® ha desarrollado un nuevo cemento a base de óxido de magnesio, que abordará el problema del dióxido de carbono que enfrenta la industria del cemento, y como resultado contribuirá significativamente a un cambio global hacia un mundo de bajo carbono.

El cemento de **Novacem®**, basado en silicatos de magnesio, no solo requiere de una temperatura mucho menor que la utilizada para fabricar cemento portland, sino que además absorbe grandes cantidades de CO₂ cuando solidifica, consiguiendo así eliminar CO₂ de la atmósfera.

El cemento de Novacem, que tiene una patente, utiliza silicatos de magnesio, que no emite CO₂ cuando es calentado. Su proceso de producción además requiere de temperaturas mucho más bajas, sobre los 650°C. Esto conduce a unas emisiones totales de CO₂ de 0,5 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cemento usado. Pero la fórmula de Novacem, además absorbe más CO₂ cuando solidifica, aproximadamente 1,1 tonelada, por lo que su huella de carbono es negativa.



<http://novacem.com/technology/overview/>

Este cemento es a base de óxido de magnesio (MgO) y los carbonatos de magnesio hidratado. Su proceso de producción utiliza acelerador de carbonatación de silicatos de magnesio en niveles elevados de temperatura y presión (es decir, $1800^{\circ}\text{C}/150\text{bar}$). Los carbonatos producidos se calientan a temperaturas bajas (700°C) para producir MgO , con el CO_2 generado se recicla de nuevo en el proceso. El uso de silicatos de magnesio elimina las emisiones de CO_2 procedentes de la transformación de materias primas. Además, las bajas temperaturas en su proceso permiten el uso de combustibles con bajo contenido de energía o la intensidad de carbono (es decir, la biomasa), reduciendo aún más las emisiones de carbono. Por otra parte, la producción de los carbonatos absorbe CO_2 , son producidos por carbonatación parte del MgO fabricado con la atmósfera de CO_2 industrial. En general, el proceso de producción para hacer una tonelada de cemento Novacem absorbe hasta 100 kg de CO_2 más de lo que emite, por lo que es un producto de carbono negativo.

Este proceso de producción se basa en 20 años de investigación sobre la carbonatación de minerales de silicatos de magnesio. Estos minerales se encuentran muy dispersos con acceso a reservas mundiales estimadas para superar significativamente 10.000 millones de toneladas. Cemento Novacem demuestra el rendimiento que ya es lo suficientemente bueno para varias aplicaciones importantes (por ejemplo, productos de albañilería), y que es continuamente mejorado y optimizado.

II.4.3 ECOCEMENTO GEOPOLIMÉRICO

Los Geopolímeros son un tipo de polímero inorgánico que se pueden formar a temperatura ambiente, mediante el uso de residuos industriales o subproductos como materiales de base, para formar un aglutinante sólido que parece y realiza una función similar al Cemento Portland. Los Geopolímeros se puede utilizar en aplicaciones para sustituir total o parcialmente al Cemento Portland, con beneficios ambientales y técnicos, incluyendo un 80-90% de reducción de las emisiones de CO₂ y mayor resistencia a los productos químicos contra incendios y agresivo.

Este cemento está hecho de aluminio y silicio, en lugar de calcio y silicio. Las fuentes del aluminio en la naturaleza no están presentes como carbonatos y, por tanto, cuando se activa para su uso como cemento, no liberan grandes cantidades de CO₂. Las materias primas más fácilmente disponibles que contienen aluminio y silicio son las cenizas volantes y escorias - estos son los materiales que Zeobond utiliza para crear su carpeta de baja emisión de carbono.

El cemento Geopolimérico utiliza materiales de muy baja energía, como cenizas volantes, escorias y otros residuos industriales y una pequeña cantidad de materiales de alta energía química (hidróxidos alcalinos) para provocar la reacción sólo en las superficies de las partículas que actúan como un pegamento.

El cemento de Geopolímeros, demostró ser equivalente a los cementos de otros en términos de las cualidades estructurales del concreto resultante. De hecho, la resistencia al fuego de E-Crete™ ha sido probado para ser muy por encima de el doble que el hormigón tradicional. Esto es una ventaja técnica muy significativo de E-Crete™ y la adopción a gran escala de la unidad en la construcción de gran altura en el corto plazo, incluso en algunos edificios del gobierno del departamento.



<http://www.zeobond.com/geopolymer-solution.html>

II.5 MATERIALES PREFABRICADOS

La prefabricación es la elaboración de un producto antes de su colocación y en la construcción suelen ser muy usados, debido a que acelera los procesos constructivos, es decir acorta los tiempos de construcción, lo cual genera menores gastos y tiene altos rendimientos.

Los prefabricados para la construcción se fabrican principalmente de concreto seco vibricompactado, que por sus características de rápido desmoldé, permite la elaboración de una amplia gama de productos, como bloques, adoquines, tuberías, entre otros.

De acuerdo a datos de la CANACEM (Cámara Nacional del Cemento), se tiene que en la producción anual de cemento, aproximadamente de un 12-15% se destina para la producción de prefabricados.



* Productores de prefabricados de concreto y otros productos a base de cemento.

http://www.canacem.org.mx/la_industria_seg_consumo.htm

En nuestro país existe una asociación que se dedica a la fabricación y venta de elementos presforzados y prefabricados de concreto, la cual es la **“ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PRESFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN A.C.”**.

Entre los miembros de la misma se encuentran:

- DEACERO, S.A. DE C.V.
- FREYSSINET DE MÉXICO, S.A. DE C.V.
- GRUPO CONSTRUCTOR ZEA, S.A. DE C.V.
- GRUPO CONSTRUCTOR SEPSA S.A de C.V.
- HOLCIM APASCO, S.A de C.V.
- ICOPZA

- INDUSTRIAL PREFABRICADORA, S.A de C.V
- PREDECON S. DE R.L. DE C.V.
- GRUPO CEMENTOS DE CHIHUAHUA, S.A.B. DE C.V.
- PRETECSA
- SPANCRETE NORESTE, S.A. DE C.V.
- TRANSPOGRANEL, S.A. DE C.V.
- UNIÓN PRESFORZADORA, S.A. de C.V.
- VIGUETAS Y BOVEDILLAS, S.A de C.V.
- AVIANDA, S. de R.L. de C.V.
- CEMEX MEXICO, S.A. de C.V.
- EUCOMEX
- Fachadas Prefabricadas, S.A. de C.V
- GRUPO GOF CONCRETOS Y ACEROS S.A. DE C.V.
- HERCAB S. de R.L. de C.V.
- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. de C.V.
- IMPULSORA TLAXCALTECA DE INDUSTRIAS, S.A. de C.V.
- MECANO INMOBILIARIA, S.A. DE C.V.
- PREFAMOVIL, S.A. DE C.V.
- PRESFORZA
- PRETENCRETO, S.A de C.V.
- SERVICIOS AVANZADOS EN PRESFUERZO Y PREFABRICACIÓN, S.A. DE C.V.
- TECNOLOGIA, LOGISTICA Y MONTAJE, S.A. DE C.V.
- Ticonsa Inmobiliaria, S.A. de C.V.
- WR GRACE HOLDINGS, S.A. DE C.V.

Esta asociación proporciona algunos productos y servicios como:

Productos Vibrocomprimidos:

- Adocreto: Se utiliza principalmente para pisos.
- Adoquín: Para pisos de lugares con tráfico pesado, calles, explanadas, jardines, etc.
- Block: Se utiliza en todo tipo de muros y bardas.
- Tabicón: Se aplica en muros económicos.

Productos Precolados:

- Alcantarillas: Para drenaje en general, así como para carreteras.
- Barrera central: Para carreteras.
- Columnas: Para edificios, puentes, estadios.
- Durmientes: Para vías de ferrocarril, metro.

Elementos Pretensados:

- Vigueta y Bovedilla: Para lozas, entrepisos y azoteas.
- Losa extruida: Para entrepisos, cubiertas, pisos, muros interiores y muros de fachada.
- Trabe TE: Entrepisos, cubiertas, pasos peatonales, puentes vehiculares.
- Trabe TY: Como elementos de cubierta.

Elementos postensados:

- Trabe AASHTO: Para puentes de caminos, viaductos y pasos a desnivel.
- Trabe Cajón. Aplicables en general en estructuras de gran tamaño.

Prefabricados Arquitectónicos:

Los elementos prefabricados arquitectónicos también constituyen una buena alternativa para la construcción. La calidad, funcionalidad y la durabilidad de los elementos prefabricados en fachadas ofrecen un menor costo de mantenimiento.

II.5.1 PRODUCTOS DE PREFABRICACIÓN DE CONCRETO VIBROCOMPACTADO

Son piezas de concreto empleadas principalmente como unidades de mampostería y para su colocación en muros, techos, pavimentos, etc. Están formados con mezclas de cemento, agregados, aditivos y muy poca agua. Estos productos se forman llenando moldes con formas preestablecidas con las mezclas de concreto y aplicando vibración y un alto esfuerzo a la compresión para fluidificar y consolidar la mezcla. Estas piezas fraguan bajo condiciones de calor y humedad estandarizadas, adquiriendo la resistencia necesaria para su transporte y aplicación.

Algunos de los principales productos de este tipo son:

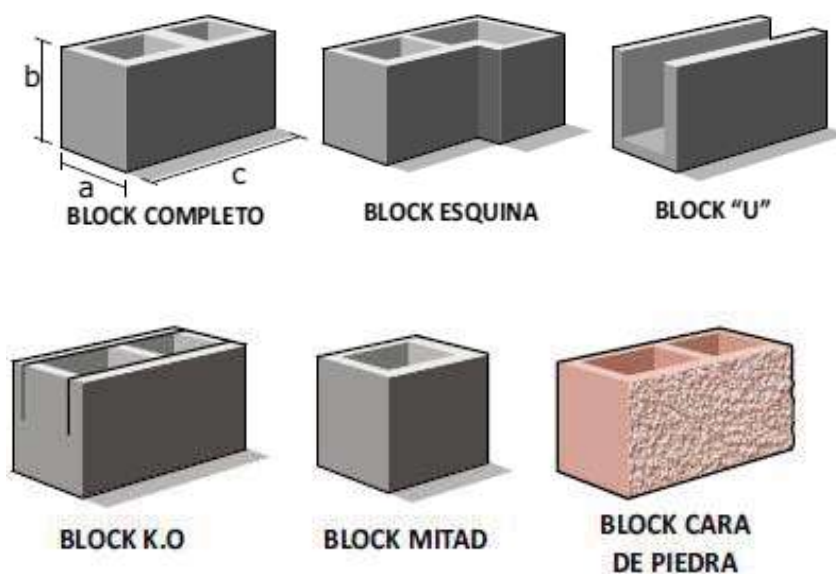
Block: Trozo grande de hormigón o piedra sin labrar que se utiliza como material de la construcción para la elaboración de muros y que está supeditado a las funciones y cualidades que dichos muros vayan a desempeñar.



http://www.cemexmexico.com/pr/pr_pr_bl.html

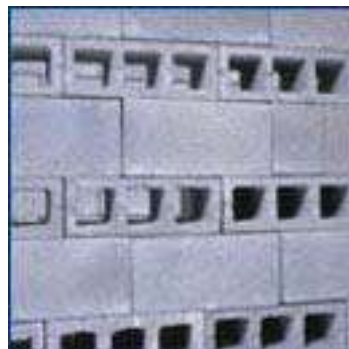
Especificaciones técnicas		
Tipos	Medida	Usos principales
No. 4	40 x 10 x 20	Muros internos, divisiones de closets y baños
No. 6	40 x 15 x 20	Paredes, baños, bardas pequeñas y ligeras
No. 8	40 x 20 x 20	Bardas altas o grandes

Otras variedades de Blocks



<http://www.prelosa.com/images/pdf/block.pdf>

Tabicón: Es un material ideal para construir bodegas, casas y muros con un menor costo en mano de obra y juntas de cemento logrando un avance más rápido.



http://www.cemexmexico.com/pr/pr_pr_ta.html

Especificaciones técnicas		
Tipos	Medida	Usos principales
Capuchino	7.5 x 13 x 26	Divisiones interiores donde la resistencia no es primordial. Tiene la ventaja de usar menos cantidad de piezas, proporcionándole un mayor espacio.
Intermedio	7.5 x 13 x 25	A este tipo de muro estructuralmente se le pueden confiar las cargas necesarias de acuerdo con su diseño y especificaciones constructivas.

Bovedillas: son elementos ligeros que se usan para construir losas, apoyadas directamente sobre viguetas. Hechas de materiales tan variados como cemento-arena, poliestireno y barro, brindan mayor consistencia que el block y garantizan una mejor seguridad antes, durante y después de su colocación.

Los expertos en construcción usan bovedillas en aplicaciones de vivienda, casas unifamiliares, hoteles, oficinas, hospitales, escuelas, almacenes, iglesias y más. También se usan ampliamente en aplicaciones hidráulicas, en tapaderas de cisternas y canales.



http://www.cemexmexico.com/pr/pr_pr_bo.html

Especificaciones técnicas		
Medida	Peso (kg)	Cap. de carga (kg)
10 x 48 x 20	6.3	320
15 x 48 x 20	8.3	350
21.5 x 48 x 20	10.5	370

Adoquines: Tienen una gran resistencia a la absorción, intemperie y humedad, generando así un pavimento casi indestructible. Además de una superficie autoderrapante, todo ello con una apariencia agradable y a un costo más

accesible. Su capacidad de transmitir carga permite pesos y movimientos entre las piezas ante variaciones volumétricas del suelo.

Existen distintos modelos de adoquines y el más común y utilizado en México, es el que tiene forma hexagonal, el cual se muestra:

Dimensiones

Largo: 24 cm	Ancho: 22 cm	espesor: 10 CM
--------------	--------------	----------------



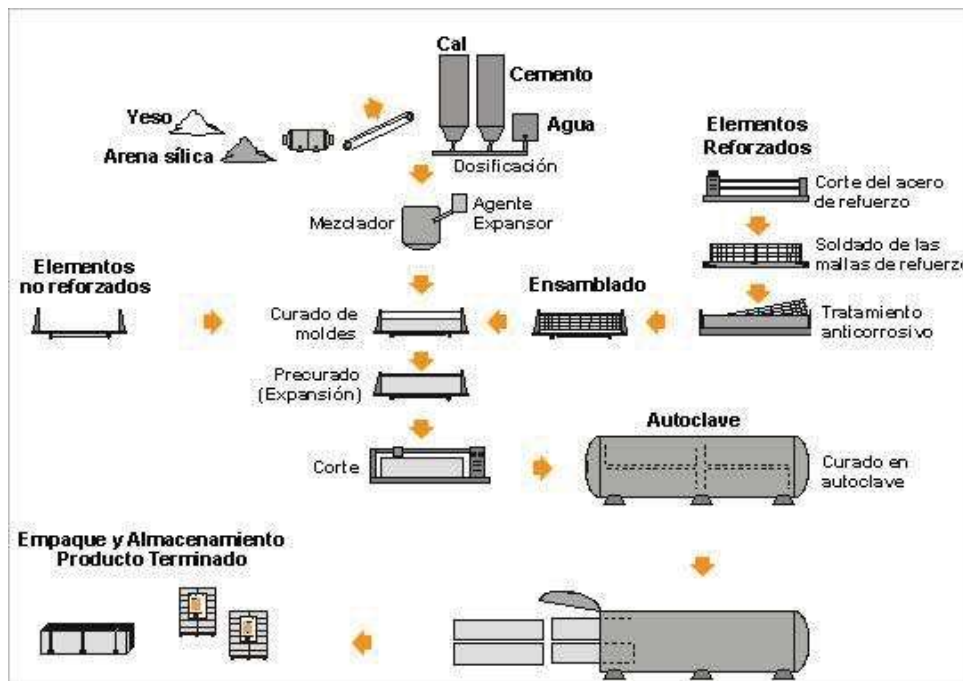
http://www.cemexnicaragua.com/pr/pr_ad.html

II.5.2 PROCESO DE PREFABRICACIÓN DE CONCRETO CELULAR

Estos productos se elaboran con distintas materias primas, entre ellas: arena sílica, cal, cemento, yeso y agua combinadas con un agente expansor. La combinación de estas materias es la base para elaborar un producto de excelentes cualidades tales como su resistencia, ligereza, aislamiento térmico y resistencia al fuego.

El proceso de producción del Concreto Celular Autoclaveado inicia con el molido de la arena sílica con el yeso. Una vez molidos se mezclan primero con la cal y el cemento, o en su caso con la composición de materias requeridas, posteriormente se mezclan con agua y el agente expansor. De aquí se vacía en moldes metálicos. El agente expansor reacciona con los elementos y se expande la mezcla formando miles de burbujas o celdas de aire independiente y distribuidas de manera uniforme en la masa.

El siguiente paso es el proceso de precurado donde el producto alcanza la consistencia necesaria para su manejo y corte, el cual se realiza en un proceso automático mediante hilos de acero.



http://mexico.xella.com/images/mex/rd_mx/proceso_de_produccion.jpg

La fase final del proceso de producción consiste en el curado del material realizado en autoclaves a condiciones controladas de temperatura, humedad y presión. Tras 12 horas de curado, los elementos se empaquetan y transportan al almacén de producto terminado. El resultado de este proceso, un producto de la más ligereza, aislante térmico y con propiedades acústicas, etc.



http://mexico.xella.com/images/shared/pb_Produktion.jpg

II.5.3 PRODUCTOS DE PREFABRICACIÓN DE CONCRETO CELULAR

Blocks: son piezas sólidas utilizadas para construir muros de mampostería tanto cargadores como no cargadores.

Existen en distintos tipos tales como:

- Block estándar
- Block-O
- Block Semi-Jumbo
- Block-U
- Block Jumbo

Algunas de las características de estos blocks son:

- Reduce los tiempos de construcción.
- No requiere mano de obra especializada.
- Propiedades únicas de aislamiento térmico contra frío y calor de por vida.
- Resistente al fuego hasta por 4 hr.
- Evita el uso de cimbra en mampostería confinada o reforzada.
- Reduce costos y aumenta la limpieza de obra.
- Elimina los puentes térmicos.

DIMENSIONES							
Longitud (cm)	61.0						
Peralte (cm)	20.0						
Espesores (cm)	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0
Piezas / m ²	8.2						

<http://mexico.xella.com/html/mex/mx/>



http://212.18.11.102/images/non_lang/product_small/mex/Block-O_small.jpg

http://212.18.11.102/images/non_lang/product_small/mex/Block-U_small.jpg

http://212.18.11.102/images/non_lang/product_small/mex/Block-Estandar_small.jpg

Aligerante para losa: es una pieza sólida que se utiliza en losas reticulares de concreto reforzado.

- Alta capacidad de aislamiento térmico.
- Reducción en peso sobre productos similares a base de barro.
- No se marcan las calles en los acabados.

DIMENSIONES							
Longitud (cm)	60.0						
Ancho (cm)	20.0						
Espesores (cm)	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0

http://mexico.xella.com/html/mex/mx/hebel_produkte

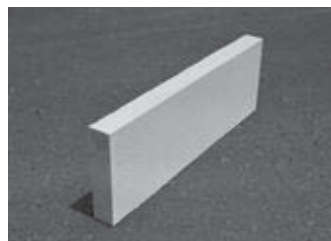


http://212.18.11.102/images/non_lang/product_large/mex/Aligerante-para-Losas_small.jpg

Placa termoaislante: ofrece grandes bondades en el aislamiento térmico contra calor y frío en casas y edificios construidos con sistemas tradicionales. El producto se instala fácilmente sin requerir mano de obra especializada, tanto en muros como en losas de azotea.

- Es el aislante térmico integral más eficiente del mercado.
- No se degrada o pierde las propiedades de aislamiento térmico con el transcurrir del tiempo.

DIMENSIONES		
Longitud (cm)	62.5	
Ancho (cm)	20.0	
Espesores (cm)	5.0	7.5
Piezas/m²	8.0	
Conductividad Térmica		
Placa Termoaislante Hebel		
0.6164 BTU-In/ft²-h°F		
Valores de acuerdo a NMX-C-181-1984		



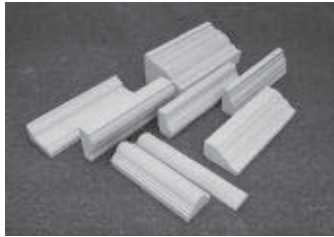
http://mexico.xella.com/html/mex/mx/hebel_produkte.

http://212.18.11.102/images/non_lang/product_large/mex/Placa-Termoaislante_small.jpg

Molduras: Usadas para dar acabados finos a fachadas y buena apariencia de molduras tradicionales de cantera.

Existen en tipos como:

- Estándar
- Especiales
- Esquineros
- Remates de fachada



http://212.18.11.102/images/non_lang/product_large/mex/Molduras_large.jpg

II.6 CONCRETO CELULAR (CONCRETO LIGERO)

Concreto o cemento hecho a base de agregados de peso ligero. Algunos tipos de concreto ligero ni siquiera contienen agregados, o en relación a la densidad es aquel que oscila entre los valores de 1600 kg/m^3 hasta máximo 1840 kg/m^3 .

Las ventajas de tener materiales con baja densidad son muy numerosas; por ejemplo, reducción de las cargas muertas, rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo.

Una característica menos clara, pero no menos importante del concreto ligero es la conductividad térmica relativamente baja que posee, propiedad que mejora conforme se reduce la densidad. Lo anterior se entiende mejor si se advierte que un muro solido de concreto aireado de 15 cm. de espesor proporciona un aislamiento térmico aproximadamente cuatro veces mayor que el de una pared de ladrillo de 23 cm. de espesor.

Básicamente, existe una forma para hacer el concreto de menor peso; es por la inclusión de aire en su estructura. Esto sin embargo, puede lograrse de tres diferentes maneras:

1. Omitiendo los finos y los gramos de diámetros pequeños del agregado pétreo, con lo cual se logra el llamado “concreto sin finos”.
2. Substituyendo los agregados de grava o piedra triturada por agregados con estructura celular o porosa, los cuales incluyen el aire en la mezcla.
3. Haciendo que se produzcan burbujas de aire en una lechada de cemento, de manera que, al fraguar esta, quede con una estructura celular esponjosa llamada “concreto aireado”.

Los concretos ligeros no son, por razones de su composición, más vulnerables al ataque de los sulfatos que los demás concretos, pero puesto que la defensa más efectiva contra los sulfatos o cualquier otro agente agresivo es la impermeabilidad, y esta no es una característica básica de algunos tipos de concretos ligeros, principalmente el usado en los bloques, estos no se recomiendan para ser utilizados bajo impermeabilización.

Los concretos con inclusiones de aire contienen de 1 a 5 % de aire por volumen y no deben confundirse con los concretos aireados, en los cuales puede haber hasta un 80 % de aire por volumen en el producto. La inclusión de aire, que puede lograrse con algunas sustancias, no solo mejora la trabajabilidad del concreto y reduce la segregación, sino que también, principalmente en el caso del concreto común, mejora la resistencia a la congelación.

Diseño de mezclas de concreto aireado

El diseño de la mezcla para este tipo de concretos difiere considerablemente del utilizado para las mezclas de concretos comunes.

La graduación y algunas otras propiedades de los agregados influyen considerablemente en las propiedades del concreto hecho con ellos.

Tipo de concreto ligero	Tipo de agregado	Granulometría del agregado limite del tamaño de sus partícula
Concreto sin finos	Agregado natural Escoria de alto horno Escoria de Hulla Otros agregados ligeros	El tamaño nominal de los granos del material debe estar comprendido Entre cribas B. S. 10 y 19 mm.
Concreto parcialmente compactado con agregados ligeros	Escoria de Hulla Escoria espumosa Arcillas, esquistos y pizarras expandidas Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo. vermiculita y perlita expandida	Pueden tenerse agregados cuyos granos sean de menor tamaño nominal, o bien, que sean de material grueso y fino (de 5 mm. y menores) combinados, que tenga una granulometría continua pero tosca, que produzca un concreto poroso.
Concreto estructural con agregados ligeros (completamente compactado)	Escoria espumosa Arcillas, esquistos y pizarras expandidas Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo.	Material con granulometría continua desde 13 o 19 mm, hasta polvo con un numero aumentado de finos (menores de 5 mm), para que produzca una mezcla de concreto densa y trabajable.
Concreto aireado	Agregado natural fino. Agregado fino ligero. Cenizas crudas de combustibles en polvo. Escoria molida y esquistos quemados, etc.	Los agregados generalmente se muelen hasta convertirlos en polvo fino, que pase la criba numero 200, aunque en ocasiones se le añade agregado fino menor de 5 mm.

Concreto ligero, Autores: Andrew Short, William Kinniburgh, Editorial: Limusa-Wiley

El diseño de la mezcla para cuatro tipos diferentes de concretos ligeros se considera a continuación:

- 1) Concreto sin finos
- 2) Concreto parcialmente compactado con agregados ligeros
- 3) Concreto para estructuras con agregados ligeros
- 4) Concreto aireado

Propiedades de los diferentes tipos de Concreto Ligero

Tipo de Concreto	Agregado	Densidad del agregado Kg/m ³	Densidad del Concreto Kg/m ³	Resistencia a la compresión en cubos a los 28 días Kg/cm ²	Conductividad Térmica K. cal/m.h.°C
Concreto Aireado	-----	-----	400 - 800	14 - 49	0.075-0.174
Concreto ligero	Vermiculita y perlita expandidas	64 - 240	400-1120	5 - 35	0.093-0.248
parcialmente	Pómez	480 - 880	720 - 1120	14 - 39	0.186 - 0.248
compactado	Escoria Espumosa	480 - 960	960 - 1520	14 - 56	0.186 - 0.372
	Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo	640 - 960	1120 - 1280	28 - 70	---
	Arcillas o esquistos expandidos	560 - 1040	960 - 1200	56 - 84	0.285 - 0.396
	Escoria de Hulla	720 - 1040	1040 - 1520	21 - 70	0.298 - 0.496
Concreto sin finos	Agregado natural	1360 - 1600	1600 - 1920	42 - 140	----
	Agregado ligero	480 - 1040	880 - 1200	28 - 70	----
Concreto para estructura con agregados ligeros	Escoria espumosa	480 - 960	1680 - 2080	105 - 422	----
	Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo	640 - 960	1360 - 1760	140 - 422	----

Concreto ligero, Autores: Andrew Short, William Kinniburgh, Editorial: Limusa-Wiley

Factores de diseño importantes:

- Relación agua/cemento.
- Granulometría del agregado (en caso de que lo tenga).

Tipos y Granulometrías de los agregados que pueden ser utilizados en la fabricación de diferentes tipos de concretos ligeros.

La diferencia esencial entre los dos tipos de concreto a base de agregados de peso ligero consiste en que mientras el tipo 3, concreto “estructural” con agregados de peso ligero, tal como se utiliza este concreto reforzado está completamente compactado y el tipo 2, está parcialmente compactado.

El concreto sin finos es usado principalmente para muros exteriores e interiores, divisorios en casas y edificios.

II.6.1 CONCRETO AIREADO

Es un material celular de peso ligero, una mezcla con estructura más o menos homogénea que contiene pequeñas celdas de aire que pueden estar comunicadas entre sí, pero regularmente no lo están. Contiene ingredientes silicosos que funcionan en parte como un relleno y en parte como un reactivo químico con el aglutinante, que puede ser cemento portland, cal, o bien una mezcla de ambos.

Es diferente a otros concretos en cuanto a que normalmente no contiene agregados; puede considerársele como un mortero aireado.

Hay varios métodos para que las celdas de aire u otros vacíos se puedan formar en el interior de la lechada, de los cuales los principales se pueden describir así:

- Por la formación del gas por medio de una reacción química dentro de la masa durante su estado líquido o plástico, en forma muy semejante a la que el bióxido de carbono se forma y se usa en la aeración del pan y otros productos horneados.
- Por medio de la introducción de aire, ya sea agregado a la lechada en la mezcladora una espuma estable preformada semejante a la usada para combatir el fuego, o incorporando aire por medio de batido (con la ayuda de un agente incluso de aire).

El concreto aireado puede producirse con un límite de densidades entre 400 y 1440 kg/m³. El concreto aireado se usa en dos formas; en unidades precoladas y en concreto colado in situ, las unidades precoladas, que incluyen a los bloques de construcción, son usualmente curados con vapor a alta presión (“curado en Autoclave”); el material colado in situ es necesariamente curado al aire.

El concreto curado al aire tiene a menudo una resistencia menor de la mitad que la de los concretos de la misma densidad curados en autoclave, el concreto curado al aire no puede ser hecho empleando cal como elemento cementante.

El concreto ligero puede ser aserrado, labrado, cepillado, atornillado y clavado; las unidades que han sido cepilladas se pueden pegar entre sí, aunque carece de resistencia a la tensión, además de que es resistente al fuego, incluso más que el concreto común.

El concreto aireado de peso ligero producido por curado al aire libre tiene una contracción por secado muy grande. Sin embargo, cuando el mismo producto se cura con vapor a alta presión, ocurren cambios fundamentales en la constitución del mineral, los cuales reducen la contracción de una cuarta a una quinta parte de la que se tendría si se hubiera curado al aire. Una de las principales características de este concreto es que manifiesta una conductividad térmica muy baja, siendo esta proporcional a la densidad del material.

Valores de la Conductividad Térmica

Material	k. en k.cal./m.h.°C
Concreto compacto 1:2:4	0.990-1490
Concreto aireado 320 kg/m ³	0.072
Concreto aireado 640kg/m ³	0.093
Concreto aireado 800kg/m ³	0.174

Concreto ligero, Autores: Andrew Short, William Kinninburgh, Editorial: Limusa-Wiley

No obstante que el agua no puede penetrar completamente en el concreto aireado, no es nada recomendable que este se humedezca, ya que el aislamiento térmico es afectado adversamente por la humedad, es por tal motivo que para muros exteriores hechos de este material, sean protegidos de la humedad, rociándose con una pintura protectora.

II.7 POLVO DE NEUMÁTICO

El polvo de neumático es el resultado de la molienda de productos de caucho, hablando de manera directa de las llantas de los distintos vehículos automotores. Este se clasifica de acuerdo a la granulometría que este alcance, al ser triturado.



<http://themotorlobby.files.wordpress.com/2009/12/neumaticos.jpg>

Este producto, de muy buena calidad, tiene excelentes propiedades elastoméricas que contribuyen también en la calidad de los productos mezclados en bambury, o mezcladoras abiertas u otro tipo de mezcladoras.

Un neumático convencional tiene una cantidad de goma de un 70% a 80% del peso total de material de los neumáticos procesados (con trazas de fibras especiales). El 30% a 20% restante se componen del acero que forman la camisa o cinturón del neumático. Este lleva una mínima presencia de goma y es totalmente reutilizable en el campo del hierro y Acero.

Proceso de molienda de Neumáticos

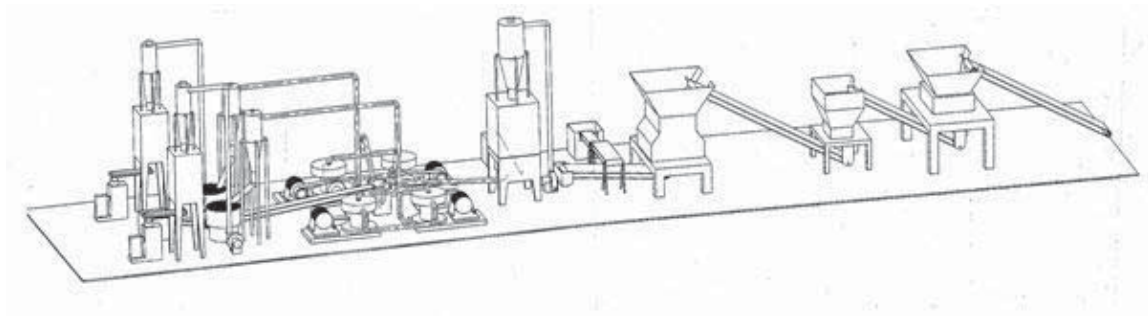
En principio el neumático va a través de una cinta transportadora, después es enviado a una trozadora, debido a sus cuchillas contra-rotantes, y dejándolo en pedazos de aproximadamente 300 mm.

Este material, cae en la cinta transportadora al siguiente paso del proceso, con una acción análoga a la anterior, reduce las dimensiones del material hasta una medida de 50 mm. El material obtenido, a través de una banda transportadora de cinta entra en una tercera máquina que con un sistema similar a las anteriores, reduce el caucho a 16 mm, destacando así la presencia de acero del interior de los neumáticos.

Una banda transportadora posterior, recoge lo procesado para pasarlo debajo de un imán permanente, recogiendo cualquier material ferroso presente, mientras que

el caucho se lleva a través de un transporte neumático y es colocado en los silos. En este punto del ciclo, el caucho, ya sin presencia de acero, puede iniciar el proceso de refinación.

Los granos de goma, a través de un vertedor son enviados en la máquina de pulverizado, la cual con la acción de embrague entre dos discos rotatorios en sentidos inversos, reduce el grano a las dimensiones deseadas, agregando o quitando discos según se requiera. Una vez terminado el procesado del material es llevado mediante transporte neumático para su separación y almacenado.



<http://www.e-asfalto.com.ar/recichule/planta2.png>

Un sistema de este tipo tiene la capacidad de procesar 2,000 kg/h de neumáticos. Los resultados de la molienda, son granos y polvos, que tienen un rango que va desde un polvo de 0.07 mm hasta granos de 16 mm. Lo anterior mediante un cambio de las redes del tamizado vibratorio. Los productos más utilizados son:

- * Polvo de hasta 0.7 mm (tamaño máximo)
- * Grano de 2 mm (material entre 0.8 y 2 mm)
- * Grano de 3.5 mm (material entre 2 y 3.5 mm)
- * Grano de 5 mm (material entre 3.5 y 5 mm)
- * Grano de 10 mm
- * Grano de 16 mm



<http://www.e-asfalto.com.ar/recichule/producto1.png>

Usos de los residuos de Neumáticos y Neumáticos:

1. Confinación en Rellenos Sanitarios, para evitar daños a la Geomembrana, siendo una interfase entre esta y los desechos, promoviendo también un fácil flujo de los lixiviados.
2. Fabricación de productos cotidianos de hule, tales como zapatos, suelas de zapatos, planchas de goma, alfombras, ruedas macizas, etc.
3. Como combustible en horno cementero, en 2005 en un convenio de la CANACEM y la SEMARNAT, en 2005 se tuvo un coprocesamiento superior a dos millones de llantas en 2005, logrado a raíz de altas inversiones en infraestructura en todo el país.



http://www.gemi.org.mx/files/01_deguevara.pdf

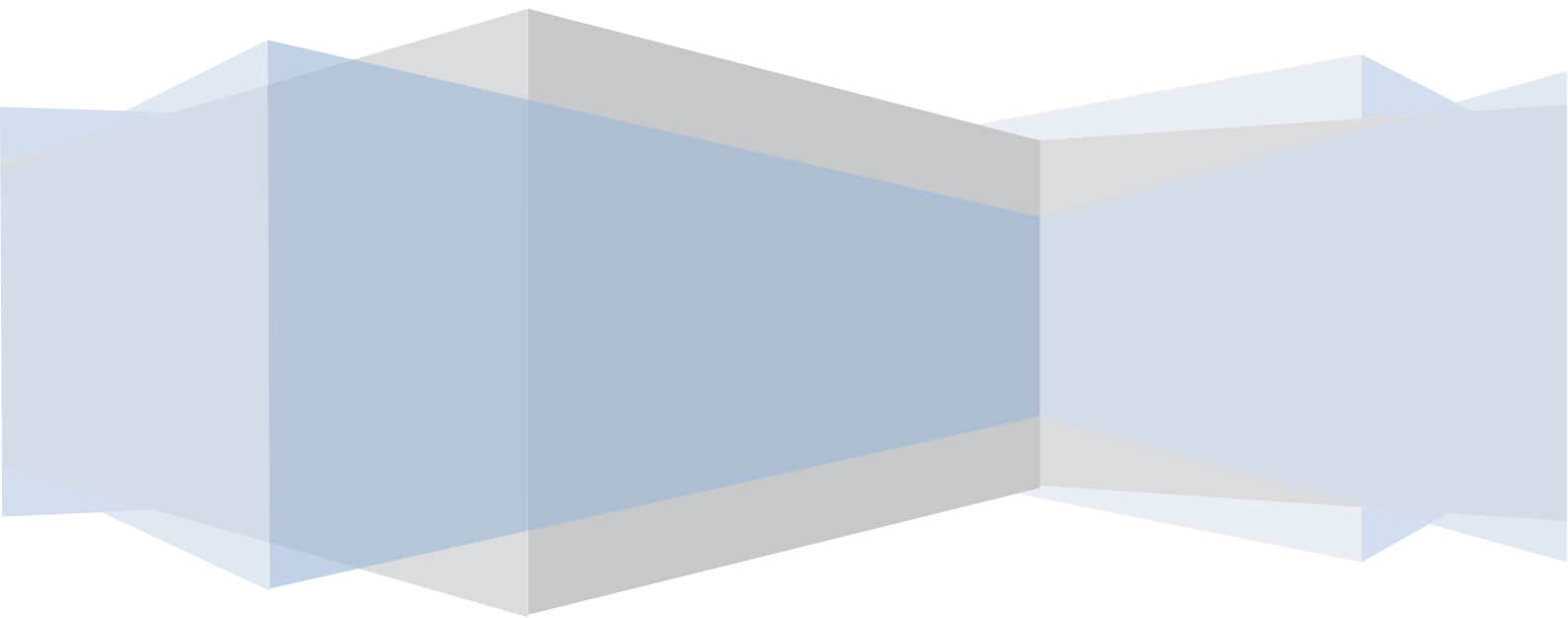
4. Pavimentación, para modificación y mejora de mezclas asfálticas.
5. Impermeabilizaciones, mediante pinturas especiales, pues los microgranulos de caucho poseen cualidades obturantes en grietas y fisuras de muros techados y superficies dañadas.
6. Y de manera más reciente se ha empezado a usar con materiales cementantes, tales como el cemento portland, esta nueva tecnología se llama T-Blocks y se compone de neumáticos viejos y concreto, y consume aproximadamente entre 20 a 40 neumáticos usados. Sus usos van desde controlar la erosión de la tierra y la protección de las pendientes, construcción de diques y control de inundaciones, una especie de gavión, pero elaborado con los materiales mencionados.

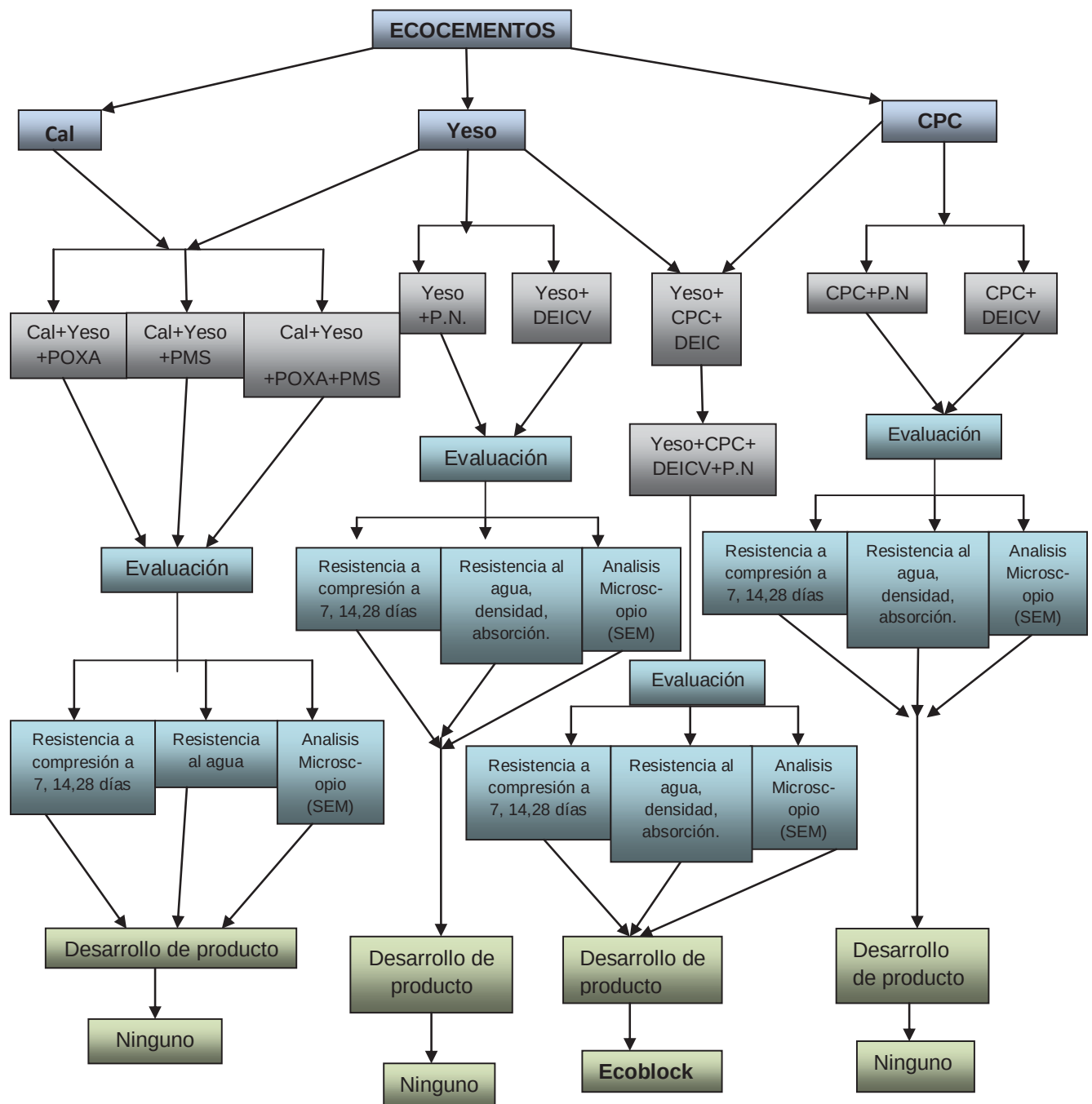
Actualmente operan en el mercado mexicano, ocho plantas productoras de llantas, las cuales generan una producción anual de 18 millones de neumáticos para el cierre del presente año, lo que será mayor a los 16 millones de llantas fabricadas el año pasado.

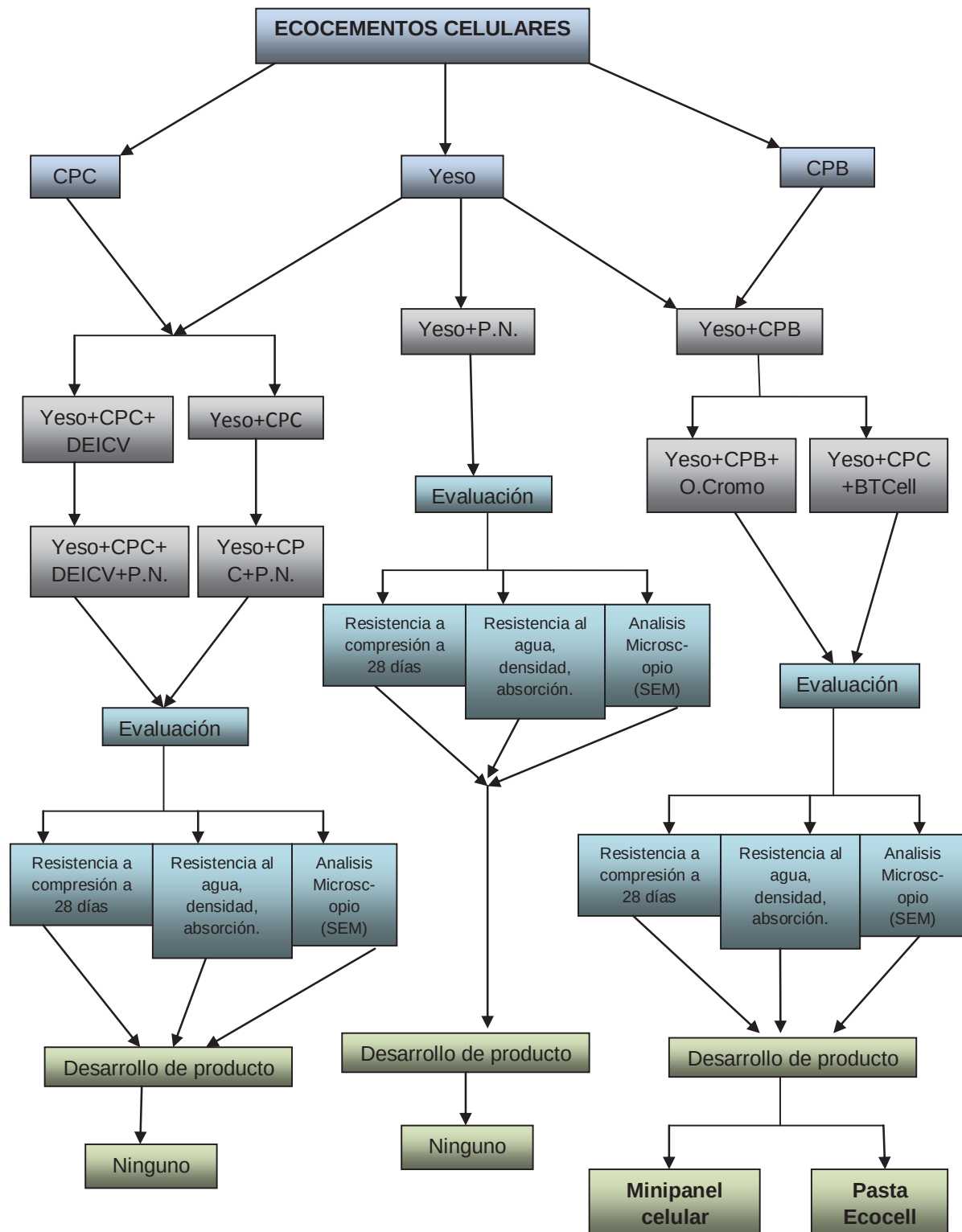
Por su parte, la Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadoras (Andellac), informó que el mercado mexicano consume al más de 25 millones de llantas nuevas al año, y tan solo en el primer semestre del presente año, la comercialización creció 7.0 por ciento o el equivale a 100 mil llantas más en relación al mismo periodo del año pasado; ventas impulsadas por neumáticos para el mercado de repuesto.

CAPITULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL

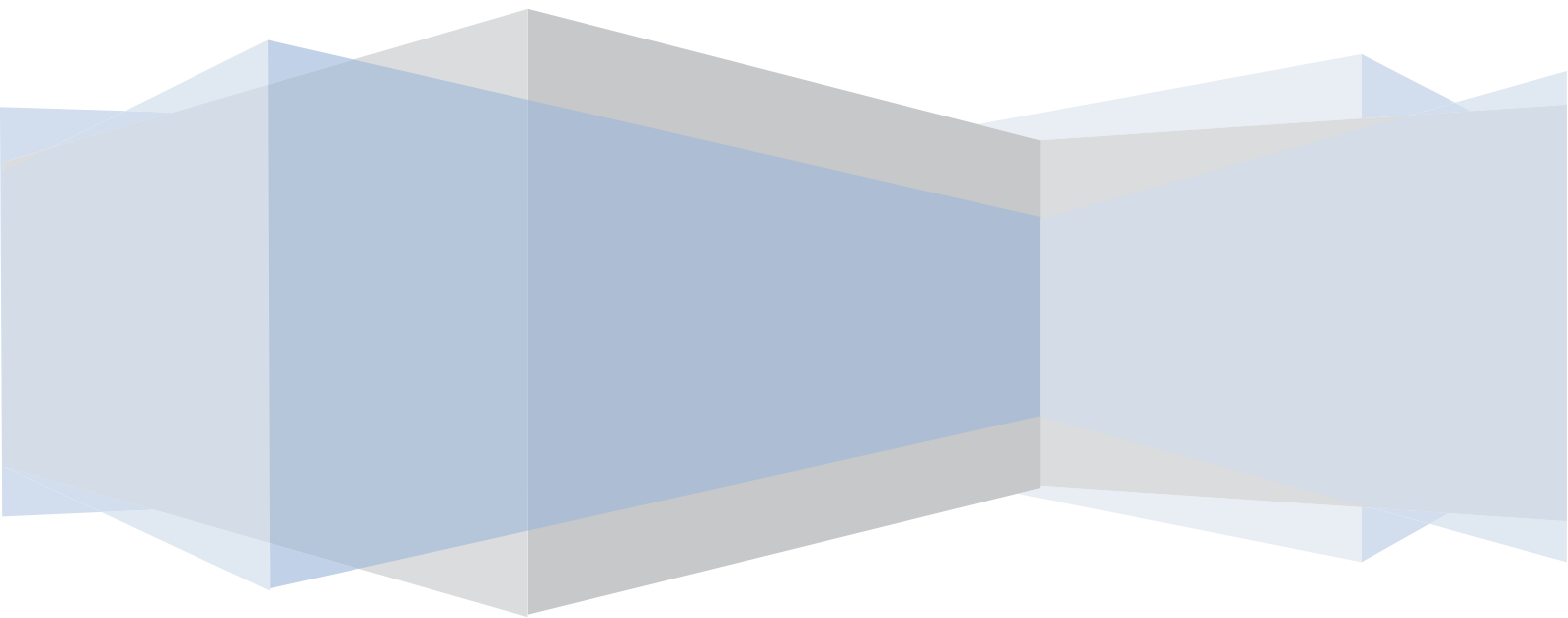






CAPITULO IV

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ECOCEMENTOS



IV.1 ECOCEMENTOS ETAPA I

Como primera instancia se hace una descripción de los materiales que se han usado, el tipo y marca, en su caso.

- **Yeso: Yeso Supremo USG/San Luis® para construcción.**
- **Cal: Cal Muro® para construcción, de Calizas de Michoacán.**
- **POXA (puzolana).**
- **PMS (puzolana).**
- **Aditivo P4000**
- **Agua.**

Con los anteriores materiales, se realizaron mezclas para analizar su comportamiento, utilizándose las siguientes abreviaturas, en algunos casos:

Y = Yeso

Cal = Cal

Tabla General de Composiciones:

C	Composición	Relación A/C	Resistencia al agua
1	C1:80%Y+20%Cal+20%POXA	0.55	Parcialmente Soluble
2	C2:80%Y+20%Cal+20%PMS	0.65	Parcialmente Soluble
3	C3:80%Y+20%Cal+10%POXA+10%PMS	0.55	Parcialmente Soluble
4	C4:50%Y+50%Cal+20%POXA	0.7	Soluble
5	C5:50%Y+50%Cal+20%PMS	0.8	Soluble
6	C6:50%Y+50%Cal+10%OA+10%MS	0.7	Soluble
7	C7:80%Cal+20%Y+20%POXA	0.8	Soluble
8	C8:80%Cal+20%Y+20%PMS	0.9	Soluble
9	C9:80%Cal+20%Y+10%POXA+10%PMS	0.8	Soluble

Procedimiento:

1. Se establecieron los conjuntos de composiciones.
2. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
3. Se adicionaba el aditivo P4000 al agua en relación a 15g/kg de material y se mezclaba de manera homogénea.
4. Se elaboraron las mezclas con una relación A/C, que resultara baja y óptima para la buena hidratación de la mezcla.
5. Se adicionaba el agua al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.



6. Se procedía al colado de la mezcla en moldes metálicos cúbicos de medidas aproximadas de 5x5x5 cm (previamente limpiados y engrasados).



7. Se desmoldaban y marcaban los especímenes para ser almacenados para pruebas posteriores.



8. Se probaban mecánicamente grupos de 9 especímenes, a compresión simple a edades de 7,14 y 28 días.



9. Los resultados se guardaban en bitácora electrónica.

10. Para la resistencia al agua, eran sumergidos durante un periodo de 7 días en agua y se analizaba su comportamiento, de acuerdo a las características observadas. Y eran pesados antes y después, para cuantificar su absorción.

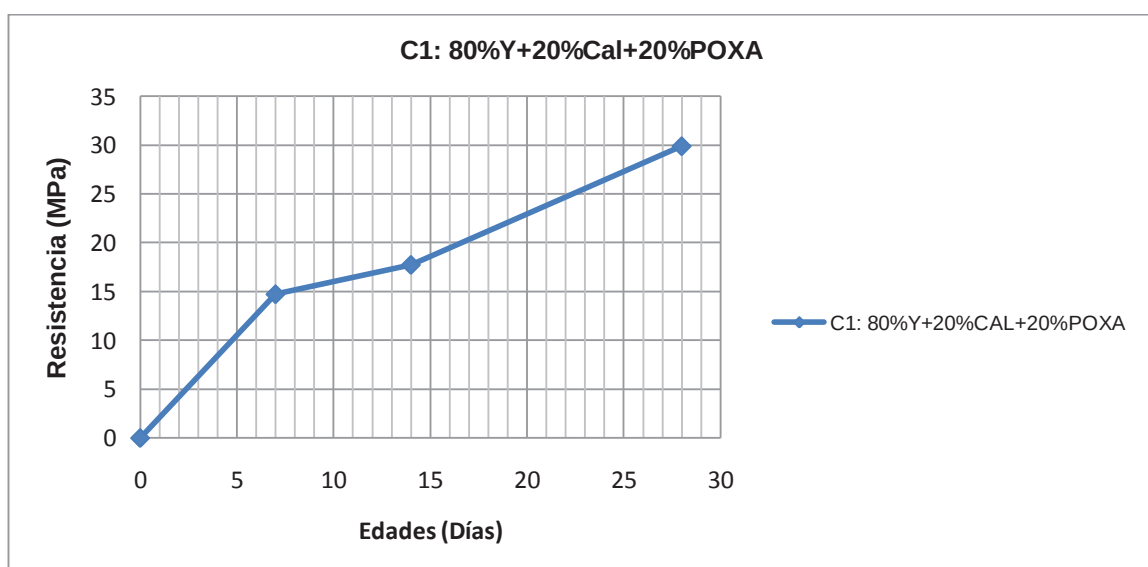
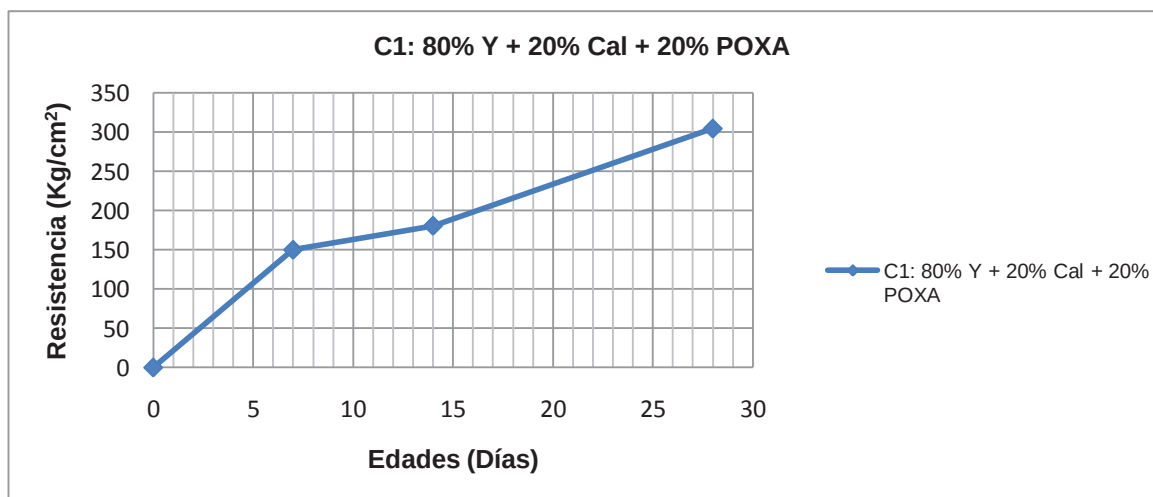
11. A su vez eran medidas sus dimensiones de un grupo de especímenes, con lo cual se obtenía su peso volumétrico promedio.

IV.1.1 REGISTRO DE RESULTADOS ETAPA I

Composición No 1: 80%Y+20%Cal+20%POXA

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	150.1666667	14.72632249
14	180.7933333	17.72977313
28	304.7333333	29.88413767

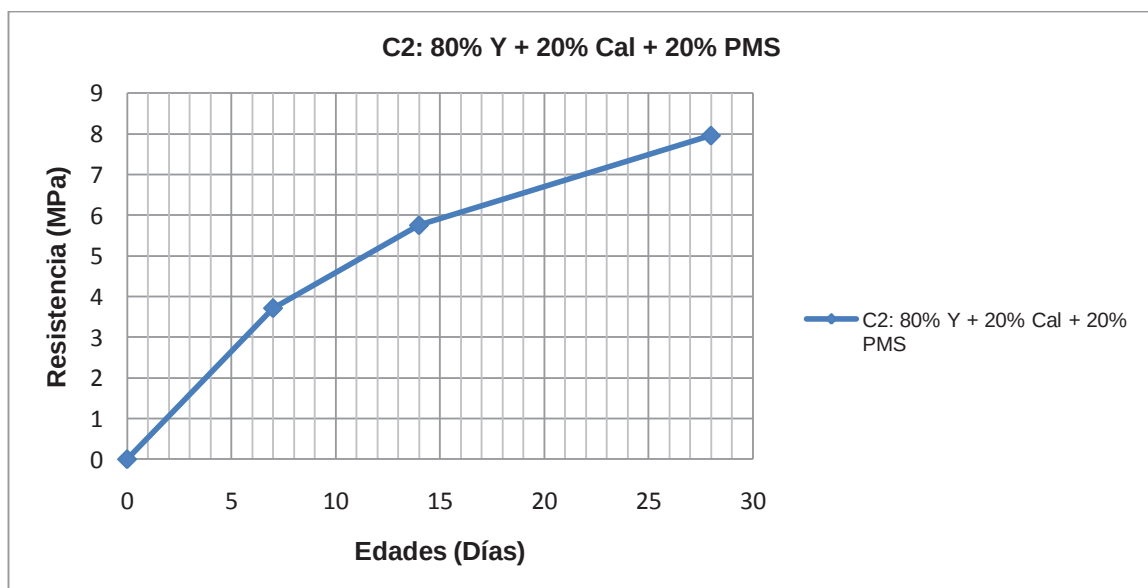
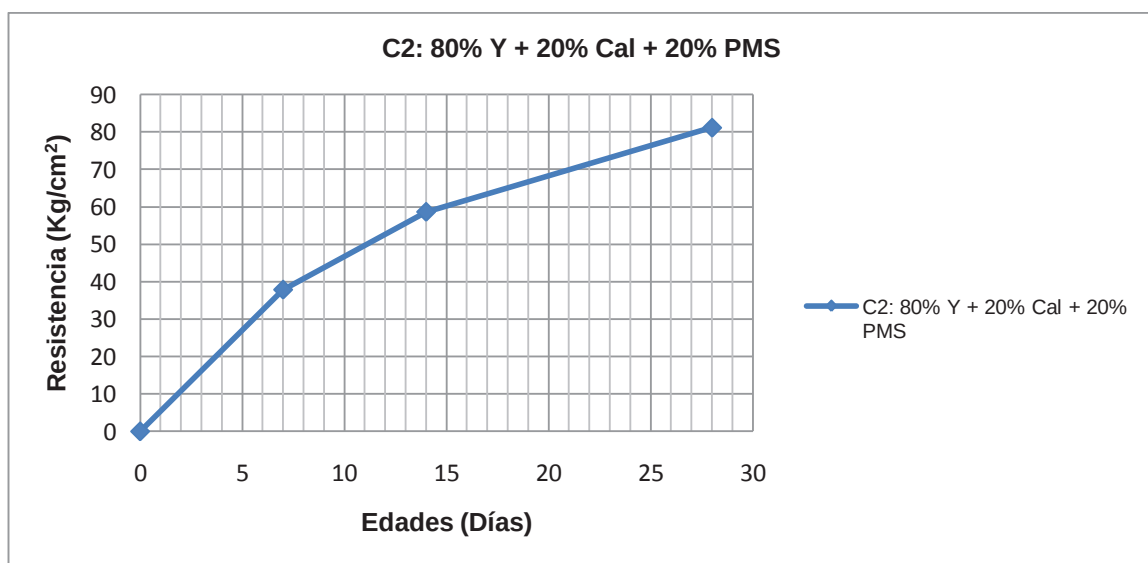
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 2: 80%Y+20%Cal+20%PMS

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	37.88444444	3.715195647
14	58.67555556	5.754107571
28	81.15555556	7.958642951

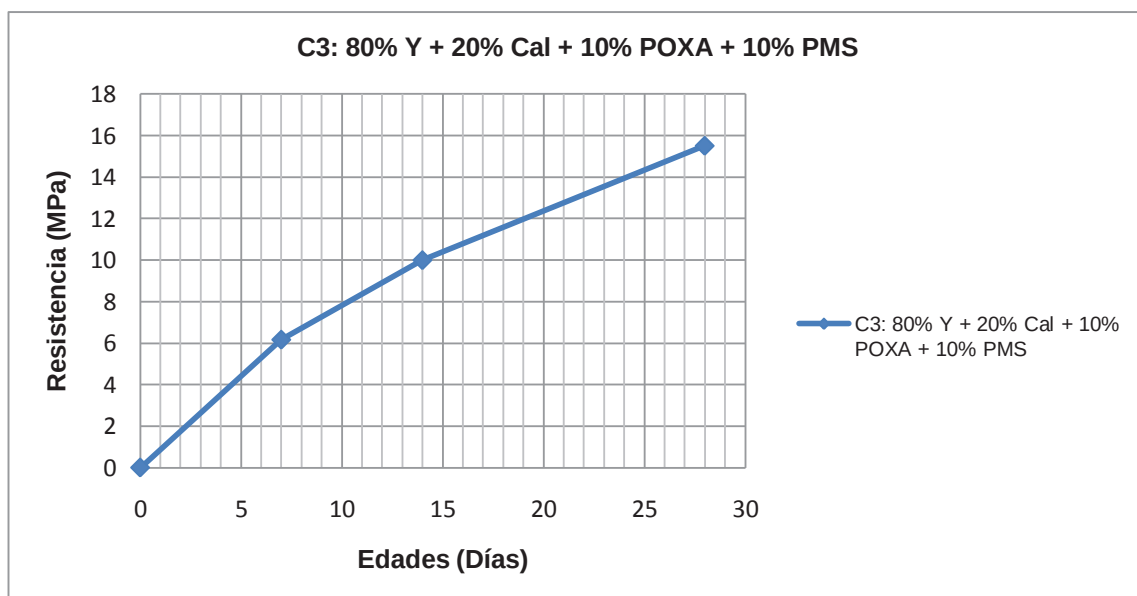
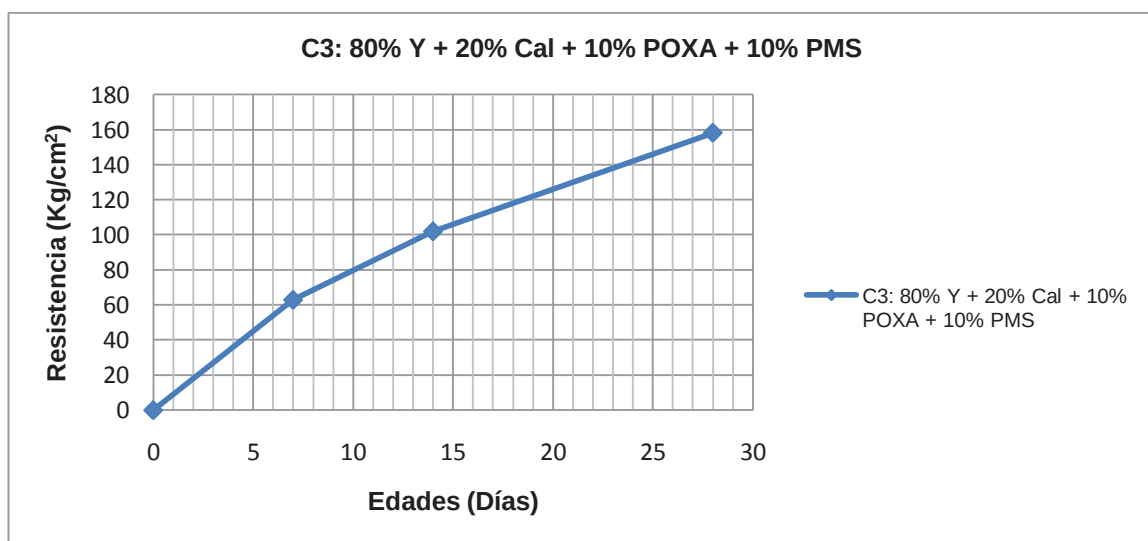
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 3: 80%Y+20%Cal+10%POXA+10%PMS

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	62.86	6.164461478
14	101.9333333	9.996247321
28	158.1555556	15.50976503

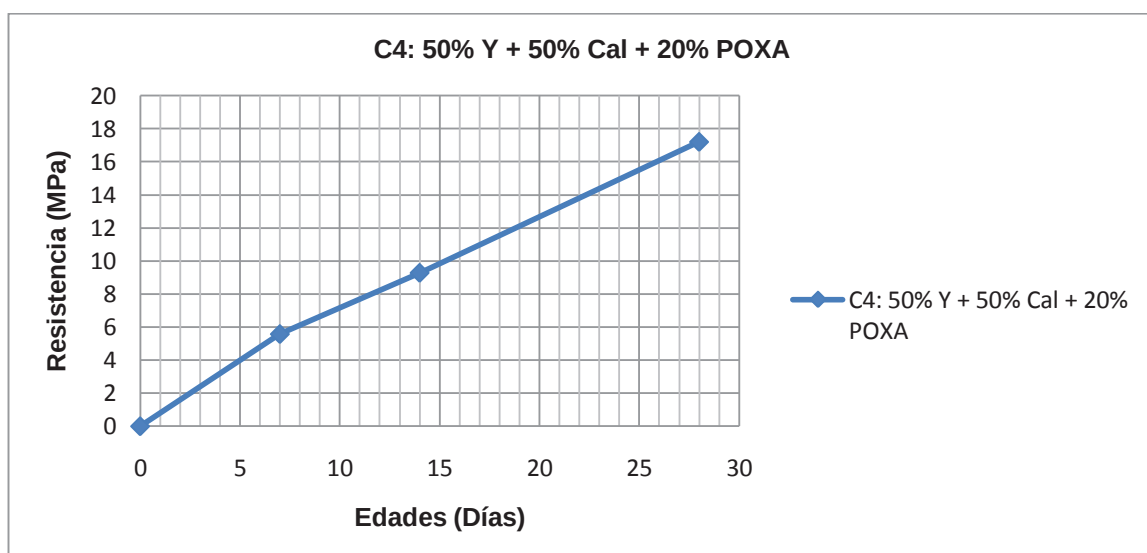
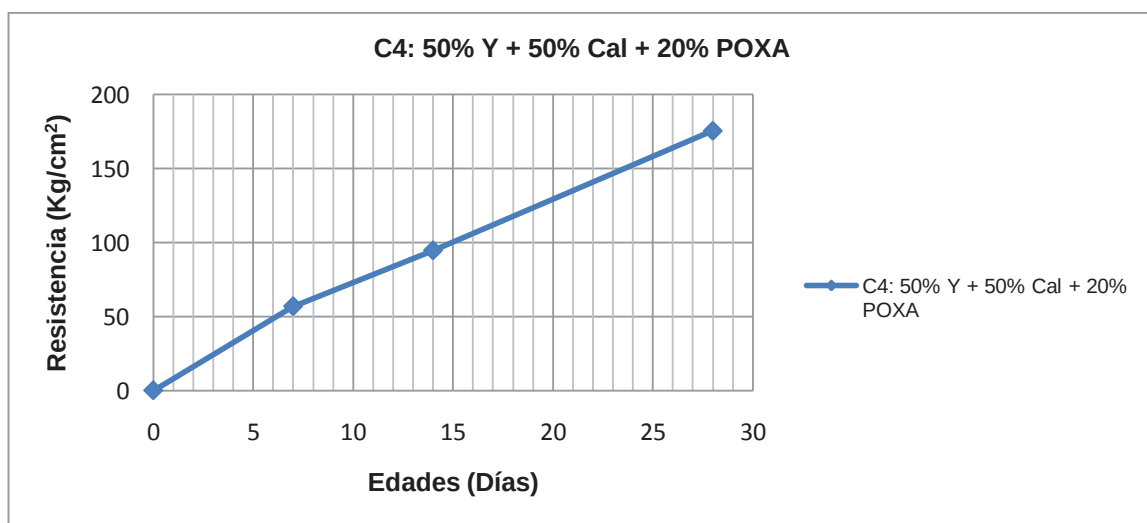
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 4: 50%Y+50%Cal+20%POXA

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	56.91111111	5.581074643
14	94.70444444	9.287335341
28	175.5555556	17.21612248

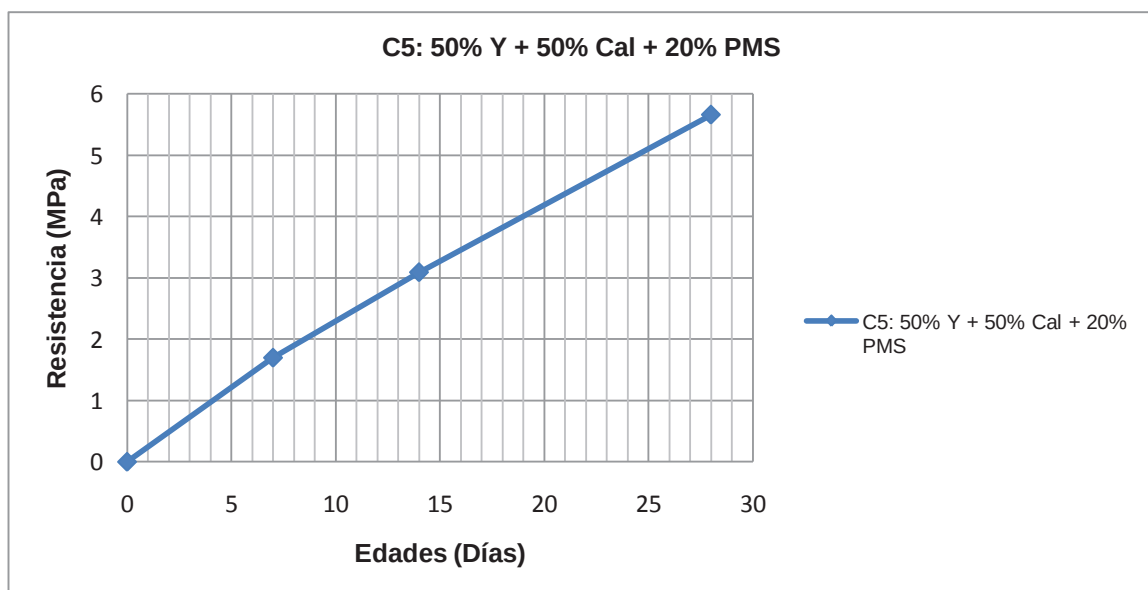
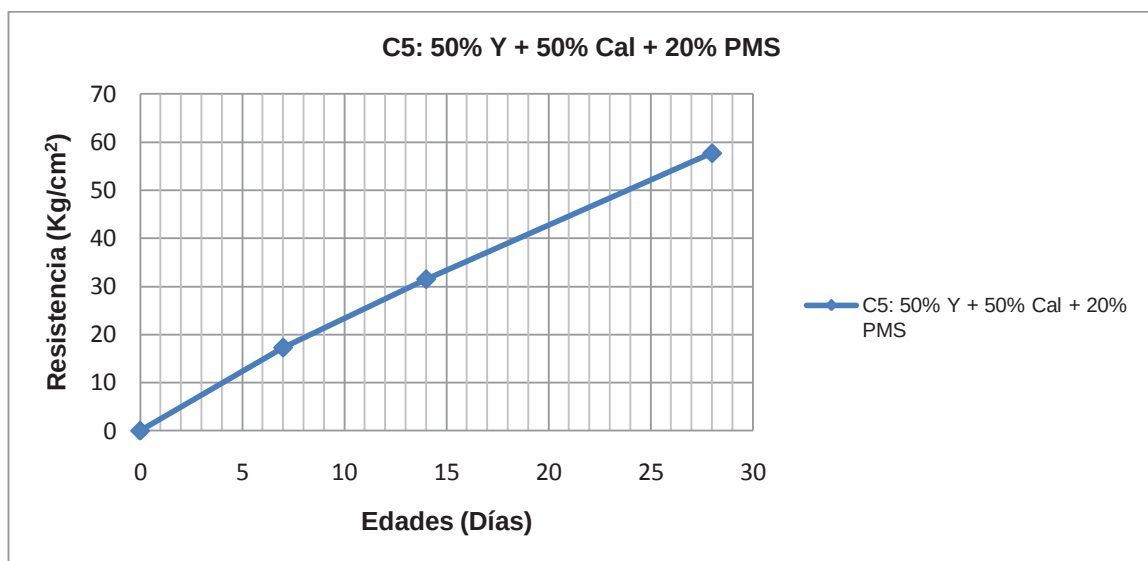
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 5: 50%Y+50%Cal+20%PMS

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	17.31111111	1.697640432
14	31.52222222	3.091274651
28	57.725	5.660889895

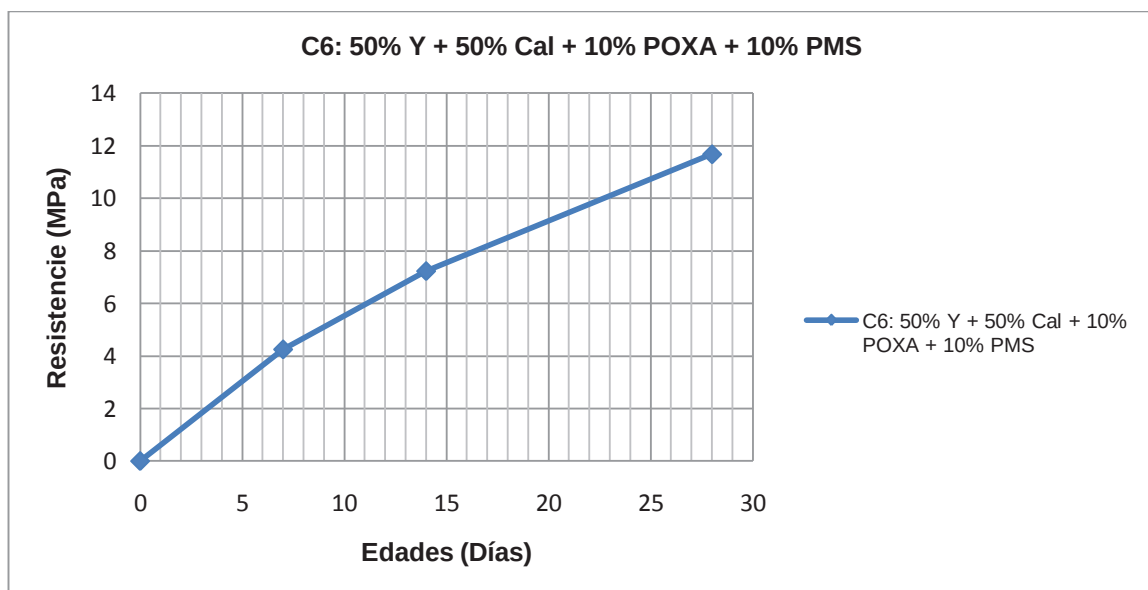
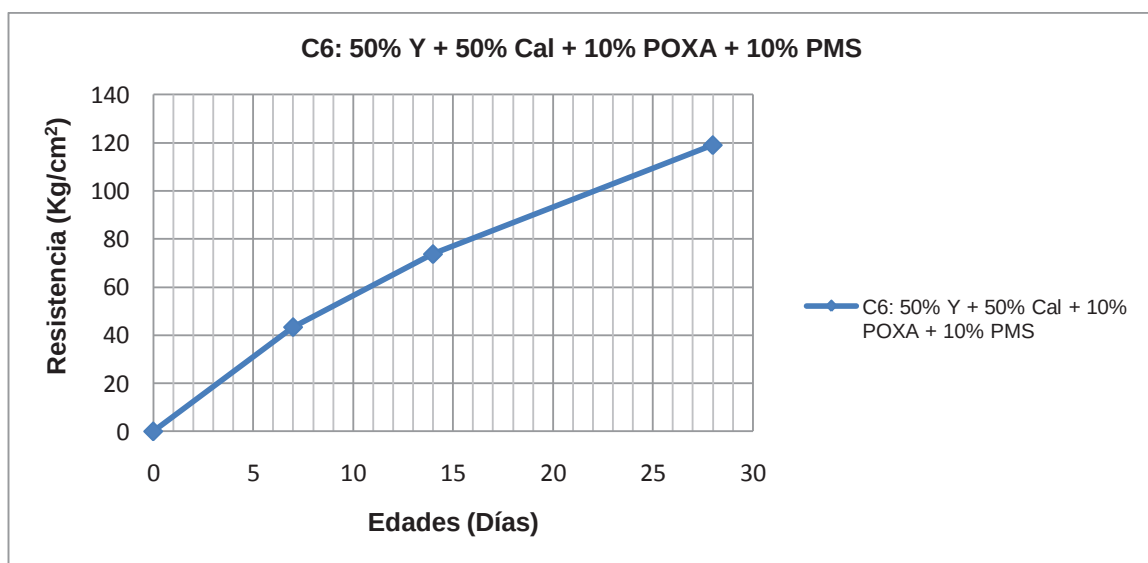
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 6: 50%Y+50%Cal+10%POXA+10%PMS

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	43.34933333	4.251118285
14	73.73111111	7.230553518
28	119.0666667	11.67645371

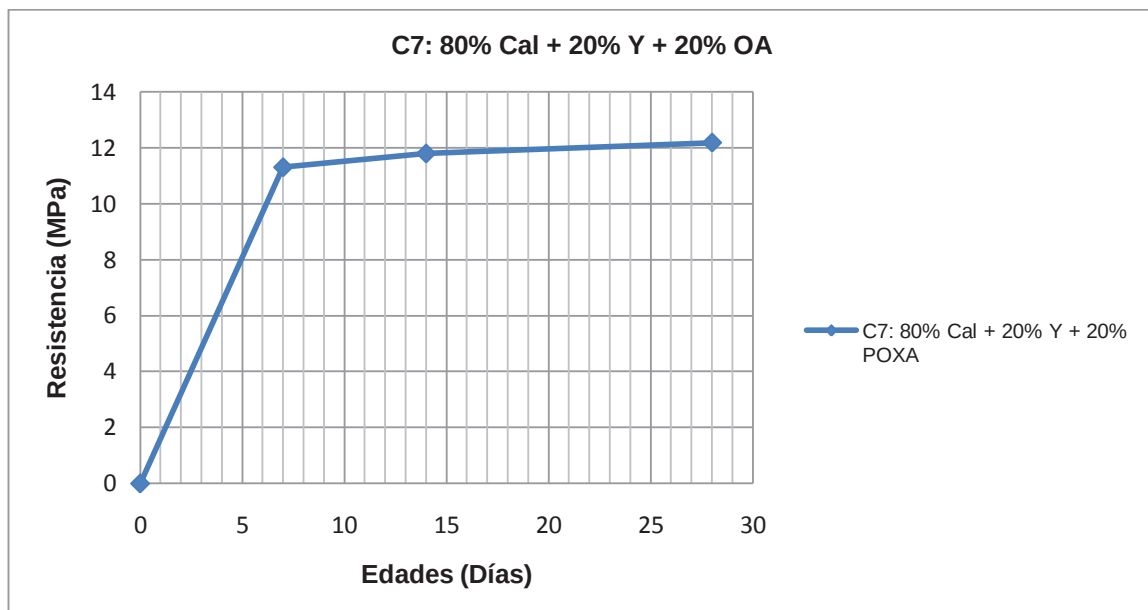
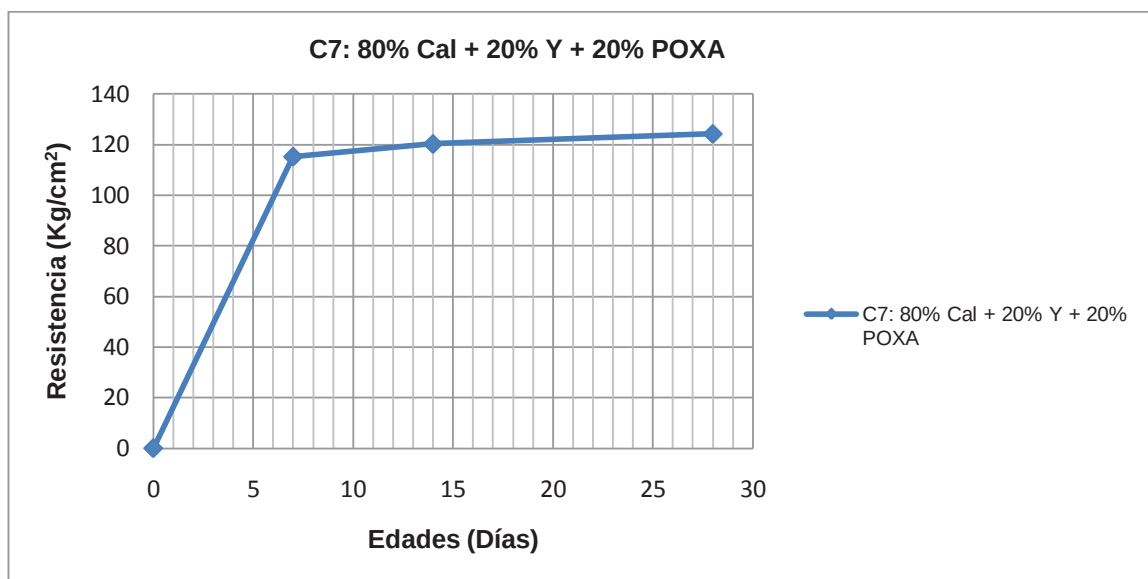
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 7: 80%Cal+20%Y+20%POXA

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	115.2355556	11.30074997
14	120.2533333	11.79282598
28	124.2375	12.18353934

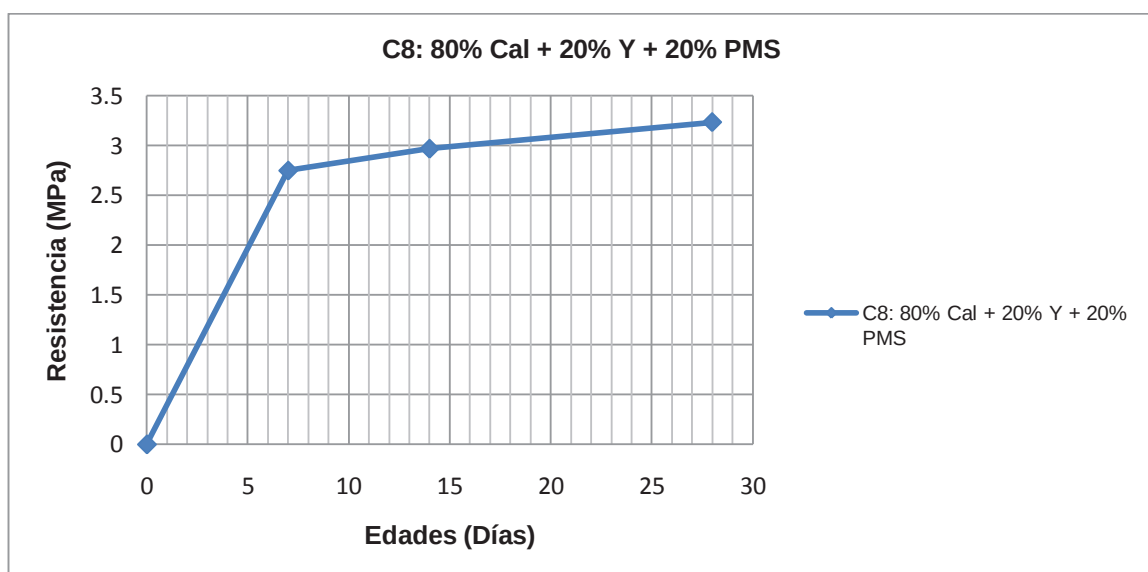
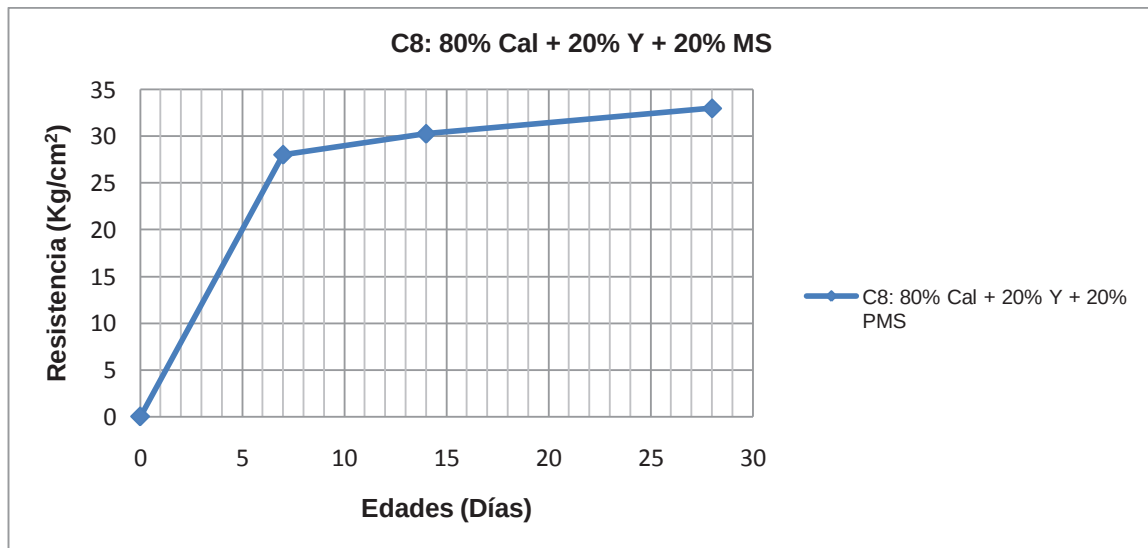
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 8: 80%Cal+20%Y+20%PMS

Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	28.02777778	2.748586644
14	30.26666667	2.968146687
28	32.98888889	3.235105548

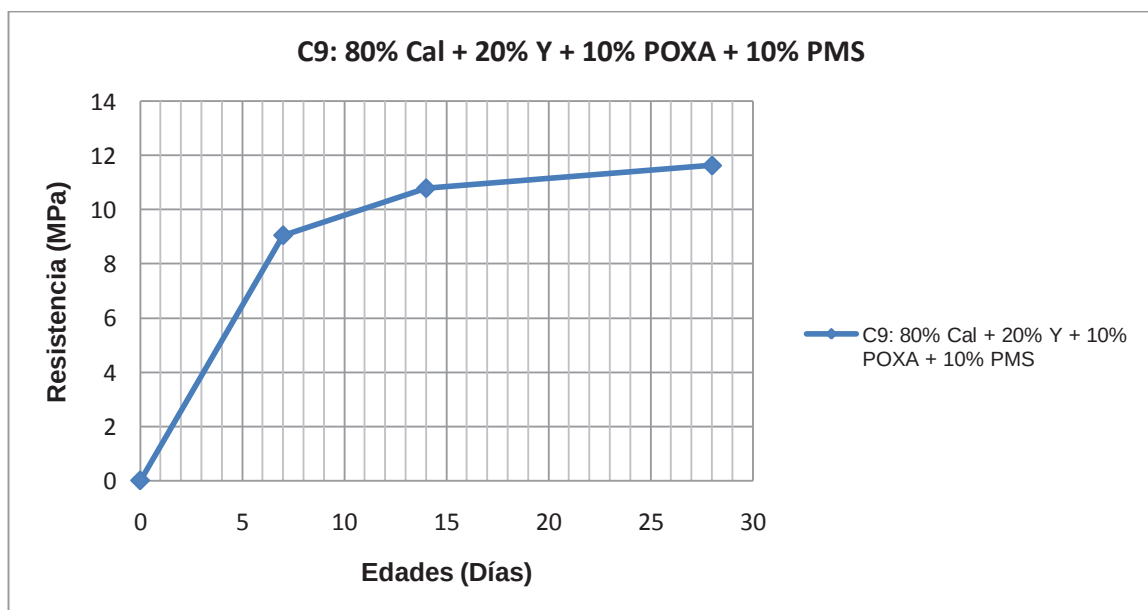
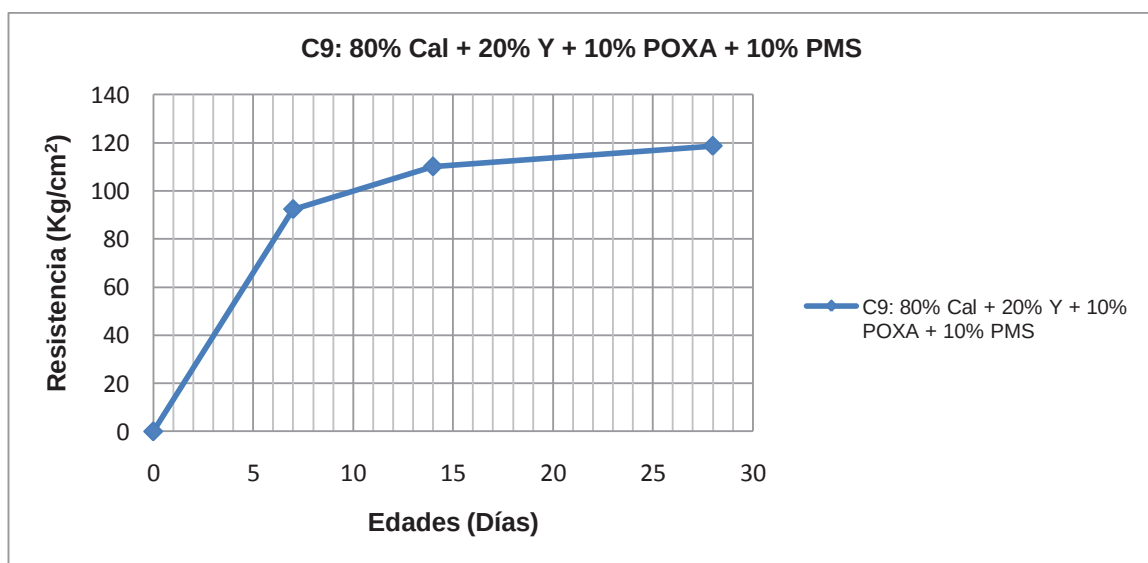
Graficas de evolución de resistencia



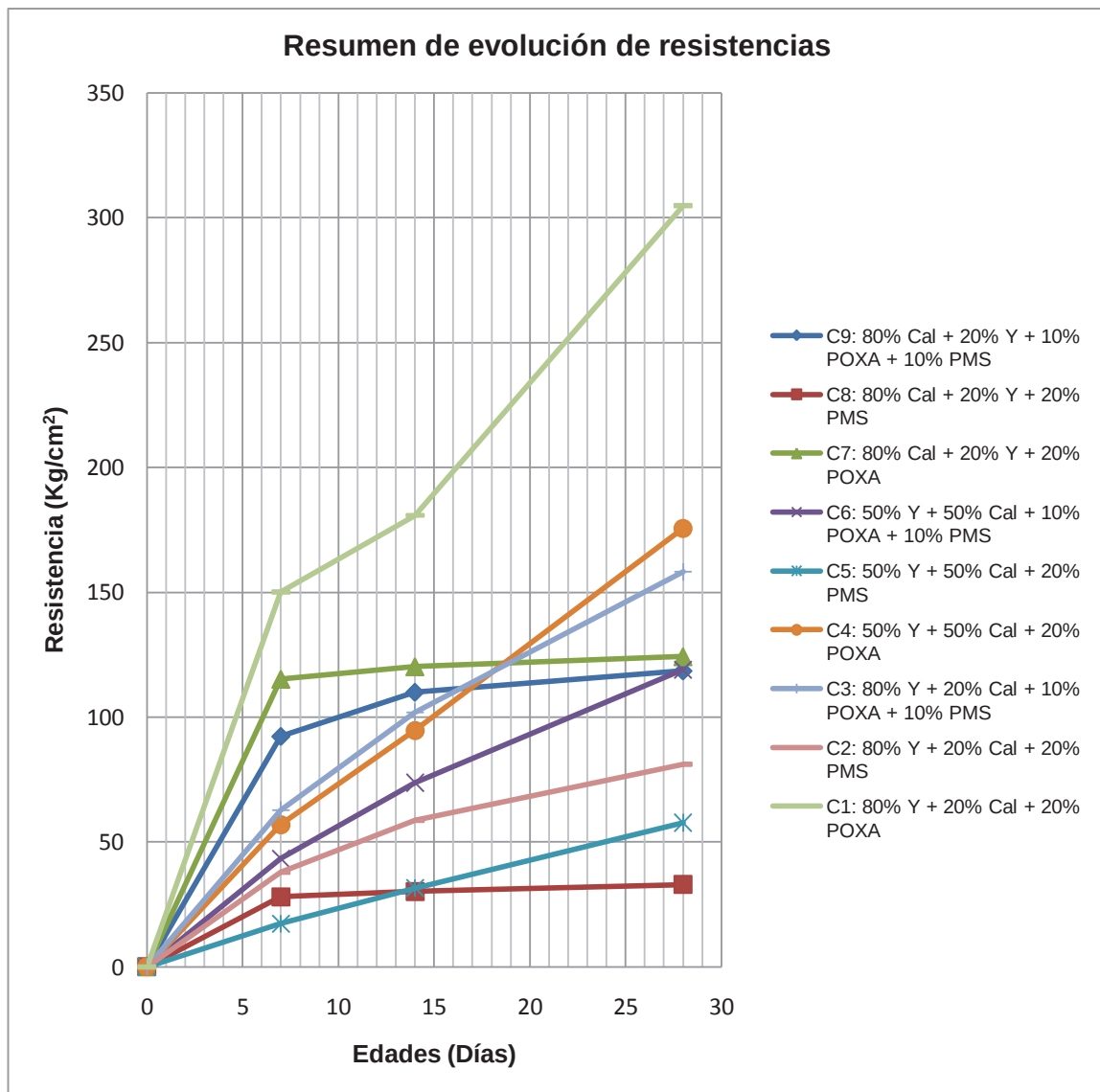
Composición No 9: 80%Cal+20%Y+10%POXA+10%PMS

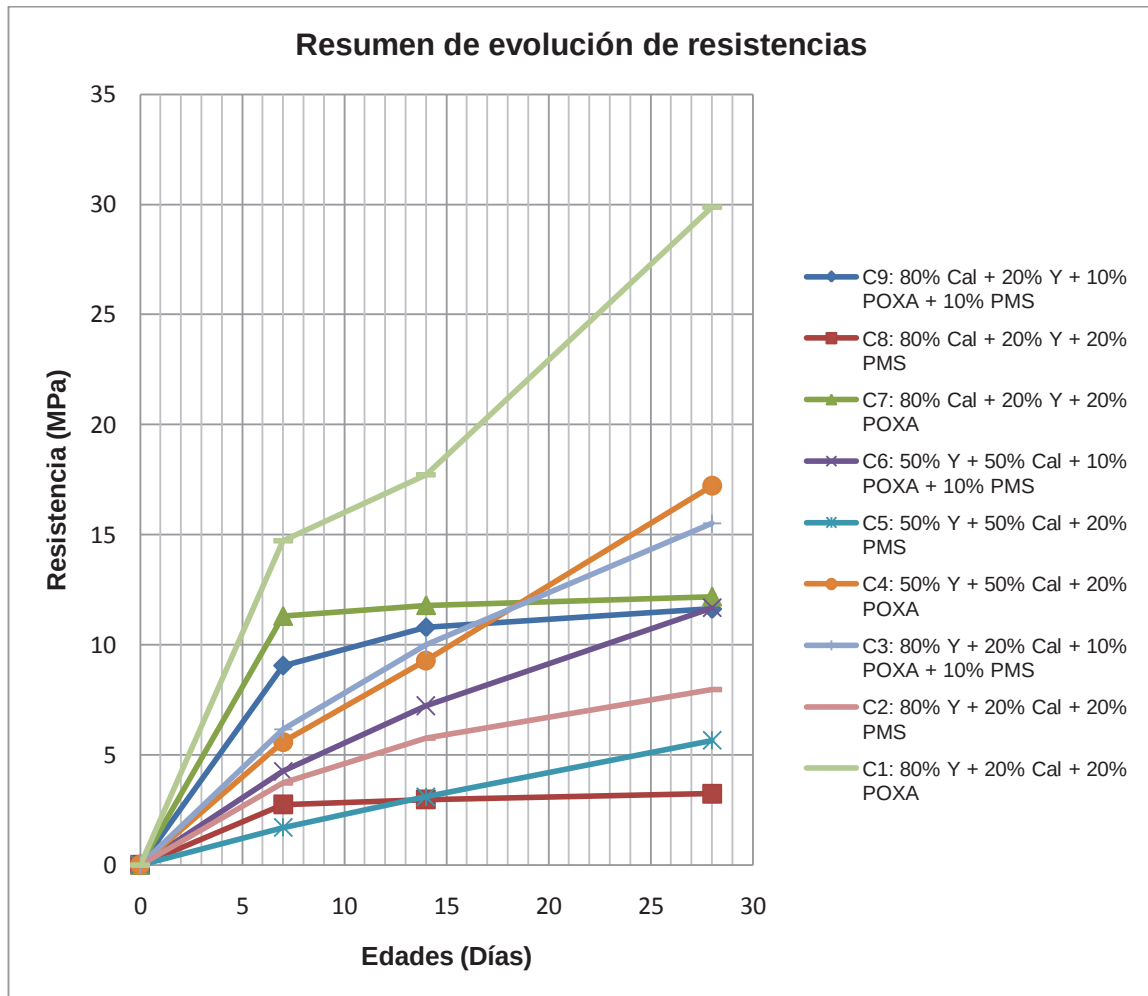
Edades (Días)	Resistencia Promedio Kg/cm ²	Resistencia Promedio MPa
0	0	0
7	92.3188889	9.053392208
14	110.038889	10.79113095
28	118.588889	11.6295997

Graficas de evolución de resistencia



IV.1.2 CONCENTRADO DE EVOLUCIÓN DE RESISTENCIA EN COMPOSICIONES





Observaciones:

Mejor composición respecto a la resistencia mecánica fue la C1:80% Yeso+ 20% Cal+ 20% POXA.

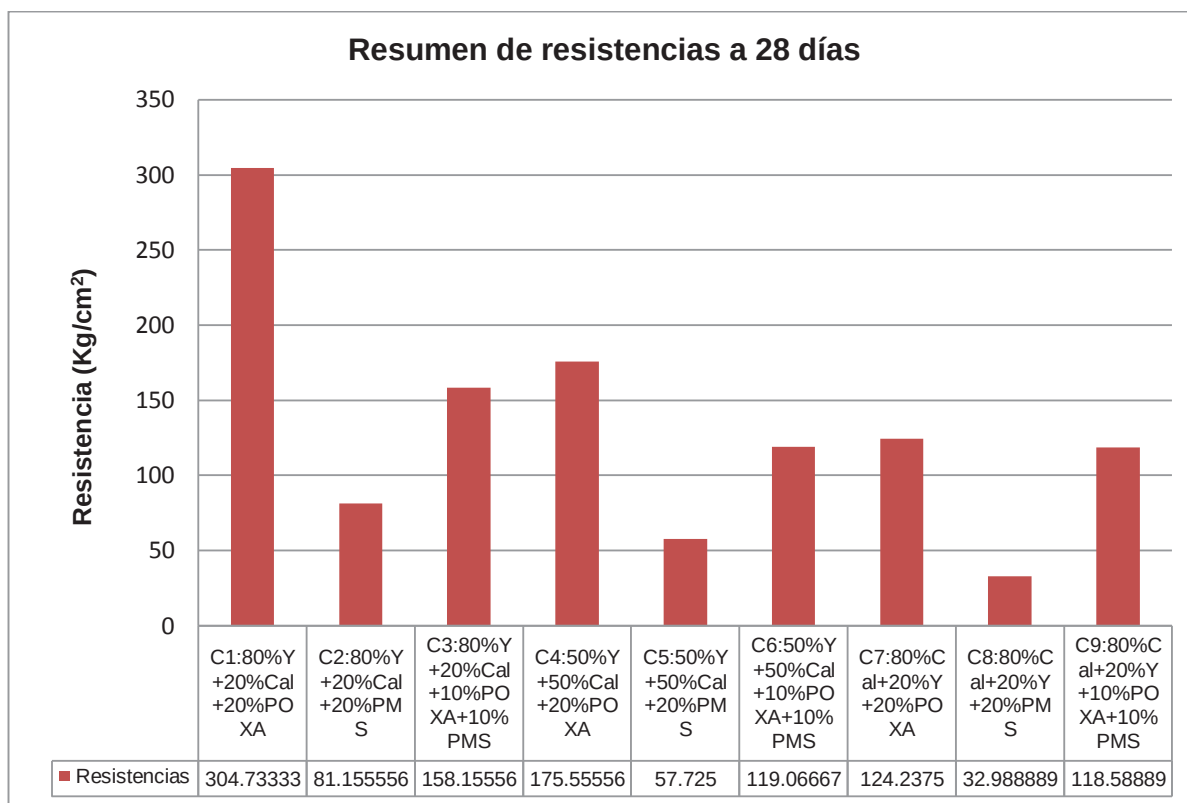
Aquellas composiciones donde la composición predominante era la cal, presentaban un aumento de resistencia muy bajo o casi nulo, mientras que aquellas donde predomino el yeso, aumentaba de buena manera su resistencia.

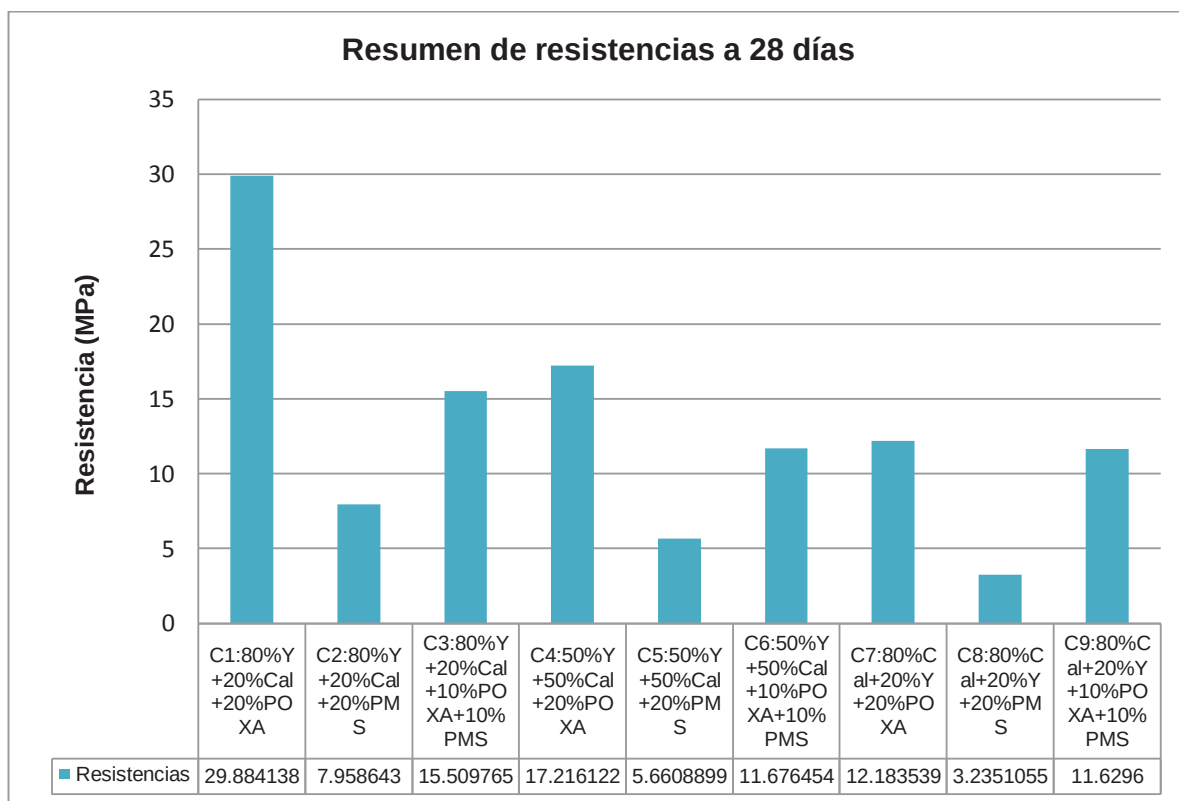
Las composiciones que contenían la puzolana PMS, no desarrollaron buenas resistencias, por lo tanto esta no tiene un buen desarrollo con estos tipos de materiales (cal, yeso).

IV.1.3 CONCENTRADO DE RESISTENCIAS A 28 DÍAS

Resumen de resistencia de los especímenes a 28 días

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
1	C1:80%Y+20%Cal+20%POXA	304.7333333	29.88413767
2	C2:80%Y+20%Cal+20%PMS	81.15555556	7.958642951
3	C3:80%Y+20%Cal+10%POXA+10%PMS	158.1555556	15.50976503
4	C4:50%Y+50%Cal+20%POXA	175.5555556	17.21612248
5	C5:50%Y+50%Cal+20%PMS	57.725	5.660889895
6	C6:50%Y+50%Cal+10%POXA+10%PMS	119.0666667	11.67645371
7	C7:80%Cal+20%Y+20%POXA	124.2375	12.18353934
8	C8:80%Cal+20%Y+20%PMS	32.98888889	3.235105548
9	C9:80%Cal+20%Y+10%POXA+10%PMS	118.5888889	11.6295997





Las anteriores composiciones, no tuvieron los resultados esperados, al ser afectados severamente por el agua, cuando a estos se les aplicó la prueba de resistencia al agua, provocando esta, una severa expansión en la estructura del material.



En algunos en menor medida y en otros de forma más severa, provocando incluso la desintegración total de los especímenes.

IV.2 ECOCEMENTOS ETAPA II

Como primera instancia se hace una descripción de los materiales que se han usado, el tipo y marca, en su caso.

- **Cemento Portland: Cemento Portland Compuesto CPC 30R de Holcim Apasco®.**
- **Yeso: Yeso Supremo USG/San Luis® para construcción.**
- **Polvo de Neumático No 80 (0.18 mm)**
- **DEICV (puzolana).**
- **Aditivo P4000.**
- **Agua.**

Con los anteriores materiales, se realizaron mezclas para analizar su comportamiento, utilizándose las siguientes abreviaturas, en su caso:

Y = Yeso

PN: Polvo de neumático

CPC: Cemento portland común

Tabla General de Composiciones:

C	Composición	A/C	P. Vol. (Kg/m ³)	Humedad De Absorción (%)	Resistencia al agua
10	C10: 100%Y	0.4	1381.925	18.699	Soluble
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	0.5	1366.666	22.987	Parcialmente Soluble
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	0.5	1436.703	20.5865	Insoluble
13	C13:80%CPC+20%Y+20%DEICV	0.5	1513.298	15.73	Insoluble
14	C14:100%CPC	0.35	1888.53	6.379	Insoluble
15	C15:100%Y+20%DEICV	0.45	1359.765	19.491	Soluble
16	C16:100%CPC+20%DEICV	0.4	1816.77	5.29	Insoluble
17	C17:100%Cal	0.55	1024.62	-	Soluble
18	C18:100%Y+5%PN	0.4	1359.386	16.238	Soluble
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	0.5	1323.174	21.511	Parcialmente Soluble
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	0.5	1365.358	21.687	Insoluble

Procedimiento:

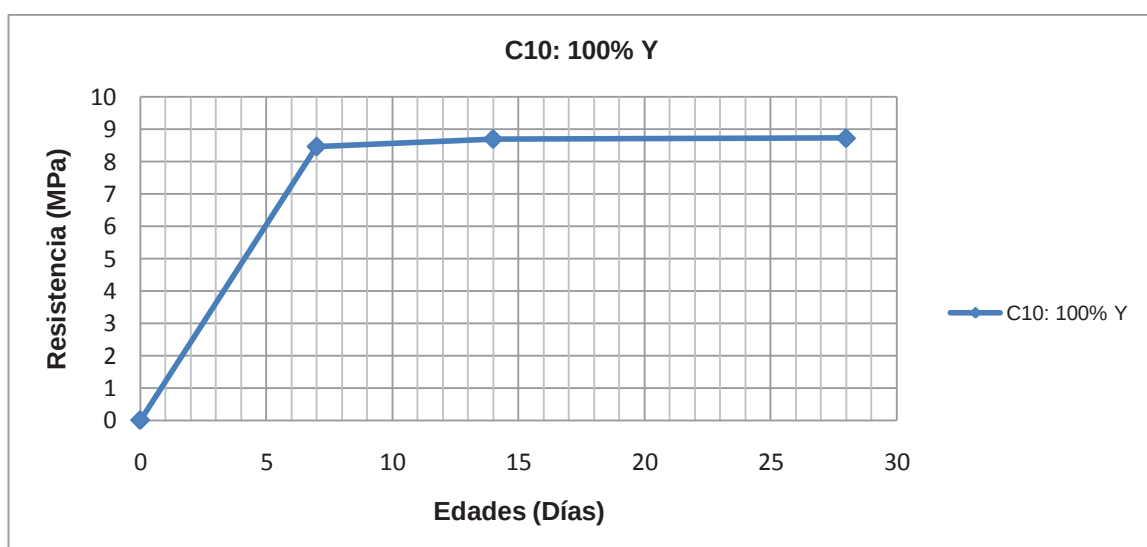
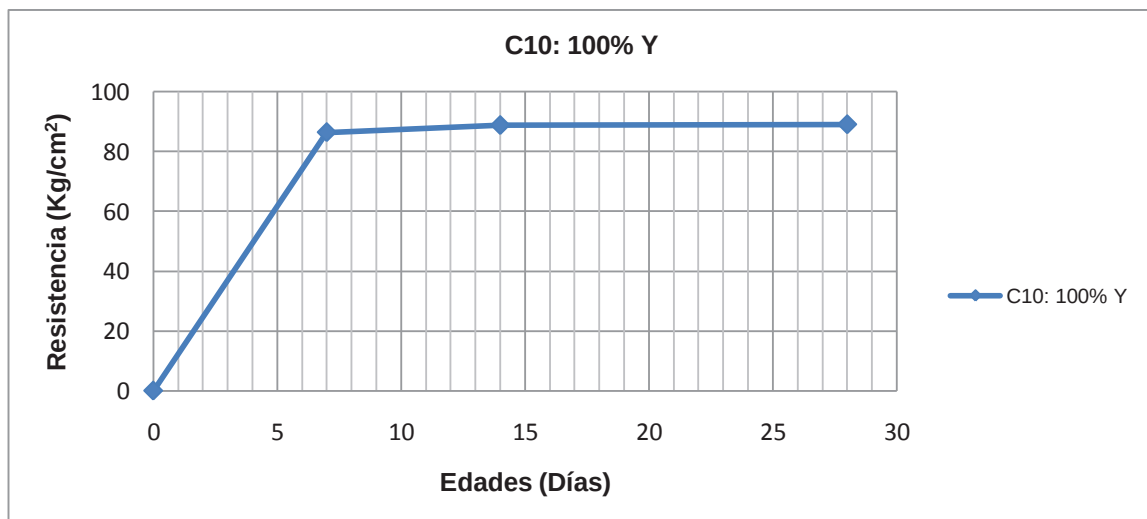
1. Se establecieron los conjuntos de composiciones.
2. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
3. Se adicionaba el aditivo P4000 al agua en relación a 15g/kg de material y se mezclaba de manera homogénea.
4. Se elaboraron las mezclas con una relación A/C, que resultara baja y óptima para la buena hidratación de la mezcla.
5. Se adicionaba el agua al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.
6. Se procedía al colado de la mezcla en moldes metálicos cúbicos de medidas aproximadas de 5x5x5 cm (previamente limpiados y engrasados).
7. Se desmoldaban y marcaban los especímenes para ser almacenados para pruebas posteriores.
8. Se probaban mecánicamente grupos de 9 especímenes, a compresión simple a edades de 7,14 y 28 días.
9. Los resultados se guardaban en bitácora electrónica.
10. Para la resistencia al agua, eran sumergidos durante un periodo de 7 días en agua y se analizaba su comportamiento, de acuerdo a las características observadas. Y eran pesados antes y después, para cuantificar su absorción.
11. A su vez eran medidas sus dimensiones de un grupo de especímenes, con lo cual se obtenía su peso volumétrico promedio.

IV.2.1 REGISTRO DE RESULTADOS ETAPA II

Composición No 10: 100% Y

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Parcialmente soluble	18.699
7	86.37555556	8.470550188	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	88.73333333	8.701769251		
28	89	8.727920323	1381.925	0.4

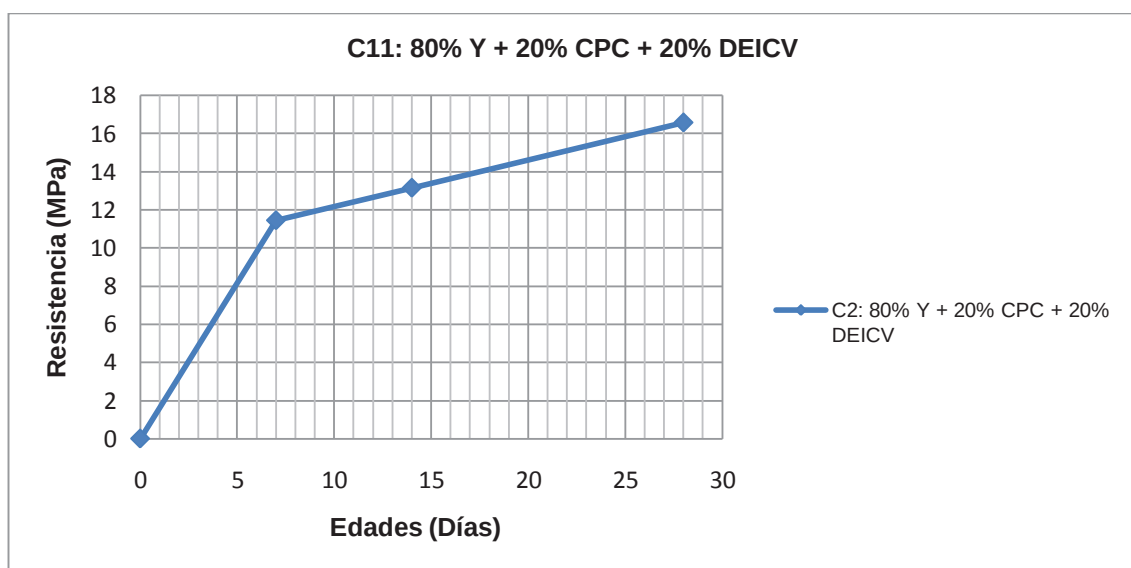
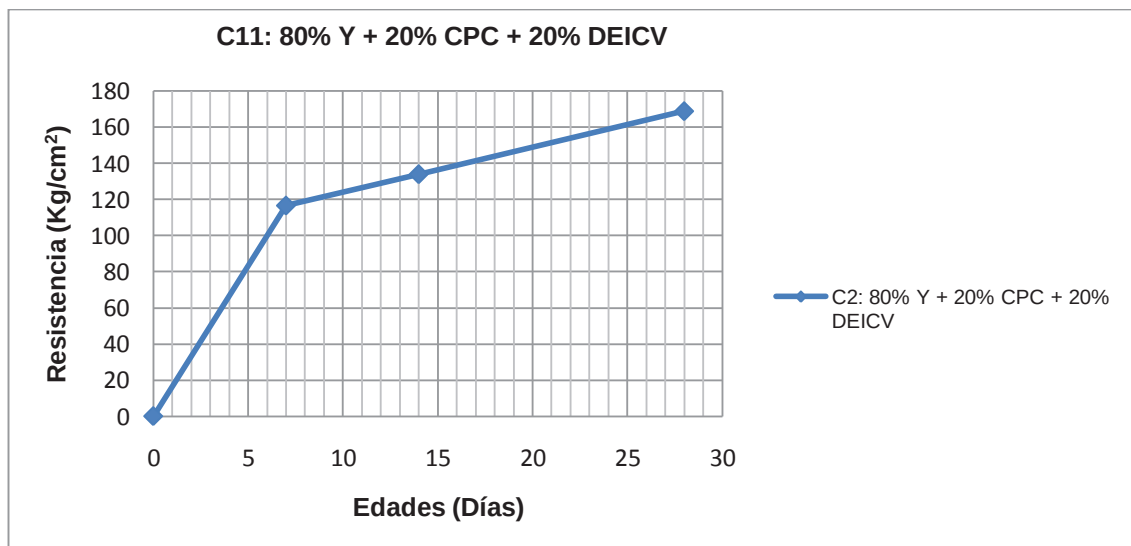
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 11: 80%Y+20%CPC+20%DEICV

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Parcialmente soluble	22.987
7	116.69	11.44338228	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	134.0666667	13.14745151	1366.666	0.5
28	169	16.57324196		

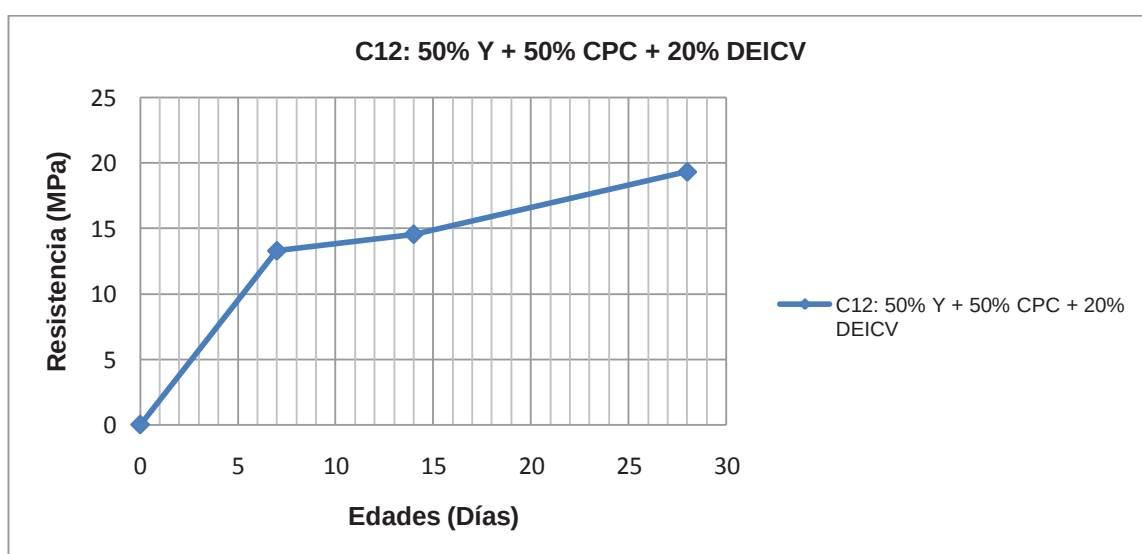
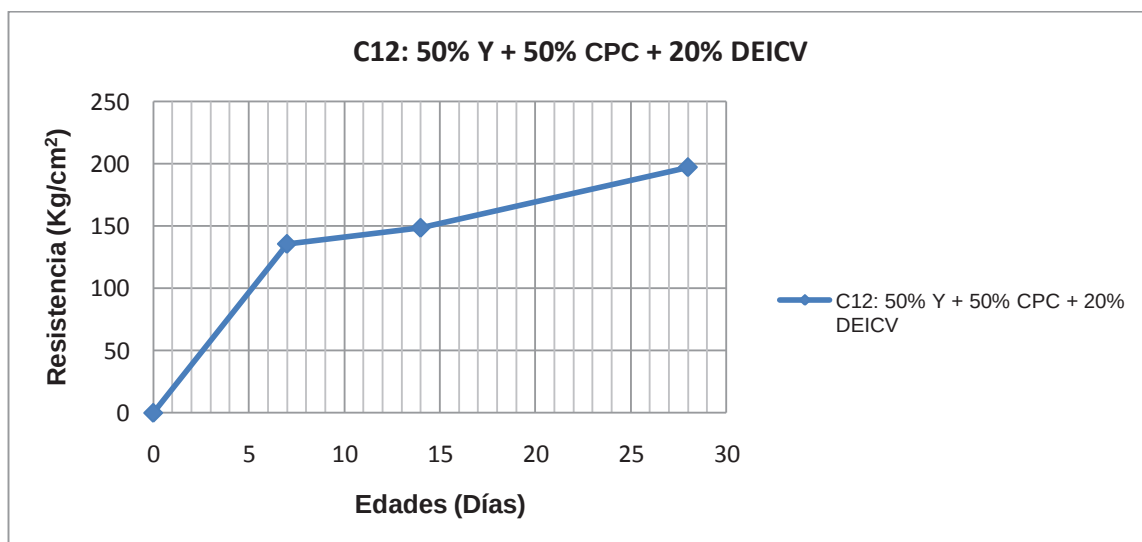
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 12: 50%Y+50%CPC+20%DEICV

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Insoluble	20.586
7	135.6	13.29782018	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	148.4888889	14.56178866	1436.703	0.5
28	197.1777778	19.33653858		

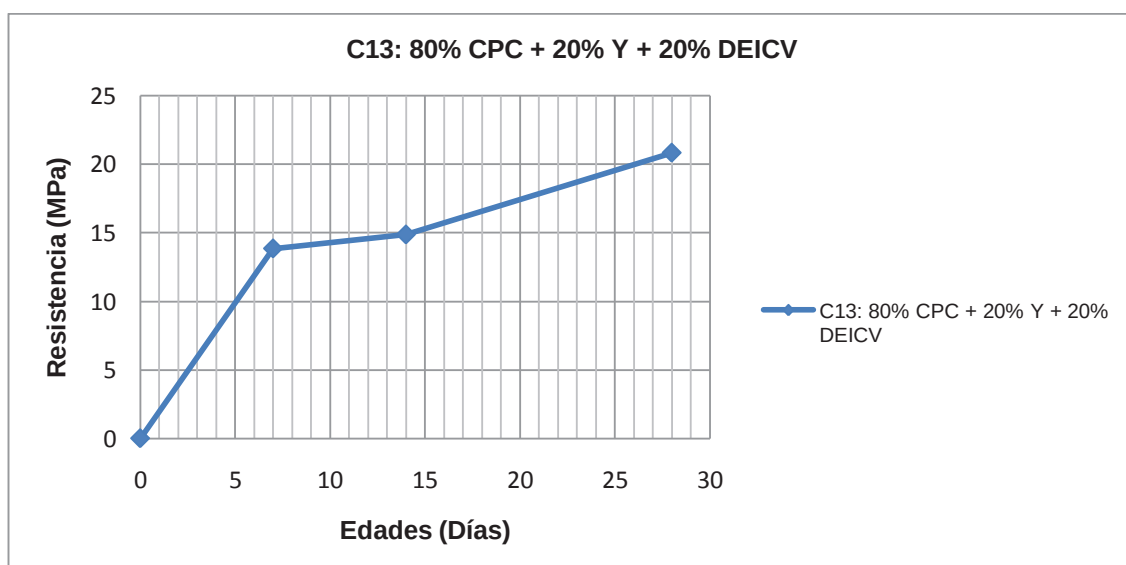
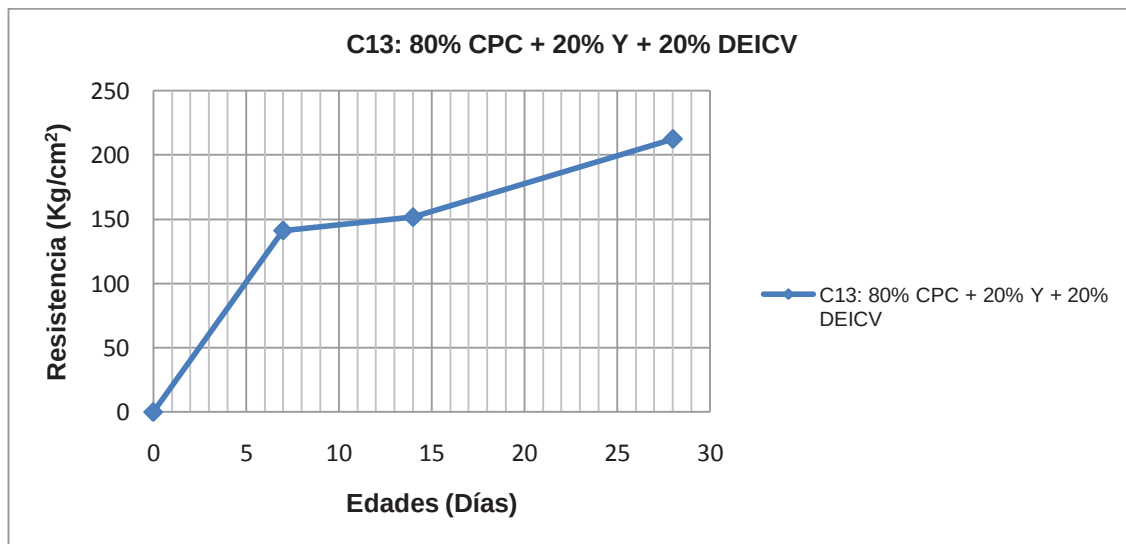
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 13: 80%CPC+20%Y+20%DEICV

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Insoluble	15.73
7	141.1777778	13.84481344	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	151.5666667	14.86361562	1513.298	0.5
28	212.4222222	20.83150821		

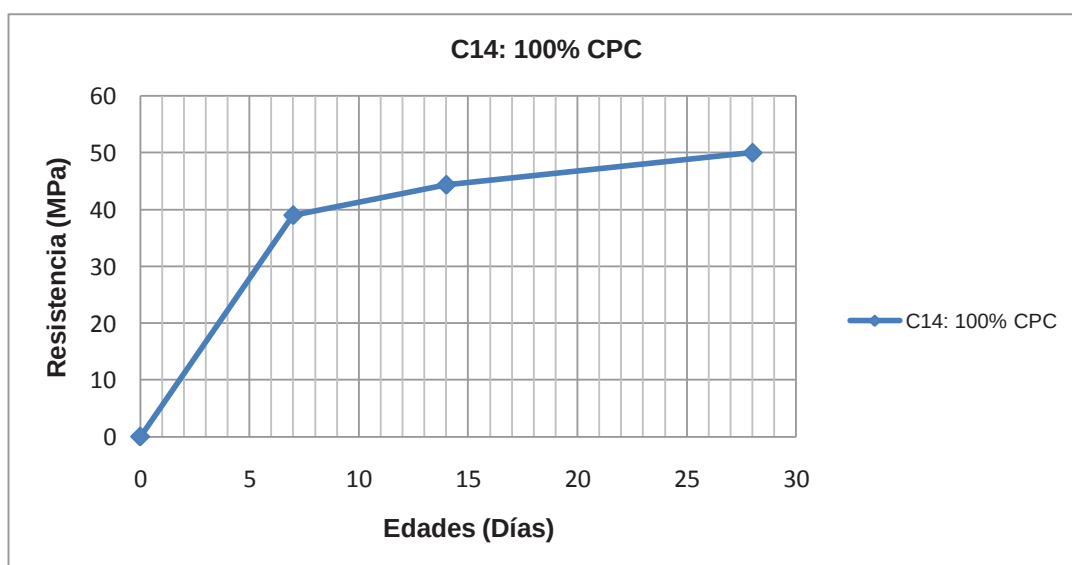
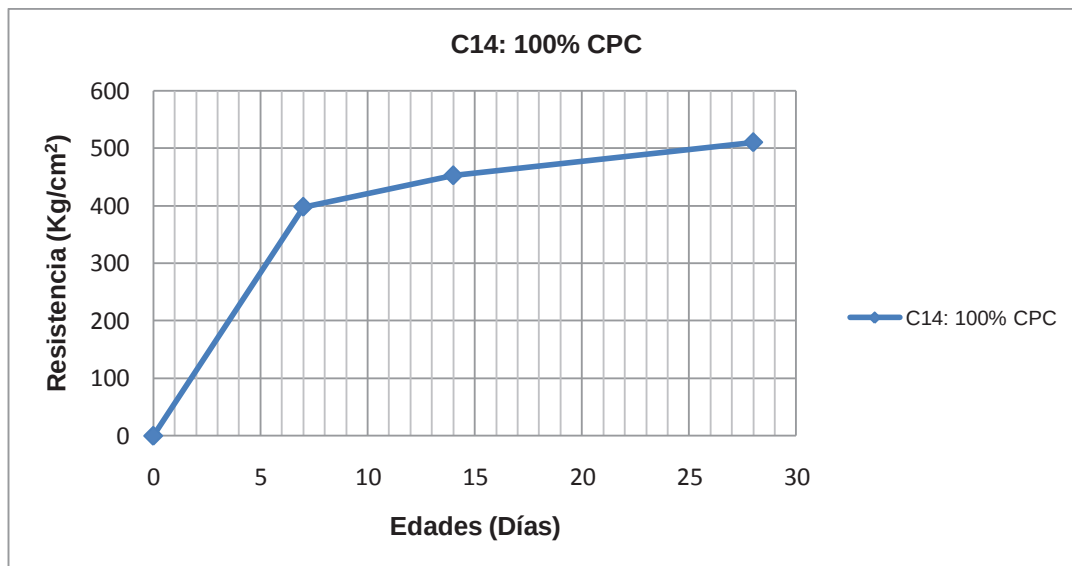
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 14: 100%CPC

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Insoluble	6.379
7	398.0222222	39.03265441	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	452.6666667	44.39144494	1888.53	0.35
28	510.2222222	50.03571801		

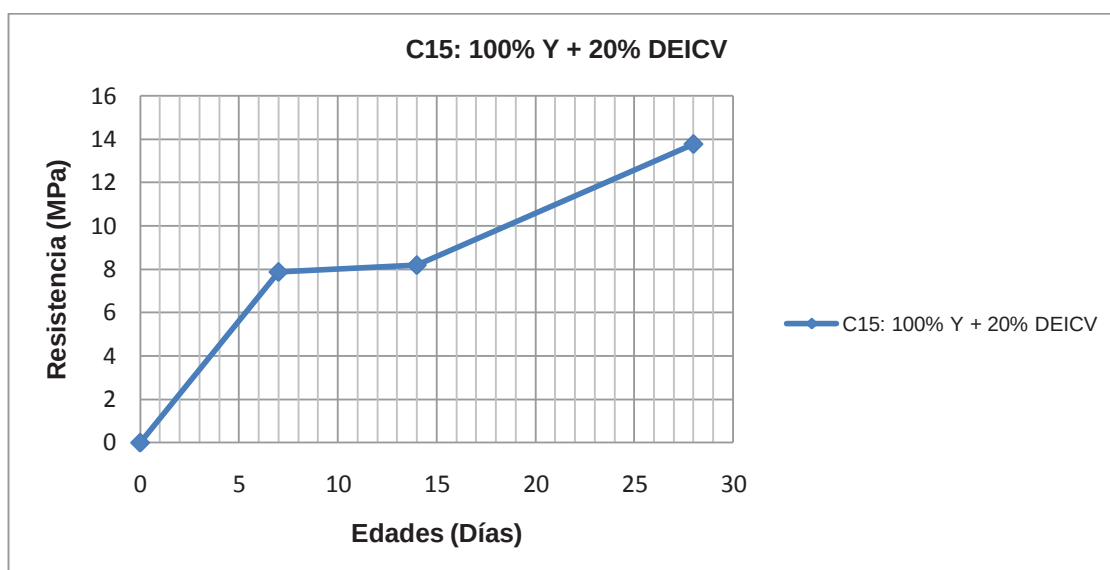
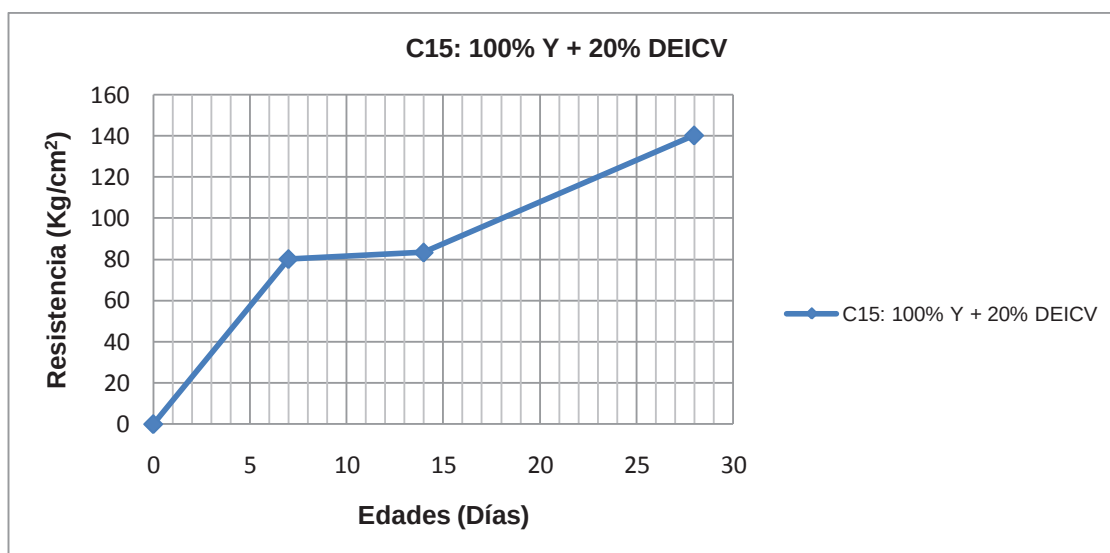
Gráficas de evolución de resistencia



Composición No 15: 100%Y+20%DEICV

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Parcialmente soluble	19.491
7	80.24444444	7.869293455	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	83.44444444	8.18310632	1359.765	0.45
28	140.3555556	13.76418096		

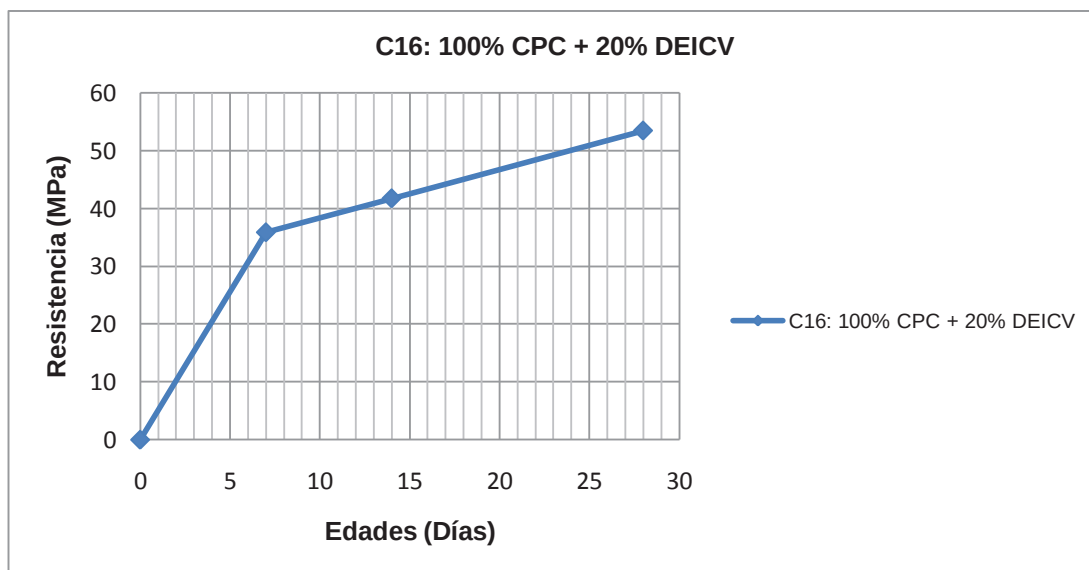
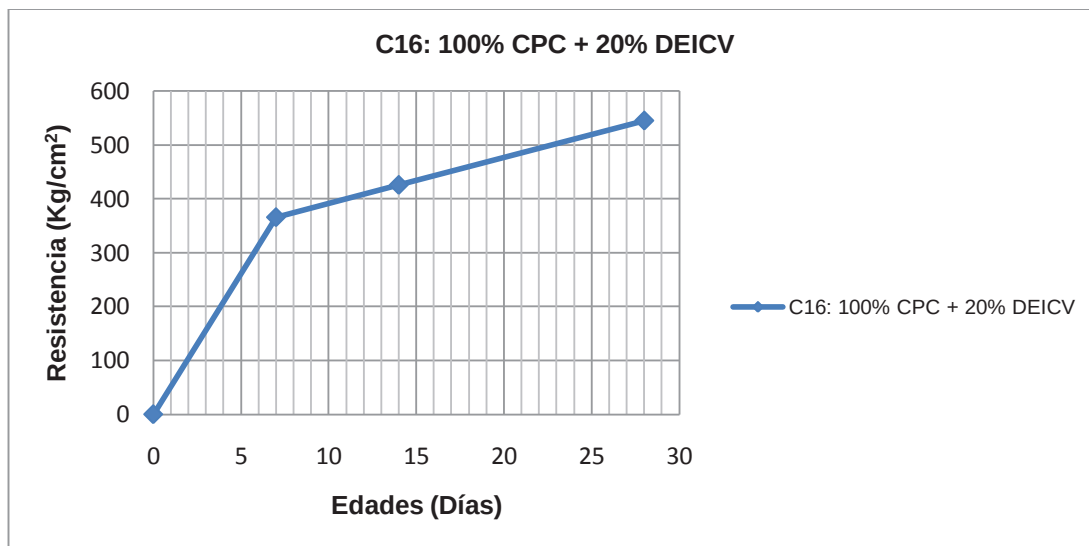
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 16: 100%CPC+20%CV

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Insoluble	5.29
7	365.7111111	35.86401617	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	425.6444444	41.74146963	1816.77	0.4
28	545.1111111	53.45714994		

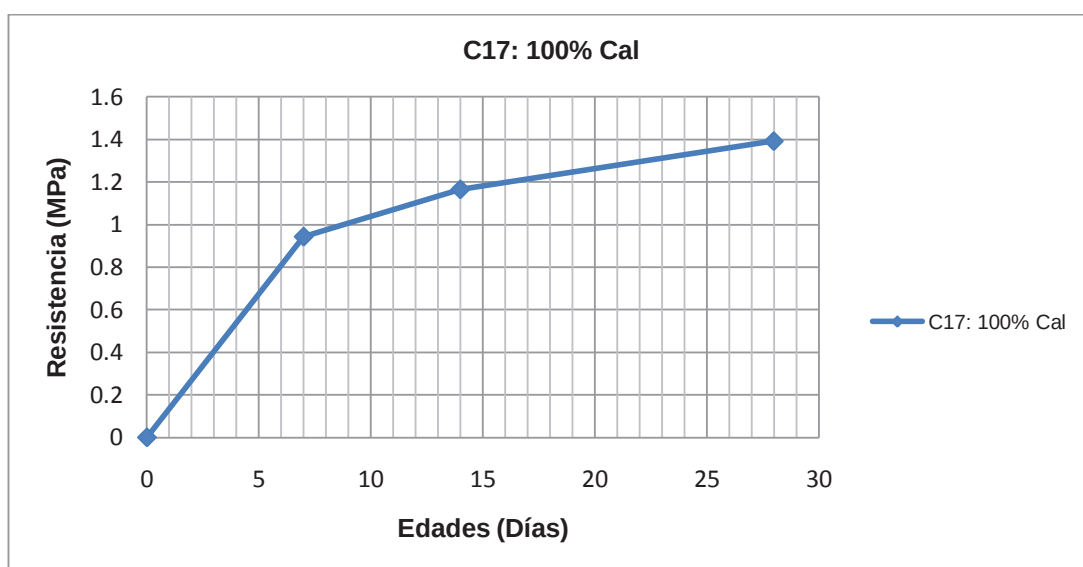
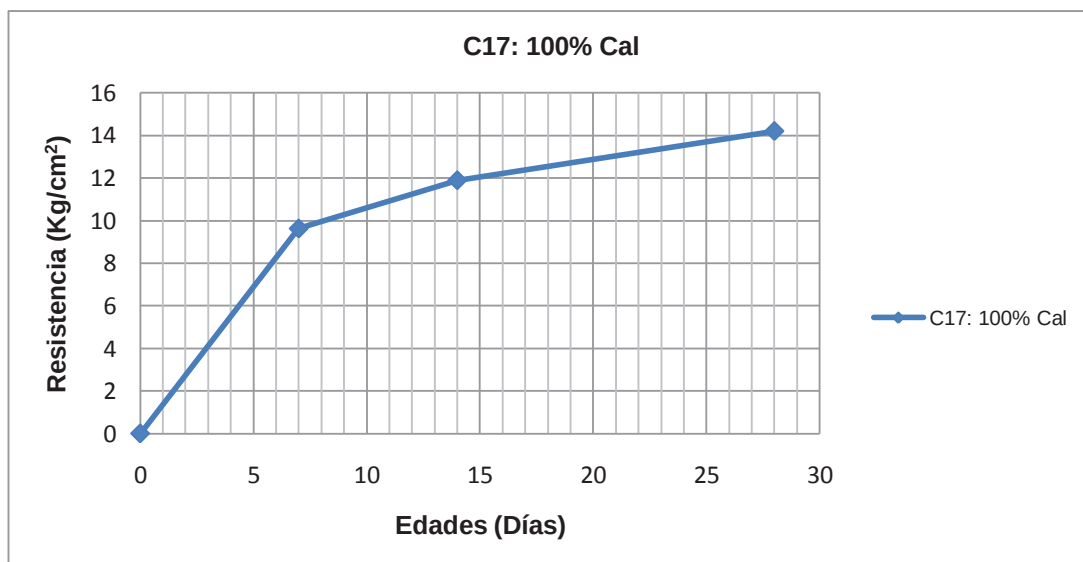
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 17: 100%Cal

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Soluble	-
7	9.622222222	0.943617853	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	11.88888889	1.165901966	1024.62	0.55
28	14.2	1.392544591		

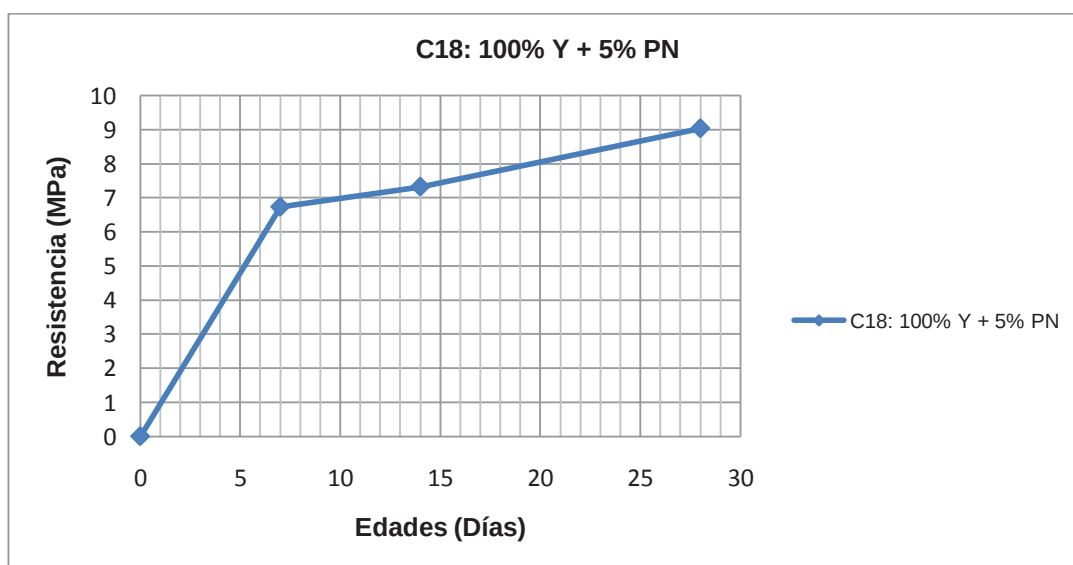
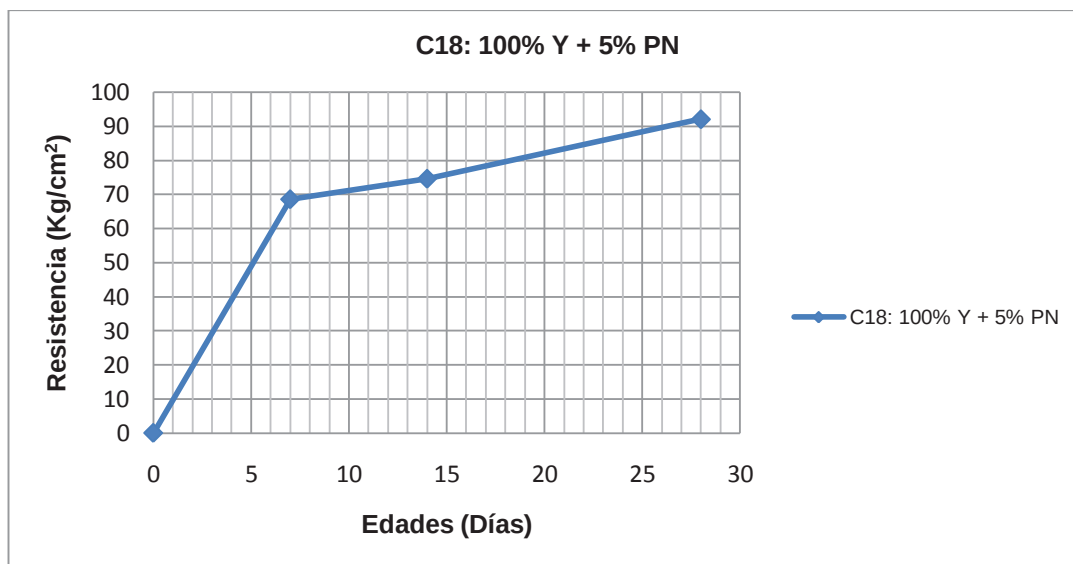
Gráficas de evolución de resistencia



Composición No 18: 100%Y+5%PN

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Parcialmente soluble	16.238
7	68.64444444	6.731721817	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	74.66666667	7.322300196	1359.386	0.4
28	92.13333333	9.03519542		

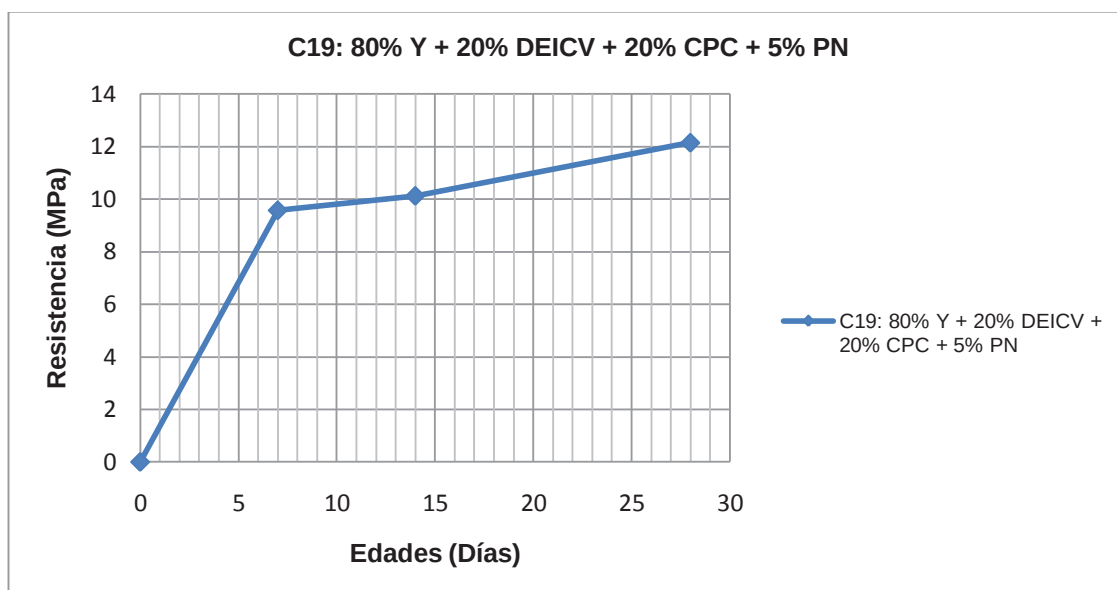
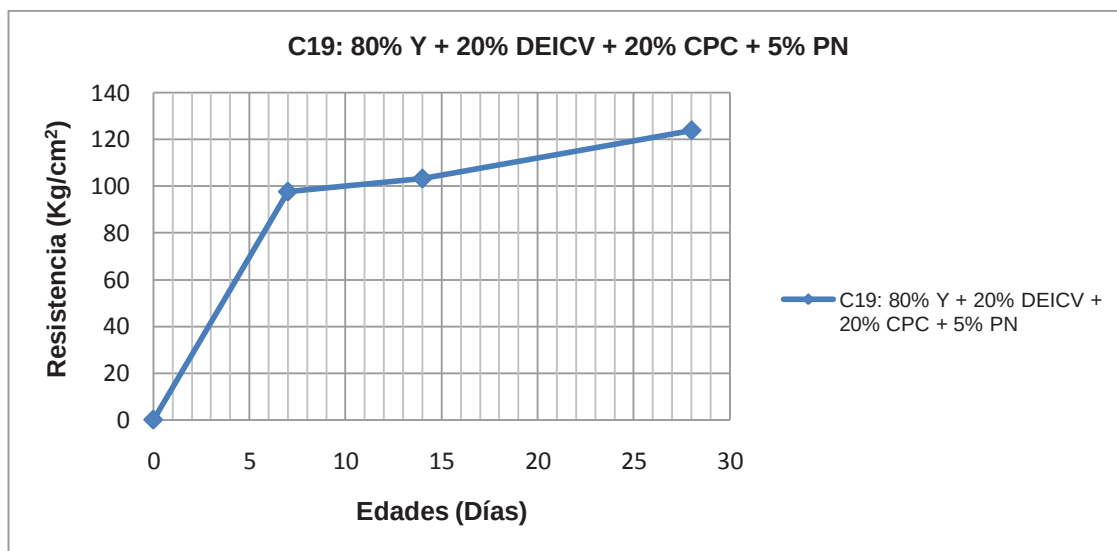
Graficas de evolución de resistencia



Composición No 19: 80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN

Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Parcialmente soluble	21.511
7	97.66666667	9.577830167	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	103.2888889	10.12918194		
28	123.9111111	12.15153152	1323.174	0.5

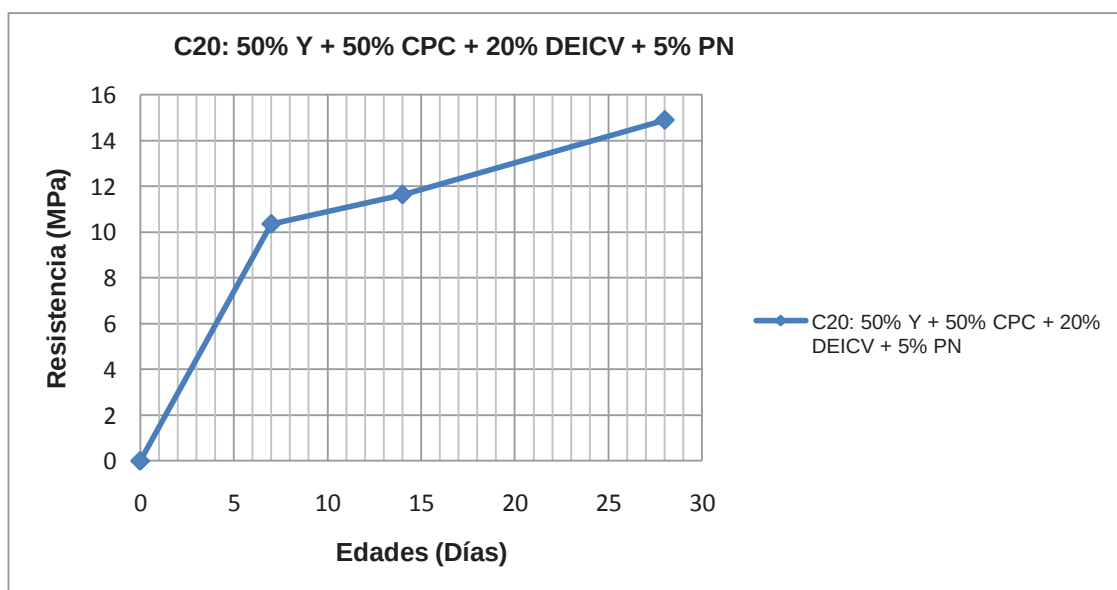
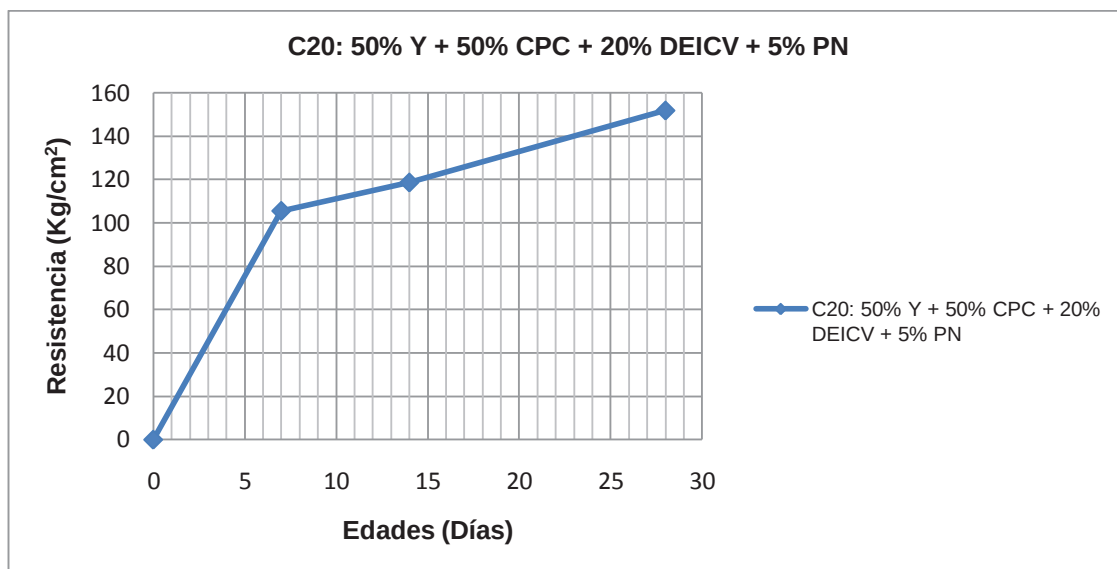
Graficas de evolución de resistencia



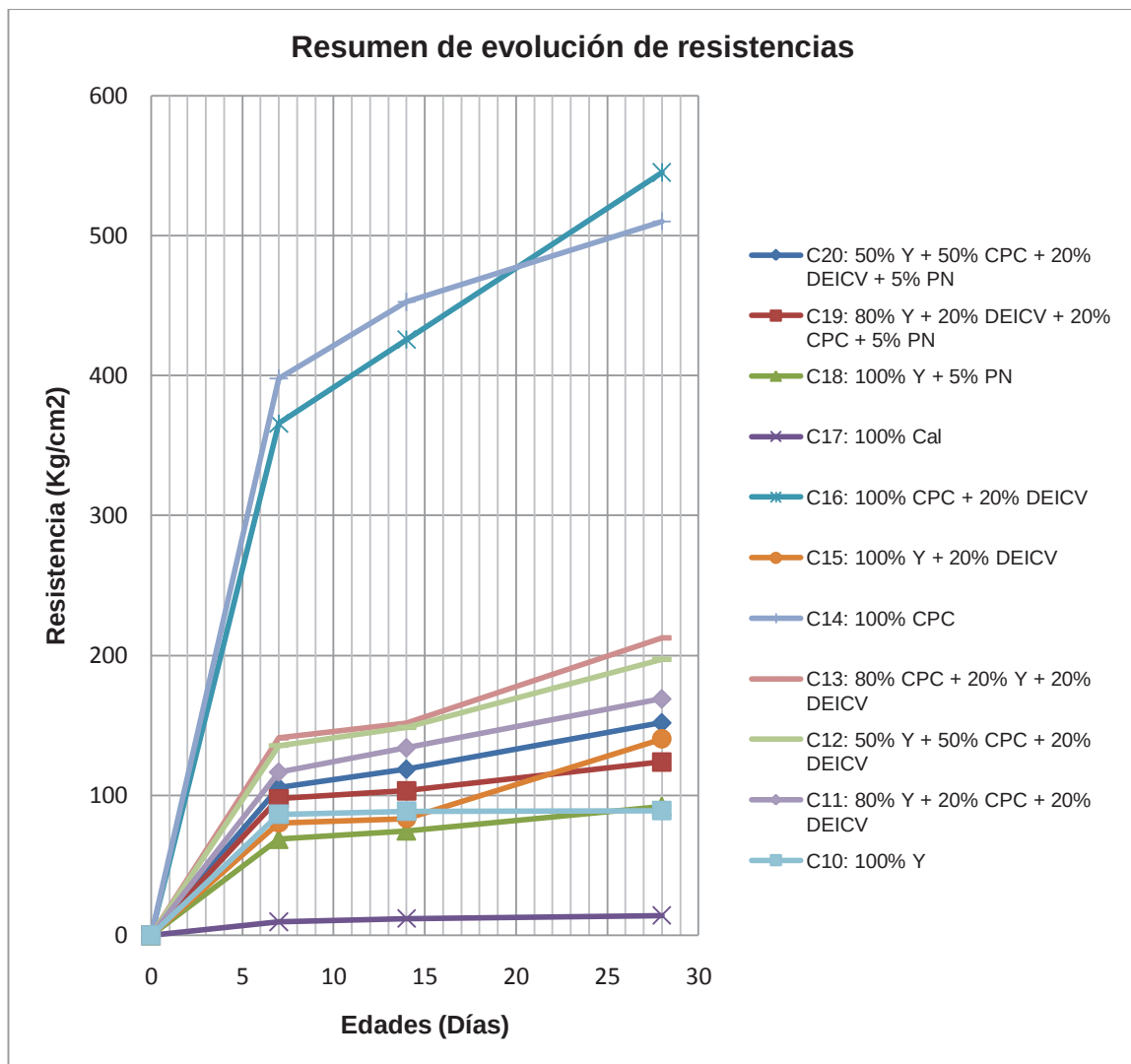
Composición No 20: 50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%P

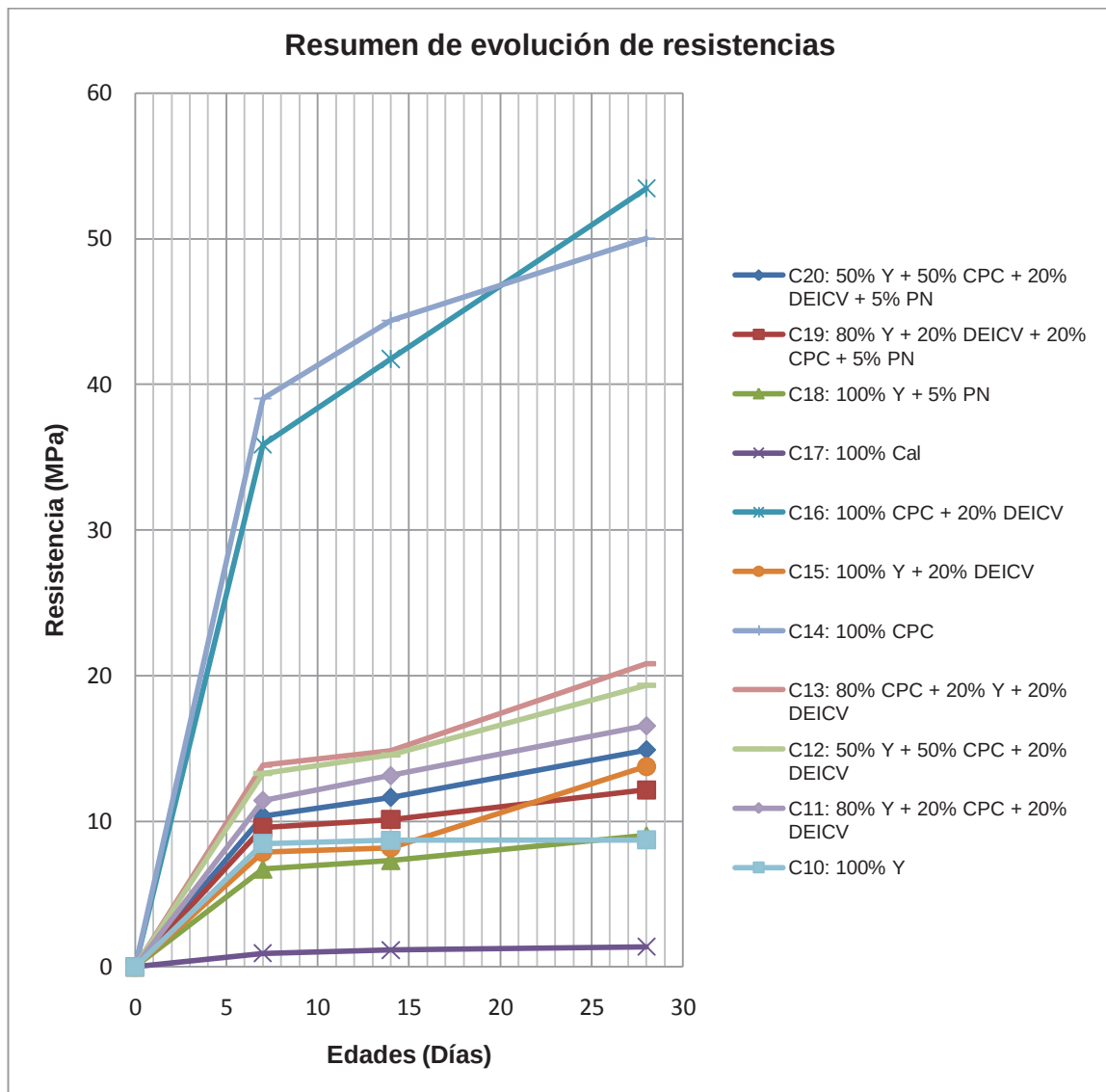
Edades (días)	Resistencia promedio Kg/cm ²	Resistencia promedio MPa	Resistencia al agua	Humedad de absorción (%)
0	0	0	Insoluble	21.687
7	105.5588889	10.35179294	P. Volumétrico (Kg/m ³)	A/C
14	118.6666667	11.6372271		
28	151.8666667	14.89303558		
			1365.358	0.5

Graficas de evolución de resistencia



IV.2.2 CONCENTRADO DE EVOLUCIÓN DE RESISTENCIA EN COMPOSICIONES

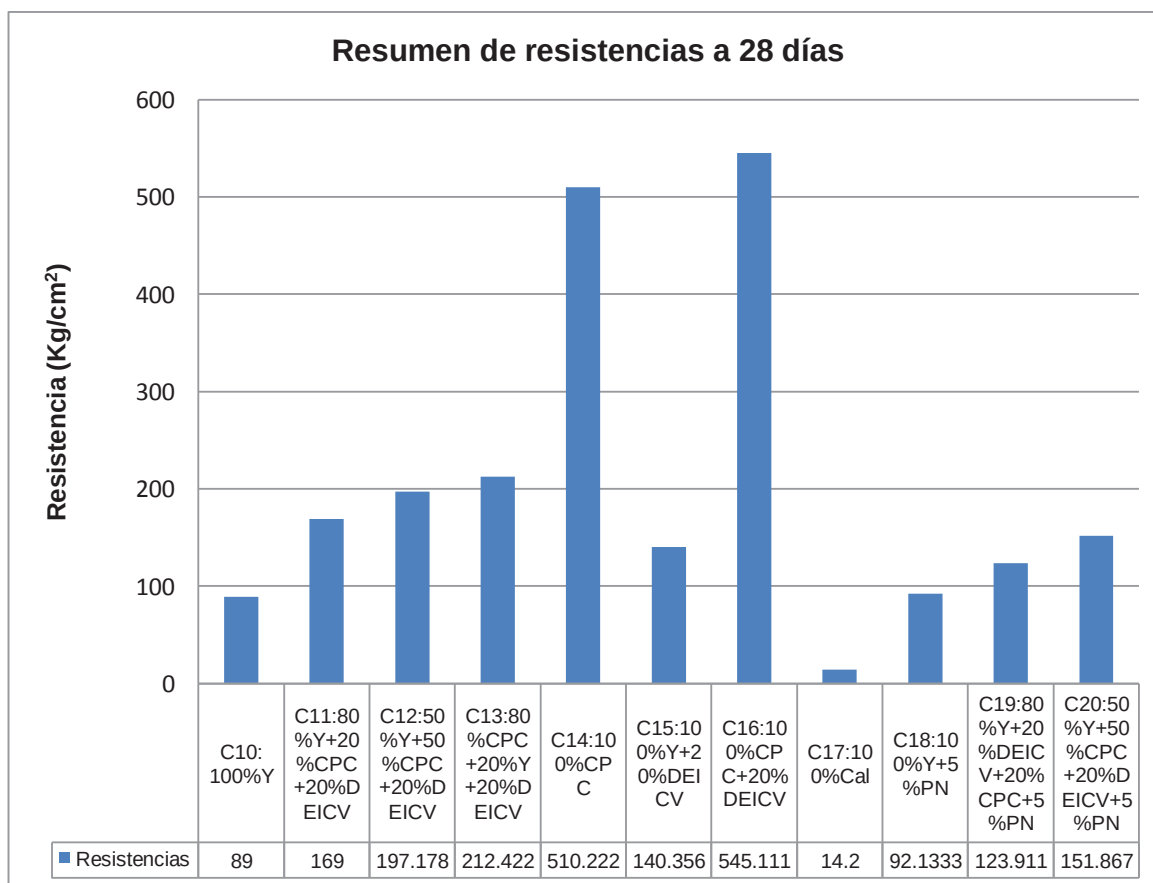


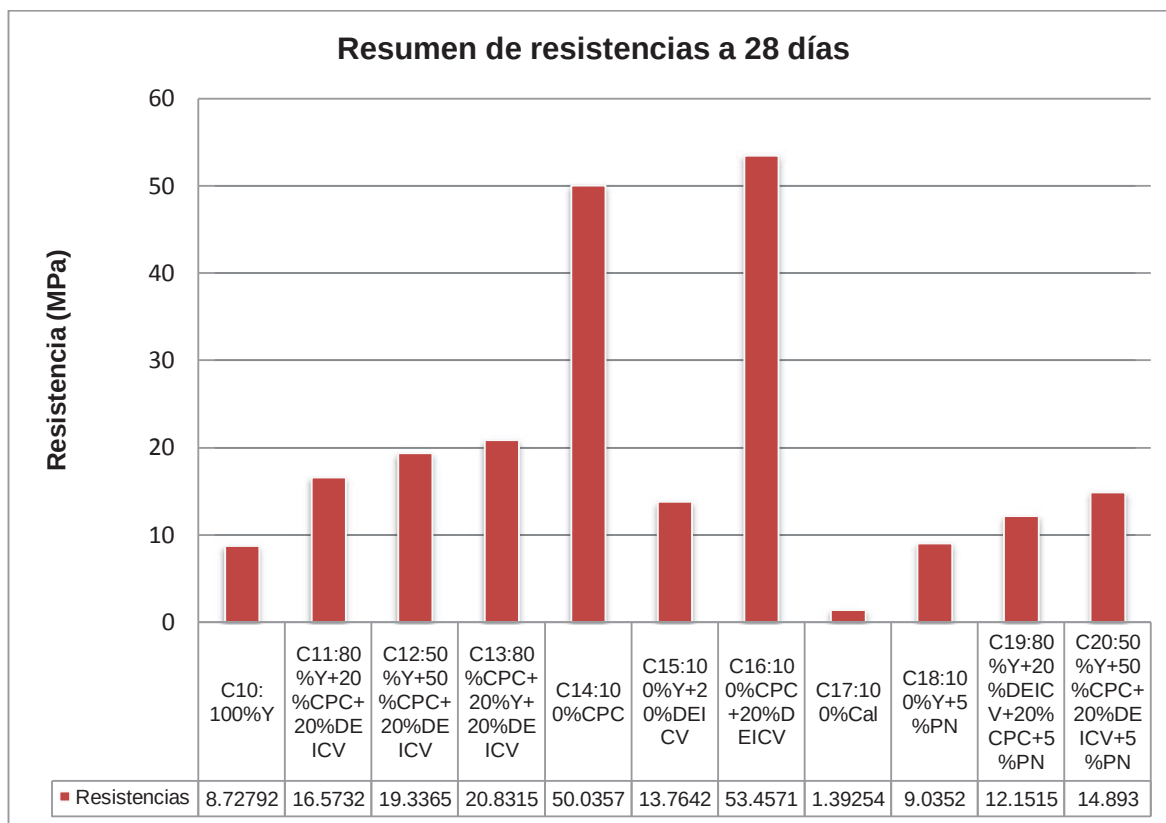


IV.2.3 CONCENTRADO DE RESISTENCIAS A 28 DÍAS

Resumen de resistencia de los especímenes a 28 días

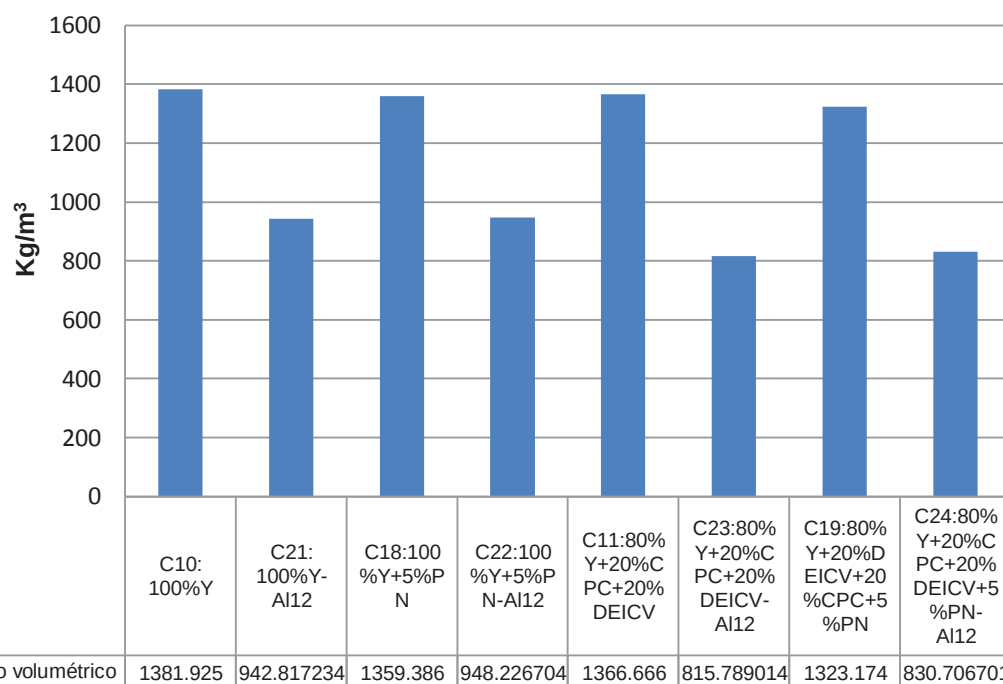
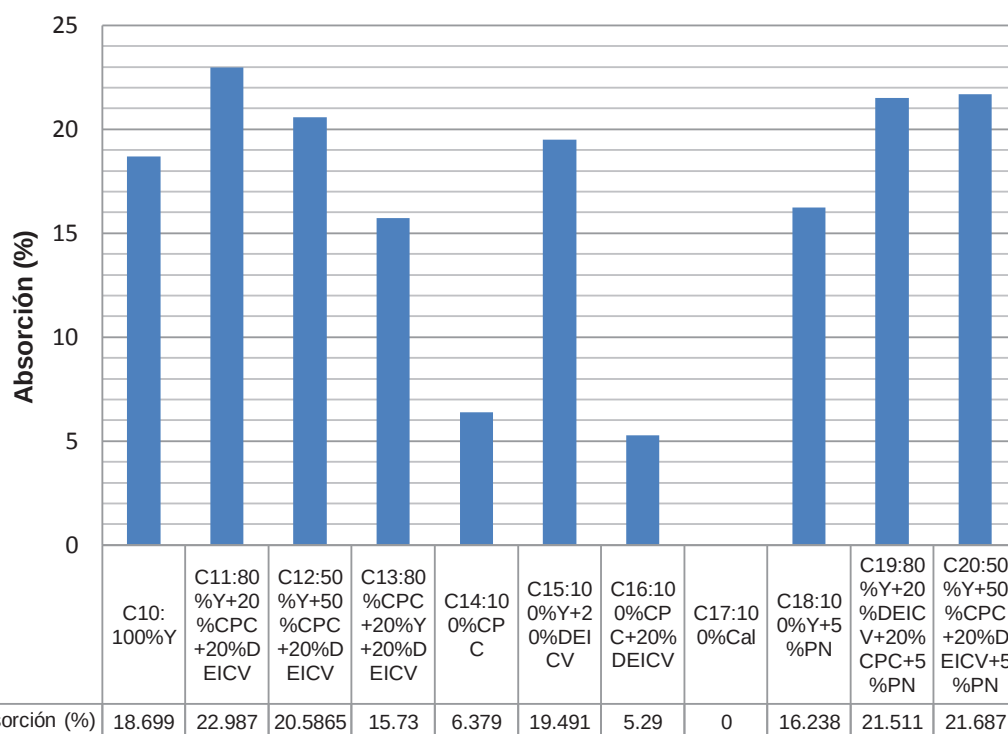
C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
10	C10: 100%Y	89	8.727920323
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	169	16.57324196
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	197.1777778	19.33653858
13	C13:80%CPC+20%Y+20%DEICV	212.4222222	20.83150821
14	C14:100%CPC	510.2222222	50.03571801
15	C15:100%Y+20%DEICV	140.3555556	13.76418096
16	C16:100%CPC+20%DEICV	545.1111111	53.45714994
17	C17:100%Cal	14.2	1.392544591
18	C18:100%Y+5%PN	92.13333333	9.03519542
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	123.9111111	12.15153152
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	151.8666667	14.89303558





IV.2.4 CONCENTRADO DE PESOS VOLUMÉTRICOS (KG/M³) Y ABSORCIONES (%)

C	Composición	P. Volumétrico Kg/m ³	Humedad De Absorción (%)
10	C10: 100%Y	1381.925	18.699
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	1366.666	22.987
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	1436.703	20.5865
13	C13:80%CPC+20%Y+20%DEICV	1513.298	15.73
14	C14:100%CPC	1888.53	6.379
15	C15:100%Y+20%DEICV	1359.765	19.491
16	C16:100%CPC+20%DEICV	1816.77	5.29
17	C17:100%Cal	1024.62	-
18	C18:100%Y+5%PN	1359.386	16.238
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	1323.174	21.511
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	1365.358	21.687

Grafico de pesos volumetricos**Grafico de Humedad de Absorción (%)**

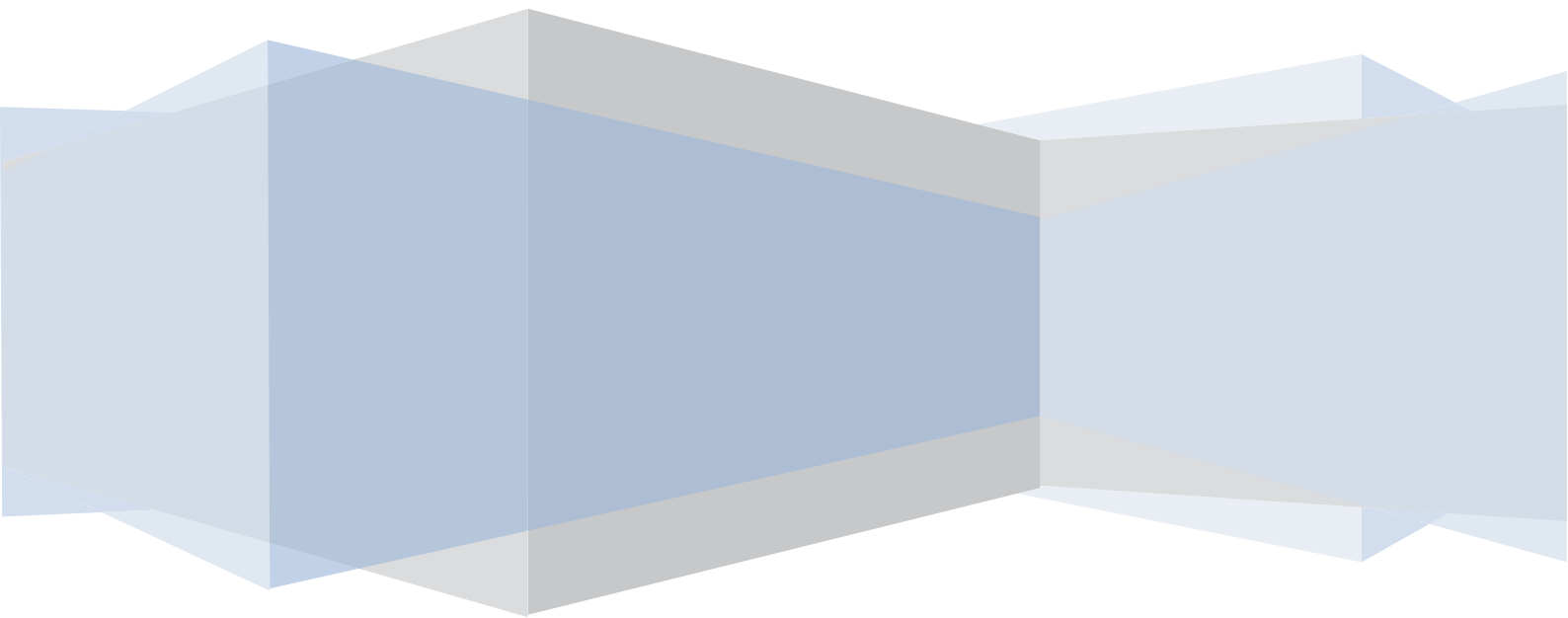
CAPITULO V

SÍNTESIS Y

CARACTERIZACIÓN DE

ECOCEMENTOS

CELULARES



Como primera instancia se hace una descripción de los materiales que se han usado, el tipo y marca, en su caso.

- **Cemento Portland: Cemento Portland Compuesto CPC 30R de Holcim Apasco®.**
- **Yeso: Yeso Supremo USG/San Luis® para construcción.**
- **Cemento Portland Blanco: Cemento Portland Ordinario Blanco CPO 30 RB de Holcim Apasco®.**
- **Polvo de Neumático No 80 (0.18 mm)**
- **DEICV (puzolana).**
- **Pigmento BTCell®.**
- **Aditivo Al₁₂ ®.**
- **Polímero.**

Con los anteriores materiales, se realizaron mezclas para analizar su comportamiento, utilizándose las siguientes abreviaturas, según sea el caso:

CPC: Cemento Portland Común

Y = Yeso

CPB = Cemento Portland Blanco

PN = Polvo de Neumático

Pigmento BTCell: BTC

Polímero: POL

Tabla general de composiciones

C	Composición	Al ₁₂ /C	P. Vol. Kg/m ³	Humedad de Absorción (%)	Resistencia al agua
21	C21: 100%Y-Al12	0.4	942.8172	32.55800253	Soluble
22	C22:100%Y+5%PN-Al12	0.5	948.2267	33.19452231	Parcialmente soluble
23	C23:80%Y+20%CPC+20%DEICV-Al12	0.5	815.7890	32.43670423	Parcialmente soluble
24	C24:80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN-Al12	0.5	830.7067	38.92501614	Parcialmente soluble
25	C25:80%Y+20%CPC-Al12	0.35	795.9121	33.34584051	Parcialmente soluble
26	C26:80%Y+20%CPC+5%PN-Al12	0.45	768.6494	41.39554144	Parcialmente soluble
27	C27:80%Y+20%CPB-Al12	0.4	937.3650	29.95208952	Parcialmente soluble
28	C28:80%Y+20%CPB+10%BTCCELL-Al12	0.4	917.0215	29.97725919	Parcialmente soluble
29	C29:50%Y+50%CPB-Al12	0.5	923.3253	29.87483158	Insoluble
30	C30:50%Y+50%CPB+10%BTCCELL-Al12	0.5	961.7860	25.24361476	Insoluble

Procedimiento:

1. Se establecieron los conjuntos de composiciones, basados en los anteriores.
2. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
3. Se pesaba el aditivo Al_{12} , teniendo las debidas precauciones.
4. Se elaboraron las mezclas con una relación Al_{12}/C , que fue la misma que las composiciones anteriores.
5. Se adicionaba el aditivo Al_{12} al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.
6. Se procedía al colado de la mezcla en moldes metálicos cúbicos de medidas aproximadas de 5x5x5 cm (previamente limpiados y engrasados).
7. Se desmoldaban y marcaban los especímenes para ser almacenados para pruebas posteriores.

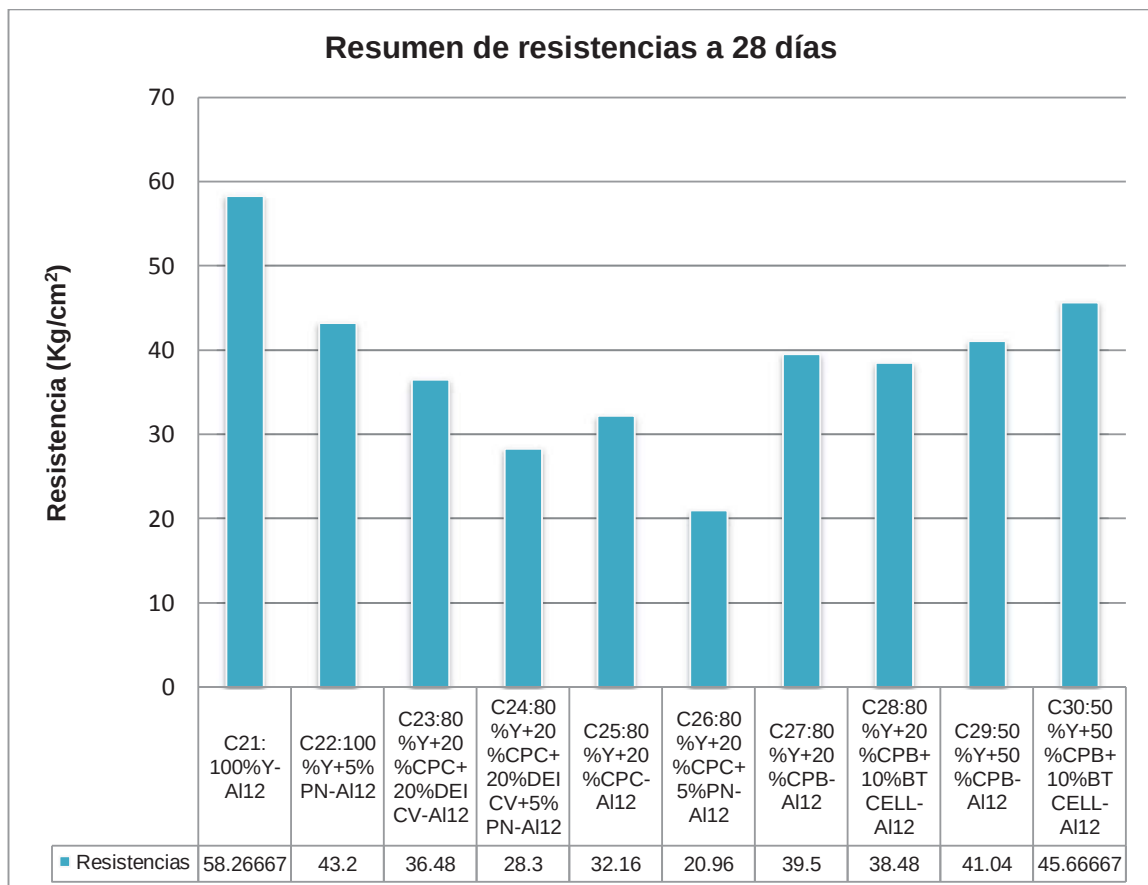


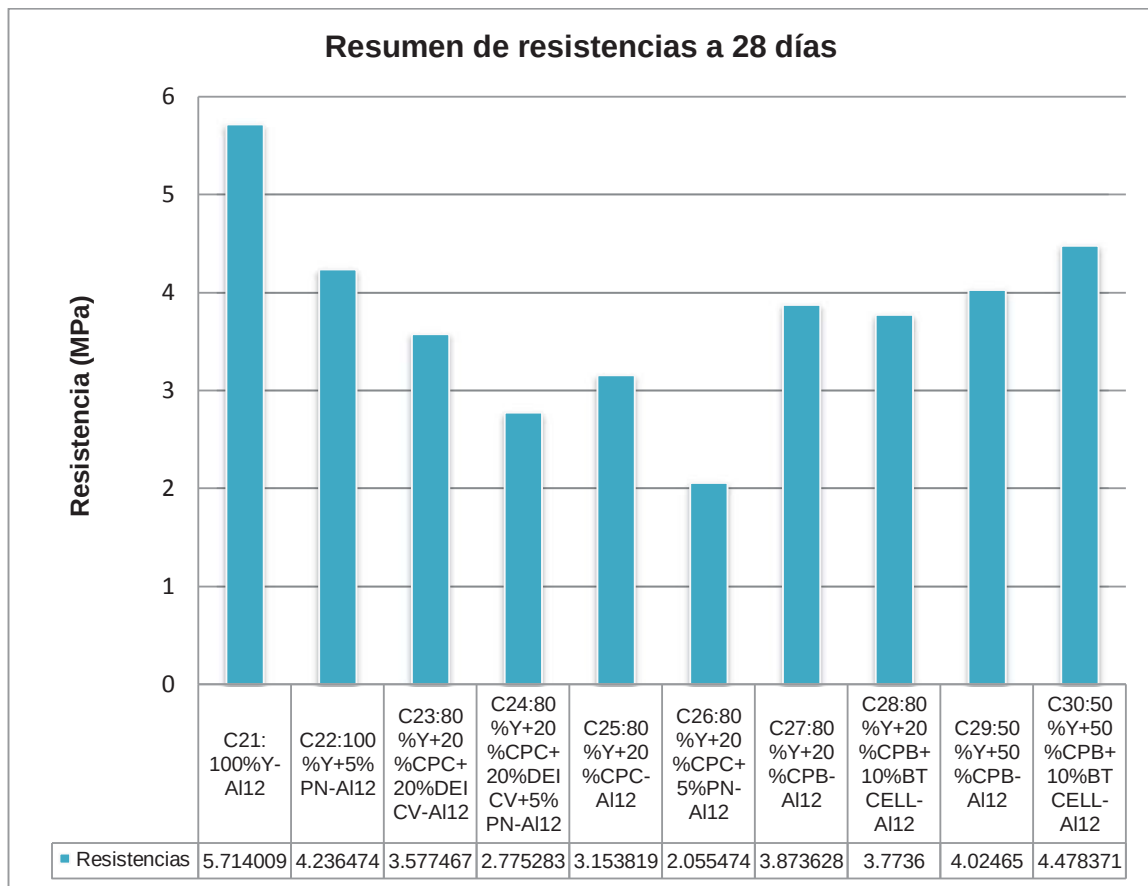
8. Se probaban mecánicamente grupos de 9 especímenes, a compresión simple a la edad de 28 días.
9. Los resultados se guardaban en bitácora electrónica.
10. Para la resistencia al agua, eran sumergidos durante un periodo de 7 días en agua y se analizaba su comportamiento, de acuerdo a las características observadas. Y eran pesados antes y después, para cuantificar su absorción.
11. A su vez eran medidas sus dimensiones de un grupo de especímenes, con lo cual se obtenía su peso volumétrico promedio.

V.1 CONCENTRADO DE RESISTENCIAS A 28 DÍAS

Concentrado de resistencias en especímenes de ecocementos celulares

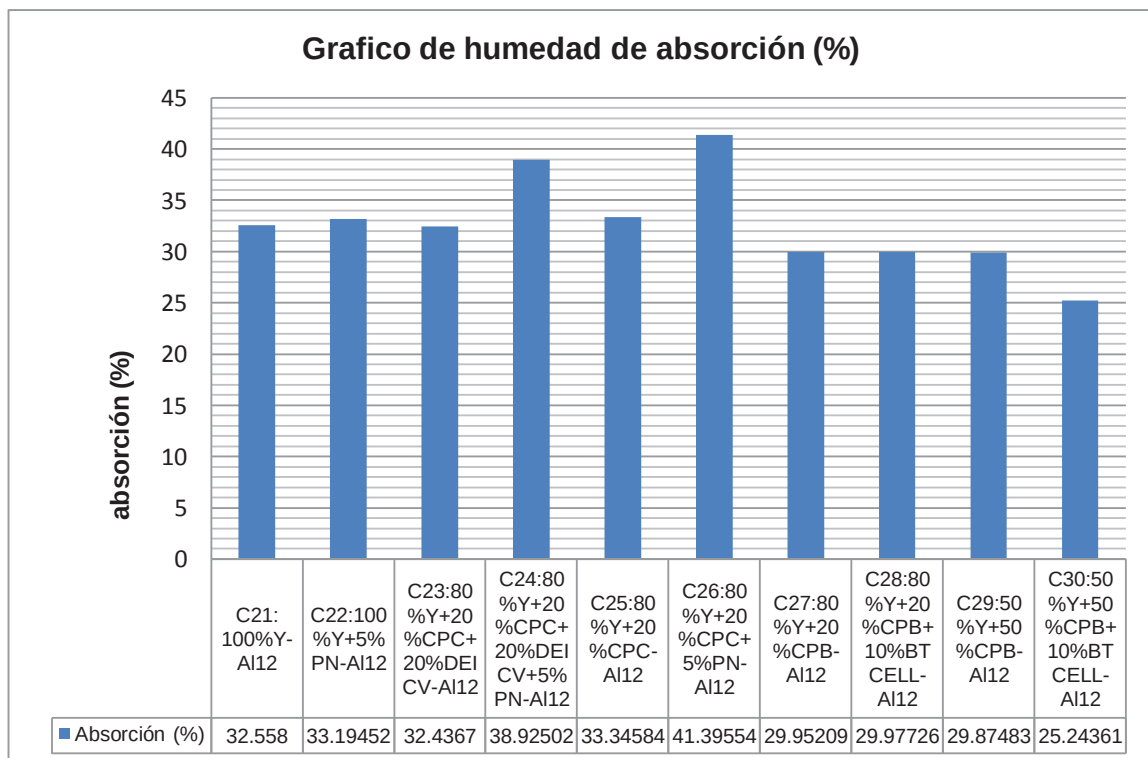
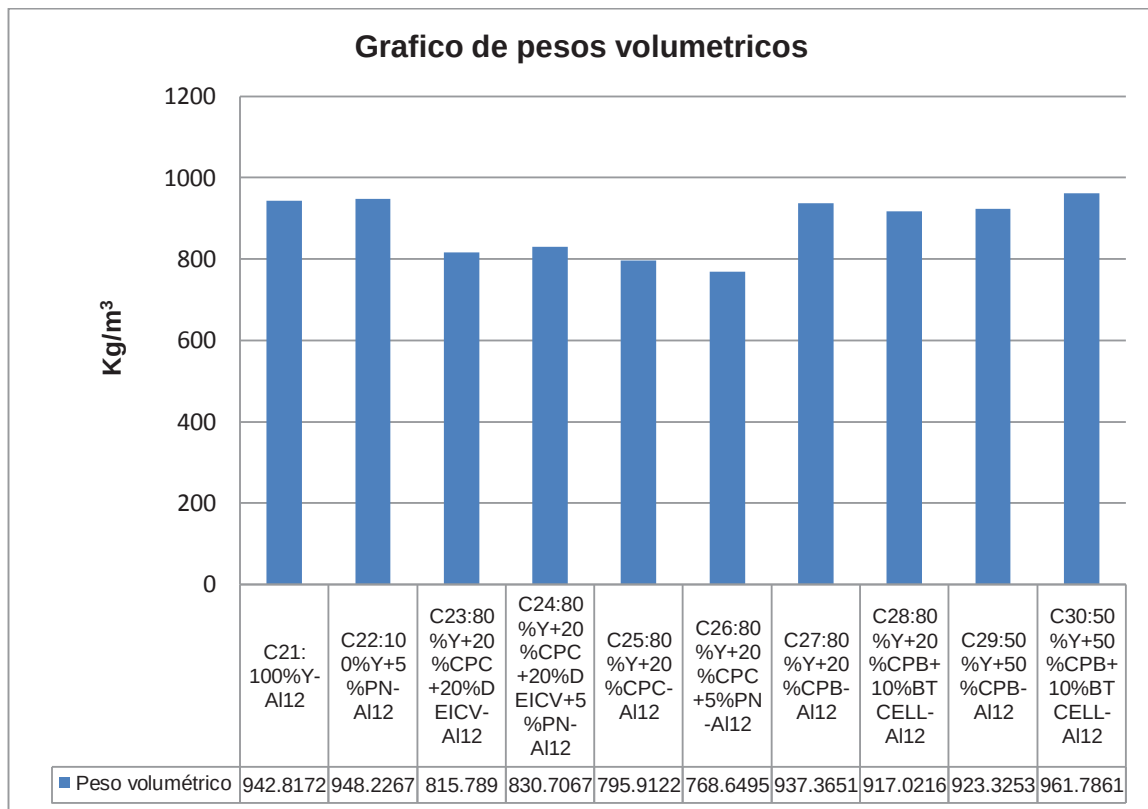
C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
21	C21: 100%Y-Al ₁₂	58.26666667	5.71400926
22	C22:100%Y+5%PN-Al ₁₂	43.2	4.236473685
23	C23:80%Y+20%CPC+20%DEICV-Al ₁₂	36.48	3.577466667
24	C24:80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN-Al ₁₂	28.3	2.77528253
25	C25:80%Y+20%CPC-Al ₁₂	32.16	3.153819299
26	C26:80%Y+20%CPC+5%PN-Al ₁₂	20.96	2.055474269
27	C27:80%Y+20%CPB-Al ₁₂	39.5	3.873627559
28	C28:80%Y+20%CPB+10%BTCELL-Al ₁₂	38.48	3.773599708
29	C29:50%Y+50%CPB-Al ₁₂	41.04	4.024650001
30	C30:50%Y+50%CPB+10%BTCELL-Al ₁₂	45.66666667	4.478371102





V.2 CONCENTRADO DE PESOS VOLUMÉTRICOS (KG/M³) Y ABSORCIONES (%)

C	Composición	P. Volumétrico Kg/m ³	Humedad de Absorción (%)
21	C21: 100%Y-AI12	942.8172339	32.55800253
22	C22:100%Y+5%PN-AI12	948.2267038	33.19452231
23	C23:80%Y+20%CPC+20%DEICV-AI12	815.7890138	32.43670423
24	C24:80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN-AI12	830.7067011	38.92501614
25	C25:80%Y+20%CPC-AI12	795.9121884	33.34584051
26	C26:80%Y+20%CPC+5%PN-AI12	768.6494579	41.39554144
27	C27:80%Y+20%CPB-AI12	937.3650525	29.95208952
28	C28:80%Y+20%CPB+10%BTCELL-AI12	917.0215634	29.97725919
29	C29:50%Y+50%CPB-AI12	923.3253188	29.87483158
30	C30:50%Y+50%CPB+10%BTCELL-AI12	961.7860989	25.24361476

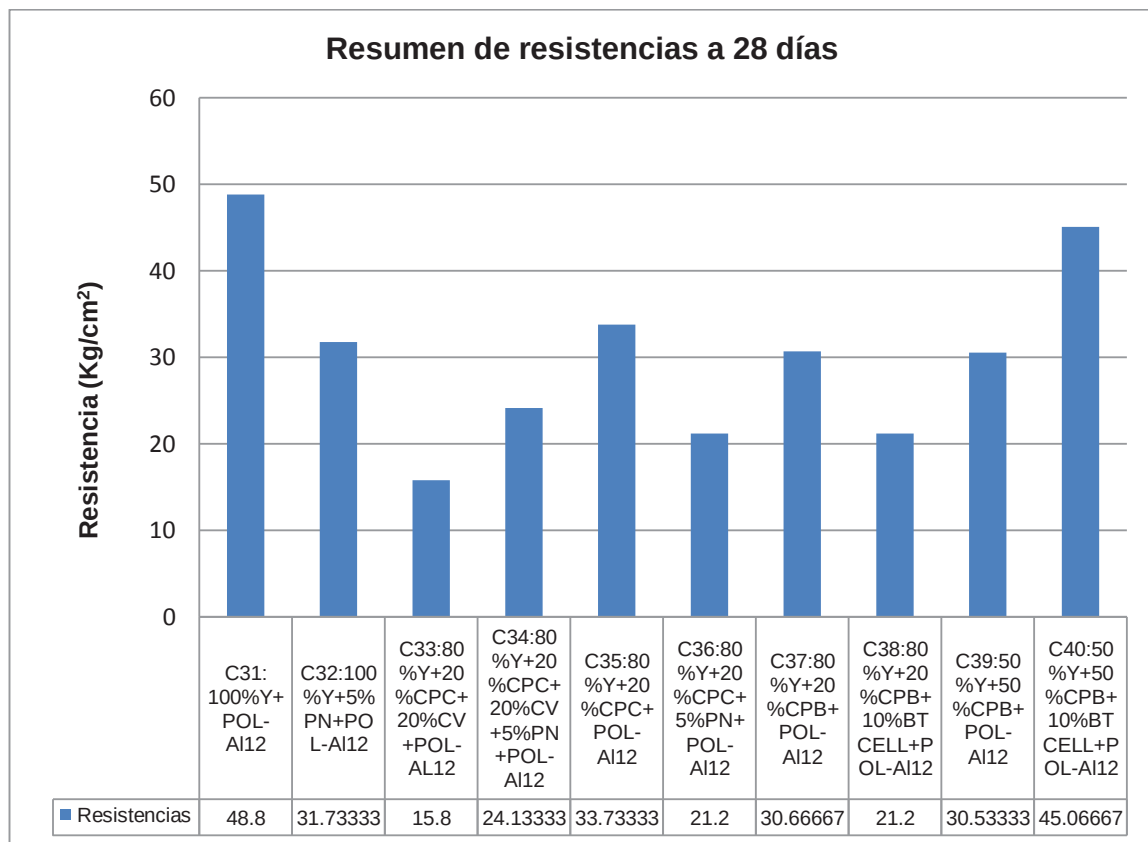


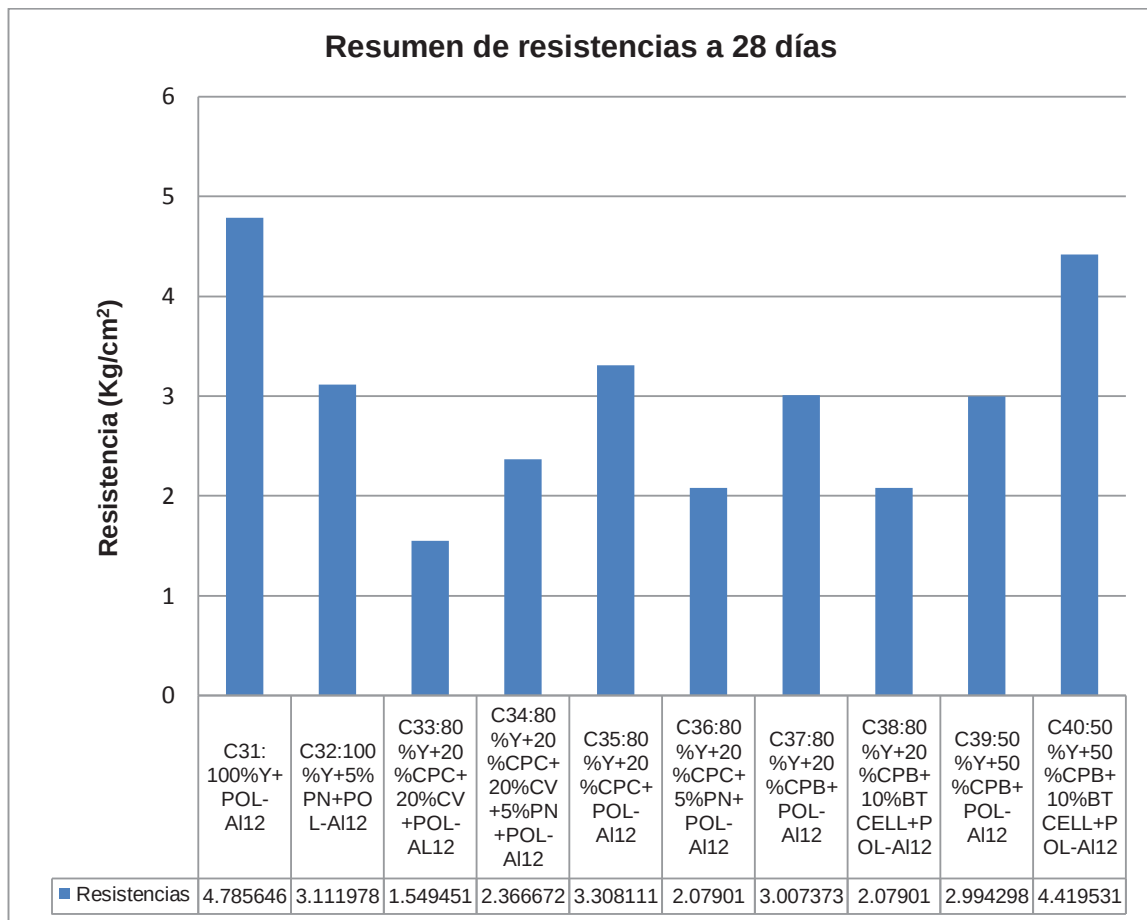
V.3 CONCENTRADO DE RESISTENCIAS A 28 DÍAS DE MUESTRAS RECUBIERTAS DE POLÍMERO

Este polímero era un copolímero de composición: 50%Poliéster+50%Estireno.

Tabla General de composiciones:

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
31	C31: 100%Y+POL-Al ₁₂	48.8	4.7856462
32	C32:100%Y+5%PN+POL-Al ₁₂	31.73333333	3.111977583
33	C33:80%Y+20%CPC+20%CV+POL-Al ₁₂	15.8	1.549451024
34	C34:80%Y+20%CPC+20%CV+5%PN+POL-Al ₁₂	24.13333333	2.366672028
35	C35:80%Y+20%CPC+POL-Al ₁₂	33.73333333	3.308110624
36	C36:80%Y+20%CPC+5%PN+POL-Al ₁₂	21.2	2.079010234
37	C37:80%Y+20%CPB+POL-Al ₁₂	30.66666667	3.007373295
38	C38:80%Y+20%CPB+10%BTCELL+POL-Al ₁₂	21.2	2.079010234
39	C39:50%Y+50%CPB+POL-Al ₁₂	30.53333333	2.994297759
40	C40:50%Y+50%CPB+10%BTCELL+POL-Al ₁₂	45.06666667	4.41953119





Observaciones:

Tuvieron grandes absorciones debido a su porosidad.

Los pesos volumétricos oscilaban entre los 800-1000 Kg/m³.

Las resistencias mecánicas eran muy bajas, alrededor de 40 kg/cm².

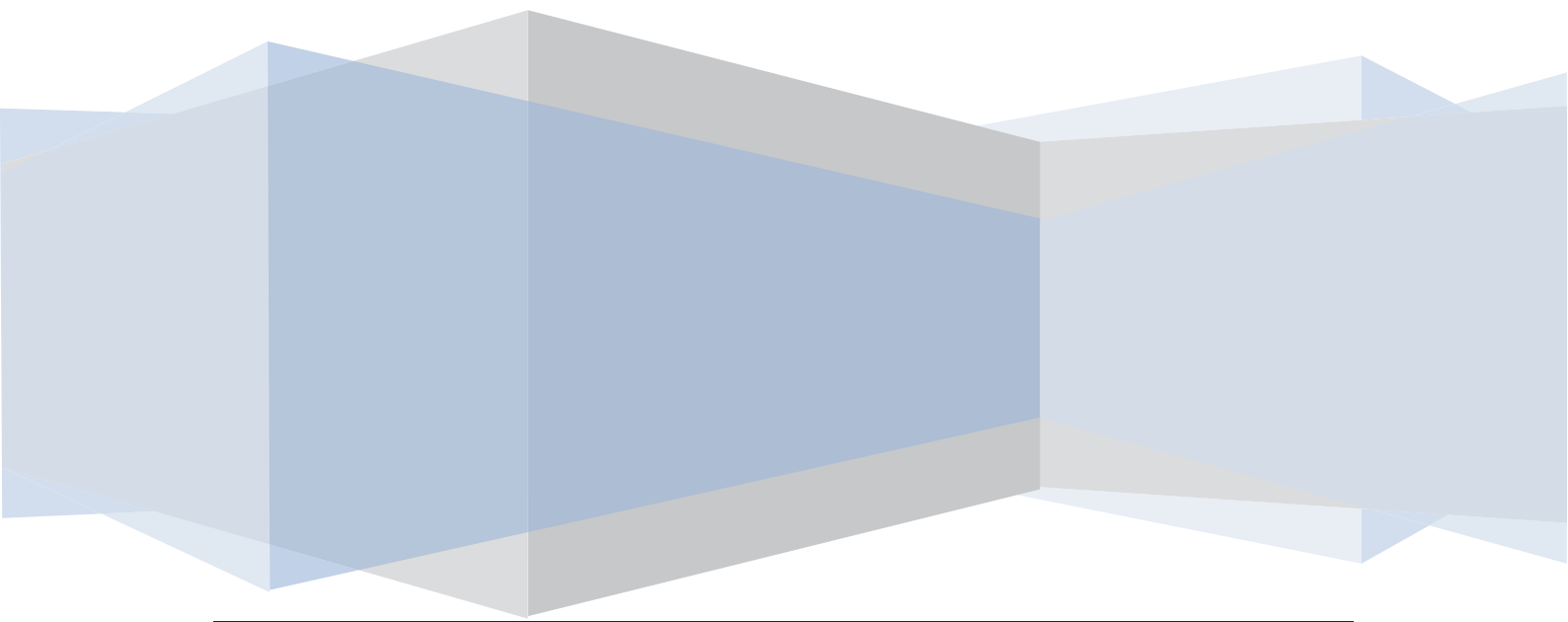
CAPITULO VI

DESARROLLO DE

ELEMENTOS

PREFABRICADOS

ESTÁNDAR Y CELULAR



Para esta etapa fueron desarrollados 3 productos, los cuales fueron:

- Ecoblock
- Minipanel Celular
- Pasta Ecocell

Estos fueron elaborados de acuerdo a los datos y comportamiento de las composiciones anteriores, las cuales presentaron buenas características durante su elaboración y buena trabajabilidad.

VI.1 ECOBLOCK

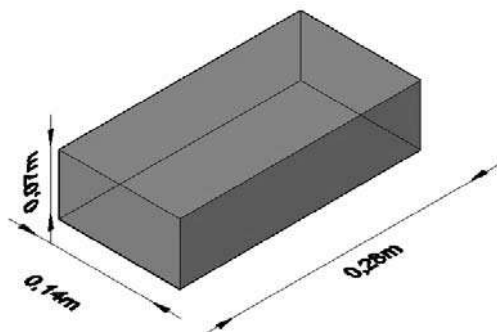
Para este producto fueron escogidas 2 composiciones, las cuales fueron:

Composición 1: 50% Yeso+50%CPC+20%DEICV

Composición 2: 50% Yeso+50%CPC+20%DEICV+5% P.N.

Procedimiento de elaboración del producto:

1. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
2. Se adicionaba aditivo P4000 al agua en relación a 15g/kg de material y se mezclaba de manera homogénea.
3. Se adicionaba el agua al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.
4. Se procedió al colado de la mezcla en un molde de madera de dimensiones aproximadas de 7x14x28 cm. en el interior (previamente limpiados y engrasados).
5. Se desmoldaba y marcaba el espécimen.



Quedando los anteriores de la siguiente manera:



Producto con y sin polvo de neumático.

Comparación del Ecoblock con un tabique convencional.



Observaciones:

El polvo de neumático se distribuía de manera uniforme en la mezcla.

Resistencia mecánica alta debido a su peso volumétrico alto y baja porosidad, comparada con la de un tabique convencional.

Posible uso para muros de carga de grandes descargas.

Mejor rendimiento debido a su mayor tamaño.

Buena apariencia estética y posible a ser mejorada con la adición de pigmentos.

Uso recomendado para interiores y exteriores.

VI.2 MINIPANEL CELULAR

Para este producto fue escogida la composición de concreto celular de:

Composición: 50%Yeso+50%CPB, con una relación Al_{12}/C : 0.5

Procedimiento de elaboración del producto:

1. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
2. Se pesaba el aditivo Al_{12} , teniendo las debidas precauciones.
3. Se adiciono el aditivo Al_{12} al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.



4. Se procedía al colado de la mezcla en un molde metálico de medidas establecidas de 15x15x60 cm.



5. Se desmoldaba y marcaba el espécimen.



6. Se procedía al corte del bloque con segaeta, para quedar en minipaneles celulares de medidas de 5x15x60 cm y de 10x15x60 cm.



Observaciones:

Rapidez en su proceso de elaboración y fraguado, lo cual implica un rápido desmoldado y fabricación de productos en serie.

Aislamiento térmico en zonas de temperaturas elevadas, pudiendo estar en muros interiores que no sean de carga o en azoteas con un aislamiento asfáltico.

Poca contracción al secado, aun estando el producto curado al aire libre.

VI.3 PASTA ECOCELL

Para estas pastas fueron escogidas varias composiciones celulares, entre ellas:

Composición1: 100%Yeso, con relación Al_{12}/C : 0.5

Composición2: 100%Yeso, 0.5% Oxido de Cromo, con relación Al_{12}/C : 0.5



Imagen: C1



Imagen: C2

Las cuales fueron las que tuvieron una mejor trabajabilidad y apariencia estética, buena adherencia y facilidad de elaboración, pero además se elaboraron otras pastas también con las siguientes composiciones:

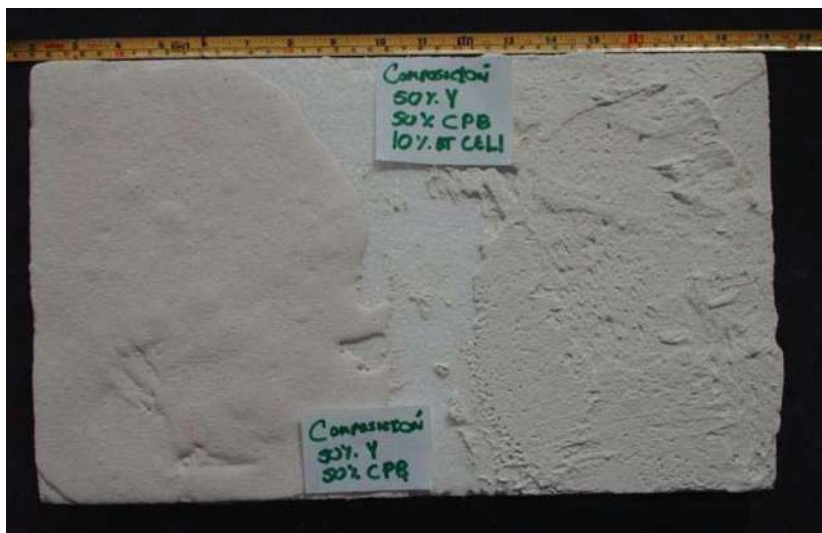
Composición3: 100%Yeso+5%P.N.

Composición4:50%Yeso+50%CPB

Composición5:50%Yeso+50%CPB+10%BTCell



Imagen: C3



Imágenes de: C4 y C5

Procedimiento de elaboración del producto:

1. Se pesaban los materiales de acuerdo a su composición y se mezclaban los mismos de manera homogénea (en estado seco).
2. Se pesaba el aditivo Al_{12} , teniendo las debidas precauciones.
3. Se adiciono el aditivo Al_{12} al material y se mezclaba hasta obtener una mezcla de buena consistencia.
4. Se realizaba la aplicación de la pasta sobre una superficie, distribuyéndose de manera uniforme.
5. La pasta se aireaba, formando superficies irregulares y de buena apariencia estética.

Conjunto de pastas

**Observaciones:**

Las pastas con un 100% de yeso fueron las mejores composiciones.

Facilidad y rapidez en la aplicación del producto.

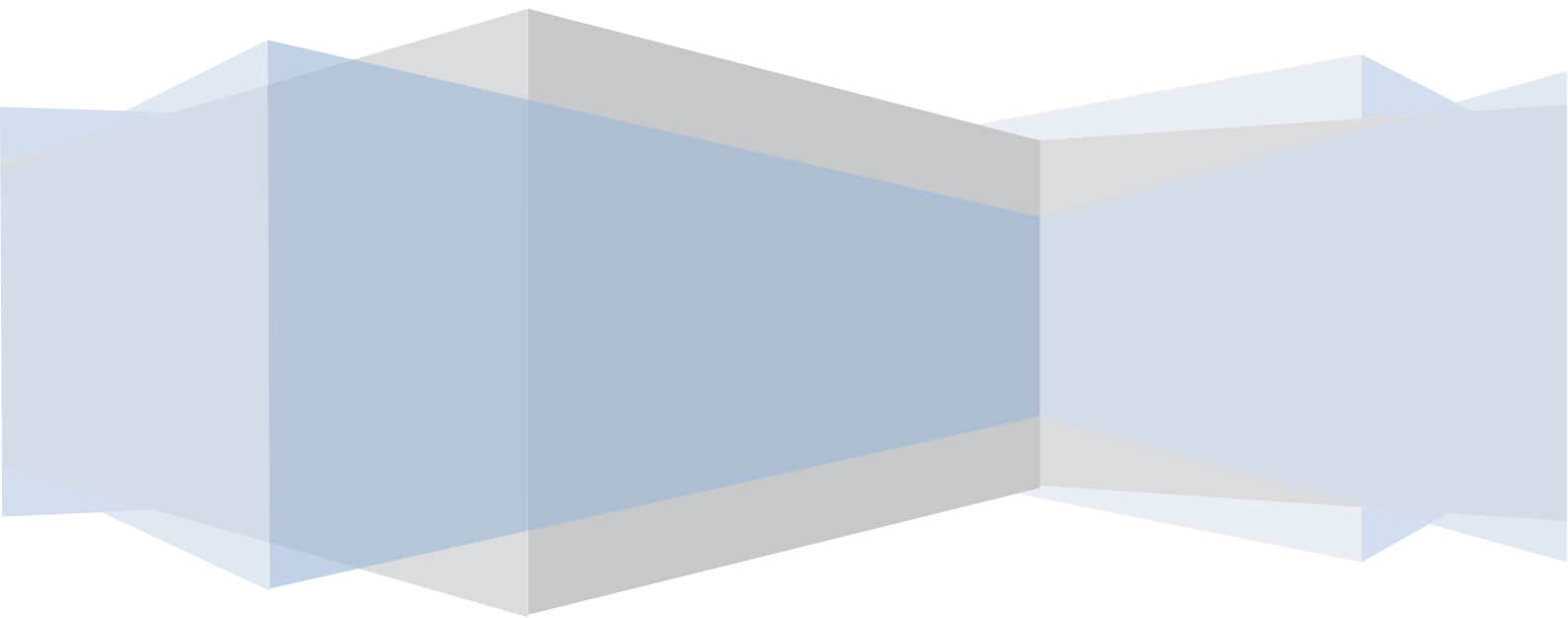
Aplicable para muros interiores y plafones.

Buena adherencia en las superficies.

Buena apariencia estética.

CAPITULO VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS



VII.1 EVALUACIÓN DE ECOCEMENTOS CON POLVO DE NEUMÁTICO

VII.1.1 EVALUACIÓN EN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa	Porcentaje %
10	C10: 100%Y	89	8.727920323	100
18	C18:100%Y+5%PN	92.13333333	9.03519542	103.5205993
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	169	16.57324196	100
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	123.9111111	12.15153152	73.32018409
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	197.1777778	19.33653858	100
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	151.8666667	14.89303558	77.02017356

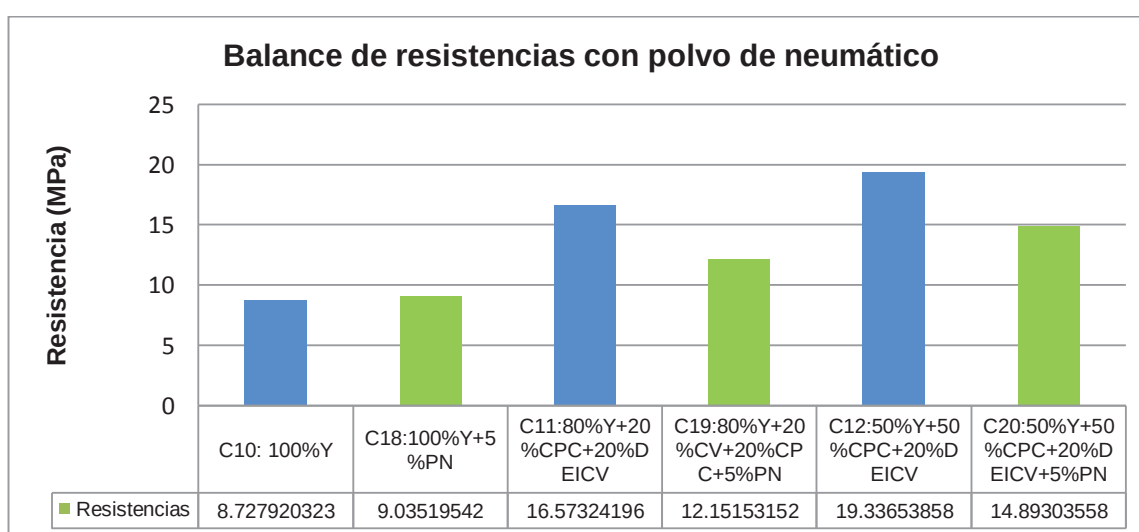
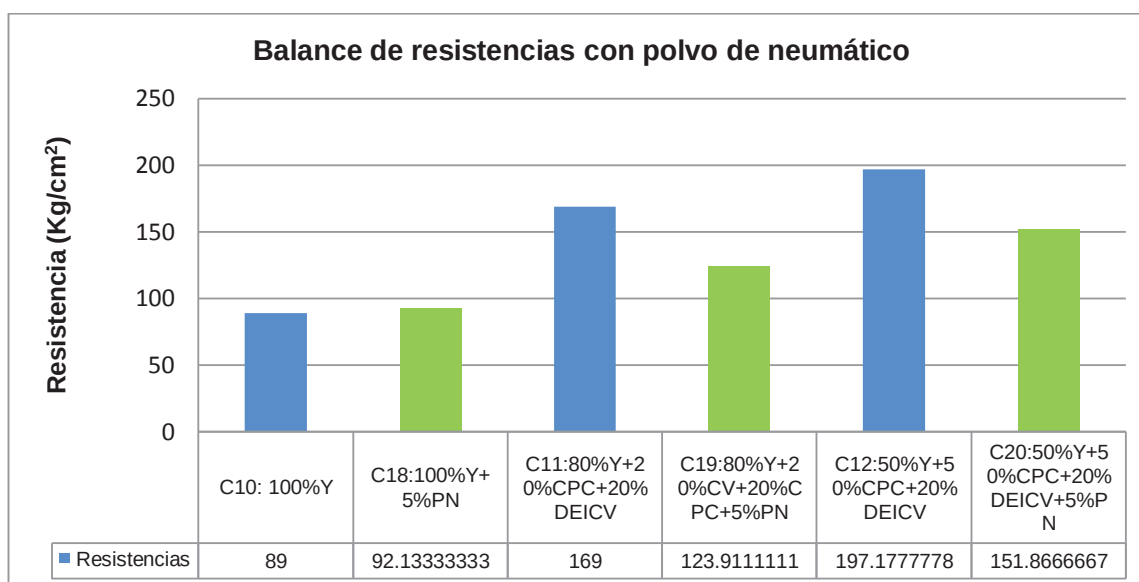




Imagen izquierda, 100% Yeso, derecha, 100%Yeso+5%P.N.

Observaciones:

El P.N. junto al yeso, no provoco una baja de la resistencia mecánica, lo cual resulta de gran interés, debido a que se podría agregar a prefabricados de yeso, sin afectar sus características de resistencia.

En las otras composiciones la baja de resistencia promedio fue de un 25%.

El polvo de neumático por otra parte, genera en las composiciones, estabilidad durante la ruptura del material.

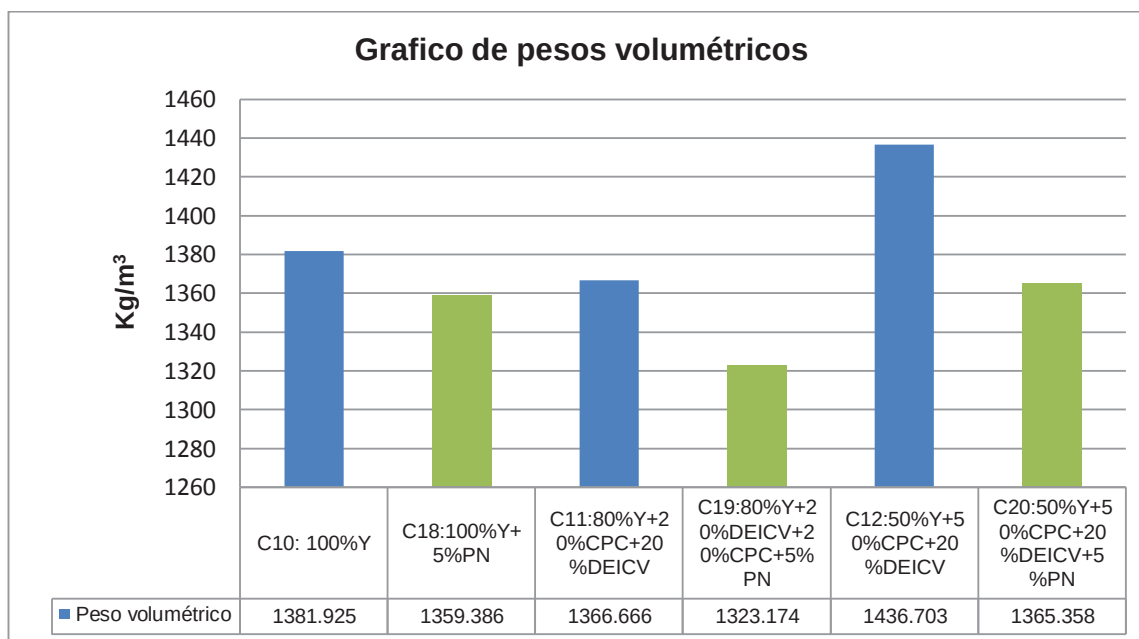
V.1.2 EVALUACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO (KG/M³) Y ABSORCIÓN (%)

C	Composición	P. Volumétrico Kg/m ³	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	1381.925	100
18	C18:100%Y+5%PN	1359.386	98.36901424
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	1366.666	100
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	1323.174	96.81765698
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	1436.703	100
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	1365.358	95.03411631

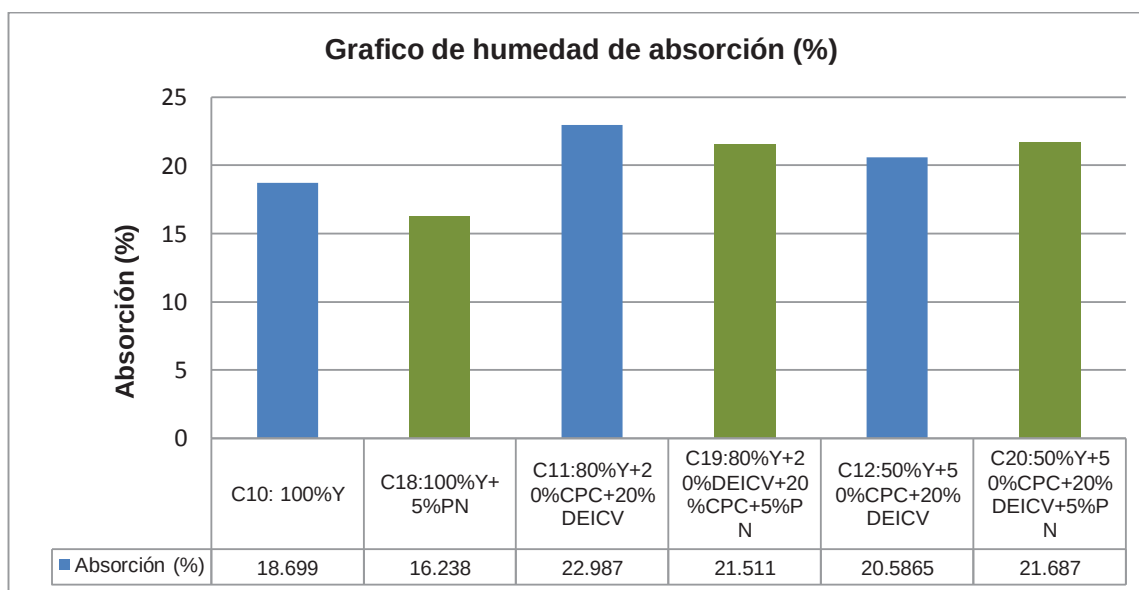
Observaciones:

Prevaleció una baja de P.Volumetrico de 2.5-5%.

La absorción disminuyo en las composiciones, donde existía una mayor composición de yeso.



C	Composición	Humedad de Absorción (%)	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	18.699	100
18	C18:100%Y+5%PN	16.238	86.83886839
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	22.987	100
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	21.511	93.57897942
12	C12:50%Y+50%CPC+20%DEICV	20.5865	100
20	C20:50%Y+50%CPC+20%DEICV+5%PN	21.687	105.3457363



VII.2 EVALUACIÓN DE ECOCEMENTOS CON DEICV

VII.2.1 EVALUACIÓN EN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla general de composiciones

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa	Porcentaje %
10	C10: 100%Y	89	8.727920323	100
15	C15:100%Y+20%DEICV	140.3555556	13.76418096	157.7028714
14	C14:100%CPC	510.2222222	50.03571801	100
16	C16:100%CPC+20%DEICV	545.1111111	53.45714994	106.8379791

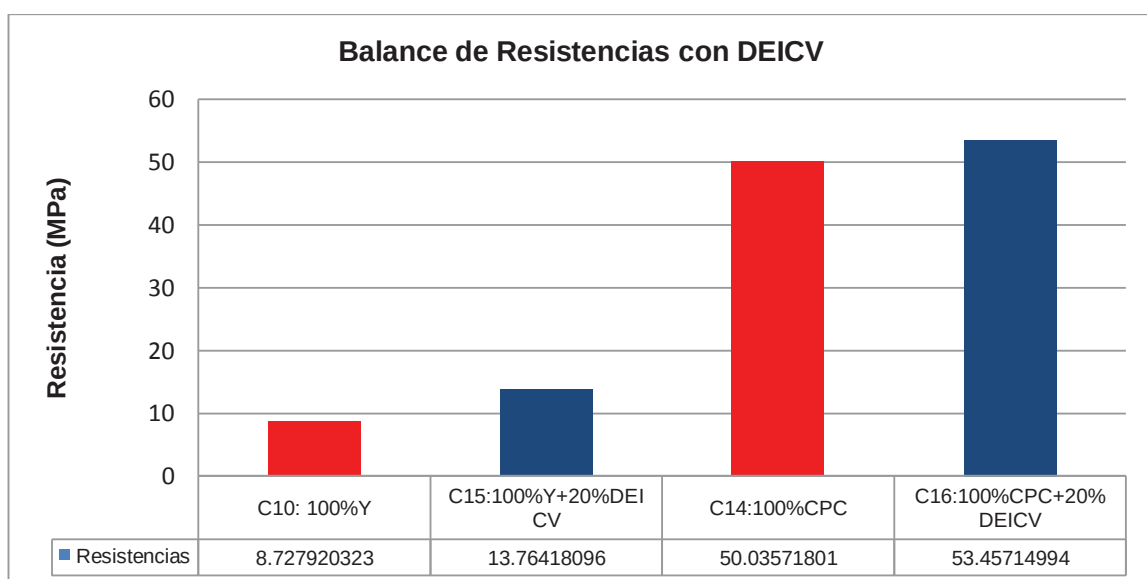
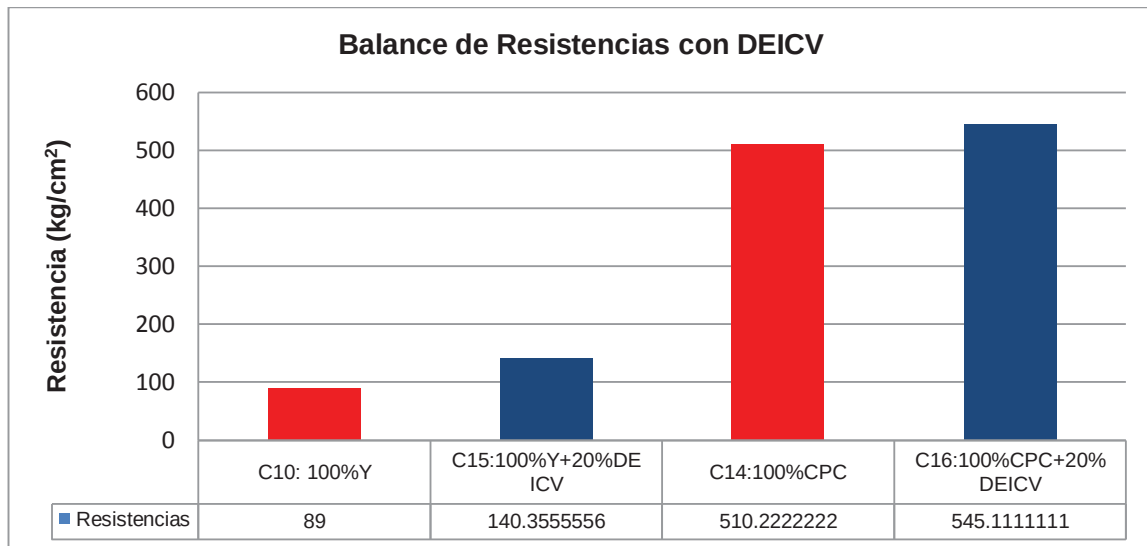




Imagen izquierda, 100% Yeso, derecha, 100%Yeso+20%DEICV

Observaciones:

Aumento la resistencia mecánica, en un pequeño porcentaje en el cemento, sin embargo tuvo un aumento considerablemente alto con el yeso.

VII.2.2 EVALUACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO (KG/M³) Y ABSORCIÓN (%)

C	Composición	P. Volumétrico Kg/m ³	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	1381.925	100
15	C15:100%Y+20%DEICV	1359.765	98.39643975
14	C14:100%CPC	1888.53	100
16	C16:100%CPC+20%DEICV	1816.77	96.20021922

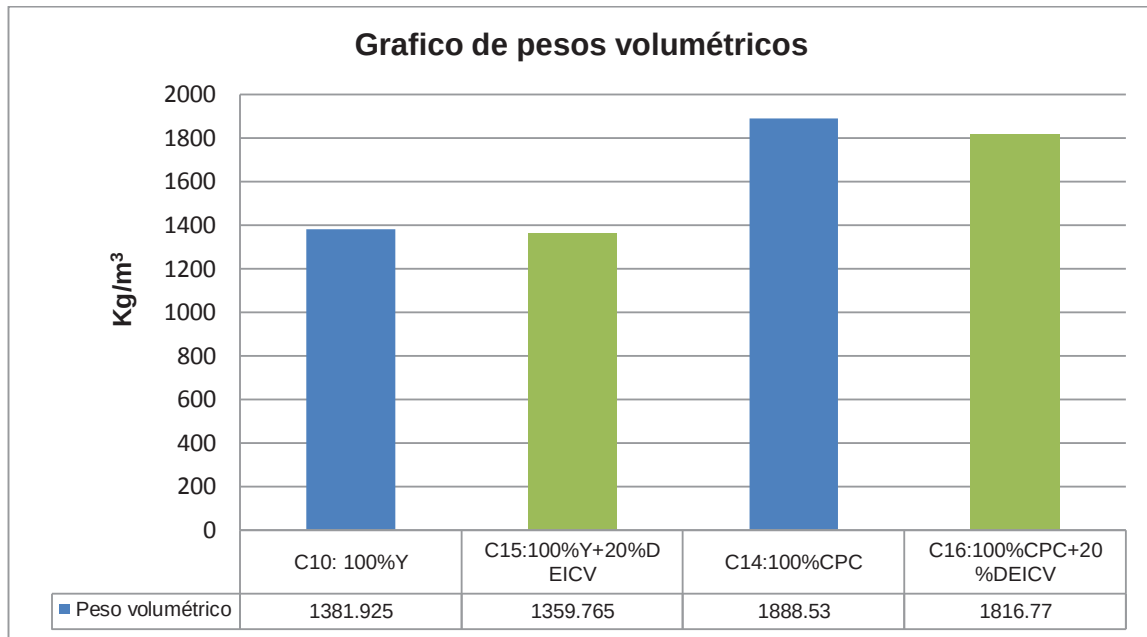
Observaciones:

El peso volumétrico disminuyó entre un 4 - 1.5%.

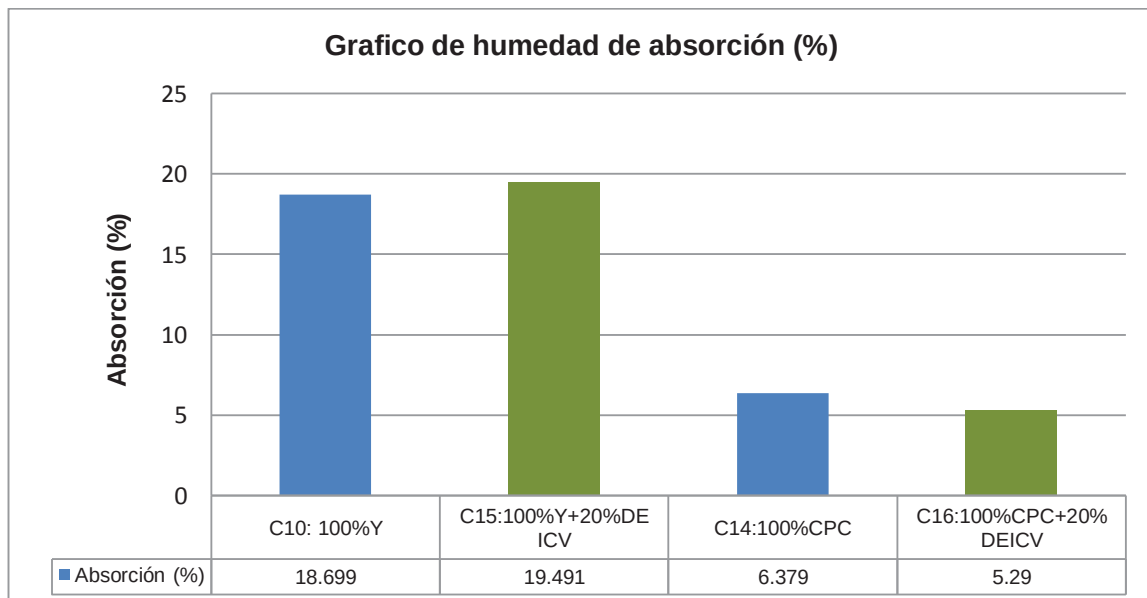
La puzolana DEICV le dio buena trabajabilidad a la mezcla.

Las absorciones aumentaron en la composición de yeso y bajaron en la de cemento.

La solubilidad del yeso, permaneció y el DEICV no contribuyó al mejoramiento en este sentido.



C	Composición	Humedad de Absorción (%)	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	18.699	100
15	C15:100%Y+20%D EICV	19.491	104.235206
14	C14:100%CPC	6.379	100
16	C16:100%CPC+20%D EICV	5.29	82.92835868

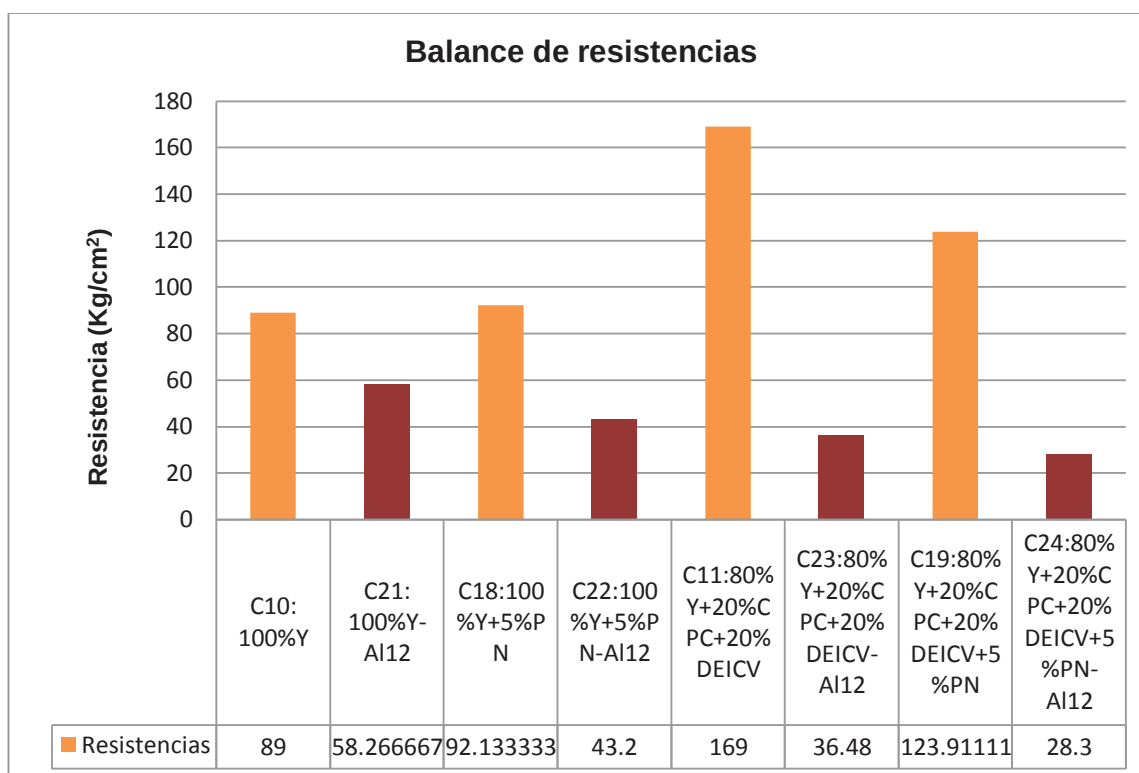


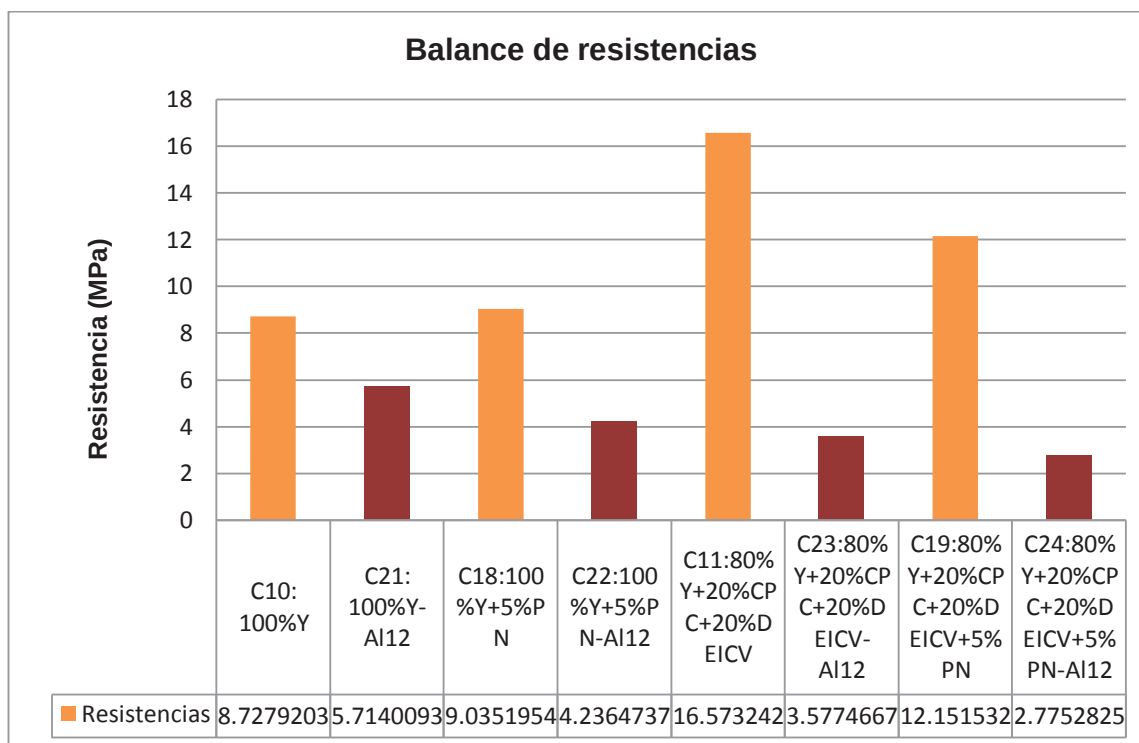
VII.3 EVALUACIÓN DE MUESTRAS CON AGUA Y ADITIVO AL₁₂

VII.3.1 EVALUACIÓN EN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla general de composiciones:

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa	Porcentaje %
10	C10: 100%Y	89	8.727920323	100
21	C21: 100%Y-Al ₁₂	58.26666667	5.71400926	65.4681648
18	C18:100%Y+5%PN	92.13333333	9.03519542	100
22	C22:100%Y+5%PN-Al ₁₂	43.2	4.236473685	46.8885673
11	C11:80%Y+20%CPC+20%DEICV	169	16.57324196	100
23	C23:80%Y+20%CPC+20%DEICV-Al ₁₂	36.48	3.577466667	21.5857988
19	C19:80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN	123.9111111	12.15153152	100
24	C24:80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN-Al ₁₂	28.3	2.77528253	22.8389527



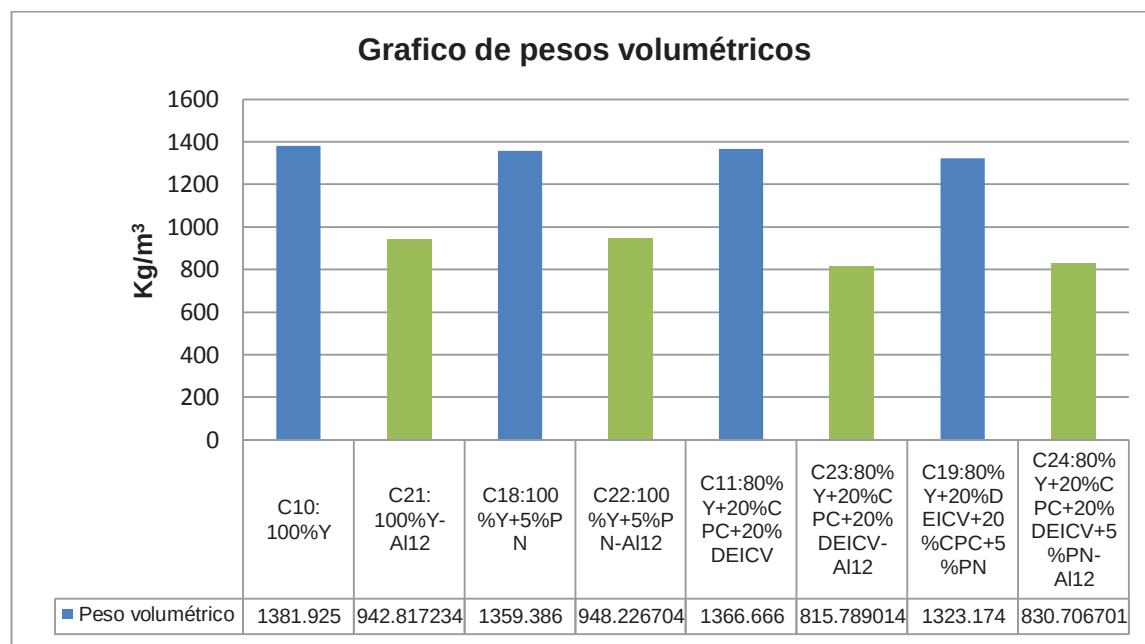
**Observaciones:**

La resistencia mecánica bajo de manera considerable.

Esta baja de resistencia se vio mayormente afectada al existir cemento en la composición.

VII.3.2 EVALUACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO (KG/M³) Y ABSORCIÓN (%)

C	Composición	P. Volumétrico Kg/m ³	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	1381.925	100
21	C21: 100%Y-AI12	942.8172339	68.22492059
18	C18:100%Y+5%PN	1359.386	100
22	C22:100%Y+5%PN-AI12	948.2267038	69.75404365
11	C11:80%Y+20%CP C+20%DEICV	1366.666	100
23	C23:80%Y+20%CP C+20%DEICV-AI12	815.7890138	59.69190818
19	C19:80%Y+20%DEICV+20%CP C+5%PN	1323.174	100
24	C24:80%Y+20%CP C+20%DEICV+5%PN-AI12	830.7067011	62.7813652



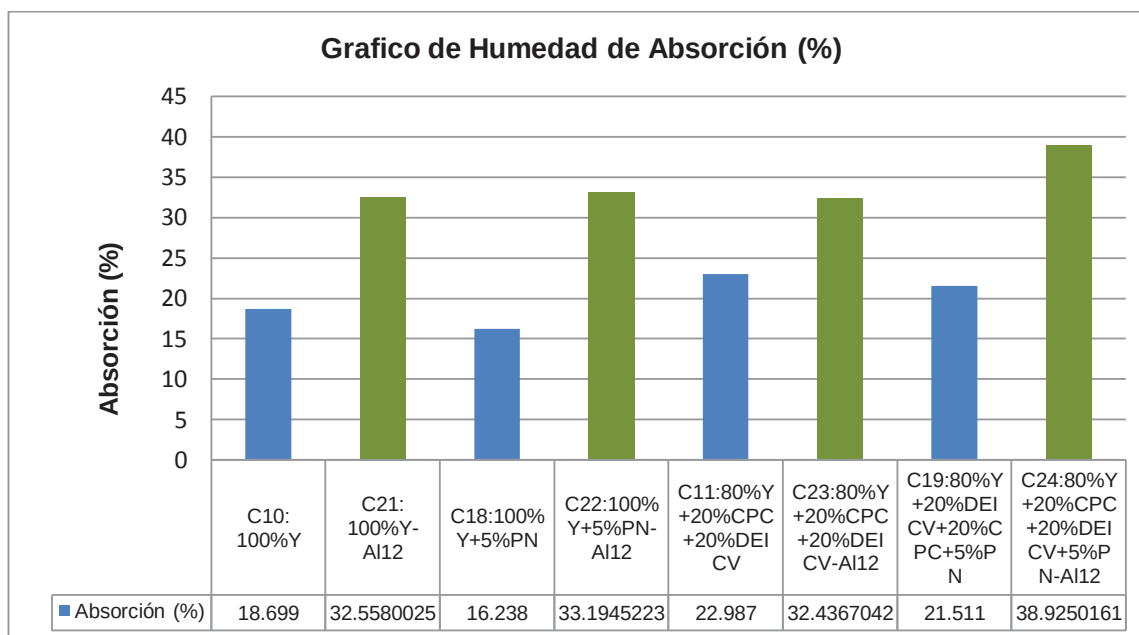
C	Composición	Humedad de Absorción (%)	Porcentaje (%)
10	C10: 100%Y	18.699	100
21	C21: 100%Y-Al12	32.55800253	174.1162764
18	C18: 100%Y+5%PN	16.238	100
22	C22: 100%Y+5%PN-Al12	33.19452231	204.4249434
11	C11: 80%Y+20%CPC+20%DEICV	22.987	100
23	C23: 80%Y+20%CPC+20%DEICV-Al12	32.43670423	141.108906
19	C19: 80%Y+20%DEICV+20%CPC+5%PN	21.511	100
24	C24: 80%Y+20%CPC+20%DEICV+5%PN-Al12	38.92501614	180.9540056

Observaciones:

El P.V. disminuyo entre un 40-30%.

Esta baja del P.V. fue superior en las composiciones que contenían cemento.

Debido a la porosidad de las muestras aireadas, la absorción aumento considerablemente.



VII.4 EVALUACIÓN DE MUESTRAS CELULARES Y CELULARES RECUBIERTAS DE POLÍMERO

VII.4.1 EVALUACIÓN EN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla general de composiciones:

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
21	C21: 100%Y-Al ₁₂	58.26666667	5.71400926
31	C31: 100%Y+POL-Al ₁₂	48.8	4.7856462
22	C22: 100%Y+5%PN-Al ₁₂	43.2	4.236473685
32	C32: 100%Y+5%PN+POL-Al ₁₂	31.73333333	3.111977583
23	C23: 80%Y+20%CPC+20%CV-Al ₁₂	36.48	3.577466667
33	C33: 80%Y+20%CPC+20%CV+POL-Al ₁₂	15.8	1.549451024
24	C24: 80%Y+20%CPC+20%CV+5%PN-Al ₁₂	28.3	2.77528253
34	C34: 80%Y+20%CPC+20%CV+5%PN+POL-Al ₁₂	24.13333333	2.366672028
25	C25: 80%Y+20%CPC+POL-Al ₁₂	32.16	3.153819299
35	C35: 80%Y+20%CPC+POL-Al ₁₂	33.73333333	3.308110624

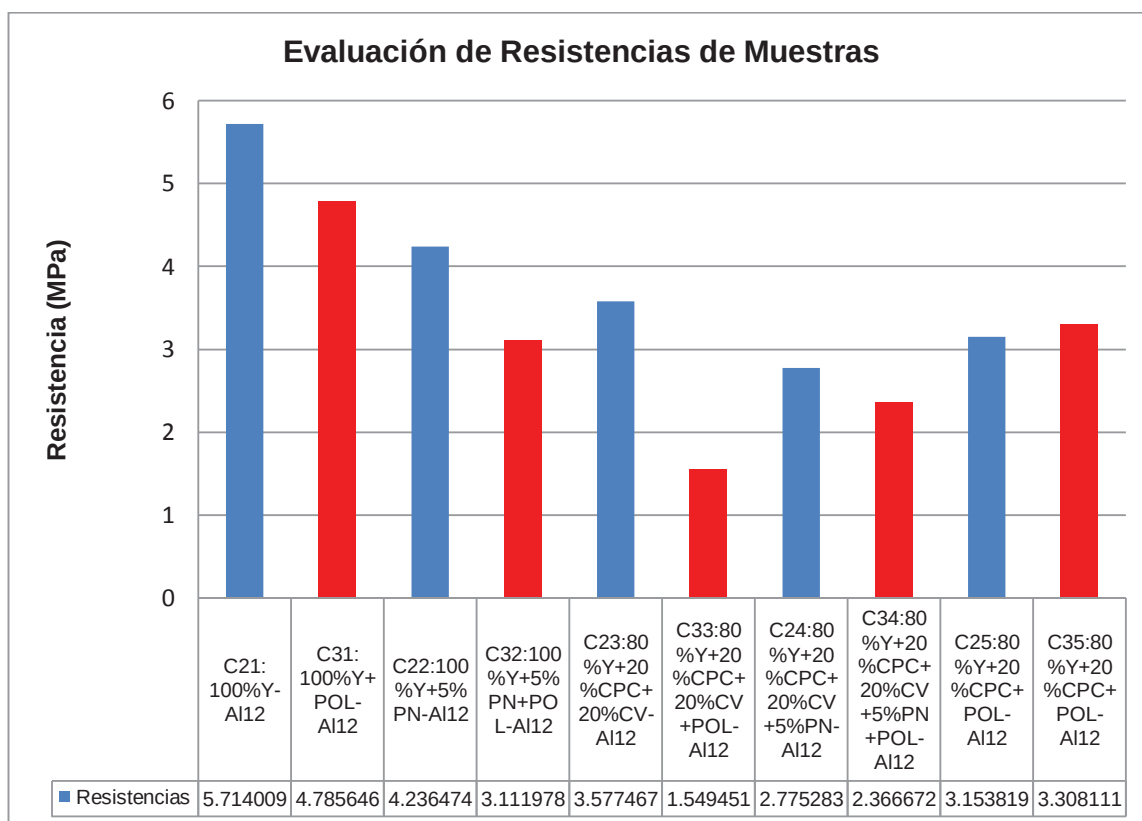
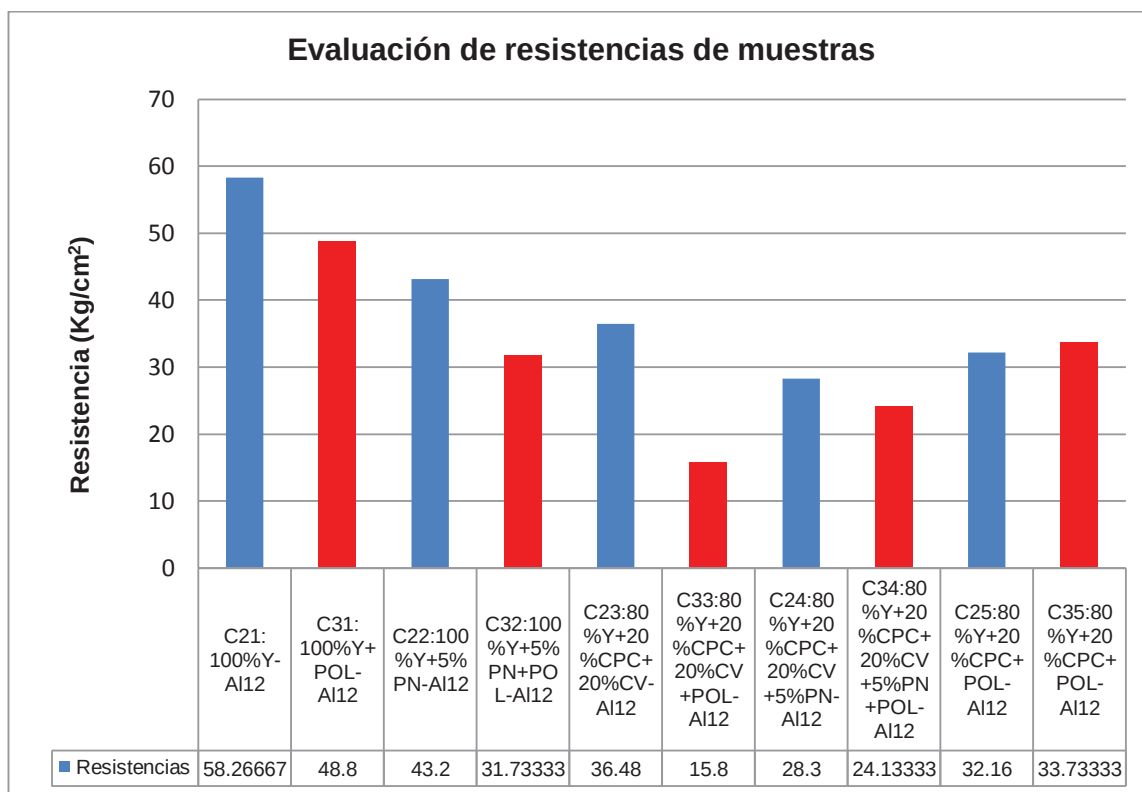
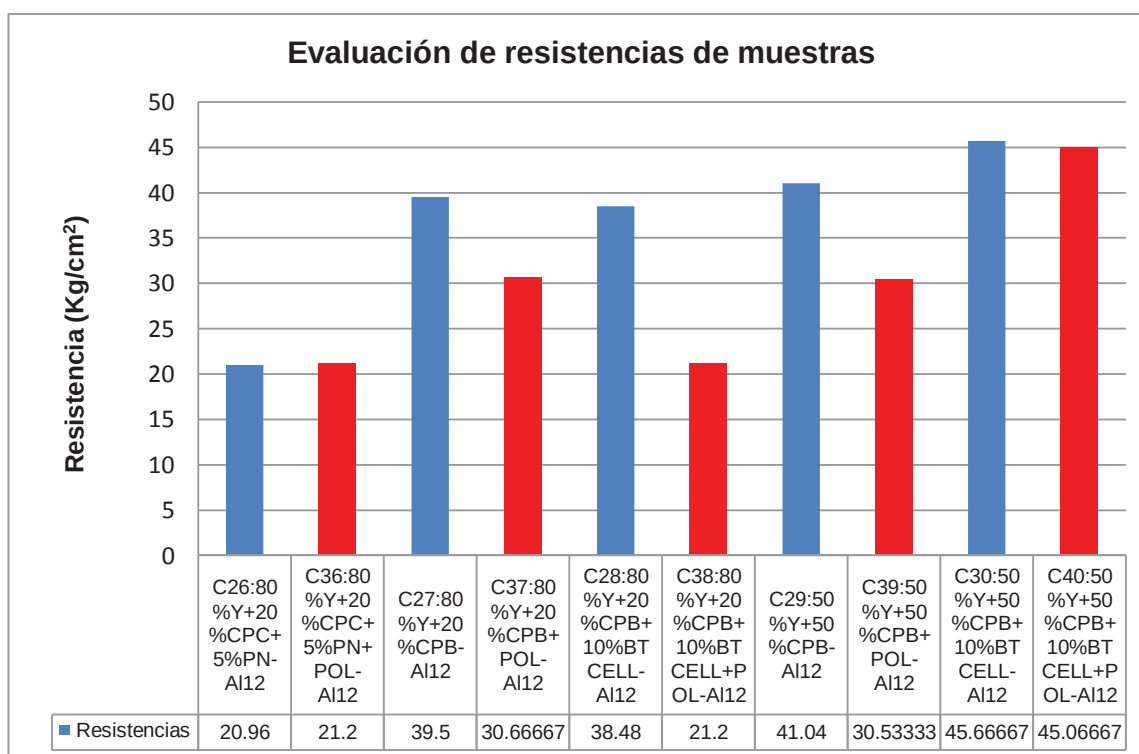
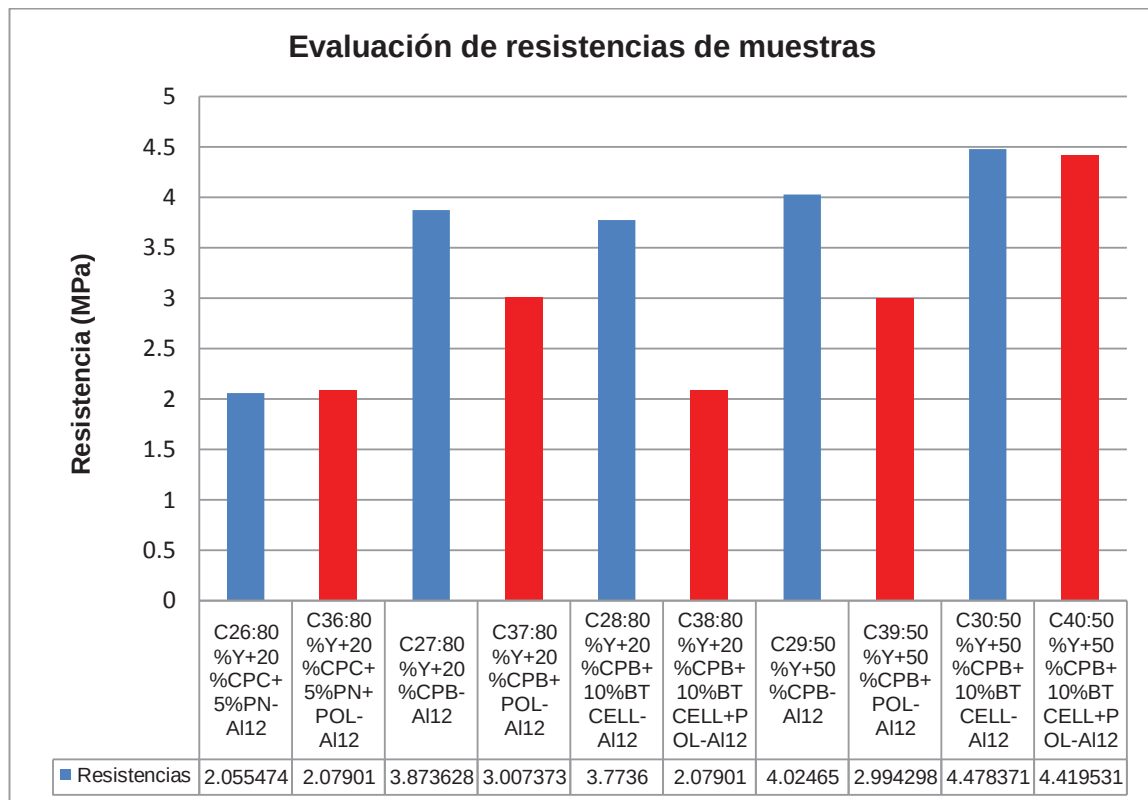


Tabla general de composiciones:

C	Composición	Resistencia Kg/cm ²	Resistencia MPa
26	C26:80%Y+20%CPC+5%PN-Al ₁₂	20.96	2.055474269
36	C36:80%Y+20%CPC+5%PN+POL-Al ₁₂	21.2	2.079010234
27	C27:80%Y+20%CPB-Al ₁₂	39.5	3.873627559
37	C37:80%Y+20%CPB+POL-Al ₁₂	30.66666667	3.007373295
28	C28:80%Y+20%CPB+10%BTCELL-Al ₁₂	38.48	3.773599708
38	C38:80%Y+20%CPB+10%BTCELL+POL-Al ₁₂	21.2	2.079010234
29	C29:50%Y+50%CPB-Al ₁₂	41.04	4.024650001
39	C39:50%Y+50%CPB+POL-Al ₁₂	30.53333333	2.994297759
30	C30:50%Y+50%CPB+10%BTCELL-Al ₁₂	45.66666667	4.478371102
40	C40:50%Y+50%CPB+10%BTCELL+POL-Al ₁₂	45.06666667	4.41953119





Observaciones:

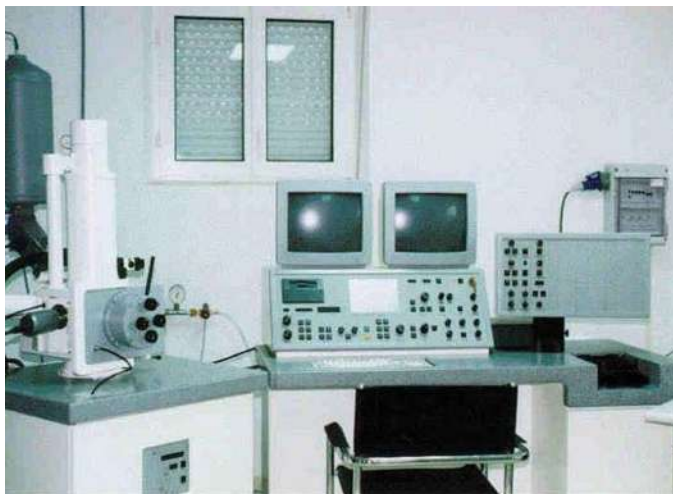
Para esta etapa no existieron mejoras en el comportamiento del material, al estar superficialmente impregnado de polímero.

Debido a lo anterior no se consideraran para probables usos o mejoras del material.

VII.5 ANALISIS DE LA MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL MEDIANTE EL MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB)

El Microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope), es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil pues la mayoría de SEMs sólo requieren que estas sean conductoras.

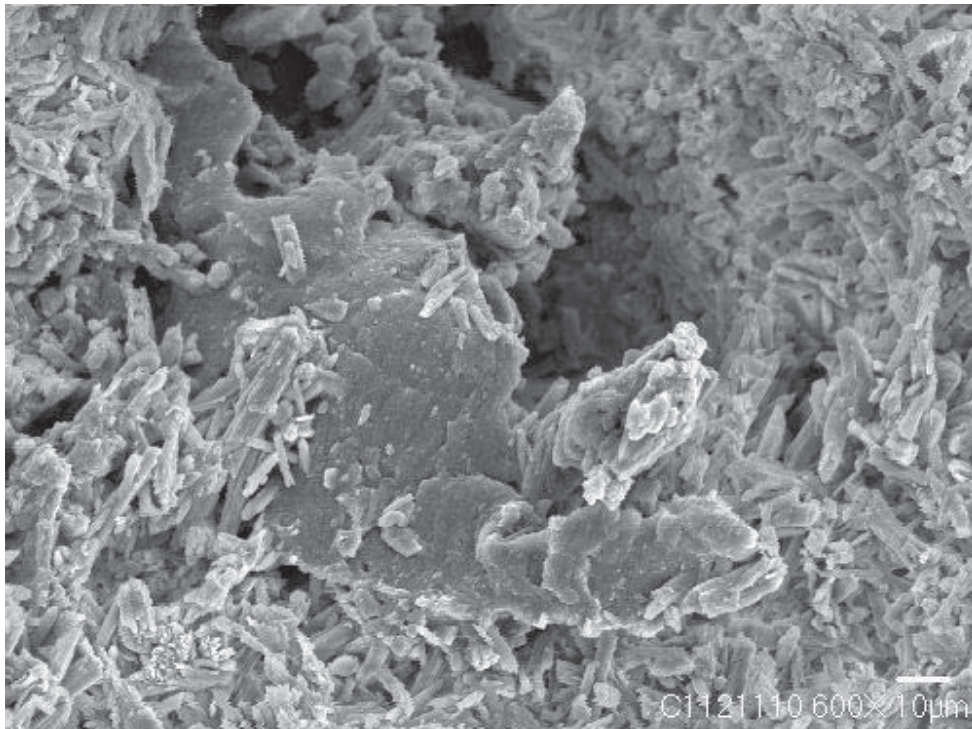
En el microscopio electrónico de barrido la muestra es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados que viajan a través del cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de TV o una imagen digital.



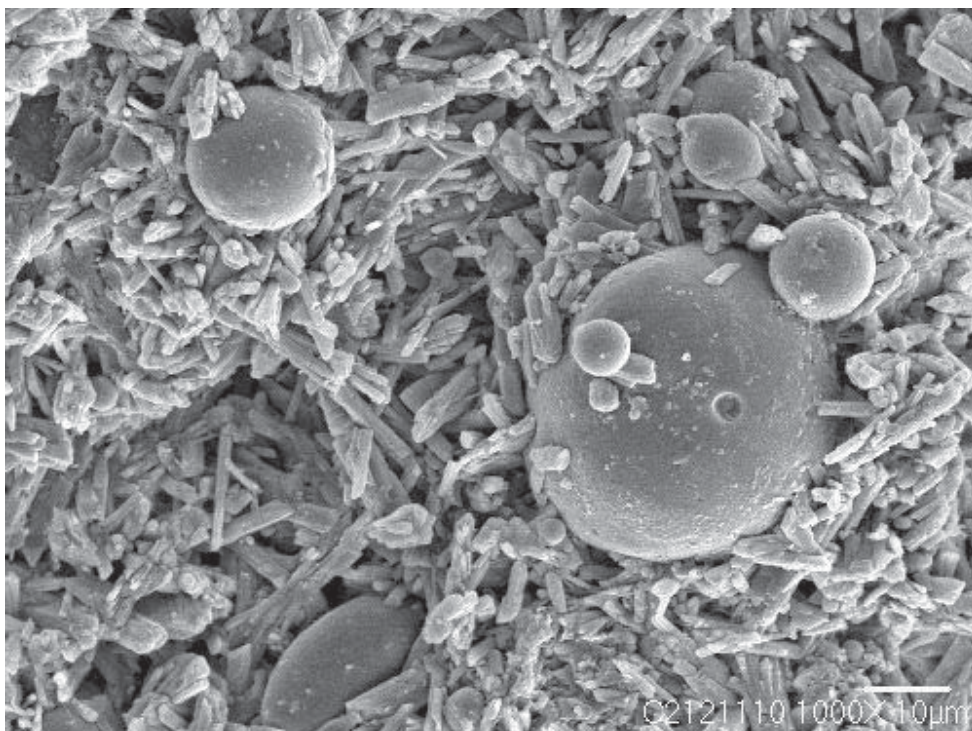
<http://www3.unileon.es/ins/insaiem/images/microscopio%20electronico.jpg>

Este microscopio se encuentra en Ciudad Universitaria de la U.M.S.N.H., en las instalaciones de los edificios de Metalurgia.

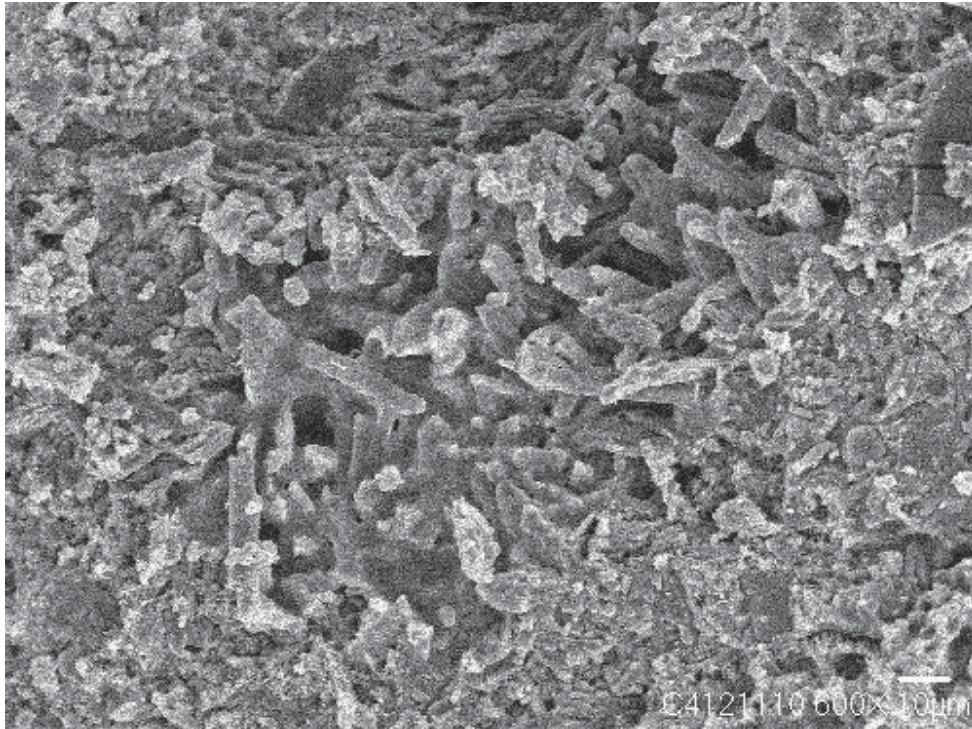
A este dispositivo fueron llevadas algunas muestras para observar su microestructura, y realizar un análisis en base al comportamiento de los compuestos de los especímenes.



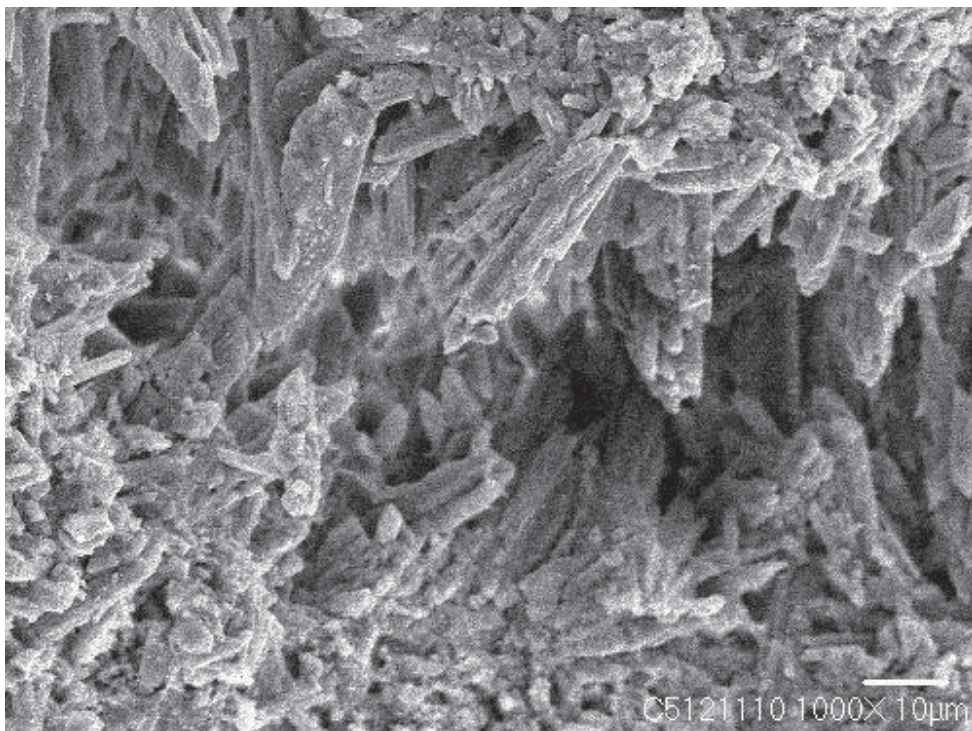
Composición: 100%Yeso+5%Polvo de Neumático, con aditivo P4000 al agua.



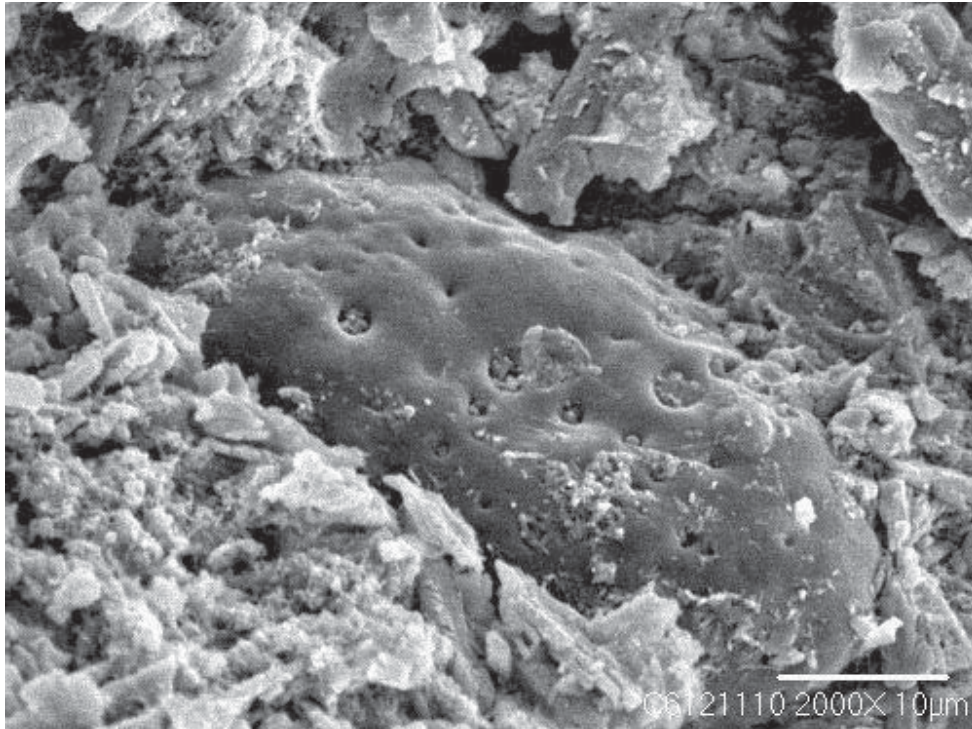
Composición: 100%Yeso+20%DEICV, con aditivo P4000 al agua.



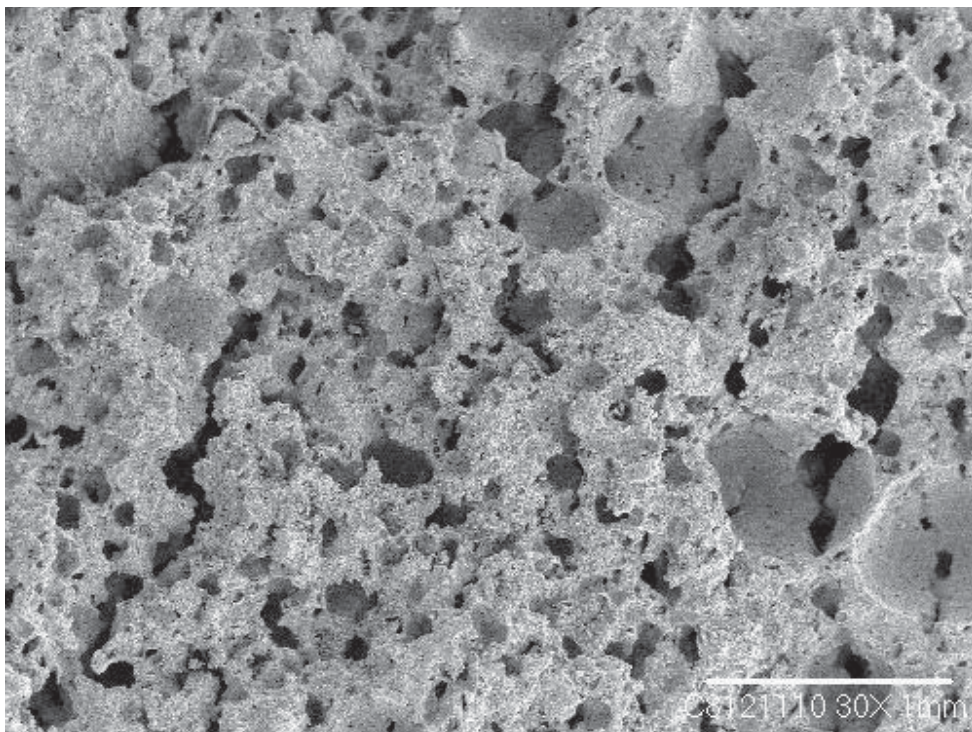
Composición: 50%Yeso+50%CPC+20%DEICV, con aditivo P4000 al agua.



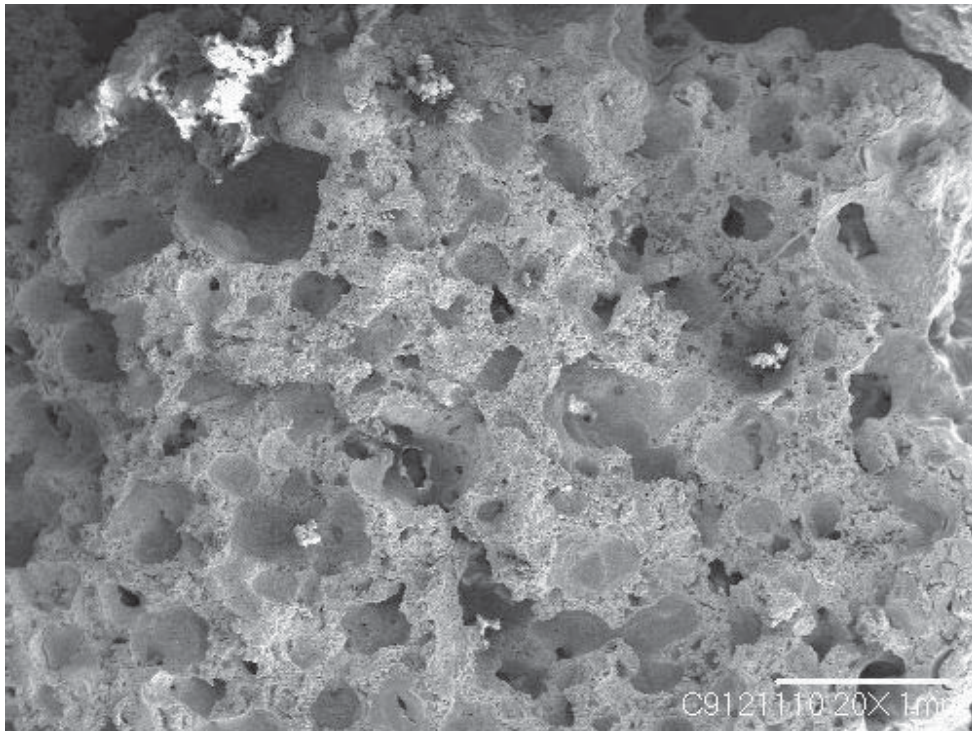
Composición: 80%Yeso+20%CPC+20%DEICV, con aditivo P4000 al agua.



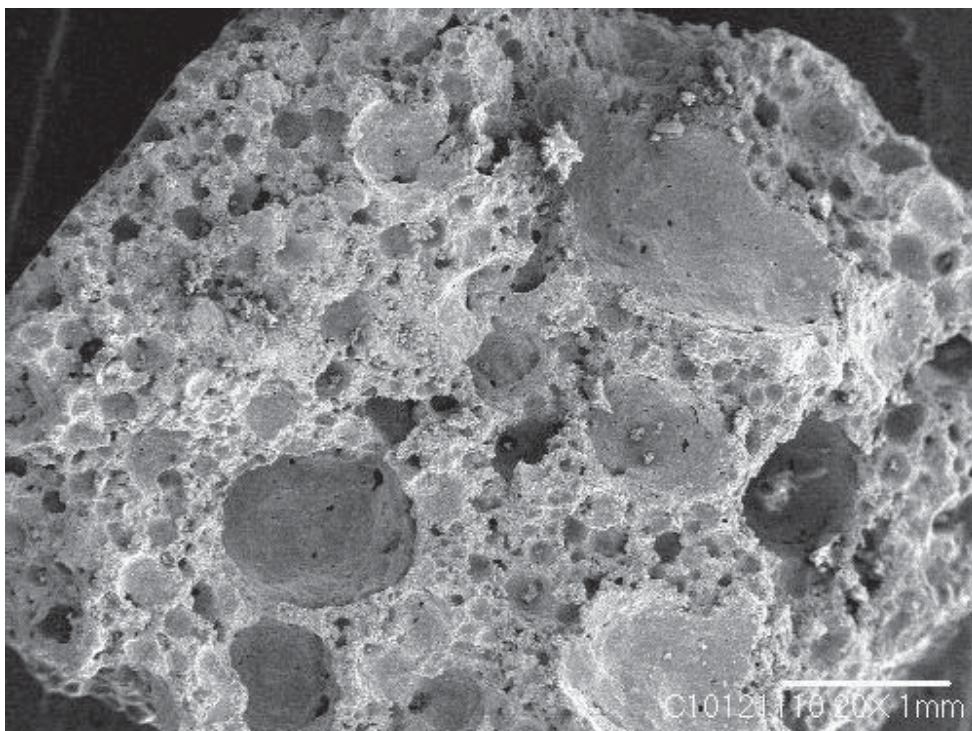
Composición: 80%Yeso+20%CPC+20%DEICV+5%Polvo de Neumático, con aditivo P4000 al agua.



Composición: 50%Yeso+50%CPB con aditivo Al_{12} .



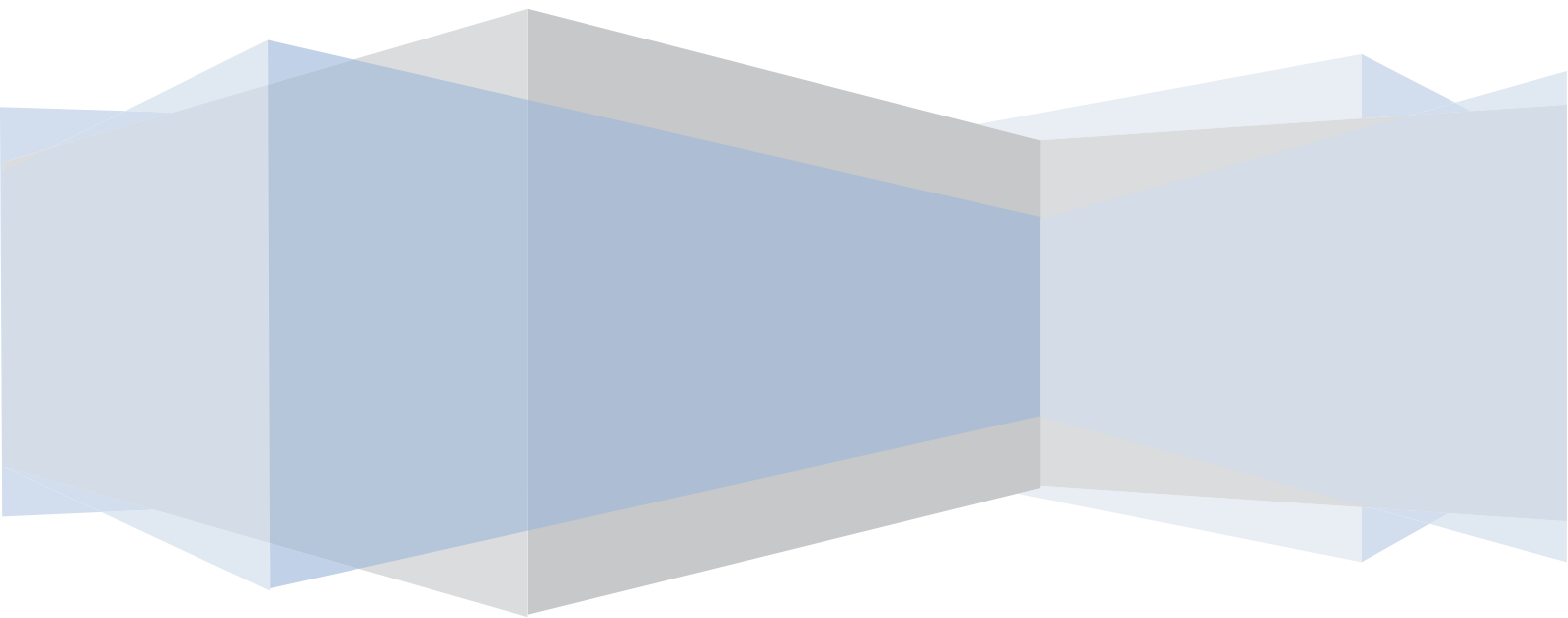
Composición: 100%Yeso+5%Polvo de Neumático con aditivo Al_{12} .



Composición: 50%Yeso+50%CPC+20%DEICV+5%Polvo de Neumático con aditivo Al_{12}

CAPITULO VIII

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICO



En la siguiente etapa se analizó el precio de materiales para la elaboración de los productos, antes mencionados, esto respecto a los costos de los materiales utilizados en el mercado.

Tabla general de materiales y precios.

Material	Unidad	Costo (pesos)
Aditivo Al ₁₂	Litro	20
Cemento Portland Compuesto (CPC)	Tonelada	1900
Cemento Portland Blanco (CPB)	Tonelada	3820
Aditivo P4000	Kg	100
Yeso	Tonelada	1270
Polvo de Neumático	Kg	9
DEICV	Kg	5
Óxido de Cromo	Kg	500
Agua	litro	0.035

VIII.1 ANÁLISIS DEL ECOBLOCK

Como se vio en el Capítulo VI, este producto tiene las siguientes composiciones:

Composición 1: 50% Yeso+50%CPC+20%DEICV

Composición 2: 50% Yeso+50%CPC+20%DEICV+5% P.N.

Lo siguiente será realizar la evaluación del costo de los materiales, de acuerdo a su composición y el material necesario para elaborar el block de 7x14x28 cm.

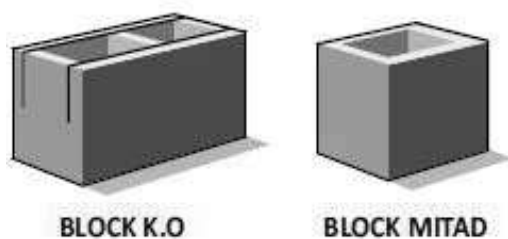
Tabla general de cantidades y precio del elemento.

Material	Unidad	Precio (Pesos)	Cantidad	Costo
Cemento Portland Compuesto	Kg	1.9	1.32	2.508
Yeso	Kg	1.27	1.32	1.6764
DEICV	Kg	5	0.528	2.64
Polvo de Neumático	Kg	9	0.132	1.188
Agua	Litro	0.035	1.65	0.05775
Aditivo P4000	Kg	100	0.045	4.5
			Total	12.57015

Material	Unidad	Precio (Pesos)	Cantidad	Costo
Cemento Portland Compuesto	Kg	1.9	1.375	2.6125
Yeso	Kg	1.27	1.375	1.74625
DEICV	Kg	5	0.55	2.75
Agua	Litro	0.035	1.65	0.05775
Aditivo P4000	Kg	100	0.045	4.5
			Total	11.6665

El costo resulta ser elevado para ser usado como una mampostería para muros de carga, es por tal motivo que el producto de acuerdo a su composición es viable, por su buen desempeño y características, pero en precio no lo es, sin embargo para ser usado como material cementante y ser combinado con agregados pétreos y poder ser utilizado en la fabricación de block vobrocomprimidos, presenta una posible viabilidad.

Otra forma seria mostrarlo en distintas formas geométricas, que permitan un ahorro en el uso del material, para la fabricación de productos.



<http://www.prelosa.com/images/pdf/block.pdf>

VIII.2 ANÁLISIS DEL MINIPANEL CELULAR

Como se vio en el Capítulo VI, este producto tiene las siguientes composiciones:

Composición: 50%Yeso+50%CPB, con una relación Al_{12}/C : 0.5.

Cantidades de material requerido y costos de los mismos para la fabricación de un espécimen de Minipanel de dimensiones de 5x15x60 cm.

Material	Unidad	Precio (Pesos)	Cantidad	Costo
Cemento Portland Blanco	Kg	3.82	1.95	7.449
Yeso	Kg	1.27	1.95	2.4765
Aditivo Al_{12}	Litro	20	1.95	39
			Total:	48.9255

Este producto presenta costos al igual que el anterior elevados, sin embargo al ser producido en grandes cantidades, se abaratarían de mayor manera los costos de los materiales y pudiera ser una opción importante de panel para interiores, y el costo algo elevado sería absorbido por la facilidad y rapidez de construcción.

VIII.3 ANÁLISIS DE LA PASTA ECOCELL

El análisis se realizó considerando un metro cuadrado de pasta, como recubrimiento y con un espesor de medio centímetro.

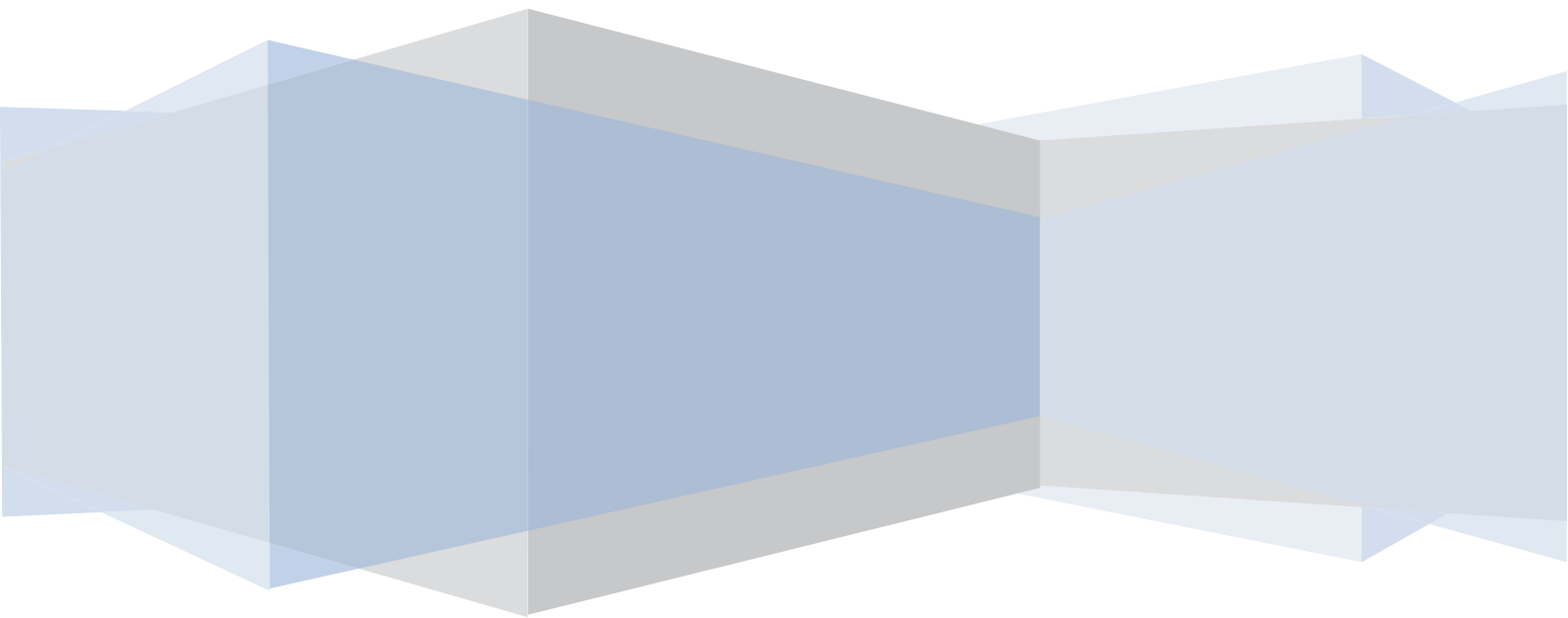
Para la pasta con un pigmento de óxido de cromo, el costo sería de:

Material	Unidad	Cantidad	Precio (Pesos)	Costo
Yeso	Kg	4.686	1.27	5.95122
Óxido de Cromo	Kg	0.024	500	12
Aditivo Al_{12}	Kg	2.355	20	47.1
			Total:	65.05

Y para la misma pasta sin pigmento, su costo sería de:

Material	Unidad	Cantidad	Precio (Pesos)	Costo
Yeso	Kg	4.71	1.27	5.9817
Aditivo Al_{12}	Kg	2.355	20	47.1
			Total:	53.08

CAPITULO IX CONCLUSIONES



Una de las conclusiones del presente trabajo respecto a los productos obtenidos, resulta ser el hecho de poder realizar productos Vibrocomprimidos, con la mezcla de materiales del Ecoblock, las cuales eran una mezcla de 50%Yeso+50%CPC+DEICV+Polvo de neumático, y respecto a los otros productos como el Minipanel y la Ecopasta tienen un costo elevado, sin embargo, al poderse adquirir materiales al mayoreo, estos costos tenderían a bajar.

Otro punto importante es la incorporación del polvo de neumático a los materiales. Como se ha visto anteriormente en este aspecto es realmente poco lo que actualmente se incorpora este material a los cementos, de manera particular se vio un resultado bastante favorecedor con el yeso, puesto que ante un 5 % en peso del polvo de neumático, no existieron bajas en la resistencia mecánica (kg/cm^2), además de que este se mezclaba de manera uniforme en la mezcla y reforzando la matriz, dándole gran cohesión entre sus partículas, haciendo un papel de una fibra, pero debido a su composición no le da mayores aumentos de resistencia.

Otro aspecto a considerar con buen resultado, es el resultado del cemento portland con la puzolana DEICV, debido a que aumento su resistencia respecto al cemento portland, esto con tendencias a poder realizarse un concreto puzolanico, y con las propiedades y compuestos que le llegase a adicionar la puzolana como un material silicoso, este concreto tendría una buena resistencia a los sulfatos, entre algunas cosas, esto debido a que al aumentar los silicatos, aumentan los geles de tobermorita y disminuye el aluminato tricálcico en su composición.

Se espera que el presente trabajo pueda servir para proyectos posteriores y se tenga un panorama real acerca del comportamiento de los desechos industriales (puzolanas) y otros como el polvo de neumático, al ser incorporados en materiales comunes de la construcción. Esto actualmente es un buen mercado, sin embargo es algo que se encuentra en constante crecimiento y se esperan futuros estudios e investigaciones para llegar a productos mejor elaborados y gran aceptación para llegar a sustituir a los materiales ya establecidos actualmente parcialmente.

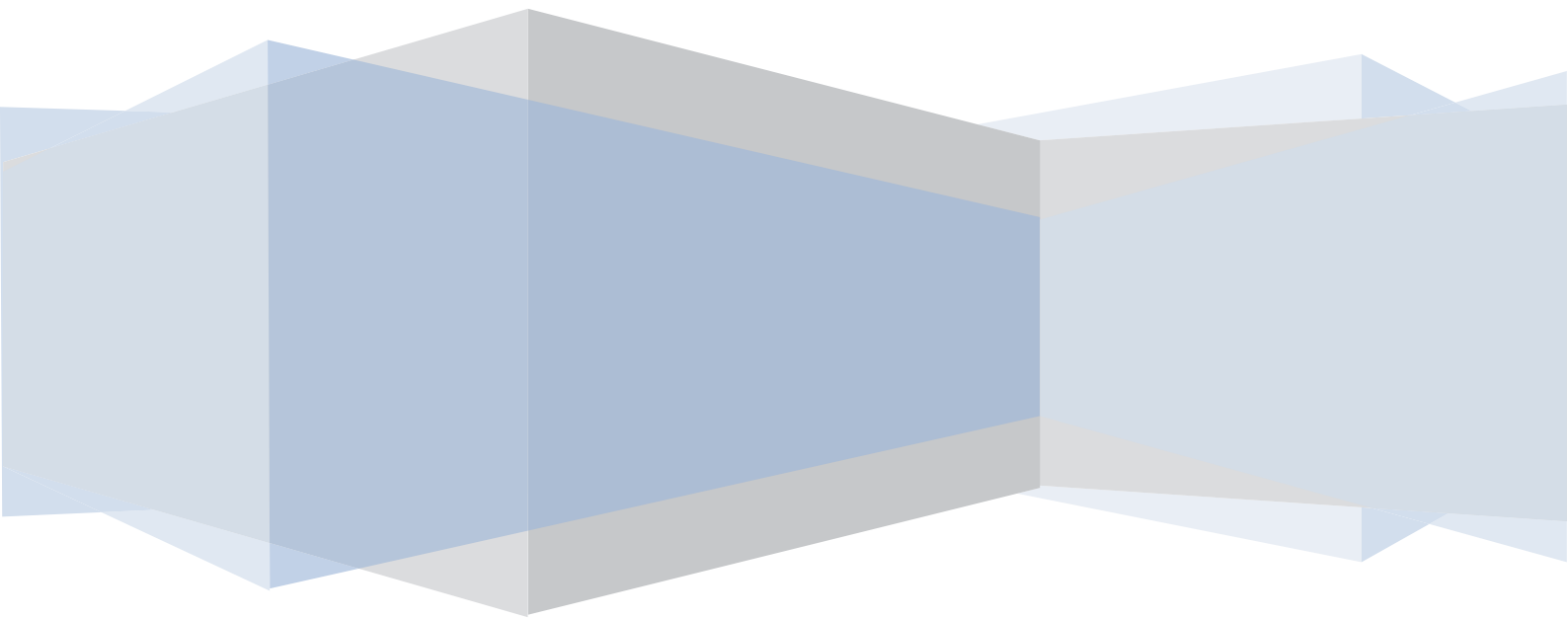


<http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/ic/imagenes/f32.jpg>

CAPITULO X

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS



- TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, AUTORES: A. M. NEVILLE Y J.J. BROOKS, EDITORIAL: TRILLAS, PRIMERA EDICIÓN.
- CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, AUTORES: DONALD. R. ASKELAND PRADEEP P. PHULÉ, EDITORIAL: THOMSON, CUARTA EDICIÓN
- CONCRETO LIGERO, CÁLCULO, FABRICACIÓN, DISEÑO Y APLICACIONES AUTORES: ANDREW SHORT, WILLIAM KINNIBURGH, EDITORIAL: LIMUSA – WILEY PRIMERA EDICIÓN
- ANÁLISIS DE MATERIALES, AUTORES: LUIS M. NAVARRO SÁNCHEZ, WILFRIDO MARTINEZ MOLINA, JOSÉ A. ESPINOZA MANDUJANO, EDITORIAL: U.M.S.N.H., PRIMERA EDICIÓN.
- <http://www.canacem.org.mx/>
CAMARA NACIONAL DEL CEMENTO
- <http://www.inegi.org.mx/>
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
- <http://www.anfacal.org/>
ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL
- <http://www.zeobond.com/>
- <http://novacem.com/technology/overview/>
- <http://mexico.xella.com/>
- <http://www.cemexmexico.com/>
- <http://www.anippac.org.mx/>
- <http://www.prelosa.com/>
- <http://www.cemexnicaragua.com/>
- <http://www.zonacatastrofica.com/un-nuevo-uso-para-los-neumaticos-usados.html>
- <http://www.economia-dgm.gob.mx/dgpm/perfiles/Yeso.pdf>
- <http://cuauhtemoc.org.mx/data/files/UNAM/Termodinamica/Termoelectrica.pdf>
- http://www.cemexnicaragua.com/pr/pr_ad.html
- <http://thetorlobby.files.wordpress.com/2009/12/neumaticos.jpg>

- <http://www.e-asfalto.com.ar/recichule/planta2.png>
- http://www.gemi.org.mx/files/01_deguevara.pdf
- <http://www3.unileon.es/ins/insaiem/images/microscopio%20electronico.jpg>