



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ELABORACIÓN DE UN CEMENTO HÍBRIDO BASADO EN LA
ACTIVACIÓN ALCALINA DE CEMENTO PORTLAND PURO Y ZEOLITA
ECUATORIANA”**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

CECIBEL VIVIANA FRERÉ CÁRDENAS

JULIO ENRIQUE TORRES MONROY

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Al buen Dios, por su infinito amor, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente. A mis padres, Paulino Freré y Cecilia Cárdenas por amarme sin medida, hacerme una mujer de principios y darme la oportunidad de estudiar. A mis hermanos, Paulino y Taís, porque estando cerca o lejos, son mi inspiración para ser mejor. A mi familia siempre unida, por estar conmigo constantemente en cada paso que doy. A mis amigos, sobre todo a Julio por su dedicación en este proyecto. Y a Guillermo, por creer en mí, incluso más que yo.

Cecibel Viviana Freré Cárdenas

DEDICATORIA

A mi madre, que con su amor y atención es el principal pilar para mi crecimiento personal y profesional. A mi hermano, que nunca ha dejado de creer en mí. A mi padre por sus enseñanzas, que me permiten enfocarme y tener disciplina en mi vida. A Herly que en los últimos años ha sido un guía en varios aspectos de mi vida. A mis demás familiares que con sus palabras de aliento no dejaron que claudique en el proyecto. A mis amigos, que con bromas y compañerismo me acompañaron en todo este largo camino y en especial a Viviana por sus largas horas de dedicación y esfuerzo a esta investigación.

Julio Enrique Torres Monroy

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a todos los profesores de la Facultad de Ciencias de la Tierra que han contribuido en nuestra formación académica. A nuestros compañeros de carrera, porque nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional. A la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, principalmente al Ph.D. Mauricio Cornejo por su valiosa orientación en esta investigación. Al Ph.D. Hugo Egüez, y al Ph.D. Miguel Chávez, por su guía. Y a la compañía Holcim Ecuador, por su colaboración en este proyecto.

Cecibel Viviana Freré Cárdenas

Julio Enrique Torres Monroy

TRIBUNAL DEL PROYECTO

**Ph.D. Hugo Egüez Álava
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**Ph.D. Miguel Ángel Chávez Moncayo
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Cecibel Viviana Freré Cárdenas

Julio Enrique Torres Monroy

RESUMEN

Los cementos híbridos alcalinos son interesantes sistemas multicomponente que incorporan elevados contenidos de adiciones minerales y bajos contenidos de clínker portland (CK) ($< 40\%$), junto con activadores de moderada alcalinidad. El desarrollo de estos cementos permite una importante reducción en el factor clínker, con un beneficio económico y principalmente medioambiental. En el presente trabajo se investiga tanto el desarrollo de este sistema desde el punto de vista mecánico, físico y químico, así como los productos de reacción generados.

Se elaboró un Cemento Ordinario Portland, con 95% de Clinker y 5% de Yeso, éste cemento realizado en laboratorio se tomó como base para evaluar las diferentes dosificaciones de relación agua/sólido. La selección de la alternativa más óptima se tomó en base a diferentes análisis: Desempeño, Costo y Ambiental. Obteniendo como la más óptima la dosificación con 60% Z y 40% CP, se prepararon muestras de CH por activación alcalina de la zeolita natural mediante solución de NaOH, con una relación de activador / aglutinante de 0.5. Las muestras de CH fueron curadas durante 24 horas a temperatura ambiente y luego durante 6 días más fueron curadas bajo agua, mostraron los valores de resistencia a la compresión en un rango de 10 MPa.

Palabras clave: cemento híbrido, activación alcalina, zeolita natural, geopolímero, cemento portland.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO	5
DECLARACIÓN EXPRESA	6
RESUMEN	7
ABREVIATURAS	13
SIMBOLOGÍA	15
ÍNDICE DE TABLAS	19
INDICE DE FIGURAS	18
CAPITULO 1	21
GENERALIDADES	21
1.1 Introducción.....	22
1.2 Antecedentes y Justificación	26
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo General	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	28
CAPÍTULO 2	29
MARCO TEÓRICO	29
2.1 Cemento	30
2.1.1 Definición de cemento.....	30
2.1.2 Composición del Cemento	30
2.1.3 Propiedades del Cemento.....	31
2.1.3.1 Hidratación.....	32
2.1.3.2 Fraguado.....	33
2.1.3.3 Resistencia	34
2.1.3.4 Calor de hidratación	37

2.1.3.5 Estabilidad de volumen	38
2.1.3.6 Durabilidad.....	39
2.1.4 Cemento y el medio ambiente	40
2.1.5 Relacion agua / cemento	41
2.2 Zeolita	43
2.2.1 Zeolita en el Ecuador	44
2.2.2 Aplicaciones de la Zeolita	45
2.2.3 Zeolita en la construcción	45
2.3 Cemento Hibrido	46
2.3.1 Componentes.....	46
2.3.2 Materia prima	47
2.3.3 Activadores Alcalinos	47
CAPÍTULO 3	49
METODOLOGÍA	49
3.1 Elaboración del Cemento Portland Tipo I.....	50
3.1.1 Molienda de materias primas: Yeso y Clinker	50
3.2 Preparación de la Zeolita Natural.....	54
3.3 Composición del Activador Alcalino.....	55
3.4 Índice de Puzolanidad.....	56
3.5 Preparación de las mezclas.....	57
3.5.1 Cemento Portland Puro.....	57
3.5.2 Dosificaciones a probar.....	59
3.5.3 Redefinición de las dosificaciones	60
3.5.3.1 Relación agua/sólido.....	62
3.6 Resistencia a la compresión mecánica.....	64
3.7 Difractometría de Rayos X Cuantitativa (QXRD)	66
3.8. Espectroscopia Infrarroja por la Transformada de Fourier (FTIR)	69
CAPÍTULO 4	71

ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
4.1 Propiedades mecánicas.....	72
4.2 Difractómetro de rayos X (DRX)	74
4.3 Análisis del FTIR.....	77
CAPÍTULO 5	80
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	80
5.1 Costos.....	81
5.2 Resistencia Mecánica	82
5.3 Aplicación.....	83
CAPÍTULO 6	86
EVALUACIÓN AMBIENTAL	86
6.1 Matrices de Evaluación	87
6.1.1 Matriz Intensidad:.....	87
6.1.2 Matriz Extensión	87
6.1.3 Matriz Duración	87
6.1.4 Matriz Signo	88
6.1.5 Matriz Magnitud	88
6.1.6 Matriz Reversibilidad.....	88
6.1.7 Matriz Riesgo	89
6.1.8 Matriz Valoración De Impacto Ambiental (V.I.A)	89
6.1.9 Rango De Significancia De La Matriz V.I.A.....	89
6.2 Plan De Mitigación De Impactos	99
6.2.1 Uso de equipo de protección personal.....	99
6.2.2 Mezclado De Materiales.....	101
6.2.3 Generación De Desechos Sólidos y Aguas Residuales.....	101
CAPÍTULO 7	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
ANEXOS	

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

OPC	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puro
GU	Uso General
a/c	Agua/cemento
a/s	Agua/sólido
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ASTM	American Society for Testing Materials
SCM	Materiales Cementicios Suplementarios
XRD	Difracción de Rayos X
SEM- EDS	Microscopía Electrónica de Barrido
MPa	Mega Pascales

CH	Cemento Híbrido
Z	Zeolita
FTIR	Espectroscopia Infrarroja por la Transformada de Fourier
VIA	Valoración de Impacto Ambiental
N	Neutro
KN	Kilo Newton
CK	Clinker
RWP	Factor de confianza
GOF	Bondad de Ajuste
CT	Cemento de Control
I _{AP}	Índice de puzolanidad

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
CO_2	Dióxido de Carbono
Ca^{+2}	Ion calcio
CaCO_3	Carbonato de calcio
Cl^{-1}	Ion cloruro
Na	Sodio
Ca	Calcio
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de Calcio
Ca_4AlFe	Ferroaluminato tetracálcico
Ca_3Al	Aluminato tricálcico
C_3S	Silicato Tricálcico
C_2S	Silicato Dicálcico

C_3A	Alita
C_4AF	Belita
C_2F	Ferrito Dicálcico
AL_2O_3	Óxido de Aluminio
$Fe_2O_3,$	Óxido Ferroso
CaO	Óxido de Calcio
MgO	Óxido de Magnesio
$Na(OH)$	Hidróxido de Sodio
$Ca O_2$	Dióxido de calcio
Na_2SiO_3	Silicato de Sodio
mg	Miligramos
kg	kilogramos
ml	mililitros
lt	Litro

g

Gramos

KBr

Bromuro de Potasio

ZnO

Óxido de Zinc

l

litro

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Aparato de aguja de Vicat.....	34
Figura 2.2: Orden de apisonado al moldear los	36
Figura 3.1: Prueba realizada en el MasterSizer	53
Figura 3.2: Distribución del tamaño de partículas	54
Figura 3.3: Tamaño de partícula de la zeolita natural.....	55
Figura 3.4: Mezclador mecánico HOBART modelo N-50.....	58
Figura 3.5 : Moldes de madera según especificaciones al estándar ASTM C109/C109 M.....	58
Figura 3.6: Mezcla N°1 con mala trabajabilidad.....	61
Figura 3.7 Cubos de Cemento Híbrido.....	64
Figura 3. 8: Cubos de Cemento Híbrido.....	65
Figura 3.9: Maquina Universal SHIMADZU modelo UTM-600KN	65
Figura 3.10: Difractómetro de Rayos X, PANalytical® X'Pert PRO.....	68
Figura 3.11: Cromito Estándar para DRX	68
Figura 3.12: Prensa compresora de pastillas.....	70
Figura 3.13: Espectrofotómetro Infrarrojo Perkin Elmer modelo Spectrum 100	70
Figura 4.1: Difractometría de las muestras ensayadas	75
Figura 4.2: Porcentajes de las fases encontradas en las muestras ensayadas	76
Figura 4.3: Espectro de FTIR de cemento hidratado de 7 días.....	77
Figura 4.4: Espectro de FTIR de zeolita natural.....	79
Figura 4.5: Espectros de FTIR de las muestras ensayadas.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Tolerancia admisible para la de ensayos de cubos	36
Tabla II: Relación entre resistencia a la compresión nominal y deformación máxima a la falla	37
Tabla III: Compuestos principales del cemento en el calor de hidratación... ..	38
Tabla IV: Composición del Cemento	51
Tabla V: Resultados de la distribución de partículas en el MasterSizer.	53
Tabla VI: Dosificación para cálculo de índice de puzolanidad.....	56
Tabla VII: Proporciones de las diferentes pruebas a realizarse	59
Tabla VIII: Cálculo del peso de cada material según el número de prueba..	59
Tabla IX: Composiciones redefinidas	63
Tabla X: Cálculo de pesos para cada composición.....	63
Tabla XI: Relación agua/sólido.....	64
Tabla XII: Resistencias a la compresión a los 7 días.	72
Tabla XIII: Requisitos físicos de cemento para mampostería.....	83
Tabla XIV: Resistencia a la compresión de cubos de mortero con arena normalizada	85
Tabla XV: Precios referenciales de la materia prima usada.....	81
Tabla XVI: Precios calculados por el Escenario 1 en base a los precios referenciales	81
Tabla XVII: Precios calculados por el Escenario 2 en base a los precios referenciales	81
Tabla XVIII: Precios calculados por el Escenario 2 en base a los precios referenciales	82
Tabla XIX: Resistencia a los 7 días de cemento.	82
Tabla XX: Matriz de Intensidad.....	90
Tabla XXI: Matriz de Extensión	91
Tabla XXII: Matriz de Extensión	92

Tabla XXIII: Matriz de Bondad de impacto	93
Tabla XXIV: Matriz de Magnitud.....	94
Tabla XXV: Matriz de Reversibilidad	95
Tabla XXVI: Matriz de Riesgo	96
Tabla XXVII: Matriz de Valoración de Impacto Ambiental	97
Tabla XXVIII: Rango de Significancia.....	98

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La producción de Cemento Portland Ordinario (CPO) es un recurso finito, es un proceso intensivo que libera grandes cantidades de CO₂, gas de efecto invernadero en la atmósfera. Como resultado de la descarbonatación de la piedra caliza, la fabricación de 1 tonelada de cemento genera aproximadamente 1 tonelada de CO₂ y demanda aproximadamente 2,8 toneladas de materias primas para la fabricación. Actualmente muchos países incluyendo al Ecuador, han hecho esfuerzos para promover el uso de puzolanas reemplazando parcialmente el CPO. Últimamente se ha desarrollado otra clase de materiales cementosos denominados geopolímeros, elaborados a partir de precursores de silicato de alúmina activado en una solución de alta alcalinidad (Guo, Shi, & Dick, 2010).

En la actualidad, el hormigón de Cemento Portland Ordinario es el material de construcción líder a nivel mundial, produciendo alrededor de 4 mil millones de toneladas por año (Pavithra et al., 2016; Schneider, Romer, Tschudin, & Bolio, 2011; U.S. Geological Survey, 2017). Sin embargo, ésta masiva producción consume altos niveles de energía y, principalmente, libera un elevado volumen de dióxido de carbono en la atmósfera. Simultáneamente, la eliminación de desechos industriales como cenizas, escorias de alto horno, residuos de minas, lodos rojos, etc., se ha convertido

en un problema que requiere extensas áreas de tierra útil y también, genera un gran impacto en el medio ambiente. Es así, que aparece la necesidad de investigar más minuciosamente la eliminación de desechos de manera segura y la investigación de productos cementicios con impactos ambientales menores.

Para dar solución a estos problemas al tiempo que contribuir a un mejor equilibrio medioambiental (dando salida a subproductos o residuos industriales cuyo almacenamiento es costoso y contaminante) una de las opciones, ampliamente aceptada hoy día, es la de incorporar adiciones activas (de naturaleza mineral o subproductos industriales) al clínker del cemento Portland, lo cual da lugar a los diferentes tipos de cemento comunes que aparecen recogidos en la normativa europea EN 197-1:2000 donde se especifica tanto el tipo como la cantidad máxima de adición que puede llegar a contener.

Otra posible alternativa, más innovadora, consiste en el desarrollo de cementos alternativos, cementos a ser posible más respetuosos con el medio ambiente (por disminuir las emisiones de CO₂, aprovechar subproductos industriales, etc.), más económicos, y que presenten características y/o prestaciones similares o incluso superiores a las de los cementos Portland comunes (OPC). Dentro de esta opción se encuentra

una serie de materiales con propiedades aglomerantes a los que genéricamente se les denomina “cementos alcalinos” (Palomo et al 1999, Shi et al 2006, Provis et al 2009).

Los cementos alcalinos son un modelo de materiales cementantes, formados como a partir de la disolución en un medio alcalino de materiales silicoaluminosos de origen natural o derivados de residuos industriales (que contienen estructuras amorfas o vítreas). Al mezclar estos materiales con activadores alcalinos fraguan y se endurecen dando origen a un material con buenas propiedades conglomerantes.

A estos cementos activados alcalinamente con porcentajes de clínker de cemento Portland inferiores al 40 % se les denomina “Cementos híbridos” (Palomo et al. 2007). La gran versatilidad de estas mezclas en cuanto a las materias primas que lo componen, ha despertado el interés de la comunidad científica.

Este presente trabajo pretende probar la diversidad de los cementos híbridos, sistemas multicomponente de clínker con un porcentaje máximo del 60%, que permiten desarrollar materiales cementantes con buenos comportamientos mecánico resistentes. Además, se analiza las características mineralógicas y microestructurales de estos cementos

híbridos luego de utilizar distintos, activadores aptos para generar las condiciones necesarias de alcalinidad para activar los diferentes sistemas cementantes en tiempos tecnológicamente viables.

El CH se estudia y se sintetiza por primera vez en el Ecuador en este trabajo de investigación, con la perspectiva de incrementar su disponibilidad y desarrollo, a medida que Ecuador concientice una economía de menor carbono. En el país existe una gran variedad de minas en Zeolita natural ricas en aluminosilicato que todavía no han sido explotadas.

Es decir que no existe ningún motivo por el que no se produzca una rápida expansión de la producción de cementos híbridos, así como también de geopolímeros. Sin embargo, se deben tomar en cuenta las variaciones que habría tanto en la elaboración de morteros como de hormigones, al emplear estos cementos. Esta investigación comprende el diseño de mezcla de pasta con diferentes dosificaciones, trabajabilidad, tiempo y método de curado. También se analizan los beneficios ambientales producto de la reducción de las emisiones de CO₂. Este proyecto contribuirá a otros trabajos ya realizados sobre activación en zeolita, con el fin de guiar a nuevos investigadores para ampliar los estudios científicos en este campo.

1.2 Antecedentes y Justificación

La demanda de hormigón ha aumentado en los últimos años de manera exponencial, debido al desarrollo de los países y al incremento de la población, esto ha provocado el aumento de plantas cementeras, ocasionando mayor explotación de materia prima y mayor consumo de energía fósil (Sánchez Berriel et al., 2016). Hoy la industria cementera enfrenta costos elevados de producción debido al aumento de los precios de la energía, escasez y deterioro de materia prima , y debido a la necesidad de cuidar al medio ambiente reduciendo emisiones de CO₂ (Qu, Martin, Pastor, Palomo, & Fernández-Jiménez, 2016).

Ésta problemática ha conducido a la comunidad científica a la búsqueda de materiales cementantes alternativos, con las mismas prestaciones tecnológicas que las del cemento portland tradicional, pero más ecoeficientes. En este sentido se han desarrollado los cementos híbridos, los cuales buscan reducir el contenido de Clinker en el cemento (Sánchez Berriel et al., 2016), reemplazándolas con materiales cementicios suplementarios (ceniza volante, escoria, zeolita, etc) (Shi, Jiménez, & Palomo, 2011).

De manera particular, las Zeolitas pueden ser consideradas como un producto noble en la industria de la construcción debido al gran número de

ventajas que estas ofrecen, incluyendo la facilidad de extracción, la amplia disponibilidad de depósitos, la falta de complejidad de su proceso de fabricación y la reducción de la contaminación ambiental. (Carlos, Cruz, María, & Colorado, 2014)

Específicamente, la aplicación de zeolita en materiales cementosos tales como mortero y hormigón contribuye a mejorar las propiedades mecánicas de estos materiales, así como a un notable aumento de su resistencia a la difusión de iones de cloruro, a su resistencia a la congelación-descongelación y a la permeabilidad general. También aumenta su resistencia a los sulfatos, lo que les permite ser utilizados en entornos agresivos, como cimientos especiales o morteros de inyección. (Carlos et al., 2014).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Elaborar un cemento híbrido, a partir de un Cemento Portland y de la activación alcalina de Zeolita natural.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar muestras de mortero en base a cemento híbrido con diferentes composiciones de hidróxido de sodio y silicato de sodio.
- Comparar los resultados obtenidos con otros materiales comúnmente empleados.
- Analizar los efectos de reacción del cemento híbrido, por relación de activadores ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$), activador/zeolita.
- Analizar el comportamiento microestructural de la pasta, mediante técnicas analíticas instrumentales, Difractometría de Rayos X Cuantitativa (QXRD), y Espectroscopia Infrarroja por la Transformada de Fourier (FTIR), significado por sus siglas en inglés.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Cemento

2.1.1 Definición de cemento

El cemento es un aglutinante hidráulico, el cual se mezcla con agregados pétreos (agregado grueso y fino) y agua para crear una mezcla homogénea, manejable y plástica, adquiriendo una consistencia pétreo al interactuar con el agua.

El cemento se produce elevando a grandes temperaturas, 1450°C, piedra caliza y arcilla, con lo cual se produce una fusión parcial creando nódulos de clínker. El clínker se lo mezcla con sulfato de calcio para finalmente, molerlo y crear cemento. (Taylor, 1997)

Del lado químico, el cemento es una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio que se obtienen de elevar a grandes temperaturas la cal y arcilla, para luego de moler muy fino, luego que se agrega agua se hidrata y se endurece progresivamente.

2.1.2 Composición del Cemento

Químicamente el cemento está compuesto por: óxido de calcio, óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de hierro y óxido de manganeso. Estos materiales provienen de la extracción de canteras,

preferiblemente cercanas a la fábrica. Usualmente los minerales ya tienen la composición requerida, pero en algunos casos es necesario adicionar arcilla, o carbonato de calcio u otros residuos minerales de fundición.

La mezcla es calentada en un horno especial, aumentando la temperatura a 1400°C. En la zona de menor temperatura el carbonato de calcio se disocia en óxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico (CaO₂). En la zona de mayor temperatura el CaO reacciona con los silicatos formando silicatos de calcio y, en pequeñas cantidades aluminato tricálcico (Ca₃Al) y ferroaluminato tetracálcico (Ca₄AlFe), el material resultante se denomina clínker.

2.1.3 Propiedades del Cemento

El grupo de propiedades que caracterizan al cemento para su uso final como aglutinante en hormigones y morteros define su calidad. Dichas características son importantes para la elaboración, ejecución y vida útil de los productos de hormigón.

Por lo general, los requisitos de calidad son dados por el cliente y los aspectos importantes varían según el tipo de hormigón a fabricar y del método de producción. Una buena opción de requisitos a cumplir

son los especificados en las normas nacionales e internacionales, lo que permite que el cemento se comercializado y vendido bajo la designación de tipo específica.

El clínker es el factor más importante a tomar en cuenta en cuanto a propiedades del cemento se refiere. Las propiedades básicas en relación a la composición del clínker son: fraguado, resistencia a la compresión, calor de hidratación, estabilidad de volumen y resistencia química.

2.1.3.1 Hidratación

Al caracterizar el clínker con respecto a la producción y propiedades del cemento, es útil clasificar los minerales del clínker en cuatro grupos:

- 1) Silicatos de calcio, como el C3S y el C2S, los cuales son parte principal del clínker en el cemento portland. Entre un 75 – 85%
- 2) Aluminatos y ferritos de calcio (C3A, C4AF y C2F), son componentes necesarios en la práctica, ya que, las materias primas contienen algo de Al_2O_3 y Fe_2O_3 , son de gran importancia en la fundición del clínker y constituyen entre un 10 – 20% del clínker.

- 3) Óxidos libres de CaO y MgO, constituyen menos del 5% del clínker.
- 4) Sulfatos presentes en cantidades de hasta 3% como resultado de azufre de las materias primas o combustión transferido al clínker.

2.1.3.2 Fraguado

Cuando se agrega agua al cemento con una proporción del 20 al 35%, en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo, luego la pasta empieza a rigidizarse hasta que su plasticidad desaparezca y su resistencia aumenta de forma gradual. Esto se produce por las precipitaciones de gel o cristal que se producen durante las reacciones de hidratación aumentando así, la viscosidad de la pasta.

Se diferencian dos etapas, fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. Durante el fraguado la pasta pierde su plasticidad ganando algo de resistencia, mientras que en el endurecimiento la pasta gana progresivamente resistencia.

Por lo tanto, el fraguado es el desarrollo de rigidez de una pasta o mortero de cemento, que cambia sus características de plástico a

rígido. El tiempo de fraguado depende de varios factores, como lo son la temperatura, la relación a/c y las características del cemento.

Los tiempos del fraguado se determinan por medio del aparato de la aguja de Vicat (figura 2.1) con una pasta hecha del cemento a ensayar y la cantidad de agua necesaria para que la pasta tenga una consistencia “normal”. Este ensayo esta normado en Ecuador bajo INEN 157 y 158.

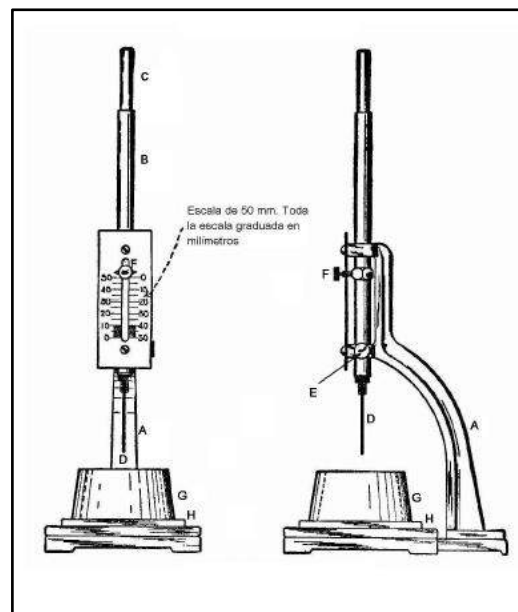


Figura 2.1 Aparato de aguja de Vicat
Fuente: NTE INEN 158: 2009

2.1.3.3 Resistencia

El uso fundamental del cemento es como aglomerante en la fabricación de morteros y hormigones, de los que, la propiedad

más estudiada es su resistencia mecánica. Por lo tanto, los cementos en conjunto con los agregados deben de otorgar esa resistencia, lo que se logra porque al agregar agua da lugar a que la pasta se endurezca y tenga gran cohesión y, la porosidad vaya disminuyendo a la vez que la resistencia mecánica va creciendo con el paso del tiempo.

El desarrollo de las resistencias iniciales está controlado por la hidratación del C3S soportado por el C3A, mientras que las resistencias finales son gobernadas por la hidratación lenta de C2S y C4AF.

Por lo general cuando se habla de resistencia mecánica, se refiere a la resistencia a la compresión, debido a que es la propiedad mecánica más sencilla de determinar y por otro lado es la condición de carga que el concreto exhibe mayor capacidad de soportar sus esfuerzos, de este modo la mayoría de diseños de los elementos estructurales sacan un máximo provecho de esta propiedad.

La resistencia a la compresión de las pastas de cemento, morteros o concretos puede ser obtenida con muestras, cuyo procedimiento

está debidamente normado, (INEN 0488, 2009) o semejantes (según sea el caso), figura 2.2, 2.3.

La falla por compresión uniaxial es el resultado de la tensión de los cristales de cemento o por adherencia en una dirección perpendicular a la carga aplicada, o al desarrollo de planos cortantes inclinados provocando colapso. La deformación unitaria varia con la resistencia a la compresión de manera indirecta, como se aprecia en la figura 2.4.

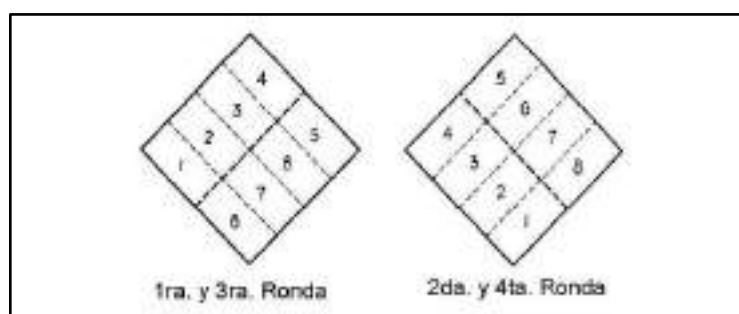


Figura 2.2: Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo

Fuente: NTE INEN 488

Tabla I. Tolerancia admisible para la de ensayos de cubos

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	½ hora
3 días	1 hora
7 días	3 horas

28 días	12 horas
---------	----------

Fuente: NTE INEN 488

Tabla II: Relación entre resistencia a la compresión nominal y deformación máxima a la falla

Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Máxima deformación a la falla (10 ⁻³)
70	4.5
140	4
350	3
700	2

Fuente: Morales, Luis

2.1.3.4 Calor de hidratación

Al calor que se desprende durante la reacción que se produce entre el agua y el cemento al estar en contacto se denomina calor de hidratación. El agua puede estar en estado líquido o gaseoso. (Hernández, 2015)

El calor que se produce en el cemento ordinario es de aproximadamente 85 – 100 cal/g. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento,

en especial del silicato tricálcico y del aluminato tricálcico (figura 2.5). Otros factores que intervienen en el calor de hidratación son la relación agua/cemento, finura de cemento y temperatura de curado.

Tabla III: Compuestos principales del cemento en el calor de hidratación

Propiedad	Participación de cada compuesto			
	C ₃ A	C ₄ A _F	C ₃ S	C ₂ S
Grado de reacción	Rápido	Lento	Mediano	Lento
Calor Liberado	Grande	Pequeño	Mediano	Pequeño

Fuente: Egúez Hugo, 2000

2.1.3.5 Estabilidad de volumen

Ciertos procesos se pueden generar en el cemento cuando este se hidrata con agua, generando tensiones locales dentro del mortero endurecido, debido a las presiones de cristalización ejercidas en la formación de hidratos.

Las reacciones entre C₃A y SO₃, hidratación de CaO (Cal libre) y MgO-Periclasa (magnesia libre) dan lugar a expansiones en el

mortero del cemento endurecido y, en casos graves, esta expansión puede generar grietas, lo que da como resultado a una baja de la resistencia y durabilidad

2.1.3.6 Durabilidad

La durabilidad del cemento es la habilidad para resistir el intemperismo, ataques químicos, abrasión, y cualquier otro proceso y condición de servicio de las estructuras.

La durabilidad no depende solo del diseño de la mezcla, sino que está en función del ambiente y de las condiciones de trabajo en la cual se realiza la mezcla. Por lo tanto, estudiar la durabilidad del cemento es sumamente complejo, ya que, cada situación ambiental y condición de servicio ameritan un estudio particular enfocado tanto en los materiales como en el diseño de la mezcla.

La durabilidad del cemento abarca dos aspectos importantes: resistencia a medios químicamente agresivos (sulfatos) y reacciones entre álcali y agregados que tienen un efecto de empeoramiento.

Los hidratos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y los de aluminatos de calcio son los más vulnerables, sobre todo los aluminatos que reaccionan fácilmente con iones de sulfatos, los cuales pueden penetrar en el material y causar expansión desintegrando gradualmente el hormigón.

El álcali presente puede reaccionar con ciertos agregados que contienen silicio y carbonatos y formar productos expansivos que pueden llegar a desintegrar el hormigón.

2.1.4 Cemento y el medio ambiente

El cemento puede ocasionar problemas ambientales tales como erosión en las zonas de las canteras debido a la extracción de la materia prima, producción de gran cantidad de polvo producto de los procesos de trituración y molienda, emisión de gases contaminantes al ambiente (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas finas). (Galán García et al., 2010)

El residuo (polvo) que se genera en la elaboración del clínker, puede contener metales pesados, que al desecharlo en las canteras donde se extrajo la materia prima o en un relleno sanitario puede contaminar mantos de agua subterránea. Estas partículas contribuyen en gran medida a la contaminación de la atmosfera, donde un 7%

corresponden a partículas pesadas, es decir, mayores a 60 micras. (Enseñat de Villalonga & Villalonga, 1977).

La inhalación directa del monóxido de carbono afecta al sistema nervioso central y en conjunto con los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas suspendidas provocan una grave irritación de los tejidos del aparato respiratorio y es letal para personas con enfermedades respiratorias.

Se debe prestar atención en la generación de gases, en especial al CO₂ debido a la descarbonatación del carbonato de calcio, el cual aporta en un 50% al efecto invernadero, uno de los principales problemas del cambio climático, el cual se produce por la absorción parcial de la radiación infrarroja emitida por la Tierra. Al producir una tonelada de clínker se genera media tonelada de CO₂ y el combustible utilizado 0.3 toneladas métricas. (Solís Galván, 2012)

2.1.5 Relación agua / cemento

La relación a/c es un factor importante en la elaboración del hormigón, de ella depende la resistencia y durabilidad de la mezcla, de igual manera los coeficientes de retracción y de fluencia.

El cemento, al momento de entrar al contacto con el agua se endurece y forma un gel progresivamente más estable. Dado que es una transformación química, las cantidades de los elementos tienen una relación fija, esto es, la hidratación completa de 100 g de cemento portland requiere 20 g (aproximadamente) de agua, es decir, $a/c = 0.2$. en los minúsculos intersticios de la pasta hidratada se fijan por absorción otras moléculas de agua, a razón de 0.2. Por lo tanto, el cemento portland tiene una cantidad fija de agua, lo que corresponde a $a/c = 0.4$. El agua sobrante ocupa cierto volumen en forma de poros capilares. (Abrams, 1999)

Dado lo anterior se tiene las siguientes afirmaciones:

- 1) la relación a/c solo concierne a la pasta endurecida y no a los agregados del hormigón o mortero.
- 2) El aumento de agua en la relación a/c significa una disminución en la compacidad de la pasta de cemento, lo que se traduce en una disminución de la resistencia mecánica.
- 3) A mayor relación a/c , mayor porosidad lo que ocasiona una disminución en la resistencia química.
- 4) el agua sobrante libre y móvil, ocasiona un aumento del coeficiente de retracción.

2.2 Zeolita

La zeolita es un aluminosilicato constituido con tetraedros de SiO_4 , algunos son sustituidos por tetraedros de Al (Pimraksa et al. 2013), tiene estructuras porosas, buen intercambio catiónico, y en estado natural emite rayos infrarrojos (Jo et al. 2012). Los aluminosilicatos (zeolita) para formar geopolímeros deben ser activados por un activador (solución alcalina, en general), donde el hidróxido de sodio y potasio, silicato de sodio y potasio y, carbonato de sodio se encuentran entre los más comunes (Papa et al. 2017).

Desde la década del cincuenta, las zeolitas naturales han sido objeto de un gran número de investigaciones en el mundo científico-tecnológico por sus excepcionales y diversas aplicaciones, y desde ese entonces, se han publicado más de 20000 artículos y 2000 patentes que se refieren a su síntesis, propiedades, estructuras y aplicaciones. (Morante, 2004)

Las zeolitas son una familia de alrededor de 40 minerales cristalinos. Químicamente son aluminio silicatos hidratados y estructuralmente pertenecen al grupo de los tectosilicatos. Han sido estudiadas por los mineralogistas por más de 200 años. (Carr, D.D. and Herz, N., 1989).

2.2.1 Zeolita en el Ecuador

Desde antes de los años 90 no se habían hecho estudio alguno sobre yacimientos de zeolitas en el Ecuador, peor aún, conocer sobre sus propiedades y aplicaciones. A finales de los 90, un grupo de investigadores cubanos empezaron su estudio de las zeolitas naturales en la Formación Cayo en conjunto con la ESPOL en el proyecto denominado “Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales”.

Las características geológicas del Ecuador, con amplio dominio de rocas volcánicas y volcanógeno-sedimentarias en conjuntos de rocas de diferentes edades, permite deducir la presencia de zeolitas.

De muestras tomadas en 1994 se comprobó que existen depósitos de zeolitas en la Serie Saraguro que afloran antes del poblado de Oña (entre las ciudades de Cuenca y Loja), presentando tobas verdes, compactas y de grano fino. De igual manera, se encontraron vestigios de zeolita en las inmediaciones del río Oña.

En esta investigación también se recolecto información de la Formación Cayo en las cercanías de la ciudad de Guayaquil, donde se comprobó la existencia de tobas verdes zeolitizadas.

2.2.2 Aplicaciones de la Zeolita

Los descubrimientos de los depósitos de zeolita en Ecuador han conducido al desarrollo de una amplia gama de usos, aprovechando los bajos costos de extracción de la materia prima. Los usos de la zeolita se basan en: eliminación de residuos radiactivos, tratamiento de efluentes residuales urbanos y agrícolas, depuración de gases, limpieza de los derrames de aceites, producción de oxígeno, usos de energía solar, producción de petróleo, fertilización y remediación de suelos, retención d metales pesados, nutrición animal, usos en acuicultura, guías de exploración, aplicaciones metalúrgicas, productos de papel y usos en la construcción.

2.2.3 Zeolita en la construcción

La zeolita tiene varios usos en el mundo de la construcción y en la elaboración d materiales de construcción. En China, se consume más del 60% de la producción mundial de zeolita para hacer hormigón ligero y de alto calidad.

Las zeolitas son aluminosilicatos porosos, por consiguiente, son puzolanas naturales y pueden ser usados para sustituir hasta un 40%

del cemento Portland obteniendo así, un hormigón ligero y de propiedades específicas.

La zeolita al ser porosa retiene el agua y puede aumentar el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión durante el fraguado. La zeolita puede evitar la reacción álcali-sílica.

2.3 Cemento Híbrido

Los cementos híbridos son el resultado de la mezcla de cemento, con bajo contenido de clínker (20% – 30%), y materiales cementicios suplementarios (SCM), como puzolanas naturales o subproductos industriales. Cuando los SCM se añaden a un medio alcalino (por lo general NaOH y Na-SiO₃), estos materiales experimentan una transformación estructural, demostrando gran potencial en la estabilización y la solidificación de desechos que contienen metales pesados.

2.3.1 Componentes

En los últimos años, ha habido un gran número de investigaciones acerca del cemento híbrido, teniendo un gran número de variables a considerar en la activación alcalina, sobre todo en la composición de los materiales primarios; tipo y concentración del activador alcalino, relación a/mc, tiempo y temperatura de curado

2.3.2 Materia prima

La materia prima corresponde a cualquier material que contenga silicio y aluminio en grandes cantidades, en forma amorfa. También se puede encontrar en los residuos industriales.

2.3.3 Activadores Alcalinos

La solubilidad es la característica más importante de los activadores, la cual varía según su pH. En medios ácidos la solubilidad es alta, pero los hidratos inestables evitan la formación de estructuras cementantes, de la misma forma, con valores de pH altos, el material forma hidratos estables al disolverse (A.M. Mustafa Al Bakri, Kamarudin, Bnhussain, Nizar, & Mastura, 2013; Vladimír Živica et al., 2014).

Los activadores más usados para la geopolimerización son el hidróxido de sodio o potasio y los silicatos de sodio o potasio. La concentración del activador es una variable importante en la geopolimerización, debido a que, el aluminosilicato incrementa la solubilidad a medida que la concentración del ion hidróxido aumenta y, con ello la resistencia mecánica aumenta.

El contenido de silicatos solubles afecta a la cinética de las reacciones de los geopolímeros. De esta forma, las propiedades físicas de los geopolímeros se pueden mejorar de forma significativa. (David Rodríguez Martínez & Paya Bernabeu José María Monzó Balbuena, 2009)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo se describe detalladamente el proceso llevado a cabo para la elaboración del Cemento Híbrido, con Cemento Portland Tipo I y Zeolita Natural. Donde se llevaron a cabo diferentes etapas, las mismas que se ilustran a continuación.

3.1 Elaboración del Cemento Portland Tipo I.

Para este proyecto era necesario la utilización de un Cemento Portland Puro, de manera que se pueda realizar una mejor comparación y un análisis basado en un cemento patrón sin adiciones. Sin embargo, en el Ecuador, las fábricas de cemento no producen Cemento Portland Tipo 1, las cementeras se rigen bajo la norma NTE INEN 2380 (INEN 2380, 2002) Cementos por Desempeño y todas elaboran Cementos con adiciones puzolánicas.

Por esta razón no se podía adquirir en el país, un saco de cemento portland ya elaborado, es así que se solicitó a la compañía Holcim Ecuador, la colaboración con la materia prima requerida (clínker y yeso).

3.1.1 Molienda de materias primas: Yeso y Clinker

La proporción que se manejó para este proyecto fue la que se indica en la tabla IV:

Tabla IV: Composición del Cemento

Material	Porcentaje %
Clinker	95
Yeso	5
Total (Cemento Portland Puro)	100

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Además, se requería que la finura del cemento molido, retenido en el tamiz 45 μm de menos del 10%. En el molino de bolas (Figura 3.1) se realizaron varias moliendas de 2 kg de Clinker + Yeso cada una, de los cuáles 1,90 Kg corresponden a Clinker y 100 g corresponden al yeso. En principio se pretendía moler por un periodo de 4 horas, y posteriormente pasar el material a través del tamiz de 45 μm , pero éste proceso conllevaba mucho tiempo. Por esta razón se decidió realizar diferentes moliendas a distintas horas, 3, 4 y 5 (Tabla V). Éstas muestras fueron almacenadas en fundas herméticas (Figura 3.2) para posteriormente ser analizadas por el equipo MasterSizer 2000 (Figura 3.3) y así poder determinar la distribución granulométrica que devuelve cada molienda a su respectiva hora. Con esta información se pudo determinar el tiempo óptimo que debe ser molido el material para obtener la finura requerida.



Figura 3.1: Molino de bolas.

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017



Figura 3.2: Almacenamiento de Zeolita
a las 3 horas

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

La molienda a las 4 horas arrojó un promedio 5.082% de partículas mayores a 45 μm . La molienda a las 3 horas superó el 10%, y por otro lado la de 5 horas dio un resultado muy parecido a la de 4 horas con 5,02%. Por consiguiente, se estableció como más óptima, a la molienda a 4 horas.

Tabla V: Resultados de la distribución de partículas en el MasterSizer.

Horas de molienda.	# de Prueba	% mayor a 45 μm	Promedio
3 horas	1	14.605	14.687
	2	14.755	
	3	14.700	
4 horas	1	5.125	5.082
	2	4.980	
	3	5.140	
5 horas	1	5.250	5.020
	2	4.708	
	3	5.102	

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017



Figura 3.1: Prueba realizada en el MasterSizer

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

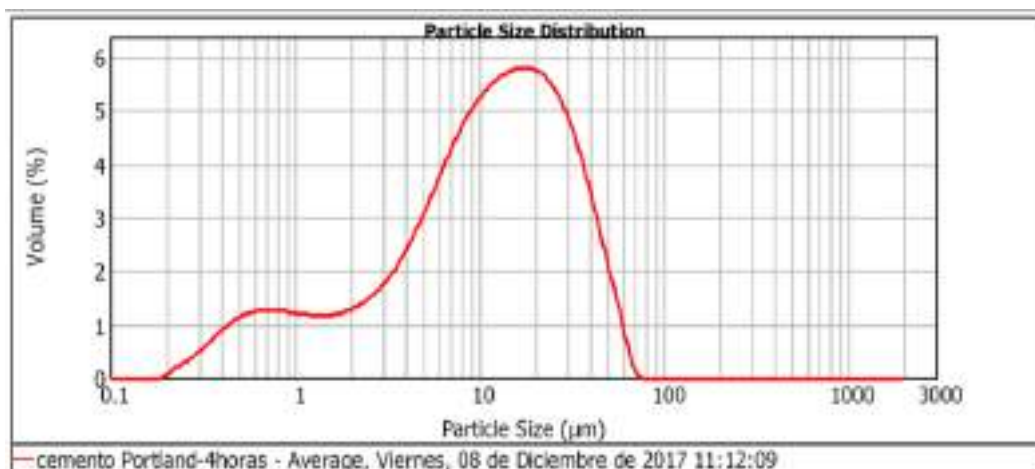


Figura 3.2: Distribución del tamaño de partículas

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

3.2 Preparación de la Zeolita Natural.

La zeolita natural utilizada en este trabajo de investigación es comercializada y procesada por la empresa INDAMI SA en Guayaquil, con el nombre de zeolitas Indami. El tamaño de partículas ya fue determinado por diferentes autores, que ha trabajado con zeolitas en la ESPOL. (Ulloa, 2017) para determinar el tamaño de partícula analizó una muestra al azar de zeolita en polvo en el equipo MasterSizer 2000, Hydro SM. (Figura 3.8). Los resultados determinaron el tamaño del diámetro medio final (d_{50}) que fue de 21.95 μm (figura 3.5).

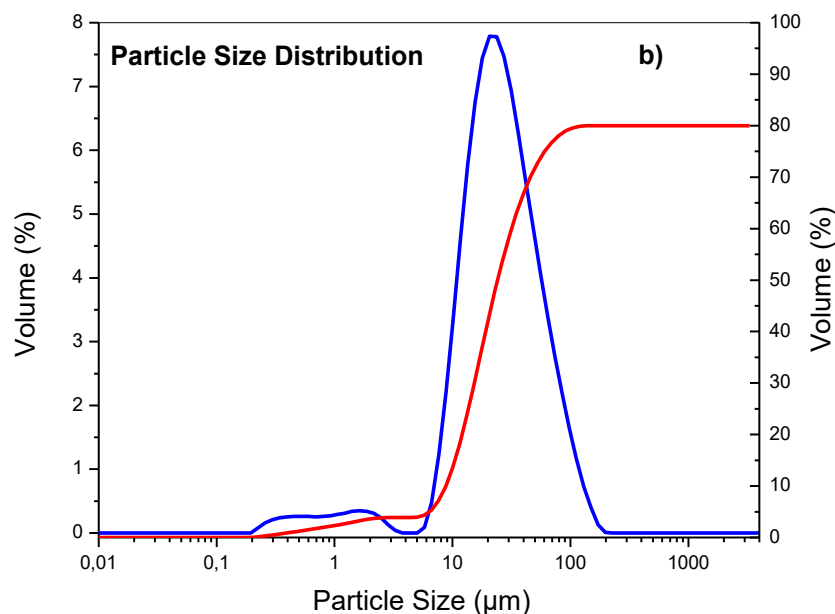


Figura 3. 3: Tamaño de partícula de la zeolita natural.

Fuente: Ulloa Néstor, 2017.

3.3 Composición del Activador Alcalino.

Los activadores utilizados fueron seleccionados según la literatura científica, estos reportan altas resistencias a la compresión (Agrawal, Wanjari, & Naresh, 2017; Aliabdo, Abd Elmoaty, & Salem, 2016; Auqui, Baykara, Rigail, Cornejo, & Luis, 2017; Dassekpo, Zha, & Zhan, 2017; Guades, 2016; Malkawi, Fadhil, Fauzi, & Almattarneh, 2016; Okoye, Durgaprasad, & Singh, 2015; Patankar, Ghugal, & Jamkar, 2014; Rattanasak & Chindaprasirt, 2009; Shehab, Eisa, & Wahba, 2016; Singh, Rahman, Paswan, & Bhattacharyya, 2016; Villa, Pecina, Torres, & Gómez, 2010), para la preparación del cemento híbrido. Se utilizó NaOH en pellets con grado de pureza del 98.9 % acorde con la Organización Internacional

de Normalización (ISO), de procedencia MERKC MILLIPORE y Na_2SiO_3 grado reactivo de procedencia PROQUIANDINOS S.A. Se preparó la solución de NaOH, a 10M utilizando agua destilada.

3.4 Índice de Puzolanidad

El ensayo se realizó de acuerdo al ASTM C109/C109 M-99. La tabla VI muestra las dosificaciones usadas.

La expresión para determinar el índice de puzolanidad es la siguiente:

$$I_{ap} = (A/B) \times 100 \text{ Mpa}$$

Donde:

A = Resistencia a la compresión de cubos del mortero de ensayo (puzolana + concreto)

B = Resistencia a la compresión de los cubos del mortero patrón (cemento)

Tabla VI: Dosificación para cálculo de índice de puzolanidad

Materiales	Mortero	
	Patrón	Muestra
Cemento, g	500	400
Arena, g	1375	1375
Puzolana, g	-	100
Agua, ml	242	245
Fluidez, ml	100 ± 5	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

3.5 Preparación de las mezclas.

3.5.1 Cemento Portland Puro

Antes de comenzar con la preparación de estas composiciones se elaboró una prueba patrón con el cemento portland puro, elaborado en el molino de bolas, con relación agua/ cemento de 0.4875 como indica la norma ASTM C305.(ASTM C305, 2011)

Se hizo una breve inspección y mantenimiento de limpieza del equipo e instrumentos a utilizarse para el procedimiento de mezclado, utilizando agua destilada. El mezclado fue realizado según el procedimiento de la norma ASTM C305 se utilizaron moldes de madera cúbicos de 50x50x50mm (figura 3.7), realizando una adaptación de la norma estándar ASTM C109/C109 M-16a ((ASTM C109M-02, 2007)). Estas se curaron en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente, se cubrió con una empaquetadura plástica para evitar la deshidratación, pérdida excesiva de humedad y el estrés térmico en la estructura, posteriormente se desmoldó y se curó en agua por un periodo de 7 días para los respectivos ensayos de resistencia a la compresión mecánica.



Figura 3.4: Mezclador mecánico
HOBART modelo N-50

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017



Figura 3.5 : Moldes de madera según especificaciones al
estándar ASTM C109/C109 M

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

3.5.2 Dosificaciones a probar

Tabla VII: Proporciones de las diferentes pruebas a realizarse

# De prueba	A/S Activador	Zeolita %	Portland
1	0.45	50	50
2	0.4	60	40
3	0.5	40	60
4	0.4	40	60
5	0.45	50	50
6	0.45	35.858	64.1421
7	0.5207	50	50
8	0.5	60	40
9	0.3793	50	50
10	0.45	50	50
11	0.45	64.142	35.8579

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Tabla VIII: Cálculo del peso de cada material según el número de prueba.

# De prueba	Z (g)	P (g)	Sol (g)	Hidróxido (g)	Silicato (g)
1	125	125	112.50	75.00	37.50
2	150	100.	100.00	66.67	33.33
3	100.00	150.00	125.00	83.33	41.67
4	100.00	150.00	100.00	66.67	33.33
5	125.00	125.00	112.50	75.00	37.50
6	89.64	160.36	112.50	75.00	37.50
7	125.00	125.00	130.18	86.79	43.39
8	150.00	100.00	125.00	83.33	41.67
9	125.00	125.00	94.82	63.21	31.61
10	125.00	125.00	112.50	75.00	37.50
11	160.36	89.64	112.50	75.00	37.50

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Las composiciones de la Tabla VII fueron los primeros porcentajes que se planteaban al inicio de la investigación, y como se puede notar en estas proporciones, se muestra una relación de A/S, a partir de la cual se calculan los pesos correspondientes que aparecen en la tabla VIII, donde se observa que no aparece agua adicional a la que posee intrínsecamente el hidróxido de sodio. En principio se había planteado realizar los cubos de pasta, sin agua adicional a la que se utilizaría en los activadores, y con esta cantidad se definió la relación agua/sólido.

3.5.3 Redefinición de las dosificaciones

En la preparación de los cubos, se presentaron ciertas dificultades. En la Prueba #1 correspondiente al porcentaje de 50% Zeolita, 50% Cemento Portland Puro, y 0.5% de activadores. Al momento de la mezcla, habiendo transcurrido menos de 1 minuto en el mezclador Hobart, se formó una masa dura (Figura 3.6) nada trabajable que además impedía que el aspa de la máquina continúe dando vueltas. Se tuvo que parar la máquina, y realizar el mezclado a mano.



Figura 3.6: Mezcla N°1 con mala trabajabilidad.

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Se conoce que una mezcla de pasta de cemento debe tener cierta fluidez de manera que se pueda moldear tranquilamente, y para los usos variados que se le da al cemento, ya sea para mampostería, albañilería o para usos estructurales. A pesar de saber esto se continuó con el moldeo de cubos, teniendo prácticamente que moler el material con un apisonador, con el fin de obtener una compactación adecuada, o al menos de no tener tantos vacíos en el cubo. Esto se realizó únicamente para tener un dato experimental que se pueda comparar y analizar. Se desencofró a las 24 horas, se curó en agua por 7 días, para la rotura a la compresión correspondiente.

3.5.3.1 Relación agua/sólido

En principio se había planteado realizar los cubos de pasta, sin agua adicional a la que se utilizaría en los activadores, con esta cantidad de agua se definiría la relación agua/sólido. Sin embargo, en la preparación de los cubos, se presentaron ciertas dificultades.

Se puede inferir que esta característica de fluidez, prácticamente nula, se debe a algunos factores. La zeolita es un material absorbente por naturaleza, lo que demanda más agua en la mezcla, si se compara con los cubos de pasta que se realizaron para CPP, donde la mezcla que se obtuvo bastante fluida. Por otro lado, que en la relación agua/sólido de 0.5 con la que se trabajó, se tomó en cuenta la cantidad total del silicato de sodio, como parte de esta relación lo cual no es del todo cierto, ya que el silicato de sodio es un material de consistencia viscosa.

Como resultado de la mala trabajabilidad de esta mezcla, se decidió disminuir el número de dosificaciones que se pretendía realizar inicialmente. Reduciéndose a 3 composiciones que se muestran en la Tabla IX, pertenecientes las 3 primeras proporciones de la Tabla VI.

Tabla IX: Composiciones redefinidas

Código	Activador/Sólido	Zeolita %	Cemento Portland %
CH1	0.5	40	60
CH2	0.45	50	50
CH3	0.5	60	40

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla X: Cálculo de pesos para cada composición

Código	Para 1 Cubo de 5cm x 5cm x 5cm		Para 1 Cubo de 5cm x 5cm x 5cm		Activador para 3 cubos (g)	
	Z (g)	P (g)	Z (g)	P (g)	Hidróxido (g)	Silicato (g)
CH1	100.00	150.00	300.000	450.000	250.000	125.000
CH2	125.00	125.00	375.000	375.000	225.000	112.500
CH3	150.00	100.00	450.000	300.000	250.000	125.000

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

En estas nuevas composiciones, los porcentajes de activadores son mayores y además se tienen las menores cantidades de zeolita. Adicionalmente, se decidió llevar las mezclas a flujo constante trabajable de aproximadamente 150mm en la mesa de flujo. La cantidad de agua añadida se muestra a continuación en la Tabla X, también se muestra la relación agua/sólido final, donde además se despreció el silicato de sodio, tomando en cuenta solamente los gramos de hidróxido de sodio más el agua añadida para llegar la trabajabilidad requerida.

Tabla XI: Relación agua/sólido

Relación Agua/Sólido		
Agua potable añadida	Agua + Hidróxido de Sodio (g)	a/s
227.37	527.370	0.70316
227.37	502.370	0.669827
227.37	527.370	0.70316

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

3.6 Resistencia a la compresión mecánica

Se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión mecánica utilizando una máquina de Ensayos Universales marca SHIMADZU modelo UTM-600KN (figura 3.9). Para los cubos sintetizados de cemento híbrido (figura 3.7), cubos de control (cemento portland y zeolita sin activador) (figura 3.8) y, de cemento portland puro, previamente curados en los tiempos establecidos anteriormente de 7 días, con el fin de evaluar la fuerza de compresión de acuerdo con la ASTM C109/C109 M-16a (ASTM C109/C109M-16a, 2016).



Figura 3. 7 Cubos de Cemento Híbrido

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017



Figura 3. 8: Cubos de Cemento Híbrido

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Los resultados obtenidos de la máxima resistencia a la compresión en los cubos sintetizados de CH determinan directamente la optimización de los activadores alcalinos utilizados.



Figura 3.9: Maquina Universal SHIMADZU
modelo UTM-600KN

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

3.7 Difractometría de Rayos X Cuantitativa (QXRD)

La composición mineralógica de la materia prima y del cemento híbrido, se realizó por medio de difracción de rayos X, utilizando un difractómetro de rayos X PANalytical® X'Pert PRO (figura 3.11). Se realizaron muestras a partir de la zeolita y del cemento híbrido previamente triturado y tamizado, con un tamaño de partícula inferior a 30 μm . Se utilizó 10% en peso de Cromito como estándar interno (figura 3.11), garantizando una mezcla homogénea en cada muestra a analizarse, como patrón interno para permitir el análisis cuantitativo del cálculo del contenido de amorfo. Las condiciones de operaciones fueron de 40 mA y 45 kV, los escaneos del difractómetro se registraron en transmisión de geometría de Bragg-Brentano en un intervalo angular desde 5 a 80 ($^{\circ}2\text{Theta}$), con un tamaño de paso de 0,02 $^{\circ}$ y 2 segundos de tiempo de escaneo por paso, un tubo de rayos X convencional (radiación) y un detector multicanal X'Celerator con protección antidispersión. Además, se utilizó el método de refinamiento de Rietveld para cuantificar el contenido mineralógico y amorfo como se reportan en otros estudios similares (Machiels et al., 2008, 2014; R. Snellings, Mertens, Cizer, & Elsen, 2010; Ruben Snellings, Machiels, Mertens, & Elsen, 2010).

El procedimiento de cuantificación de fase se inició con la identificación de las fases minerales de mayor y menor porcentaje con la ayuda del software X'Pert High Score Plus®. El ciclo de refinamiento consistió en ajustar los siguientes parámetros globales como: la línea base, el desplazamiento de la muestra, desplazamiento total de cero, los factores de escala de todas las fases, los parámetros de la red y el tamaño de los cristalitas. Por último, se ajustó los parámetros de los perfiles. Todos estos ajustes se refinaron utilizando una función polinomial de coseno Chebyshev de 15 parámetros. Después de varios ciclos de refinamiento, si los índices de acuerdo como el R por ciento ponderado (Rwp) y la bondad de ajuste (GOF) son menores que 12 y 5, respectivamente, entonces los resultados fueron aceptados (Auqui et al., 2017; Cheary & Coelho, 2007; Epp, 2016). Los resultados de acuerdo con los índices de Rwp y GOF obtenidos en todas las muestras analizadas para el refinamiento están en un rango aceptable con valores inferiores de 11.5 y 2., respectivamente.



Figura 3. 10: Difractómetro de Rayos X, PANalytical® X'Pert PRO

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017



Figura 3.11 Cromito

Estándar para DRX

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

3.8. Espectroscopia Infrarroja por la Transformada de Fourier (FTIR)

Se analizó los ensayos de espectroscopia Infrarroja por la Transformada de Fourier para verificar el grado de geopolimerización de los geocompuestos de CH (Palomo & Fernández-Jiménez, 2005; Rees, Provis, Lukey, & Deventer, 2007). Los espectros FTIR fueron obtenidos en un equipo espectrofotómetro de la marca Perkin Elmer modelo Spectrum 100 (ver figura 3.13). Se preparó las muestras utilizando el método de preparación por pastillas, se utilizó 200 mg de KBr y aproximadamente el 1 % de la muestra en polvo, estos fueron mezclados homogéneamente en un mortero y comprimidos en una prensa (figura 3.12) a 9 Toneladas por un lapso de 5 minutos, hasta obtener una pastilla bien comprimida en forma de disco de 0.5 mm de espesor. Los escaneos espectrales para todas las muestras se realizaron en una atmosfera de nitrógeno con grado de pureza del 99.99%, en un intervalo de 4000-400 cm^{-1} a una resolución de 1 cm^{-1} .



Figura 3.12 Prensa
compresora de pastillas

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017



Figura 3.13: Espectrofotómetro Infrarrojo

Perkin Elmer modelo Spectrum 100

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Propiedades mecánicas

A continuación, en la Tabla XI se muestran los resultados de resistencia a la compresión de las diferentes dosificaciones de pasta de control y de muestras.

Tabla XII: Resistencias a la compresión a los 7 días.

Muestras		Masa (g)	Cargas (KN)	Resistencia (Mpa)	Promedio (Mpa)
CPP	1	242.02	143.00	57.51	64.70
	2	246.64	163.00	65.22	
	3	243.26	160.40	64.17	
CH 1	1	224.12	24.18	9.31	9.13
	2	223.92	23.51	9.11	
	3	223.83	23.53	8.99	
CH 2	1	217.29	22.55	8.74	8.61
	2	217.79	21.34	8.22	
	3	221.05	23.22	8.87	
CH 3	1	216.96	20.85	7.99	7.94
	2	217.61	21.13	8.09	
	3	217.75	20.46	7.74	
CT 1	1	205.01	29.27	11.43	11.61
	2	206.97	29.45	11.57	
	3	205.67	29.95	11.82	
CT 2	1	205.53	26.74	10.58	10.44
	2	206.61	25.39	10.04	
	3	205.68	26.86	10.69	
CT 3	1	200.18	15.62	6.22	6.76
	2	201.89	18.72	7.36	
	3	199.81	16.92	6.68	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

La muestra que dio una mayor resistencia fue "CH1", con 9.13 MPa. Los valores de resistencia se ven afectados por distintos factores que pueden ser: Moldeado incorrecto, mal acabado, no limpieza de los bordes, golpes, entre otros. Sin embargo, estos factores contribuyen a una disminución de la resistencia, pero nunca al aumento.

Los cubos de control "CT 1" llegaron a una mayor resistencia (11.61 MPa, en promedio) que los "CT 2" y "CT 3" con valores de 10.44 y 6.76 MPa respectivamente. Aquí se puede apreciar claramente como la dosificación que tiene la mayor cantidad de cemento tiene más resistencia.

La muestra de "CH 1" tiene el 79% de resistencia del control "CT 1", para los cubos de "CH 2" se tiene que alcanzaron el 82% de "CT 2" y para el caso de "CH 3" obtuvo un 117% de "CT 3", es decir, solo para el caso de la dosificación correspondiente a 60% zeolita y 40% cemento con activadores se obtuvo una mayor resistencia a la compresión que el control, "CT 3".

En primera instancia, se podría decir que en la dosificación correspondiente a 60% zeolita y 40% cemento, se obtuvo una baja resistencia en los cubos de control porque tiene menor cantidad de

cemento y, en los cubos de muestra (con activador) se llegó a una mayor resistencia por el hecho que la zeolita activada contribuyó al aumento de resistencia.

4.2 Difractómetro de rayos X (DRX)

Mediante análisis de QXRD se identificaron las fases cristalinas coexistentes en las muestras de CH, Zeolita Natural, cemento anhidro e hidratado (Figura 4.1). Las muestras de CH formado a partir de zeolita natural activada con activadores alcalinos y cemento portland como materia prima, tienen 8.8, 17.5 y 14.4% de mordenita y, 8.8, 9.2 y 9.4% de cuarzo respectivamente. La cantidad de amorfos de las muestras de cemento híbrido están en el orden de 50%, donde la mezcla de CH2 tiene mayor porcentaje con 57.5%.

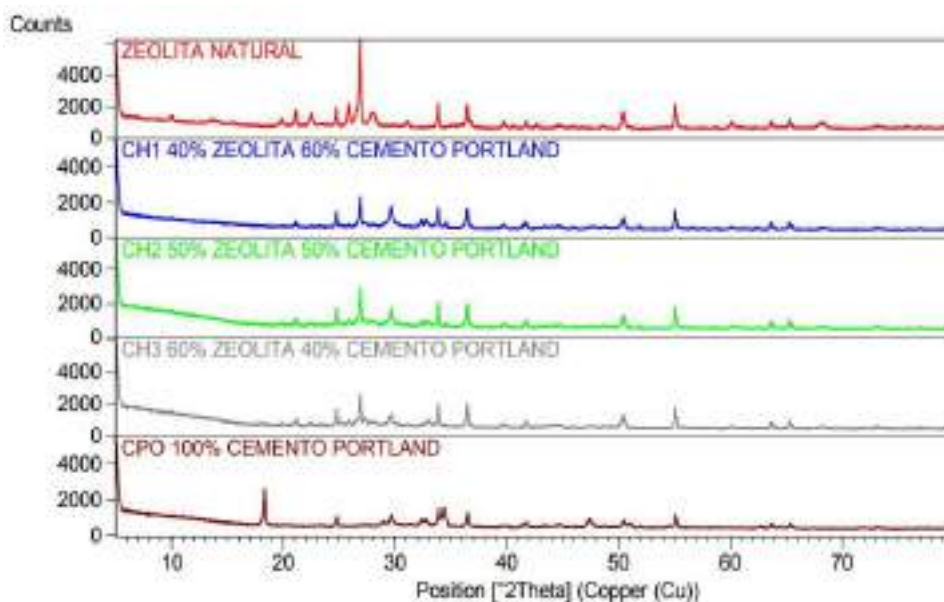


Figura 4.1 Difractometría de las muestras ensayadas

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

El silicato tricálcico aparece en el cemento hidratado y en la proporción de 40% zeolita 60% cemento (CH1), pero luego desaparece en las otras muestras. El silicato Dicálcico aparece en la muestra patrón y en CH1 y CH2 lo cual es normal encontrarlo, puesto que, es de lenta hidratación.

Se evidencia presencia de carbonatación en las muestras, esto pudo producirse por diferentes factores, proceso de molienda de la muestra a ensayar, la propia zeolita ayuda a la carbonatación, entre otras.

Llama la atención que el hidróxido de carbono (14%) solo está presente en el cemento ordinario y no en las muestras, esto se debe a que al momento

de agregar mordenita, el hidróxido de carbono se diluye con la mezcla, otro porcentaje interactúa con el CO_2 formando calcita (carbonato) y finalmente se transforma en amorfo al reaccionar con la zeolita formando silicato de calcio hidratado.

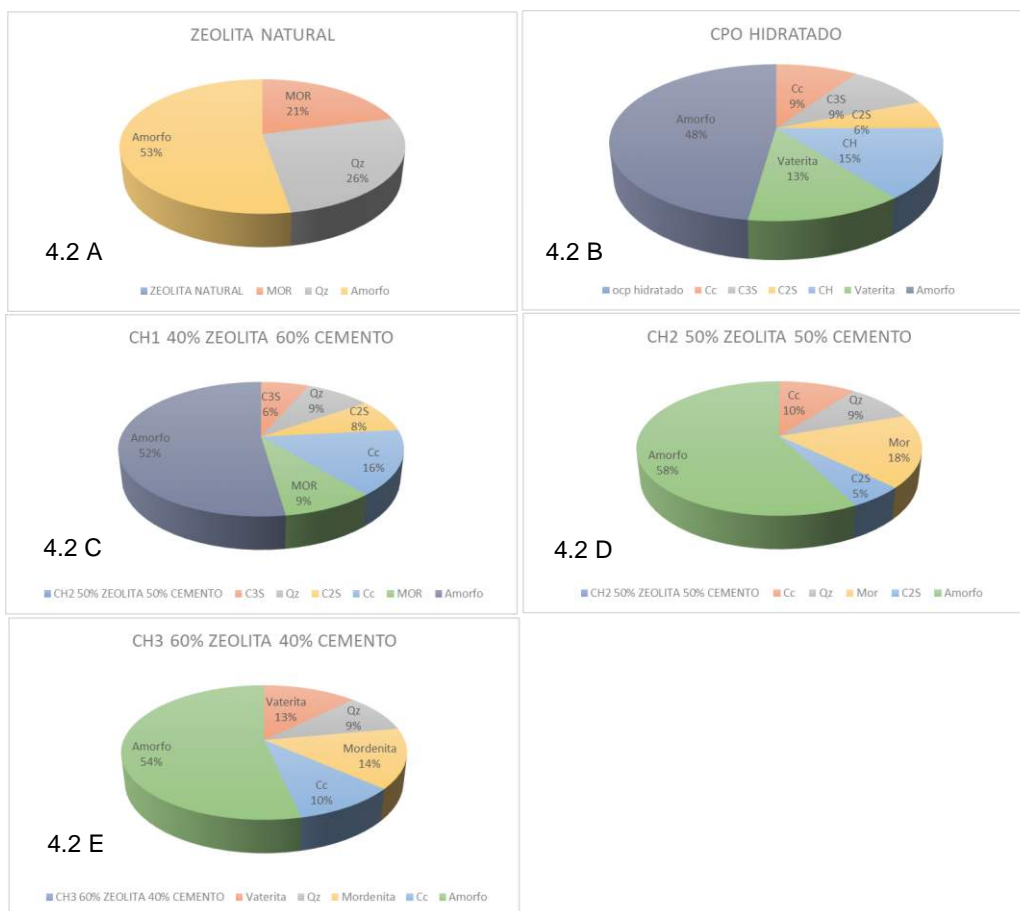


Figura 4.2: Porcentajes de las fases encontradas en las muestras ensayadas

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

4.3 Análisis del FTIR

Mediante el análisis realizado por la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier se evidenció la formación estructural de los aluminosilicatos amorfos, por medio de la identificación de las bandas de absorción de infrarrojos que dieron paso a la caracterización de componentes y estructuras moleculares.

En la figura 4.3 se observan los resultados de la identificación de las bandas de absorción de infrarrojos para el cemento hidratado durante 7 días. Se puede apreciar picos de 3642.74 cm^{-1} que corresponde a $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 1435.50 cm^{-1} y 875.81 cm^{-1} para carbonatos, vibraciones de silicatos en picos de 1113.65 cm^{-1} .

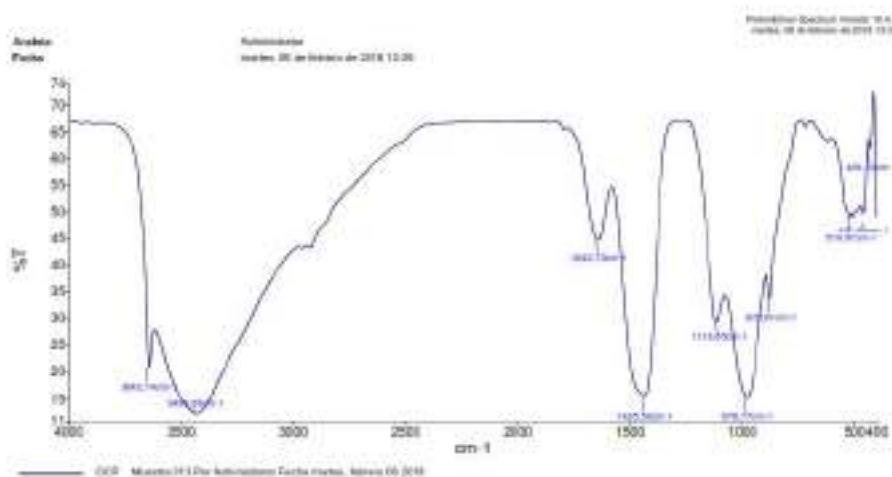


Figura 4. 3 Espectro de FTIR de cemento hidratado de 7 días

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

En el estudio realizado a la zeolita natural, el espectro de la figura 4.4 muestra picos que van desde 3430.37 cm^{-1} hasta 452.31 cm^{-1} , donde se observan bandas de sílice y aluminio según sus picos correspondientes.

Al comparar las bandas de Zeolita natural con las muestras (CH1, CH2 y CH3) se puede identificar claramente la diferencia de intensidad de transmitancia de los picos ubicados en los diferentes números de onda, por ejemplo, en el pico de 3430 cm^{-1} el cual es producido por el contenido de agua en la muestra. Es evidente que el pico de dicho intervalo sea menor en la zeolita en comparación con los CH, esto se debe al tiempo de hidratación (curado) que tienen las muestras.

En las muestras CH se tiene evidencia de carbonatos en picos de aproximadamente 1449 cm^{-1} y 876 cm^{-1} , esto se puede corroborar con los resultados de QXRD en el cual se tiene presencia de carbonatos y óxidos de silicato.

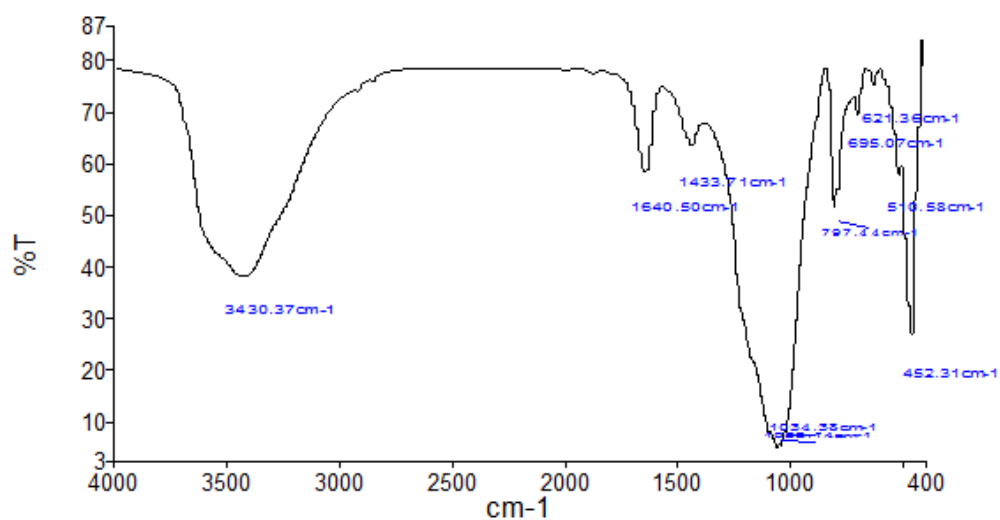


Figura 4.4 Espectro de FTIR de zeolita natural

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

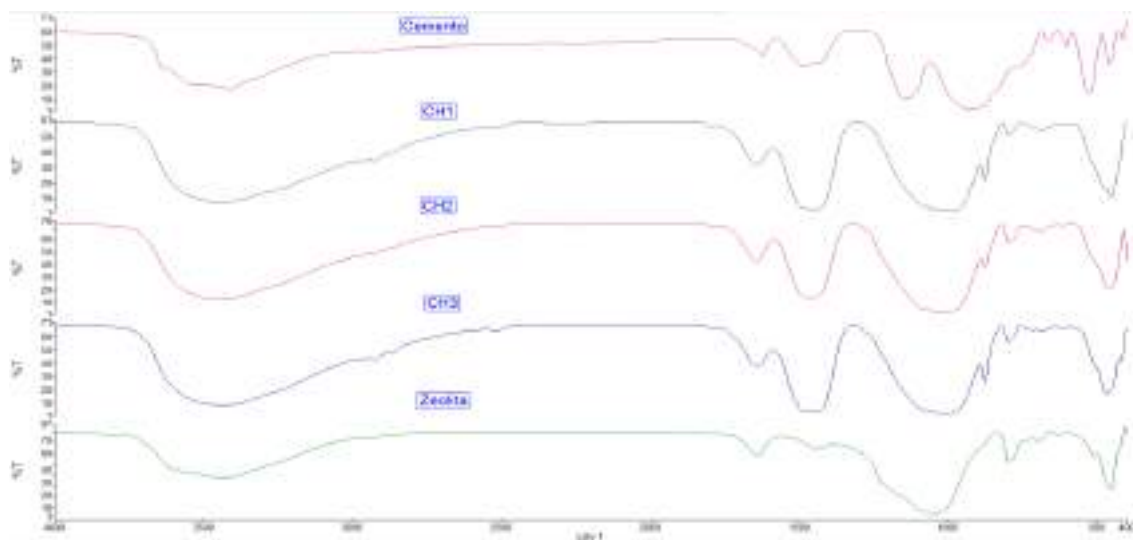


Figura 4.5 Espectros de FTIR de las muestras ensayadas

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

CAPÍTULO 5

SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

5.1 Costos

Tabla XIII: Precios referenciales de la materia prima usada

Precios Referenciales		
	gramos	Precio
Cemento	50000	\$ 8.40
Zeolita	50000	\$ 3.00
Hidróxido de Sodio	1000	\$ 14.00
Silicato de Sodio	5700	\$ 10.00
Agua destilada	3700	\$ 3.00

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Tabla XIV: Precios calculados por el Escenario 1 en base a los precios referenciales

E1	
g	Precio
450.00	\$ 0.08
300.00	\$ 0.02
71.99	\$ 1.01
125.00	\$ 0.22
178.01	\$ 0.14
	\$ 1.47

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Tabla XV: Precios calculados por el Escenario 2 en base a los precios referenciales

E2	
g	Precio
375.000	\$ 0.06
375.000	\$ 0.02
64.79	\$ 0.91

112.500	\$	0.20
160.21	\$	0.13
	\$	1.32

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Tabla XVI: Precios calculados por el Escenario 3 en base a los precios referenciales

E3	
g	Precio
300.000	\$ 0.05
400.000	\$ 0.02
71.99	\$ 1.01
125.000	\$ 0.22
178.01	\$ 0.14
	\$ 1.45

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

5.2 Resistencia Mecánica

Tabla XVII: Resistencia a los 7 días de cemento.

Muestras	Masa (g)	Cargas (KN)	Resistencia (Mpa)
CH1	223.96	23.74	9.14
CH2	218.71	22.37	8.61
CH3	217.44	20.81	7.94

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

En las tablas XV, XVI, XVII, XVIII, se puede notar que el total en el escenario 2 es el menos costoso. En las propiedades mecánicas se puede observar que el escenario 1 ofrece una mejor resistencia comparado con

las otras dosificaciones. Sin embargo, el escenario 3, aunque es la de menor resistencia en comparación con los otros escenarios, este es mayor al de control. Es así que se decidió seleccionar éste el ESCENARIO 3, que corresponde a: 40% Cemento Portland Puro. 60% Zeolita Natural y 0.5% Activador Alcalino, como la muestra óptima para las pruebas que se realizarán posteriormente tomando en cuenta sólo el aspecto de las propiedades mecánicas, ya que, en cuestión de precios, los valores no varían en magnitudes importantes como en resistencias.

5.3 Aplicación

Como bien se puede observar en la sección de Análisis de resultados, las resistencias alcanzadas fueron bajas en comparación al Cemento Portland Puro “CPP. Con lo que se puede decir que este tipo de Cementos Híbridos con dichas proporciones de Zeolita, difícilmente podrán ser utilizados en elementos estructurales. Por este motivo se realizaron pruebas según la INEN 1806 (“NTE INEN 1806 Cemento para Mampostería Requisitos,” 2016) (Tabla XIV), que trata acerca del Cemento para Mampostería, dándole una aplicación útil al Cemento Híbrido elaborado en esta tesis.

Tabla XVIII: Requisitos físicos de cemento para mampostería

Tipo de cemento para mampostería	N	M	S
----------------------------------	---	---	---

Finura, residuo sobre el tamiz de 45 μm (No. 325), % máx.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máx.	1	1	1
Resistencia a la compresión (promedio de 3 cubos) La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de 1 parte de cemento y 3 partes de arena mezclada (la mitad de arena graduada normalizada y la otra mitad de arena normalizada 20 – 30) en volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa	3,4 [500Psi]	9,0[1300Psi]	12,4[1800Psi]
28 días, MPa	6,2 [900Psi]	14,5[2100Psi]	20,0[2900Psi]

Fuente: NTE INEN 1806:2010

A continuación, (en la tabla XIV) se muestran los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación CH3, a los 7, 14 y 28 días de curado, ensayada según la norma INEN 1806.

Tabla XIX: Resistencia a la compresión de cubos de mortero con arena normalizada

Muestras		Masa (g)	Cargas (KN)	Resistencia (Mpa)	Promedio (Mpa)
7 días	1	256.95	20.93	8.00	8.63
	2	253.27	20.29	7.83	
	3	267.66	23.51	9.22	
14 días	4	253.36	26.91	10.67	11.46
	5	256.80	19.05	7.44	
	6	263.23	31.97	12.24	
28 días	7	256.85	32.50	14.00	13.20
	8	257.30	33.77	14.51	
	9	257.52	32.75	14.10	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

La muestra ensayada en base a la dosificación de "CH 3" obtuvo, en promedio, 8.63 MPa de resistencia a la compresión a los 7 días y 14.20 MPa a los 28 días, es decir, cumple con los requisitos establecidos en la norma INEN 1806 para cementos de mampostería, para el tipo N. los valores alcanzados están muy cercanos al tipo M, por lo que, se podría considerar este tipo de cemento ajustando la relación a/s o incluyendo un aditivo que ayude a mejorar las propiedades de la mezcla.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN AMBIENTAL

6.1 Matrices de Evaluación

Durante la fase de producción al ser analizadas las diferentes actividades, se generan las siguientes matrices de evaluación BID (Banco Interamericano de Desarrollo).

6.1.1 Matriz Intensidad:

El valor numérico de la matriz intensidad varía entre 1-10 dependiendo del grado de cambio sufrido, siendo 10 el valor de mayor impacto ambiental, 1 muy bajo impacto ambiental y el valor de 0 se designa a impactos ambientales leves o imperceptibles.

6.1.2 Matriz Extensión

El valor numérico de la matriz extensión es de (10) para impactos ambientales regionales, (5) para impactos ambientales locales, (1) para impactos ambientales puntuales y (0) que se consideran no causantes de daño.

6.1.3 Matriz Duración

El valor numérico de la matriz duración es de (10) para impactos ambientales mayores a 10 años, (5) para impactos ambientales de 10 a 5 años, (1) para impactos menores a 5 años y (0) para aquellas actividades en que los impactos son imperceptibles.

6.1.4 Matriz Signo

La matriz signo como su nombre lo indica no está destinada a un valor numérico sino con signos, donde valores de (-1) serán para impactos ambientales negativos, (+1) impactos ambientales positivos y sin signo si es que no se causa ningún impacto en el medio ambiente.

6.1.5 Matriz Magnitud

Los valores numéricos de la matriz magnitud están dados por las matrices, intensidad, duración y extensión, y cada una por su factor correspondiente. Para la Matriz Intensidad un factor de 0.62, para la Matriz Extensión 0.23 y para la Matriz Duración de 0.15; donde el valor de la Matriz Magnitud estará dado como: $M = \pm (\text{Intensidad} * \text{Fint.}) + (\text{Extensión} * \text{Fext.}) + (\text{Duración} * \text{Fdur.})$

6.1.6 Matriz Reversibilidad

El valor numérico de la matriz reversibilidad varía de 1 a 10 dependiendo del grado de reversibilidad que pueda tener los impactos, siendo (10) impactos irreversibles, (8) reversibles a largo plazo, (5) parcialmente reversibles y (1) altamente reversibles.

6.1.7 Matriz Riesgo

El valor numérico de la matriz riesgo varía dependiendo de la probabilidad de que ocurran impactos a los componentes ambientales, siendo (10) Impactos de alta probabilidad de ocurrencia, (5) Probabilidad media y (1) Probabilidad baja.

6.1.8 Matriz Valoración De Impacto Ambiental (V.I.A)

Los valores están dados por las matrices, magnitud, reversibilidad y riesgo, y cada una por un factor correspondiente. Para la Matriz Magnitud un factor de 0.21, para la Matriz Riesgo 0.44 y para la Matriz Reversibilidad de 0.35; donde el valor de la matriz V.I.A estará dado como: $V.I.A. = (Reversibilidad \wedge Frev.) * (Riesgo \wedge Friesgo) * |M| \wedge Fmag.$

6.1.9 Rango De Significancia De La Matriz V.I.A

Indica el nivel de impacto que tendrán las actividades en cada uno de los componentes ambientales, su valor numérico varía de 0 a 10, siendo (0) Neutro, (1-4) Bajo, (4-7) Medio y de (7-10) Alto.

Tabla XX: Matriz de Intensidad

Intensidad	0.4													
Actividades	Componentes Ambientales	Medio Abiótico							Medio Biótico				Factor Socioeconómico	
		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
		Molienda de Clinker	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	1
Molienda de Zeolita en el molino de bolas	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	1	4	
Limpieza del Molino de bolas	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	1	5	
Preparación de la solución de hidróxido de sodio	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	5	
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart	0	0	0	0	2	3	4	0	0	0	0	1	3	
Limpieza de Mezcladora	0	0	3	0	0	0	2	1	1	1	2	1	3	
Desecho de residuos de la preparación de cubos	1	1	4	2	0	0	1	1	1	1	2	1	2	
Limpieza de recipientes de los químicos	1	3	5	2	0	5	0	1	1	1	2	1	4	
Gestión de Desechos Peligrosos	0	0	5	2	0	5	0	1	1	1	2	1	4	
Gestión de Desechos Sólidos	0	0	2	2	0	3	0	1	1	1	2	1	2	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXI: Matriz de Extensión

Extensión	0.3	Medio Abiótico							Medio Biótico				Factor Socioeconómico	
Actividades	Componentes Ambientales	Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
		Molienda de Clinker		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Molienda de Zeolita en el molino de bolas		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza del Molino de bolas		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Preparación de la solución de hidróxido de sodio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de Mezcladora		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Desecho de residuos de la preparación de cubos		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de recipientes de los químicos		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Gestión de Desechos Peligrosos		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Gestión de Desechos Sólidos		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXII: Matriz de Extensión

Duración	0.4		Medio Abiótico						Medio Biótico				Factor Socioeconómico		
Actividades	Componentes Ambientales		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
			Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
			Molienda de Clinker	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Molienda de Zeolita en el molino de bolas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza del Molino de bolas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Preparación de la solución de hidróxido de sodio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de Mezcladora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Desecho de residuos de la preparación de cubos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de recipientes de los químicos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Gestión de Desechos Peligrosos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Gestión de Desechos Sólidos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXIII: Matriz de Bondad de impacto

Bondad de impacto														
Actividades	Componentes Ambientales	Medio Abiótico							Medio Biótico				Factor Socioeconómico	
		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
Molienda de Clinker		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Molienda de Zeolita en el molino de bolas		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Limpieza del Molino de bolas		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Preparación de la solución de hidróxido de sodio		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Limpieza de Mezcladora		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Desecho de residuos de la preparación de cubos		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Limpieza de recipientes de los químicos		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Gestión de Desechos Peligrosos		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
Gestión de Desechos Sólidos		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXIV: Matriz de Magnitud

Magnitud	0.4	Medio Abiótico							Medio Biótico				Factor Socioeconómico	
Actividades	Componentes Ambientales	Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
		Molienda de Clinker	0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-2.7	-0.7	-2.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
Molienda de Zeolita en el molino de bolas	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-2.7	-0.7	-2.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	1.1	-2.3
Limpieza del Molino de bolas	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-3.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	1.1	-2.7
Preparación de la solución de hidróxido de sodio	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-2.3	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	1.1	-2.7
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-1.5	-1.9	-2.3	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	1.1	-1.9
Limpieza de Mezcladora	-0.7	-0.7	-1.9	-0.7	-0.7	-0.7	-1.5	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.5	1.1	-1.9
Desecho de residuos de la preparación de cubos	-1.1	-1.1	-2.3	-1.5	-0.7	-0.7	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.5	1.1	-1.5
Limpieza de recipientes de los químicos	-1.1	-1.9	-2.7	-1.5	-0.7	-2.7	-0.7	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.5	1.1	-2.3
Gestión de Desechos Peligrosos	-0.7	-0.7	-2.7	-1.5	-0.7	-2.7	-0.7	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.5	1.1	-2.3
Gestión de Desechos Sólidos	-0.7	-0.7	-1.5	-1.5	-0.7	-1.9	-0.7	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.5	1.1	-1.5

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXV: Matriz de Reversibilidad

Reversibilidad	0.3													
Actividades	Componentes Ambientales	Medio Abiótico						Medio Biótico				Factor Socioeconómico		
		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Ruido	Gases	M.Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
Molienda de Clinker	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	
Molienda de Zeolita en el molino de bolas	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	
Limpieza del Molino de bolas	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	
Preparación de la solución de hidróxido de sodio	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de Mezcladora	1	1	5	5	1	1	5	1	1	1	1	1	1	
Desecho de residuos de la preparación de cubos	1	1	5	5	1	1	5	1	1	1	1	1	1	
Limpieza de recipientes de los químicos	1	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
Gestión de Desechos Peligrosos	1	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	5	
Gestión de Desechos Sólidos	1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXVI: Matriz de Riesgo

Riesgo	0.3	Medio Abiótico						Medio Biótico				Factor Socioeconómico		
Actividades	Componentes Ambientales	Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
		Molienda de Clinker		1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1
Molienda de Zeolita en el molino de bolas		1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1
Limpieza del Molino de bolas		1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5
Preparación de la solución de hidróxido de sodio		1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Limpieza de Mezcladora		1	1	5	5	1	1	5	1	1	1	1	1	1
Desecho de residuos de la preparación de cubos		1	1	5	5	1	1	5	1	1	1	1	1	1
Limpieza de recipientes de los químicos		1	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1
Gestión de Desechos Peligrosos		1	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	5
Gestión de Desechos Sólidos		1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXVII: Matriz de Valoración de Impacto Ambiental

VIA

Actividades	Componentes Ambientales	Medio Abiótico							Medio Biótico				Factor Socioeconómico		<u>Total</u>
		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud	
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático			
Molienda de Clinker		0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	0.9	3.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.4	15.6
Molienda de Zeolita en el molino de bolas		0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	0.9	3.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.4	15.6
Limpieza del Molino de bolas		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	4.3	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	3.9	18.0
Preparación de la solución de hidróxido de sodio		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	3.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.5	14.9
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart		0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3	1.4	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.3	13.1
Limpieza de Mezcladora		0.9	0.9	3.4	2.3	0.9	0.9	3.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.3	18.9
Desecho de residuos de la preparación de cubos		1.0	1.0	3.7	3.1	0.9	0.9	2.7	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2	19.8
Limpieza de recipientes de los químicos		1.0	1.3	3.9	3.1	0.9	3.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.4	21.7
Gestión de Desechos Peligrosos		0.9	0.9	3.9	3.1	0.9	3.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	3.7	23.4
Gestión de Desechos Sólidos		0.9	0.9	3.1	3.1	0.9	1.3	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2	17.4
Total		9.0	9.3	22.3	19.0	10.2	18.4	22.8	9.5	9.5	9.5	10.2	10.4	18.2	

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

Tabla XXVIII: Rango de Significancia

Rango de significancia

Actividades	Componentes Ambientales	Medio Abiótico						Medio Biótico				Factor Socioeconómico		
		Recurso Agua			Recurso Suelo	Recurso Aire			Fauna		Flora		Empleo	Salud
		Superficial	Subterráneo	Drenaje		Niveles de Ruido	Gases	Material Particulado	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático		
Molienda de Clinker		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Molienda de Zeolita en el molino de bolas		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Limpieza del Molino de bolas		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Preparación de la solución de hidróxido de sodio		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Mezcla de materiales en la mezcladora Hobart		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Limpieza de Mezcladora		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Desecho de residuos de la preparación de cubos		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Limpieza de recipientes de los químicos		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Gestión de Desechos Peligrosos		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Gestión de Desechos Sólidos		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Fuente: Fréré, C., Torres, J., 2017

Como se puede notar en la matriz de valoración ambiental, las actividades que ocasionan mayor impacto ambiental son:

- Limpieza de recipientes químicos
- Manejo de Desechos peligrosos.
- A su vez los recursos mayormente afectados son:
- Recurso agua.
- Recurso aire.

En la matriz de rango de significancia todas las actividades que se desarrollan en el proyecto, se clasificaron con letra "N", como Neutro. Es decir que no tendrán mayor impacto ambiental. Sin embargo, se recomienda un Plan de Mitigación de Impactos.

6.2 Plan De Mitigación De Impactos

Durante la fase de preparación de mezclas se deben seguir ciertos parámetros tanto de seguridad industrial y ambiental. Estas normas tienen la finalidad de resguardar la seguridad del personal que ejerce labores y la preservación de la naturaleza, por lo tanto, es necesario según lo analizado, se apliquen las siguientes premisas:

6.2.1 Uso de equipo de protección personal

Los equipos de protección personal son implementos de uso individual destinados a dar protección al trabajador frente posibles

riesgos que puedan afectar su integridad durante el cumplimiento de sus actividades.

Tabla XXIX: Equipo de Protección Personal requiero por cada actividad.

EPP		Actividades donde se requiere.
Gafas		TODAS
Guantes de Nitrilo		TODAS
Mascarilla de gases		Preparación de los activadores, hidróxido de sodio.
		Limpieza de recipientes de recipientes de reactivos químico.
Mascarilla para material particulado		Molienda de clínker y zeolita. Limpieza de molino. Mezcla de materiales.
Botas punta de Acero		TODAS

Pantalón largo y camisa manga larga		TODAS
--	---	-------

Fuente: Freré, C., Torres, J., 2017

6.2.2 Mezclado De Materiales

En esta actividad se realiza el mezclado de los materiales que componen las pastas y los morteros, en donde se dosifica cuidadosamente las cantidades de cemento, zeolita y activadores.

El impacto ambiental que genera esta actividad se debe al consumo de energía eléctrica, sin embargo, es muy bajo.

6.2.3 Generación De Desechos Sólidos y Aguas Residuales.

Para minimizar la contaminación hacia el recurso suelo y agua, se deben clasificar y dar un tratamiento adecuado a los residuos sólidos producidos en función de su naturaleza.

No verter aguas negras o contaminadas a los cauces públicos (ríos, arroyos, lagunas, etc.), caso contrario causaría un impacto negativo sobre la fauna y flora del sector, provocando la muerte de especies.

Se proyecta disponer de tanques de almacenamiento, para recolectar el producto de derrames accidentales o cualquier incidente de este tipo, que pueda generarse en la actividad de mezclado. También se recomienda ubicar los residuos peligrosos en un lugar apartado y bien etiquetado.

Una actividad de mitigación general podría ser impartir charlas cada cierto tiempo concientizar a la población acerca del impacto que producen la producción de cemento no solo en el país sino a nivel mundial, y optar por estas alternativas más amigables con el planeta.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Al finalizar la investigación se pudo comprobar la unión de la zeolita natural activada con el cemento portland ordinario.

La investigación de nuevos materiales contribuye a un avance tecnológico y económico en la sociedad, esta investigación fue el primer paso para buscar un nuevo cemento que sea amigable con el ambiente, económico y cumpla con todos los requerimientos físicos, químicos y mecánicos.

El cemento estudiado tiene un impacto neutral en el ambiente y puede ser comercializado industrialmente con elementos prefabricados, tales como ladrillos, paneles, bloques, etc

En los ensayos mecánicos (resistencia a la compresión) se observan valores bajos en comparación de otras investigaciones, esto se debe a que, en el proceso de curado inicial, es decir, las primeras 24 horas se curó al ambiente, mientras que en otros estudios se procedió a curar en horno, entre 50-60 °C.

Después de los análisis del DRX y FTIR se puede concluir que la zeolita se activó con los activadores alcalinos y se combinó con el cemento hidratado, pero no se logró que ambos elementos trabajen en sinergia, para así lograr

resultados más óptimos, esto se puede corroborar con los resultados del ensayo a compresión, los cuales presentaron valores muy bajos.

Un factor que jugó un papel predominante en la resistencia de los cementos híbridos fue la relación agua/sólido (a/s), aunque fue necesario aumentar la cantidad de agua a la propuesta inicial para así tener mejor trabajabilidad, esto provocó una baja en la resistencia de las pastas de cemento.

Se buscó reducir la cantidad de clínker empleado en el cemento, es por eso que se seleccionó la muestra CH3, 60% zeolita y 40% cemento, como la muestra óptima

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer análisis de resistencia a la compresión a edades tardías, pues se sabe de la literatura que las puzolanas tienen un mayor desempeño a partir de los 28 días en adelante.

Se prevé que en futuro se realicen investigaciones usando aditivos, para así optimizar las propiedades de fraguado y consistencia de la pasta.

Se recomienda hacer estudios con mayor contenido de zeolita natural, ya que, como se demostró con la muestra CH3, se obtuvo mejores resultados en resistencia a la compresión con respecto a la mezcla de control CT3, por lo que se espera que a mayor contenido de zeolita mayor será la activación alcalina de la zeolita.

ANEXOS



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-Shoras - Average

Sample Source & type:
RM17-1655 - Teestras-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

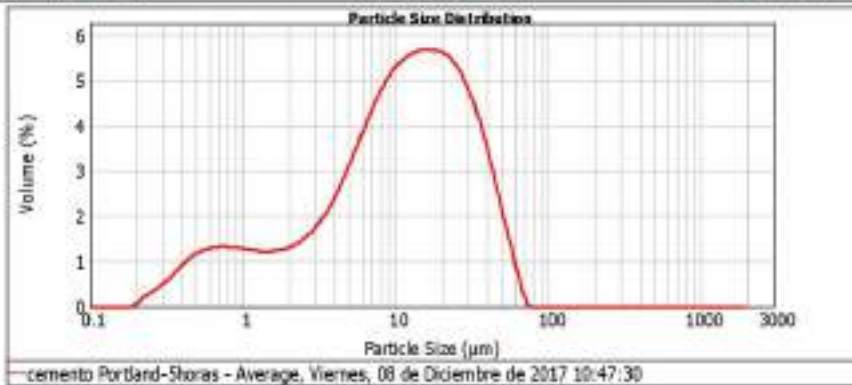
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:47:30

Analyzed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:47:31

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 4.28 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 1.249 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0004 %/Vol	Span : 3.030	Uniformity: 0.92	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.92 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.119 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.062 µm	

d(0.1): 1.665 µm d(0.5): 11.168 µm d(0.9): 34.525 µm



cemento Portland-Shoras - Average, Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:47:30

Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.212	0.00	0.100	0.00	1.000	1.11	11.000	3.21	100.000	0.00	1000.000	0.00
0.251	0.00	0.125	0.00	1.250	1.33	12.500	5.10	125.000	0.00	1250.000	0.00
0.293	0.00	0.156	0.00	1.562	1.45	15.000	9.73	150.000	0.00	1500.000	0.00
0.338	0.00	0.195	0.00	1.953	1.59	17.379	17.11	1737.900	0.00	17379.000	0.00
0.397	0.00	0.242	0.00	2.422	1.74	19.750	28.69	19750.000	0.00	197500.000	0.00
0.469	0.00	0.300	0.00	3.000	1.90	22.220	45.83	22220.000	0.00	222200.000	0.00
0.554	0.00	0.375	0.00	3.750	2.08	24.750	71.45	24750.000	0.00	247500.000	0.00
0.653	0.00	0.475	0.00	4.750	2.27	27.379	108.54	27379.000	0.00	273790.000	0.00
0.767	0.00	0.600	0.00	6.000	2.47	30.000	161.51	30000.000	0.00	300000.000	0.00
0.907	0.00	0.750	0.00	7.500	2.68	32.750	237.00	32750.000	0.00	327500.000	0.00
1.074	0.00	0.938	0.00	9.375	2.90	35.625	350.00	35625.000	0.00	356250.000	0.00
1.270	0.00	1.169	0.00	11.625	3.14	38.625	510.00	38625.000	0.00	386250.000	0.00
1.498	0.00	1.453	0.00	14.062	3.40	41.750	710.00	41750.000	0.00	417500.000	0.00
1.760	0.00	1.797	0.00	16.500	3.67	45.000	970.00	45000.000	0.00	450000.000	0.00
2.060	0.00	2.203	0.00	19.000	3.96	48.375	1320.00	48375.000	0.00	483750.000	0.00
2.400	0.00	2.675	0.00	21.500	4.26	51.875	1790.00	51875.000	0.00	518750.000	0.00
2.780	0.00	3.213	0.00	24.000	4.57	55.500	2400.00	55500.000	0.00	555000.000	0.00
3.200	0.00	3.817	0.00	26.500	4.89	59.250	3150.00	59250.000	0.00	592500.000	0.00
3.660	0.00	4.497	0.00	29.000	5.22	63.125	4080.00	63125.000	0.00	631250.000	0.00
4.160	0.00	5.253	0.00	31.500	5.56	67.125	5230.00	67125.000	0.00	671250.000	0.00
4.700	0.00	6.097	0.00	34.000	5.91	71.250	6650.00	71250.000	0.00	712500.000	0.00
5.280	0.00	7.029	0.00	36.500	6.27	75.500	8380.00	75500.000	0.00	755000.000	0.00
5.900	0.00	8.051	0.00	39.000	6.64	79.875	10560.00	79875.000	0.00	798750.000	0.00
6.560	0.00	9.265	0.00	41.500	7.02	84.375	13240.00	84375.000	0.00	843750.000	0.00
7.260	0.00	10.673	0.00	44.000	7.41	89.000	16480.00	89000.000	0.00	890000.000	0.00
8.000	0.00	12.277	0.00	46.500	7.81	93.750	20340.00	93750.000	0.00	937500.000	0.00
8.780	0.00	14.079	0.00	49.000	8.22	98.625	24880.00	98625.000	0.00	986250.000	0.00
9.600	0.00	16.083	0.00	51.500	8.64	103.625	30260.00	103625.000	0.00	1036250.000	0.00
10.460	0.00	18.293	0.00	54.000	9.07	108.750	36540.00	108750.000	0.00	1087500.000	0.00
11.360	0.00	20.721	0.00	56.500	9.51	114.000	43780.00	114000.000	0.00	1140000.000	0.00
12.300	0.00	23.381	0.00	59.000	9.96	119.375	52040.00	119375.000	0.00	1193750.000	0.00
13.280	0.00	26.277	0.00	61.500	10.42	124.875	61480.00	124875.000	0.00	1248750.000	0.00
14.300	0.00	29.415	0.00	64.000	10.89	130.500	72140.00	130500.000	0.00	1305000.000	0.00
15.360	0.00	32.801	0.00	66.500	11.37	136.250	84080.00	136250.000	0.00	1362500.000	0.00
16.460	0.00	36.451	0.00	69.000	11.86	142.125	97360.00	142125.000	0.00	1421250.000	0.00
17.600	0.00	40.371	0.00	71.500	12.36	148.125	112040.00	148125.000	0.00	1481250.000	0.00
18.780	0.00	44.577	0.00	74.000	12.87	154.250	128200.00	154250.000	0.00	1542500.000	0.00
20.000	0.00	49.075	0.00	76.500	13.39	160.500	145900.00	160500.000	0.00	1605000.000	0.00
21.260	0.00	53.871	0.00	79.000	13.92	166.875	165200.00	166875.000	0.00	1668750.000	0.00
22.560	0.00	58.971	0.00	81.500	14.46	173.375	186200.00	173375.000	0.00	1733750.000	0.00
23.900	0.00	64.381	0.00	84.000	15.01	180.000	208900.00	180000.000	0.00	1800000.000	0.00
25.280	0.00	70.111	0.00	86.500	15.57	186.750	244400.00	186750.000	0.00	1867500.000	0.00
26.700	0.00	76.167	0.00	89.000	16.14	193.625	292800.00	193625.000	0.00	1936250.000	0.00
28.160	0.00	82.557	0.00	91.500	16.72	200.625	354400.00	200625.000	0.00	2006250.000	0.00
29.660	0.00	89.287	0.00	94.000	17.31	207.750	429400.00	207750.000	0.00	2077500.000	0.00
31.200	0.00	96.365	0.00	96.500	17.91	215.000	518000.00	215000.000	0.00	2150000.000	0.00
32.780	0.00	103.799	0.00	99.000	18.52	222.375	620600.00	222375.000	0.00	2223750.000	0.00
34.400	0.00	111.597	0.00	101.500	19.14	230.000	737600.00	230000.000	0.00	2300000.000	0.00
36.060	0.00	119.767	0.00	104.000	19.77	237.750	869400.00	237750.000	0.00	2377500.000	0.00
37.760	0.00	128.317	0.00	106.500	20.41	245.625	1016400.00	245625.000	0.00	2456250.000	0.00
39.500	0.00	137.255	0.00	109.000	21.06	253.625	1189200.00	253625.000	0.00	2536250.000	0.00
41.280	0.00	146.589	0.00	111.500	21.72	261.750	1388400.00	261750.000	0.00	2617500.000	0.00
43.100	0.00	156.327	0.00	114.000	22.39	270.000	1614600.00	270000.000	0.00	2700000.000	0.00

Operator notes:



Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-Shoras - Average
Sample Source & type:
RM17-1655 - Testigos-Mauricio
Sample bulk lot ref:

SOP Name:
Measured by:
Laboratorio
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:46:16
Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:46:16

Particle Name:
Cement 1.0
Particle RI:
1.693
Dispersant Name:
Dry dispersion

Accessory Name:
Sirocco 2000
Absorption:
1
Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose
Size range:
0.020 to 2000.000 µm
Weighted Residual:
1.236 %

Sensitivity:
Normal
Obscuration:
5.00 %
Result Emulation:
Off

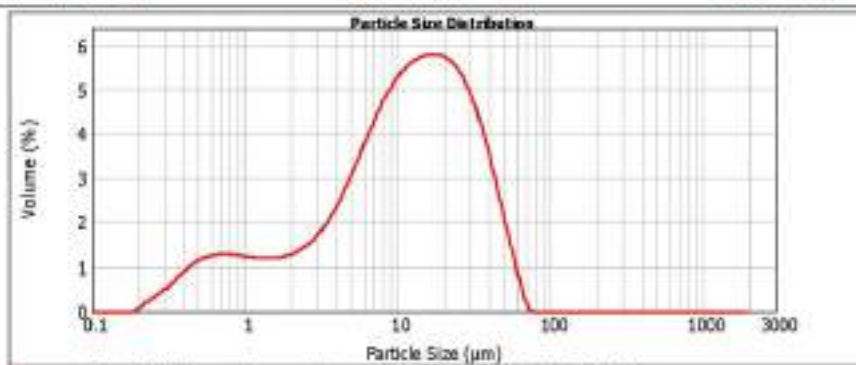
Concentration:
0.0035 %Vol
Specific Surface Area:
1.9 m²/g

Span :
2.997
Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.194 µm

Uniformity:
0.962
Vol. Weighted Mean D[4,3]:
15.166 µm

Result units:
Volume

d(0.1): 1.112 µm d(0.5): 11.288 µm d(0.9): 34.931 µm



cemento Portland-Shoras - Average, Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:46:16

Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.373	0.00	0.753	0.00	1.506	1.08	3.012	3.28	6.024	0.00	12.048	0.00
0.391	0.00	0.782	0.00	1.564	1.07	3.128	3.16	6.256	0.00	12.512	0.00
0.410	0.00	0.811	0.00	1.622	1.07	3.244	3.22	6.480	0.00	12.976	0.00
0.429	0.00	0.840	0.00	1.680	1.07	3.360	3.27	6.720	0.00	13.440	0.00
0.448	0.00	0.869	0.00	1.738	1.07	3.476	3.32	6.960	0.00	13.904	0.00
0.468	0.00	0.898	0.00	1.796	1.07	3.592	3.37	7.200	0.00	14.368	0.00
0.488	0.00	0.927	0.00	1.854	1.07	3.708	3.42	7.440	0.00	14.832	0.00
0.508	0.00	0.956	0.00	1.912	1.08	3.824	3.47	7.680	0.00	15.296	0.00
0.528	0.00	0.985	0.00	1.970	1.08	3.940	3.52	7.920	0.00	15.760	0.00
0.548	0.00	1.014	0.00	2.028	1.08	4.056	3.57	8.160	0.00	16.224	0.00
0.568	0.00	1.043	0.00	2.086	1.08	4.172	3.62	8.400	0.00	16.688	0.00
0.588	0.00	1.072	0.00	2.144	1.09	4.288	3.67	8.640	0.00	17.152	0.00
0.608	0.00	1.101	0.00	2.202	1.09	4.404	3.72	8.880	0.00	17.616	0.00
0.628	0.00	1.130	0.00	2.260	1.10	4.520	3.77	9.120	0.00	18.080	0.00
0.648	0.00	1.159	0.00	2.318	1.10	4.636	3.82	9.360	0.00	18.544	0.00
0.668	0.00	1.188	0.00	2.376	1.11	4.752	3.87	9.600	0.00	19.008	0.00
0.688	0.00	1.217	0.00	2.434	1.11	4.868	3.92	9.840	0.00	19.472	0.00
0.708	0.00	1.246	0.00	2.492	1.12	4.984	3.97	10.080	0.00	19.936	0.00
0.728	0.00	1.275	0.00	2.550	1.12	5.100	4.02	10.320	0.00	20.400	0.00
0.748	0.00	1.304	0.00	2.608	1.13	5.216	4.07	10.560	0.00	20.864	0.00
0.768	0.00	1.333	0.00	2.666	1.13	5.332	4.12	10.800	0.00	21.328	0.00
0.788	0.00	1.362	0.00	2.724	1.14	5.448	4.17	11.040	0.00	21.792	0.00
0.808	0.00	1.391	0.00	2.782	1.14	5.564	4.22	11.280	0.00	22.256	0.00
0.828	0.00	1.420	0.00	2.840	1.15	5.680	4.27	11.520	0.00	22.720	0.00
0.848	0.00	1.449	0.00	2.898	1.15	5.796	4.32	11.760	0.00	23.184	0.00
0.868	0.00	1.478	0.00	2.956	1.16	5.912	4.37	12.000	0.00	23.648	0.00
0.888	0.00	1.507	0.00	3.014	1.16	6.028	4.42	12.240	0.00	24.112	0.00
0.908	0.00	1.536	0.00	3.072	1.17	6.144	4.47	12.480	0.00	24.576	0.00
0.928	0.00	1.565	0.00	3.130	1.17	6.260	4.52	12.720	0.00	25.040	0.00
0.948	0.00	1.594	0.00	3.188	1.18	6.376	4.57	12.960	0.00	25.504	0.00
0.968	0.00	1.623	0.00	3.246	1.18	6.492	4.62	13.200	0.00	25.968	0.00
0.988	0.00	1.652	0.00	3.304	1.19	6.608	4.67	13.440	0.00	26.432	0.00
1.000	0.00	1.681	0.00	3.362	1.19	6.724	4.72	13.680	0.00	26.896	0.00
1.010	0.00	1.710	0.00	3.420	1.20	6.840	4.77	13.920	0.00	27.360	0.00

Operator notes:



MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-3horas - Average

Sample Source & type:
RM17-1567 - Testigos-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

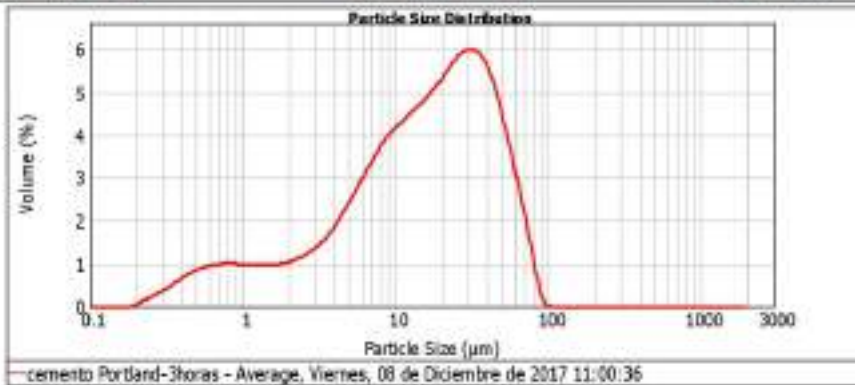
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:00:36

Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:00:37

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 4.37 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.948 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0035 %Vol	Span : 2.919	Uniformity: 0.903	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.49 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.033 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.449 µm	

d(0.1): 1.630 µm d(0.5): 16.221 µm d(0.9): 48.979 µm



Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.25	0.00	0.13	0.00	1.06	0.07	11.80	0.03	100.00	0.00
0.31	0.00	0.13	0.00	1.25	0.07	13.00	0.21	100.00	0.00
0.37	0.00	0.13	0.00	1.45	0.07	15.00	0.41	100.00	0.00
0.44	0.00	0.13	0.00	1.66	0.08	17.00	0.69	100.00	0.00
0.51	0.00	0.14	0.00	1.90	0.09	19.00	1.05	100.00	0.00
0.59	0.00	0.03	0.00	2.16	0.09	21.00	1.49	100.00	0.00
0.67	0.00	0.26	0.12	2.45	1.01	24.00	2.00	100.00	0.00
0.76	0.00	0.25	0.20	2.84	1.11	28.00	2.57	100.00	0.00
0.85	0.00	0.24	0.38	3.31	1.08	34.00	3.41	100.00	0.00
0.95	0.00	0.30	0.42	3.87	1.40	38.00	4.54	100.00	0.00
1.06	0.00	0.47	0.58	4.55	1.71	45.00	6.00	100.00	0.00
1.18	0.00	0.45	0.69	5.37	2.00	52.00	7.80	100.00	0.00
1.31	0.00	0.59	0.78	6.34	2.37	60.00	10.00	100.00	0.00
1.45	0.00	0.80	0.84	7.47	2.73	69.00	12.60	100.00	0.00
1.60	0.00	0.97	0.88	8.87	3.08	79.00	15.60	100.00	0.00
1.76	0.00	1.24	0.90	10.56	3.35	90.00	19.00	100.00	0.00
1.93	0.00	1.62	0.90	12.56	3.64	100.00	22.80	100.00	0.00
2.11	0.00	2.08	0.88	14.90	3.88	100.00	27.00	100.00	0.00
2.30	0.00	2.63	0.88	17.61	4.08	100.00	31.60	100.00	0.00
2.50	0.00	3.28	0.88	20.74	4.24	100.00	36.60	100.00	0.00
2.71	0.00	4.03	0.88	24.34	4.37	100.00	42.00	100.00	0.00
2.93	0.00	4.88	0.88	28.45	4.47	100.00	47.80	100.00	0.00
3.17	0.00	5.83	0.88	33.12	4.54	100.00	54.00	100.00	0.00

Operator notes:



Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-3horas - Average

Sample Source & type:
RM17-1567 - Testes-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

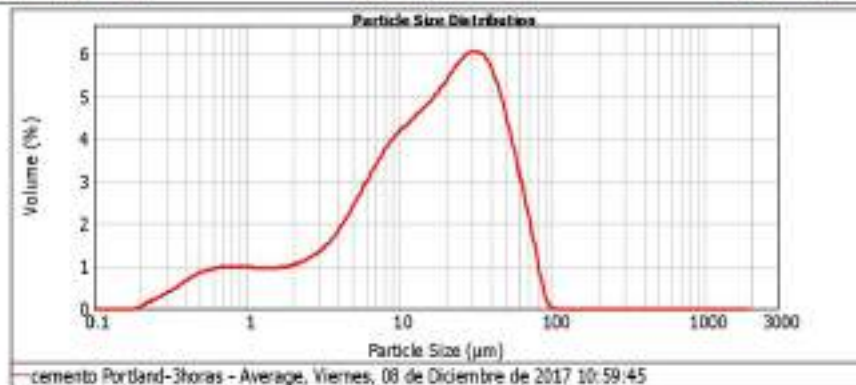
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:59:45

Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 10:59:45

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 4.82 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.944 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0006 %Vol	Span : 2.895	Uniformity: 0.256	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.48 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.065 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.594 µm	

d(0.1): 1.656 µm d(0.5): 16.266 µm d(0.9): 49.177 µm



Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.2	0.00	0.13	0.00	1.06	0.86	11.60	0.02	99.28	0.00
0.25	0.00	0.15	0.00	1.25	0.99	13.00	0.21	100.00	0.00
0.315	0.00	0.18	0.00	1.48	1.88	15.00	0.71	99.49	0.00
0.39	0.00	0.22	0.00	1.80	3.86	17.50	1.69	91.00	0.00
0.475	0.00	0.27	0.00	2.10	7.00	20.00	3.00	80.00	0.00
0.58	0.00	0.33	0.00	2.50	10.00	22.50	4.34	69.40	0.00
0.71	0.00	0.40	0.10	3.00	13.00	26.00	5.71	57.40	0.00
0.88	0.00	0.48	0.20	3.60	16.00	30.00	7.40	48.20	0.00
1.08	0.00	0.58	0.30	4.32	19.00	34.50	9.40	38.00	0.00
1.32	0.00	0.70	0.40	5.10	22.00	39.50	11.70	29.00	0.00
1.60	0.00	0.84	0.50	6.00	25.00	45.00	14.30	21.00	0.00
1.92	0.00	1.02	0.60	7.20	28.00	51.00	17.20	14.00	0.00
2.28	0.00	1.23	0.70	8.64	31.00	57.50	20.40	8.00	0.00
2.78	0.00	1.48	0.80	10.32	34.00	64.50	23.90	3.00	0.00
3.42	0.00	1.78	0.90	12.36	37.00	72.00	27.70	0.00	0.00
4.20	0.00	2.13	1.00	14.76	40.00	79.50	31.80	0.00	0.00
5.14	0.00	2.55	1.10	17.64	43.00	87.00	36.10	0.00	0.00
6.25	0.00	3.06	1.20	21.00	46.00	94.00	40.60	0.00	0.00
7.56	0.00	3.68	1.30	24.96	49.00	100.00	45.30	0.00	0.00
9.18	0.00	4.44	1.40	29.52	52.00		50.20	0.00	0.00
11.10	0.00	5.34	1.50	34.80	55.00		55.30	0.00	0.00
13.32	0.00	6.39	1.60	40.92	58.00		60.60	0.00	0.00
15.96	0.00	7.61	1.70	47.88	61.00		66.10	0.00	0.00
19.14	0.00	9.00	1.80	55.74	64.00		71.80	0.00	0.00
22.98	0.00	10.58	1.90	64.56	67.00		77.70	0.00	0.00
27.54	0.00	12.48	2.00	74.40	70.00		83.80	0.00	0.00
32.88	0.00	14.73	2.10	85.32	73.00		90.10	0.00	0.00
39.18	0.00	17.36	2.20	97.44	76.00		96.60	0.00	0.00
46.56	0.00	20.40	2.30	110.88	79.00		103.30	0.00	0.00
55.26	0.00	23.88	2.40	125.76	82.00		110.30	0.00	0.00
65.46	0.00	27.84	2.50	142.20	85.00		117.50	0.00	0.00
77.34	0.00	32.31	2.60	160.32	88.00		124.90	0.00	0.00
91.08	0.00	37.32	2.70	180.24	91.00		132.50	0.00	0.00
107.88	0.00	42.90	2.80	202.08	94.00		140.30	0.00	0.00
127.98	0.00	49.17	2.90	225.96	97.00		148.40	0.00	0.00
151.56	0.00	56.16	3.00	252.96	100.00		156.80	0.00	0.00

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-3horas - Average

Sample Source & type:
RM17-1567 - Testes-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

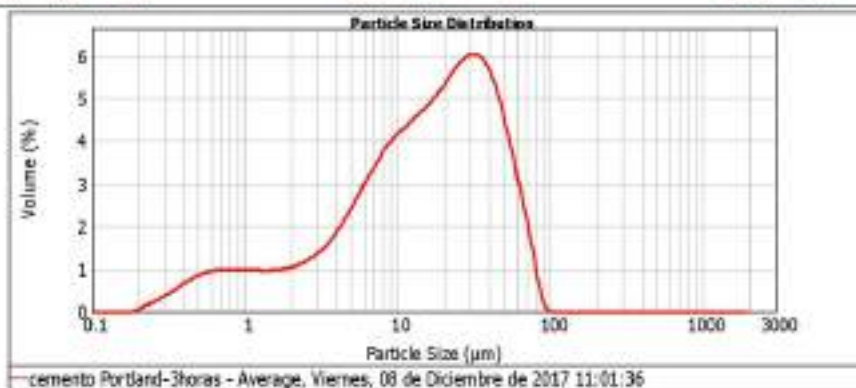
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:01:36

Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:01:36

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 μ m	Obscuration: 4.43 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.930 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0035 %Vol	Span : 2.937	Uniformity: 0.9	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.48 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.044 μ m	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.506 μ m	

d(0.1): 1.638 μ m d(0.5): 16.307 μ m d(0.9): 49.041 μ m



cemento Portland-3horas - Average, Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:01:36

Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)
0.25	0.00	0.35	0.00	1.00	0.01	11.00	0.02	30.00	0.00	100.00	0.00
0.31	0.00	0.50	0.00	1.25	0.01	12.50	0.01	35.00	0.00	110.00	0.00
0.38	0.00	0.70	0.00	1.56	0.01	15.63	0.01	40.00	0.00	120.00	0.00
0.47	0.00	1.00	0.00	1.99	0.01	19.92	0.01	45.00	0.00	130.00	0.00
0.57	0.00	1.33	0.00	2.51	0.01	25.00	0.01	50.00	0.00	140.00	0.00
0.69	0.00	1.75	0.00	3.17	0.01	31.25	0.01	55.00	0.00	150.00	0.00
0.83	0.00	2.25	0.00	3.98	0.01	39.06	0.01	60.00	0.00	160.00	0.00
1.00	0.00	2.93	0.00	4.94	0.01	49.06	0.01	65.00	0.00	170.00	0.00
1.19	0.00	3.75	0.00	6.17	0.01	61.72	0.01	70.00	0.00	180.00	0.00
1.41	0.00	4.78	0.00	7.76	0.01	77.64	0.01	75.00	0.00	190.00	0.00
1.66	0.00	6.00	0.00	9.73	0.01	97.34	0.01	80.00	0.00	200.00	0.00
1.94	0.00	7.50	0.00	12.19	0.01	121.88	0.01	85.00	0.00	210.00	0.00
2.25	0.00	9.38	0.00	15.23	0.01	152.34	0.01	90.00	0.00	220.00	0.00
2.60	0.00	11.63	0.00	18.85	0.01	188.54	0.01	95.00	0.00	230.00	0.00
2.99	0.00	14.38	0.00	23.13	0.01	231.25	0.01	100.00	0.00	240.00	0.00
3.42	0.00	17.63	0.00	28.13	0.01	281.25	0.01	105.00	0.00	250.00	0.00
3.90	0.00	21.38	0.00	34.84	0.01	348.44	0.01	110.00	0.00	260.00	0.00
4.42	0.00	25.63	0.00	43.44	0.01	434.44	0.01	115.00	0.00	270.00	0.00
5.00	0.00	30.38	0.00	54.00	0.01	540.00	0.01	120.00	0.00	280.00	0.00
5.62	0.00	35.63	0.00	66.63	0.01	666.63	0.01	125.00	0.00	290.00	0.00
6.30	0.00	42.38	0.00	81.44	0.01	814.44	0.01	130.00	0.00	300.00	0.00
7.04	0.00	50.63	0.00	98.63	0.01	986.63	0.01	135.00	0.00	310.00	0.00
7.85	0.00	60.38	0.00	119.44	0.01	1194.44	0.01	140.00	0.00	320.00	0.00
8.74	0.00	71.63	0.00	144.00	0.01	1440.00	0.01	145.00	0.00	330.00	0.00
9.70	0.00	84.38	0.00	173.44	0.01	1734.44	0.01	150.00	0.00	340.00	0.00
10.75	0.00	98.63	0.00	207.63	0.01	2076.63	0.01	155.00	0.00	350.00	0.00

Operator notes:

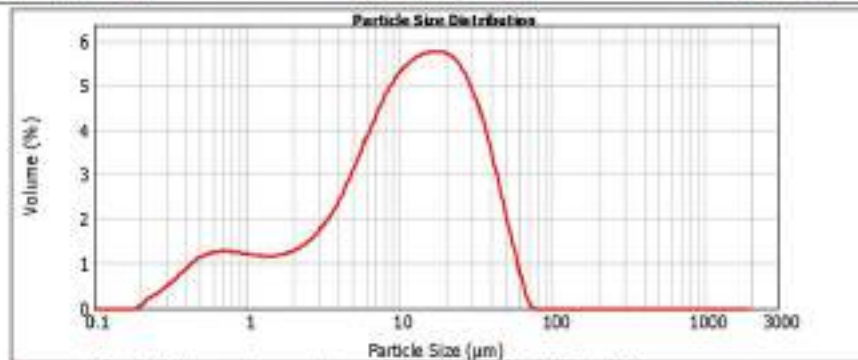


MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name: cemento Portland-4horas - Average	SOP Name:	Measured: Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:18:48	
Sample Source & type: RM17-1567 - Testetas-Mauricio	Measured by: Laboratorio	Analyzed: Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:18:50	
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged		
Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 4.37 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 1.006 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0004 %Vol	Span : 2.972	Uniformity: 0.904	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.9 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.181 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.126 µm	

d(0.1): 1.116 µm d(0.5): 11.325 µm d(0.9): 34.770 µm



cemento Portland-4horas - Average, Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:18:48

Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.25	0.00	0.13	0.00	1.06	1.06	11.80	5.23	100.00	0.00
0.31	0.00	0.13	0.00	1.25	1.00	13.00	5.14	100.00	0.00
0.37	0.00	0.13	0.00	1.48	1.06	15.00	5.19	100.00	0.00
0.45	0.00	0.19	0.00	1.80	1.06	17.20	5.19	91.00	0.00
0.54	0.00	0.24	0.00	2.00	1.06	19.00	5.12	100.00	0.00
0.63	0.00	0.29	0.17	2.36	1.16	20.00	5.10	100.00	0.00
0.75	0.00	0.34	0.27	2.81	1.27	24.30	5.99	275.40	0.00
0.89	0.00	0.41	0.38	3.40	1.42	28.00	6.84	216.20	0.00
1.06	0.00	0.49	0.49	4.07	1.60	34.60	8.16	163.00	0.00
1.25	0.00	0.58	0.66	4.90	1.86	39.91	9.54	148.00	0.00
1.48	0.00	0.69	0.83	5.85	2.20	47.50	1.89	479.60	0.00
1.73	0.00	0.82	1.00	6.94	2.64	57.40	3.67	945.10	0.00
2.00	0.00	0.97	1.17	8.29	3.16	68.70	6.42	680.80	0.00
2.30	0.00	1.15	1.35	9.90	3.75	81.60	10.20	756.70	0.00
2.64	0.00	1.36	1.53	11.70	4.41	95.80	15.00	970.00	0.00
3.03	0.00	1.60	1.70	13.80	5.14	112.00	20.80	1000.00	0.00
3.48	0.00	1.87	1.91	16.20	5.93	130.00	28.60	1000.00	0.00
4.00	0.00	2.19	2.14	18.90	6.78	150.00	38.40	1000.00	0.00
4.60	0.00	2.56	2.33	22.00	7.70	173.00	50.20	1000.00	0.00
5.20	0.00	3.00	2.56	25.50	8.70	200.00	64.00	1000.00	0.00
5.90	0.00	3.52	2.82	29.50	9.80	230.00	80.00	1000.00	0.00
6.70	0.00	4.13	3.10	34.00	11.00	260.00	98.00	1000.00	0.00
7.60	0.00	4.84	3.40	39.00	12.40	290.00	118.00	1000.00	0.00
8.60	0.00	5.66	3.73	44.50	13.90	320.00	140.00	1000.00	0.00
9.80	0.00	6.60	4.08	50.50	15.60	350.00	164.00	1000.00	0.00
11.00	0.00	7.68	4.46	57.00	17.40	380.00	190.00	1000.00	0.00

Operator notes:



MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-4horas - Average

Sample Source & type:
RM17-1567 - Testes-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

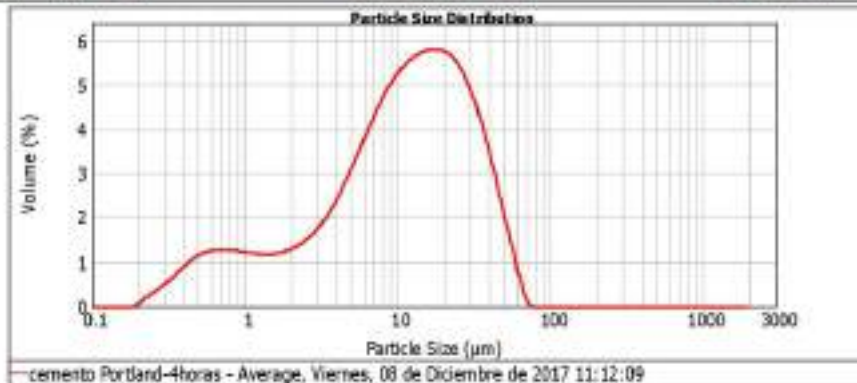
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:12:09

Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:12:10

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 4.40 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 1.000 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0004 %Vol	Span : 2.959	Uniformity: 0.901	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.9 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.102 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.123 μm	

d(0.1): 1.115 μm d(0.5): 11.356 μm d(0.9): 34.713 μm



Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)	Size (µm)	Volume (%)
0.25	0.00	0.13	0.00	1.06	1.07	11.60	0.23	100.00	0.00
0.31	0.00	0.13	0.00	1.25	1.00	13.00	5.16	100.00	0.00
0.37	0.00	0.13	0.00	1.45	1.06	15.00	3.23	100.00	0.00
0.44	0.00	0.13	0.00	1.66	1.10	17.00	2.24	100.00	0.00
0.51	0.00	0.13	0.00	1.90	1.10	19.00	1.60	100.00	0.00
0.59	0.00	0.03	0.00	2.16	1.17	21.00	1.16	100.00	0.00
0.67	0.00	0.04	0.17	2.43	1.27	23.00	0.87	100.00	0.00
0.76	0.00	0.05	0.28	2.71	1.40	25.00	0.64	100.00	0.00
0.85	0.00	0.07	0.40	3.00	1.60	27.00	0.45	100.00	0.00
0.95	0.00	0.09	0.56	3.30	1.85	29.00	0.32	100.00	0.00
1.06	0.00	0.11	0.77	3.61	2.20	31.00	0.23	100.00	0.00
1.18	0.00	0.14	0.99	3.94	2.60	33.00	0.16	100.00	0.00
1.31	0.00	0.17	1.34	4.29	3.00	35.00	0.11	100.00	0.00
1.45	0.00	0.21	1.81	4.66	3.40	37.00	0.08	100.00	0.00
1.60	0.00	0.26	2.40	5.05	3.90	39.00	0.06	100.00	0.00
1.76	0.00	0.31	3.10	5.46	4.40	41.00	0.04	100.00	0.00
1.93	0.00	0.37	3.90	5.89	5.00	43.00	0.03	100.00	0.00
2.11	0.00	0.44	4.80	6.34	5.70	45.00	0.02	100.00	0.00
2.30	0.00	0.52	5.80	6.81	6.50	47.00	0.01	100.00	0.00
2.50	0.00	0.61	6.90	7.30	7.40	49.00	0.01	100.00	0.00
2.71	0.00	0.71	8.10	7.80	8.50	51.00	0.01	100.00	0.00
2.93	0.00	0.82	9.40	8.30	9.80	53.00	0.01	100.00	0.00
3.16	0.00	0.94	1.08	8.80	11.20	55.00	0.01	100.00	0.00
3.40	0.00	1.08	1.29	9.30	12.70	57.00	0.01	100.00	0.00
3.65	0.00	1.24	1.50	9.80	14.40	59.00	0.01	100.00	0.00
3.91	0.00	1.41	1.73	10.30	16.20	61.00	0.01	100.00	0.00
4.18	0.00	1.60	1.98	10.80	18.20	63.00	0.01	100.00	0.00
4.46	0.00	1.80	2.25	11.30	20.40	65.00	0.01	100.00	0.00
4.75	0.00	2.02	2.54	11.80	22.80	67.00	0.01	100.00	0.00
5.05	0.00	2.26	2.86	12.30	25.40	69.00	0.01	100.00	0.00
5.36	0.00	2.52	3.20	12.80	28.20	71.00	0.01	100.00	0.00
5.68	0.00	2.80	3.56	13.30	31.20	73.00	0.01	100.00	0.00
6.01	0.00	3.10	3.94	13.80	34.40	75.00	0.01	100.00	0.00
6.35	0.00	3.42	4.34	14.30	37.80	77.00	0.01	100.00	0.00
6.70	0.00	3.76	4.76	14.80	41.40	79.00	0.01	100.00	0.00
7.06	0.00	4.12	5.20	15.30	45.20	81.00	0.01	100.00	0.00
7.43	0.00	4.50	5.66	15.80	49.20	83.00	0.01	100.00	0.00
7.81	0.00	4.90	6.14	16.30	53.40	85.00	0.01	100.00	0.00
8.20	0.00	5.32	6.64	16.80	57.80	87.00	0.01	100.00	0.00
8.60	0.00	5.76	7.16	17.30	62.40	89.00	0.01	100.00	0.00
9.01	0.00	6.22	7.70	17.80	67.20	91.00	0.01	100.00	0.00
9.43	0.00	6.70	8.26	18.30	72.20	93.00	0.01	100.00	0.00
9.86	0.00	7.20	8.84	18.80	77.40	95.00	0.01	100.00	0.00
10.30	0.00	7.72	9.44	19.30	82.80	97.00	0.01	100.00	0.00
10.75	0.00	8.26	10.06	19.80	88.40	99.00	0.01	100.00	0.00
11.20	0.00	8.82	10.70	20.30	94.20	100.00	0.00	100.00	0.00

Operator notes:



MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name:
cemento Portland-4horas - Average

Sample Source & type:
RM17-1567 - Testas-Mauricio

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Laboratorio

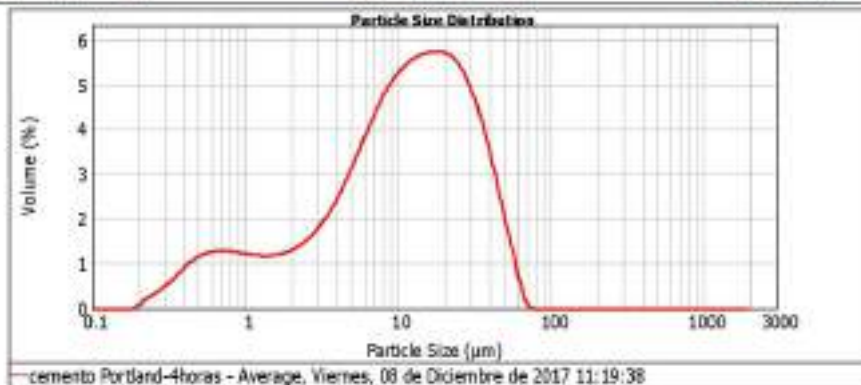
Result Source:
Averaged

Measured:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:19:38

Analysed:
Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:19:39

Particle Name: Cement 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.693	Absorption: 1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 4.09 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 1.006 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0004 %Vol	Span : 2.974	Uniformity: 0.905	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.91 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.143 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.019 μm	

d(0.1): 1.111 μm d(0.5): 11.240 μm d(0.9): 34.541 μm



cemento Portland-4horas - Average, Viernes, 08 de Diciembre de 2017 11:19:38

Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)
0.075	0.00	0.105	0.00	1.096	1.07	11.460	0.00	100.000	0.00	1000.000	0.00
0.091	0.00	0.133	0.00	1.250	1.00	13.001	5.16	100.000	0.00	1100.000	0.00
0.107	0.00	0.168	0.00	1.445	1.06	15.006	5.77	99.999	0.00	1200.000	0.00
0.125	0.00	0.199	0.00	1.660	1.10	17.009	5.78	99.999	0.00	1300.000	0.00
0.143	0.00	0.192	0.00	1.900	1.10	19.000	5.10	99.999	0.00	1400.000	0.00
0.163	0.00	0.209	0.00	2.166	1.10	21.000	5.10	99.999	0.00	1500.000	0.00
0.185	0.00	0.246	0.17	2.460	1.09	24.000	9.99	99.999	0.00	1600.000	0.00
0.209	0.00	0.275	0.20	2.804	1.40	28.000	4.40	99.999	0.00	1700.000	0.00
0.235	0.00	0.316	0.40	3.211	1.60	32.000	4.17	99.999	0.00	1800.000	0.00
0.263	0.00	0.360	0.59	3.600	1.92	36.001	3.50	99.999	0.00	1900.000	0.00
0.294	0.00	0.417	0.76	4.085	2.04	40.000	2.79	99.999	0.00	2000.000	0.00
0.328	0.00	0.479	0.94	4.615	2.00	45.000	1.99	99.999	0.00	2100.000	0.00
0.365	0.00	0.559	1.09	5.210	2.00	50.000	1.21	99.999	0.00	2200.000	0.00
0.406	0.00	0.659	1.19	5.794	2.00	55.000	0.39	99.999	0.00	2300.000	0.00
0.451	0.00	0.781	1.19	6.467	2.00	60.000	0.01	99.999	0.00	2400.000	0.00
0.499	0.00	0.924	1.19	7.236	4.00	65.000	0.00	99.999	0.00	2500.000	0.00
0.551	0.00	1.092	1.19	8.100	6.00	70.000	0.00	99.999	0.00	2600.000	0.00
0.608	0.00	1.288	1.09	9.060	6.00	75.000	0.00	99.999	0.00	2700.000	0.00
0.671	0.00	1.515	1.09	10.110	6.00	80.000	0.00	99.999	0.00	2800.000	0.00
0.739	0.00	1.777	1.09	11.340	6.00	85.000	0.00	99.999	0.00	2900.000	0.00
0.813	0.00	2.081	1.09	12.740	6.00	90.000	0.00	99.999	0.00	3000.000	0.00

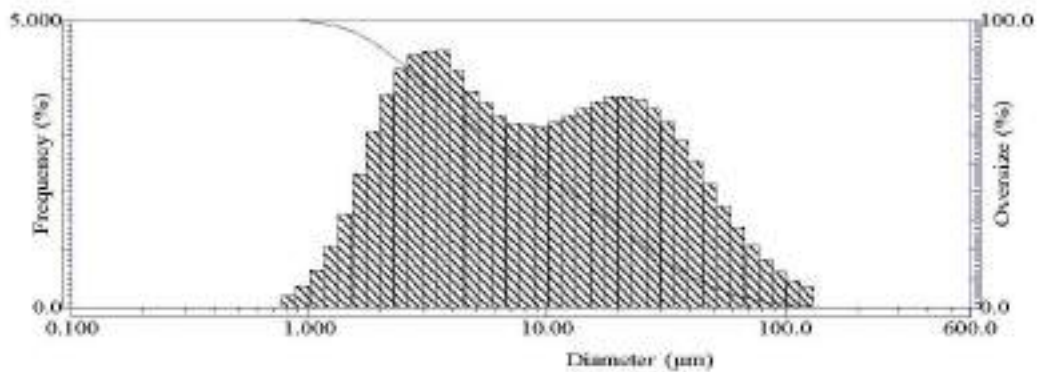
Operator notes:

HORIBA LA-300 for Windows(32) Ver.3.73

LA-300 system for Windows

Filename :
 ID# : 201802010924130
 Circulation Speed : 15
 Ultra sonic : 00.11
 Laser T% : 57.3(%)
 Form of Distribution : Standard
 Calc. Level : 30
 R.R.Index : 1.60-0.001
 Axis Selection : LogN-LogY

Median : 8.2357(μ m)
 Diameter on % : (6)60.00 (%) - 5.4579(μ m)
 (7)70.00 (%) - 3.8522(μ m)
 (8)80.00 (%) - 2.8392(μ m)
 (9)90.00 (%) - 2.0336(μ m)
 (10)95.00 (%) - 1.6109(μ m)
 % on Diameter : 150.0 (μ m) - 0.000(%)
 100.0 (μ m) - 0.894(%)
 75.00 (μ m) - 2.509(%)
 53.00 (μ m) - 6.107(%)
 45.00 (μ m) - 8.605(%)
 Mean : 16.4669(μ m)



No.	Diameter	Freq.	%	Over %	No.	Diameter	Freq.	%	Over %	No.	Diameter	Freq.	%	Over %	No.	Diameter	Freq.	%	Over %
1	0.115	0.000	100.000		21	1.729	2.322	93.786		41	26.111	3.612	20.757		61	394.244	0.000	0.000	
2	0.131	0.000	100.000		22	1.981	3.068	90.719		42	29.907	3.460	17.297		62	451.556	0.000	0.000	
3	0.150	0.000	100.000		23	2.269	3.704	87.014		43	34.255	3.224	14.073		63	517.200	0.000	0.000	
4	0.172	0.000	100.000		24	2.599	4.148	82.867		44	39.234	2.909	11.165		64	592.387	0.000	0.000	
5	0.197	0.000	100.000		25	2.976	4.392	78.474		45	44.938	2.537	8.627						
6	0.226	0.000	100.000		26	3.409	4.454	74.020		46	51.471	2.143	6.484						
7	0.259	0.000	100.000		27	3.905	4.464	69.556		47	58.953	1.751	4.733						
8	0.296	0.000	100.000		28	4.472	4.128	65.429		48	67.523	1.391	3.343						
9	0.339	0.000	100.000		29	5.122	3.760	61.669		49	77.339	1.077	2.266						
10	0.389	0.000	100.000		30	5.867	3.569	58.100		50	88.583	0.819	1.446						
11	0.445	0.000	100.000		31	6.720	3.327	54.773		51	101.460	0.619	0.828						
12	0.510	0.000	100.000		32	7.697	3.191	51.582		52	116.210	0.468	0.359						
13	0.584	0.000	100.000		33	8.816	3.173	48.410		53	133.103	0.359	0.000						
14	0.669	0.000	100.000		34	10.097	3.126	45.283		54	152.453	0.000	0.000						
15	0.766	0.000	100.000		35	11.565	3.226	42.058		55	174.616	0.000	0.000						
16	0.877	0.201	99.799		36	13.246	3.328	38.729		56	200.000	0.000	0.000						
17	1.005	0.378	99.421		37	15.172	3.455	35.274		57	229.075	0.000	0.000						
18	1.151	0.643	98.778		38	17.377	3.576	31.698		58	262.376	0.000	0.000						
19	1.318	1.051	97.728		39	19.904	3.660	28.039		59	300.518	0.000	0.000						
20	1.510	1.620	96.108		40	22.797	3.670	24.369		60	344.206	0.000	0.000						

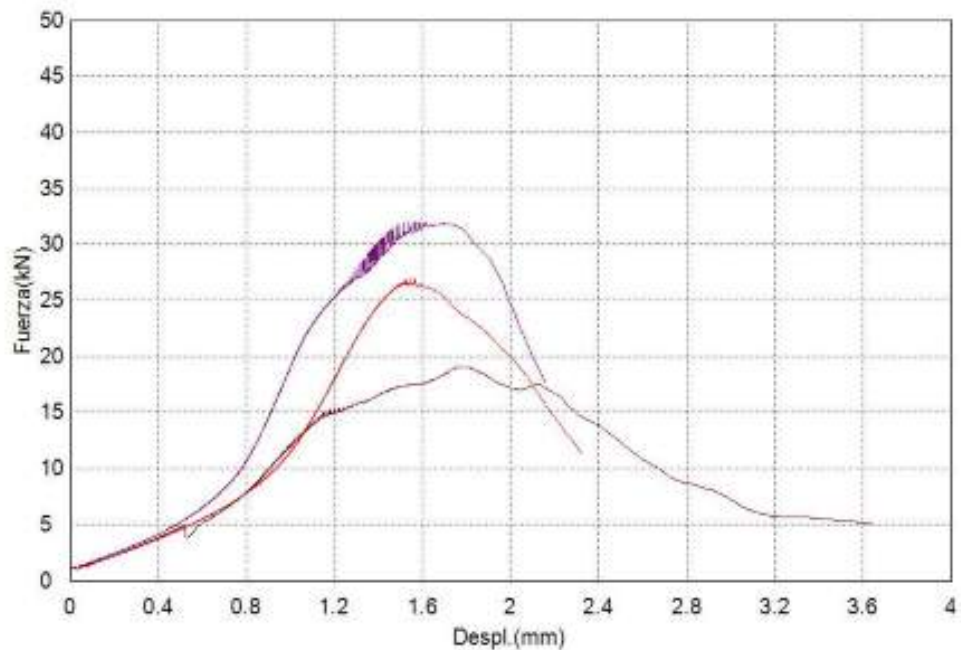
ANEXO B

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

Cemento Híbrido

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Compresión Cemento Híbrido3.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	1/26/2018	Fecha de ensayo	1/26/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformación	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
MH1	26.9094	2.97804	10.6783
MH2	19.0493	3.62072	7.44579
MH3	31.9716	3.12003	12.2442
Media	25.9768	3.23960	10.1228
Desviacion Estandar	6.51144	0.33761	2.44697
Rango	12.9223	0.64268	4.79841

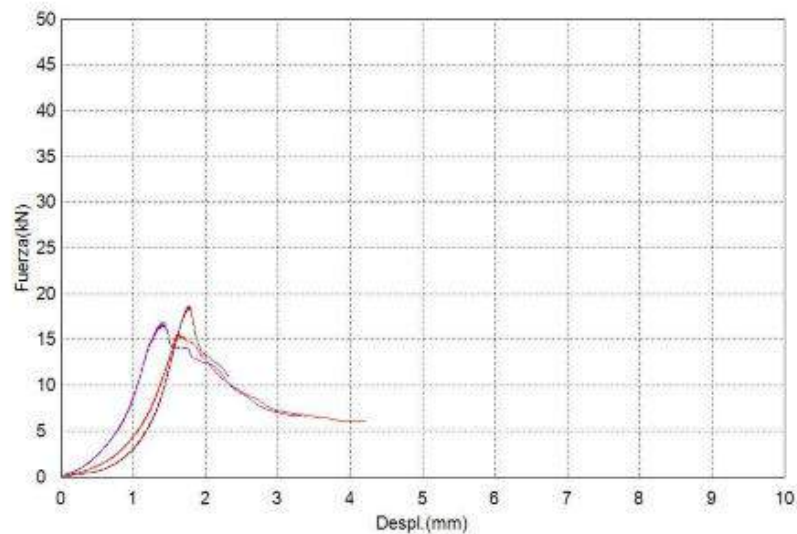


Cubos mal compactados

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	60%Zeolita 40%Cemento control
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CT3-1	15.6202	3.22613	6.22517
CT3-2	18.7261	3.45898	7.36501
CT3-3	16.9288	2.76756	6.67882
Media	17.0917	3.15089	6.75633
Desviacion Estandar	1.55935	0.35180	0.57386
Rango	3.10590	0.69142	1.13984
TotalMedia	17.0917	3.15089	6.75633
TotalDesviacion Estandar	1.55935	0.35180	0.57386
TotalRango	3.10590	0.69142	1.13984

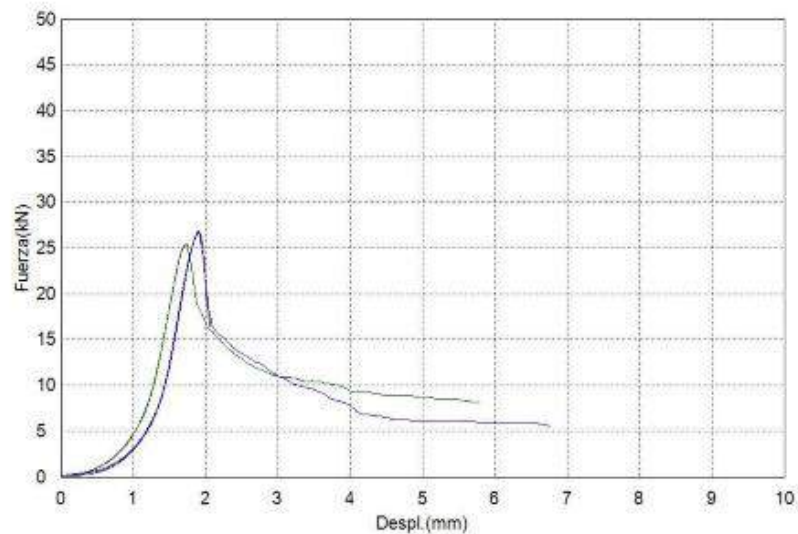


EDAD 7 DÍAS

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	50%Zeolita 50%Cemento control
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CT2-1	26.7377	3.72383	10.5793
CT2-2	25.3887	3.38832	10.0477
CT2-3	26.8568	3.75295	10.6895
Media	26.3277	3.62170	10.4388
Desviacion Estandar	0.81540	0.20264	0.34318
Rango	1.46810	0.36463	0.64180
TotalMedia	26.3277	3.62170	10.4388
TotalDesviacion Estandar	0.81540	0.20264	0.34318
TotalRango	1.46810	0.36463	0.64180

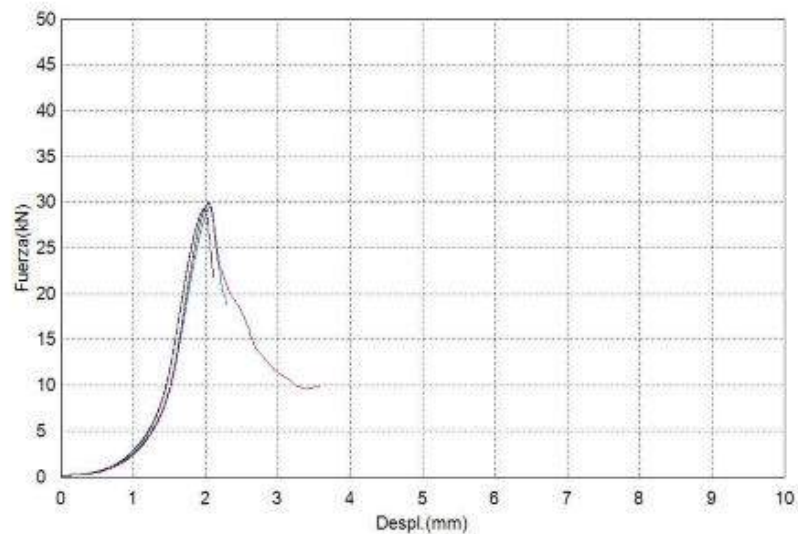


EDAD 7 DÍAS

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	40%Zeolita 60Cemento control
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CT1-1	29.2681	3.87402	11.4341
CT1-2	29.4595	3.99758	11.5665
CT1-3	29.9461	4.02854	11.8249
Media	29.5579	3.96671	11.6085
Desviacion Estandar	0.34955	0.08175	0.19876
Rango	0.67800	0.15452	0.39080
TotalMedia	29.5579	3.96671	11.6085
TotalDesviacion Estandar	0.34955	0.08175	0.19876
TotalRango	0.67800	0.15452	0.39080

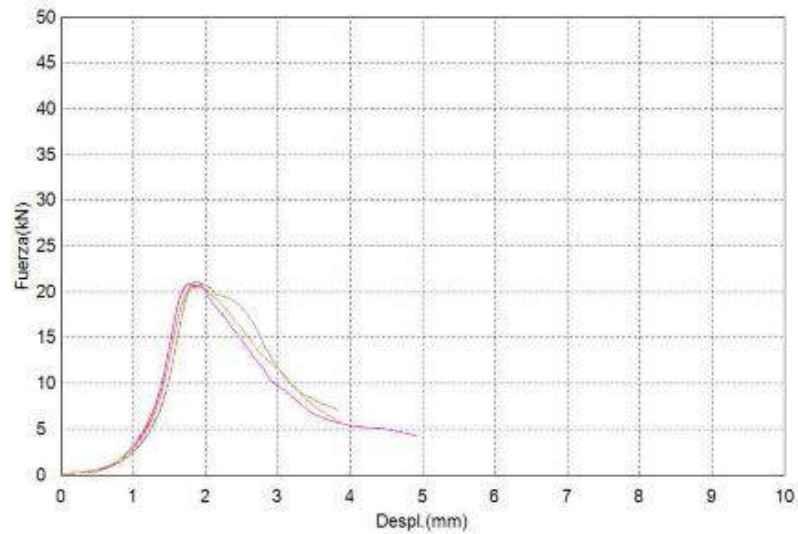


EDAD 7 DÍAS

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	60%Zeolita 40%Cemento con activador
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CH3-1	20.8507	3.48627	7.99305
CH3-2	21.1349	3.67122	8.08600
CH3-3	20.4568	3.55282	7.74305
Media	20.8141	3.57010	7.94070
Desviacion Estandar	0.34053	0.09368	0.17737
Rango	0.67810	0.18495	0.34295
TotalMedia	20.8141	3.57010	7.94070
TotalDesviacion Estandar	0.34053	0.09368	0.17737
TotalRango	0.67810	0.18495	0.34295

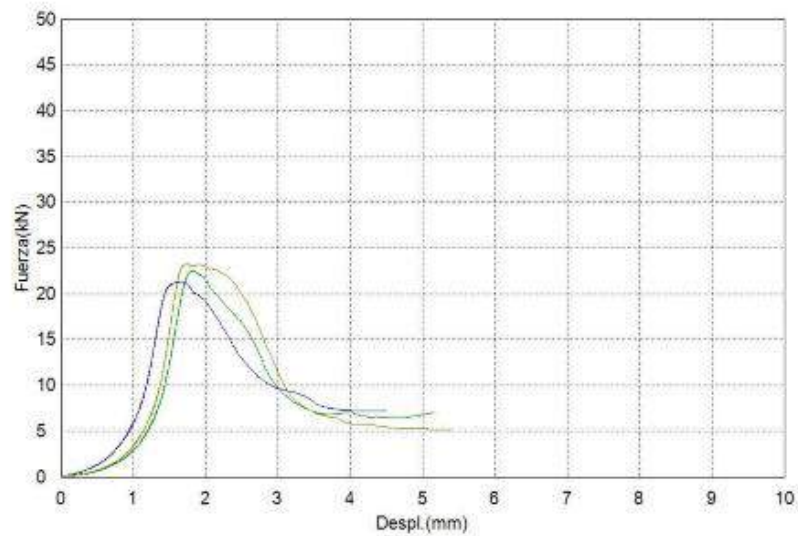


EDAD 7 DÍAS

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	50%Zeolita 50%Cemento con activador
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3

Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CH2-1	22.5502	3.54448	8.73965
CH2-2	21.3442	3.30257	8.22360
CH2-3	23.2182	3.39990	8.86631
Media	22.3709	3.41565	8.60985
Desviacion Estandar	0.94978	0.12172	0.34045
Rango	1.87400	0.24191	0.64271
TotalMedia	22.3709	3.41565	8.60985
TotalDesviacion Estandar	0.94978	0.12172	0.34045
TotalRango	1.87400	0.24191	0.64271

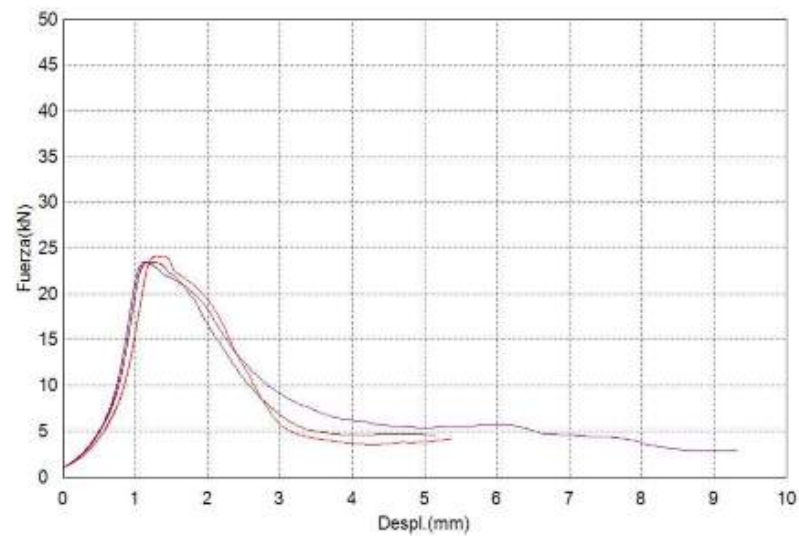


EDAD 7 DÍAS

CEMENTO HÍBRIDO

Palabra llave		Nombre de producto	40%Zeolita 60%Cemento con activador
Nombre de archivo de ensayo	torres_frere 7 días.xtux	Nombre de metodo de ensayo	cubos mortero.xmux
Fecha de informe	2/9/2018	Fecha de ensayo	2/9/2018
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0.9kN/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	6	N° de muestras:	3


Nombre	Max. Fuerza	Max. Deformacion	Compresión
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	
Unidad	kN	%	MPa
CH1-1	24.1756	2.53122	9.31371
CH1-2	23.5155	2.32354	9.11227
CH1-3	23.5312	2.22813	8.98522
Media	23.7408	2.36096	9.13707
Desviacion Estandar	0.37666	0.15497	0.16564
Rango	0.66010	0.30309	0.32849



EDAD 7 DÍAS

ANEXO C

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SILICATO DE SODIO

	PROQUANDINOS S.A. RUC 019006887081 CERTIFICADO DE CALIDAD SILICATO DE SODIO LÍQUIDO 2.1
---	---

Fecha de producción: Mayo del 2017.


Fecha de vencimiento: Dos años después de su producción.

FECHA	KILOS	CLIENTE	NÚMERO LOTE	% Na2O 13,0% - 14,5%	Densidad (° B _é) 48,0 - 52,0	% SiO2 30,0% - 32,0%	% SiO2 / % Na2O Relación 2.2 - 2.4
15-may-17	9.000	Resiquim	170509	14,13	52,00	32,41	2,29

Observaciones:

* Si existe algún reclamo, favor dirigirse al departamento de control de calidad de nuestra empresa indicando fecha de despacho, número de lote y motivo del reclamo al correo pcardona@proquandinos.com

L.Q. Paola Andrea Cardona Hernández.
Jefe de Control de Calidad
Proquandinos S.A.



Planta Miraflores: Km 6,5 Vía Naranjo-Miraflores, Quevedo.
Teléfono: 098423 0700

ANEXO D

FICHAS DE SEGURIDAD DE LOS ACTIVADORES



Silicatos y Derivados S.A. de C.V.
una filial de PQ Corporation

**Seguridad
e Higiene**

SILICATO DE SODIO LÍQUIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección I Datos Generales

Fabricante	Silicatos y Derivados SA de CV Río Lerma #55, Fraccionamiento Industrial San Nicolás, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, 54030 01(55) 5227-6600 LADA SIN COSTO 01-500-906-8900
Teléfono de Emergencia	01-500-002-1400 SETIQ

Sección II Datos de la Sustancia

Nombre Químico	Silicato de Sodio
Nombre Comercial	Silicato de Sodio Líquido
Familia Química	Silicatos
Sinónimos	Agua Ácido Silícica, Sal de Sodio
Fórmula Química	$\text{Na}_2\text{O} + n \text{SiO}_2$

Sección III Identificación de la Sustancia

N° CAS	1344-09-5	CLASIFICACION DE GRADO DE RIESGO	
N° ONU (UN)	Este material no es regulado como sustancia peligrosa para su transporte	SALUD	1
N° DOT	Este material no es regulado como sustancia peligrosa para su transporte	INFLAMABILIDAD	0
LMPE-PPT	No disponible	REACTIVIDAD	0
LMPE-CT	No disponible	ESPECIAL	ALC
LMPE-P	No disponible	EPP	X
IPVS (IDHL)	No disponible		

COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Sustancia	N° CAS	Porcentaje	Clasificación de Grado de Riesgo
Silicato de Sodio	1344-09-5	37 - 46 %	S = 1, I = 0, R = 0, E = ALC, EPP = X
Agua	7732-18-5	54 - 63 %	S = 0, I = 0, R = 0, E = 0, EPP = 0

Sección IV Propiedades Físicas y Químicas

Temp. de Ebullición	No Disponible	Estado Físico	Líquido espeso
Temp. de Fusión	No Aplica	Color	Claro a grisáceo
Temp. de Inflamación	No es combustible	Olor	Sin olor
Temp. de Autogñición	No Aplica	Vel. de Evaporación	No Disponible
Densidad	1.3 - 1.6 g/cm ³ (20°C)	Solubilidad en Agua	100% soluble
pH	11 - 13	Presión de Vapor	No Aplica
Peso Molecular	Ej. 255.36 g/mol ($\text{Na}_2\text{O} + 3.22 \text{SiO}_2$)	Porcentaje de Volatilidad	No Aplica

LÍMITE DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD	
Límite Superior	No Aplica
Límite Inferior	No Aplica

HDS-SH-02 06/11/07 Rev. 3



SILICATO DE SODIO LÍQUIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección V Riesgos de Fuego o Explosión

Medio de Extinción	Este material no es combustible. Este material es compatible con todos los medios de extinción.
EPP para Combate de Incendio	El siguiente equipo de protección para bomberos es recomendado cuando este material este presente en el área del fuego: googles resistentes a químicos, overol, guantes resistentes a químicos y botas de goma.
Precauciones Especiales	No Aplica
Otro Riesgo Especial	No Aplica
Productos de la Combustión	No Aplica

Sección VI Datos de Reactividad

Reactividad	Este material es estable bajo cualquier condición de manejo y almacenamiento.
Incompatibilidad	Este material es alcalino, genera calor al mezclarse con ácidos. Puede reaccionar con soluciones de sal de amonio resultando en la evolución de gas de amonio. Puede producir gas de hidrogeno al entrar en contacto con aluminio, estaño, plomo, y zinc.
Descomposición Peligrosa	Hidrogeno
Polymerización	Espontánea
Condiciones a Evitar	No Aplica

Sección VII Riesgos a la Salud y Primeros Auxilios

RIESGOS A LA SALUD SEGUN LA VIA DE ACCESO AL ORGANISMO	
Ingestión	Causa irritación en boca, esófago y estómago.
Inhalación	El polvo es irritante para el tracto respiratorio.
Contacto	Causa ligera irritación en la piel. Causa irritación leve en los ojos.

SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO	
Carcinógena	No listado como carcinógeno
Mutagénica	No Disponible
Teratogénica	No Disponible

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	
CL ₅₀	No Disponible
DL ₅₀	No Disponible
Efectos por Sobre Exposición	No se conocen riesgos por sobre exposición.
Otro Tipo de Riesgos	En caso de derrame el piso se puede tornar muy resbaloso.
Antídoto	No Aplica

MEDIDAS PRECAUTORIAS EN CASOS ESPECIFICOS	
Ingestión	NO INDUZCA EL VÓMITO. Solicite atención médica de inmediato. Si la víctima se encuentra totalmente consciente, de un vaso de agua. Nunca de nada por la boca a una persona inconsciente
Inhalación	Traslade a un lugar fresco. Si no respira, proporcione respiración artificial. Si la respiración se dificulta, proporcione oxígeno.
Piel	En caso de contacto, lave inmediatamente con abundante agua. Remueva los zapatos y ropa contaminada. Solicite atención médica.
Ojos	En caso de contacto, lave inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos. Solicite atención médica.



SILICATO DE SODIO LÍQUIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección VIII Indicaciones en caso de Fuga o Derrame

PROCEDIMIENTOS Y PRECAUCIONES INMEDIATAS

- En caso de un pequeño derrame, barra y recoja cuidadosamente el material derramado con una pala y colóquelo en un contenedor adecuado. Evite la generación de polvo. Use adecuado equipo de protección personal.
- En caso de un gran derrame, mantengan alejado al personal innecesario, aisle el área y no permita el acceso. No toque o camine por encima del material derramado. Barra y recoja cuidadosamente el material derramado con una pala y colóquelo en un contenedor adecuado. Evite la generación de polvo. Use adecuado equipo de protección personal. En caso de contacto con agua, prevenga que la sustancia llegue al alcantarillado o depósitos de agua natural. Cumpla con las regulaciones ambientales aplicables.

METODO DE MITIGACIÓN

- Construya diques para contener el derrame con material inerte, arena o cal, en caso de entrar en contacto con el agua.
- Evite que el material llegue al alcantarillado o a depósitos de agua natural.

Sección IX Protección Especial Específica para Situaciones de Emergencia

Protección Ocular Facial	Lentes de seguridad.
Protección Respiratoria	Respirador contra partículas aprobado por NIOSH donde se genere polvo.
Ropa Protectora	Ropa de trabajo y casco de seguridad estándar, guantes de carmaza o piel y botas de seguridad.

Sección X Información sobre Transportación

N° DOT	No se encuentra regulado como material peligroso para su transportación.
N° ONU	No se encuentra regulado como material peligroso para su transportación.
Clasificación	No Aplica
Grupo de Embalaje	No Aplica

Sección XI Información sobre Ecología

COMPORTAMIENTO DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
Aire	No Disponible
Agua	No Disponible
Suelo	No Disponible

EFECTOS	
Flora	No Disponible
Fauna	Este material no es persistente en sistemas acuáticos, sin embargo, su alto pH cuando no es diluido o neutralizado es sumamente dañino para la vida acuática.



SILICATO DE SODIO LÍQUIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección XII Precauciones Especiales

Manejo:	Evite el contacto con los ojos, piel y ropa. Mantenga los contenedores cerrados. Limpie inmediatamente los derrames de material.
Transportación:	Ninguna
Almacenamiento:	Mantenga los contenedores cerrados. Almacene en contenedores de plástico o acero. Separe de ácidos, metales reactivos y sales de amonio. No almacene en contenedores de aluminio, fibra de vidrio, cobre, latón, zinc o galvanizados.
Especial:	Use solamente con ventilación adecuada. Mantenga los contenedores cerrados. Mantenga el libre acceso a regaderas y lavajos.



Sección XIII Otra Información

La información contenida en esta Hoja de Datos de Seguridad se cree la más adecuada y la mejor disponible de Silicatos y Derivados SA de CV. Este documento tiene como intención proporcionar sólo una guía sobre las precauciones para el manejo adecuado del material por personal capacitado en el manejo de químicos. Silicatos y Derivados SA de CV no ofrece ninguna garantía comercial o cualquier otra, explícita o implícita, con respecto a la información o al producto relacionado, y no asume ninguna responsabilidad del resultado del uso o manejo del producto o de la información contenida en esta Hoja de Datos de Seguridad.

La información precedente se fundamenta en nuestros conocimientos y experiencia actuales sobre nuestro producto, por lo tanto, no es exhaustiva; y esta sólo aplica al producto que se define en las especificaciones. En caso de tratarse de combinaciones o mezclas, se deberá cerciorar de que no existe la posibilidad de que puedan ocurrir eventos peligrosos. En cualquier caso, el usuario no está exento de observar y cumplir con todos los procedimientos legales, administrativos y reglamentarios relacionados con el producto, la higiene personal y la integridad del ambiente de trabajo.

En ningún caso Silicatos y Derivados SA de CV tendrá responsabilidad u obligación alguna respecto a cualquier daño indirecto, especial, consecuencial, incidental o punitivo ocasionado por la información contenida en el presente documento, así como tampoco por el uso indebido o incorrecto que se haga de dicha información. Silicatos y Derivados SA de CV no será responsable, bajo ninguna circunstancia, del incumplimiento o inobservancia de las disposiciones legales o normativas de la República Mexicana relacionadas con el debido uso, manejo, transporte, almacenamiento y/o desecho de productos o residuos peligrosos por parte del lector, cliente o por aquella(s) persona(s) que haga(n) uso del presente documento.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		CS : 0360 Mayo 2010	
CAS: 1310-73-2 NU: 1823 CE Índice Anexo II 011-002-00-0 CE / ENEC3: 215-185-0	Sosa cáustica Hidrato de sodio Sosa NaOH Masa molecular: 40.0		
TPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Vision borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2)-26-37/39-43 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFFA: H3; F0; R1		Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			
			

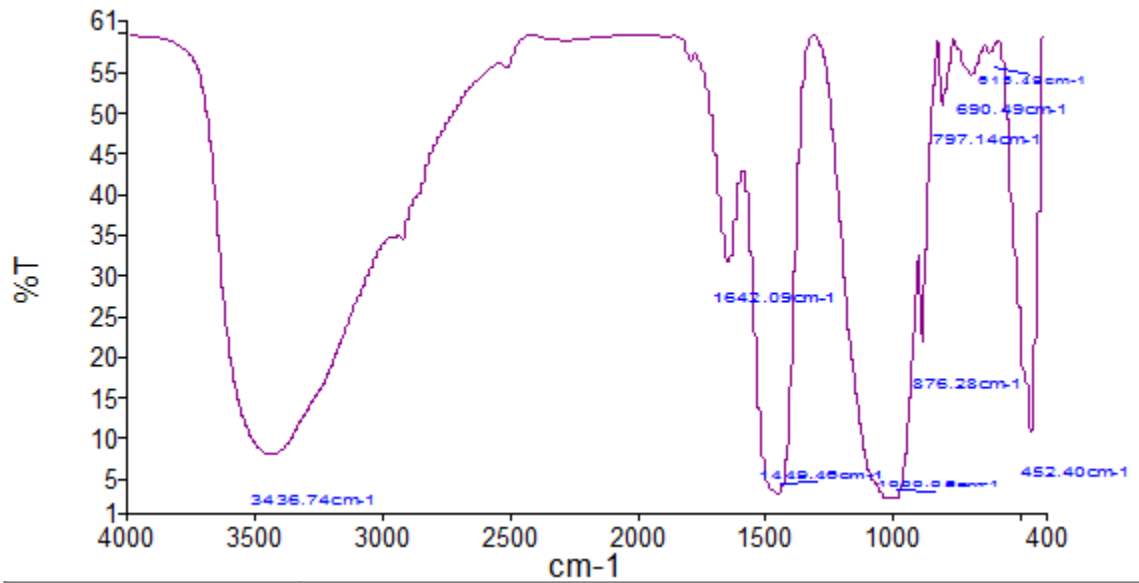
VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICS : 0360
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 2 mg/m³ (Valor techo) (ACGIH 2010). MAK: 1lb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm³</p> <p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).</p>		
DATOS AMBIENTALES		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadría al agua siempre lentamente. Otro nº NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-EC: 2 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2010		

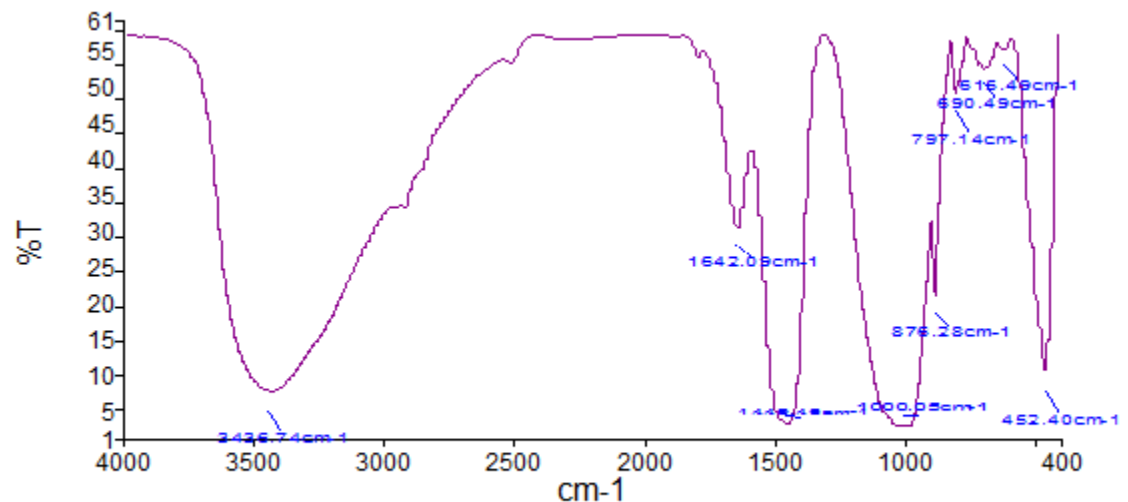
ANEXO E
RESULTADOS DEL FTIR

Gráfico del espectro



Nombre	Descripción
CH1_1	Muestra 011 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Gráfico de la tabla de picos

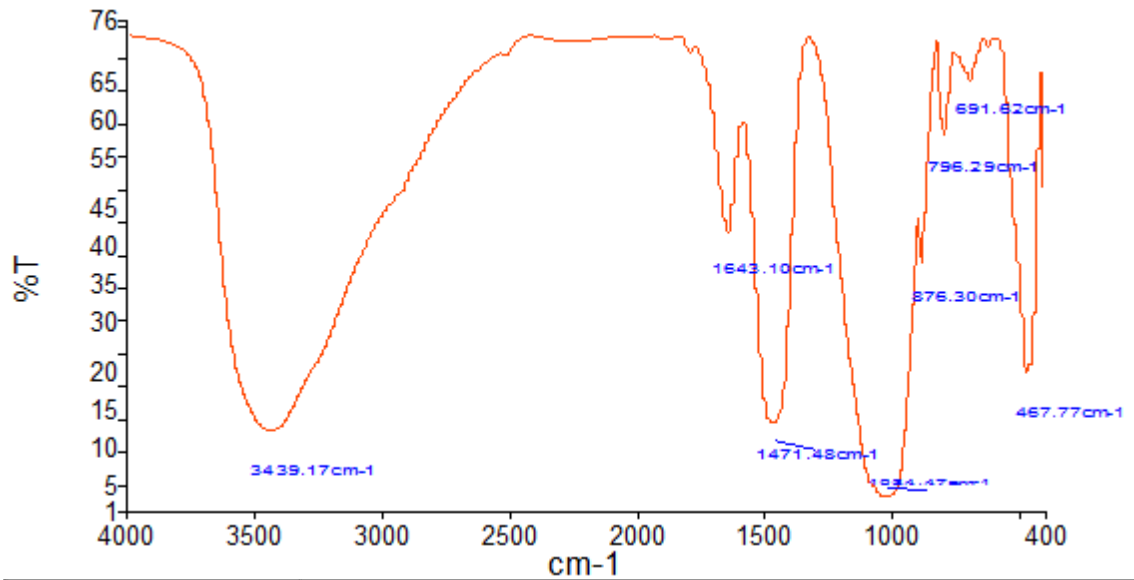


Nombre	Descripción
CH1_1	Muestra 011 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Tabla de picos

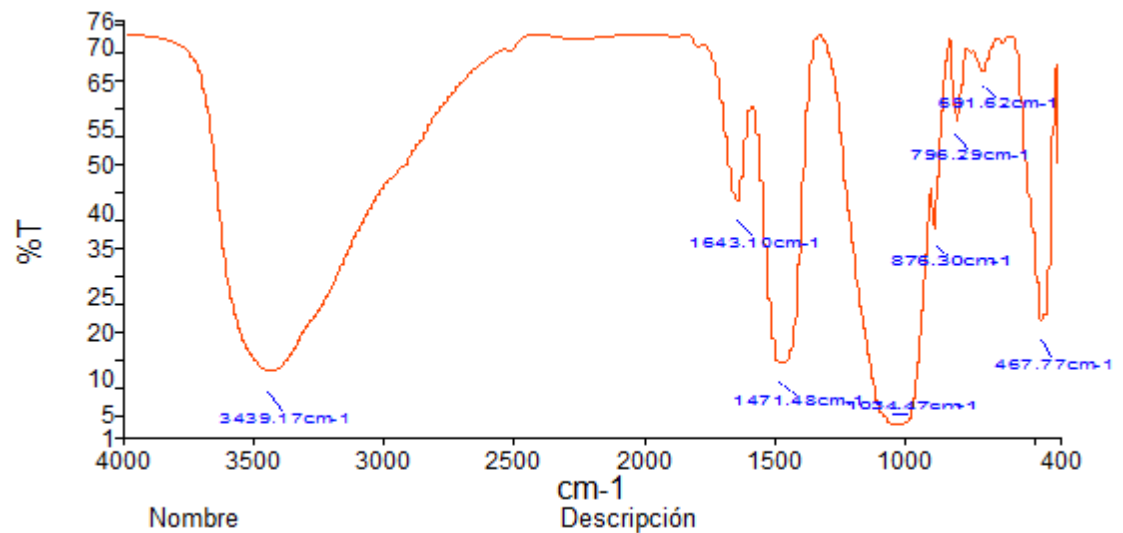
Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3436,74	7,79	2	1642,09	31,7	3	1449,46	2,96
4	1000,05	2,31	5	876,28	21,67	6	797,14	51,34
7	690,49	55,03	8	615,49	57,75	9	452,4	10,61

Gráfico del espectro



Nombre	Descripción
CH2	Muestra 009 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Gráfico de la tabla de picos

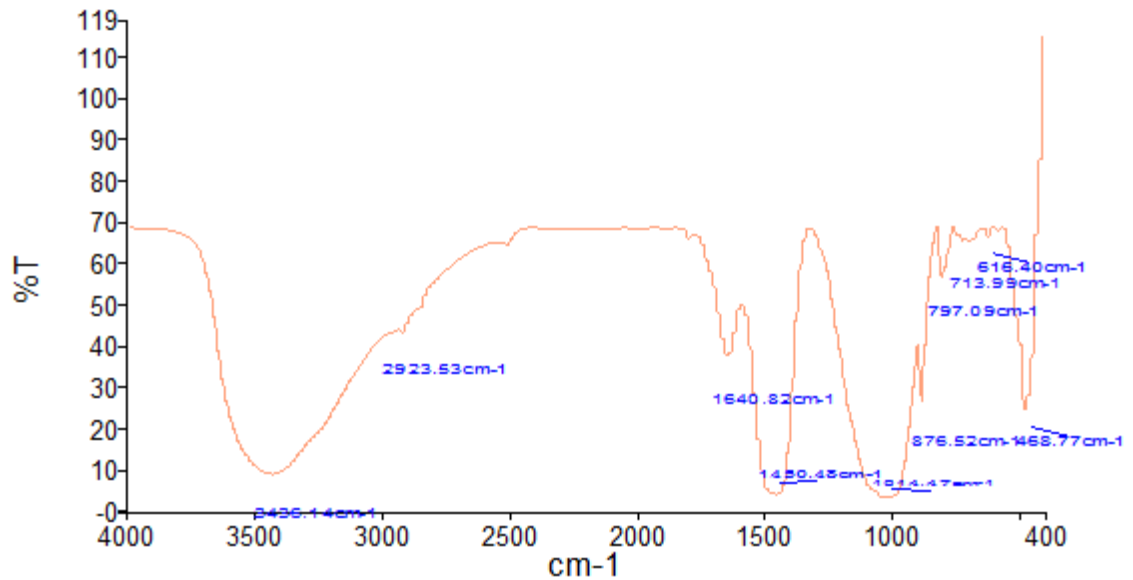


Nombre	Descripción
CH2	Muestra 009 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Tabla de picos

Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3439,17	13,01	2	1643,1	43,77	3	1471,48	14,36
4	1034,47	2,85	5	876,3	38,83	6	796,29	58,64
7	691,62	67,23	8	467,77	22,15			

Gráfico del espectro



Nombre	Descripción
CH3_1	Muestra 008 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Gráfico de la tabla de picos

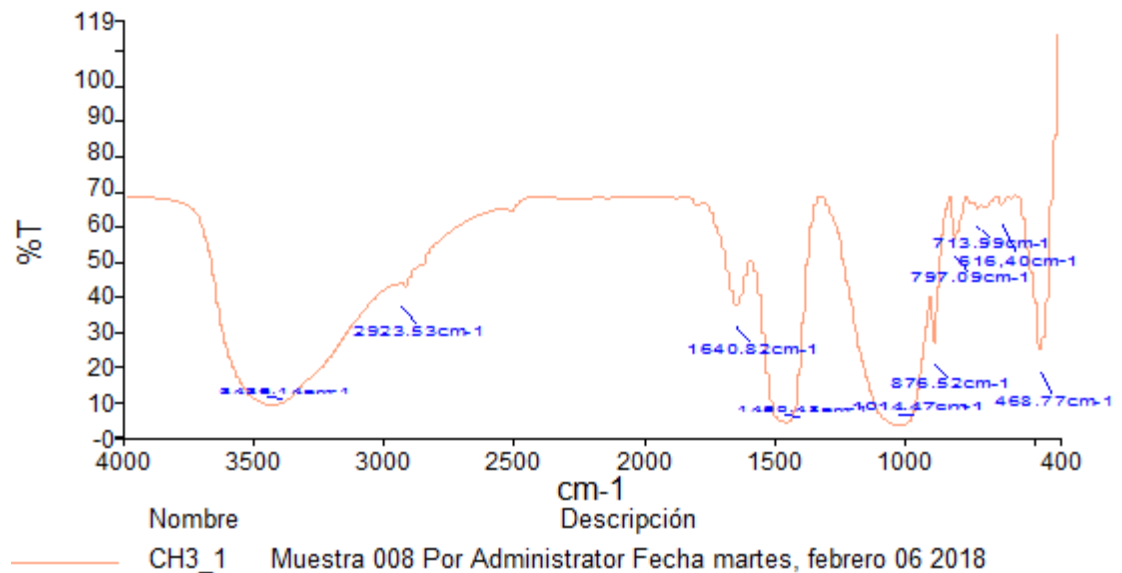
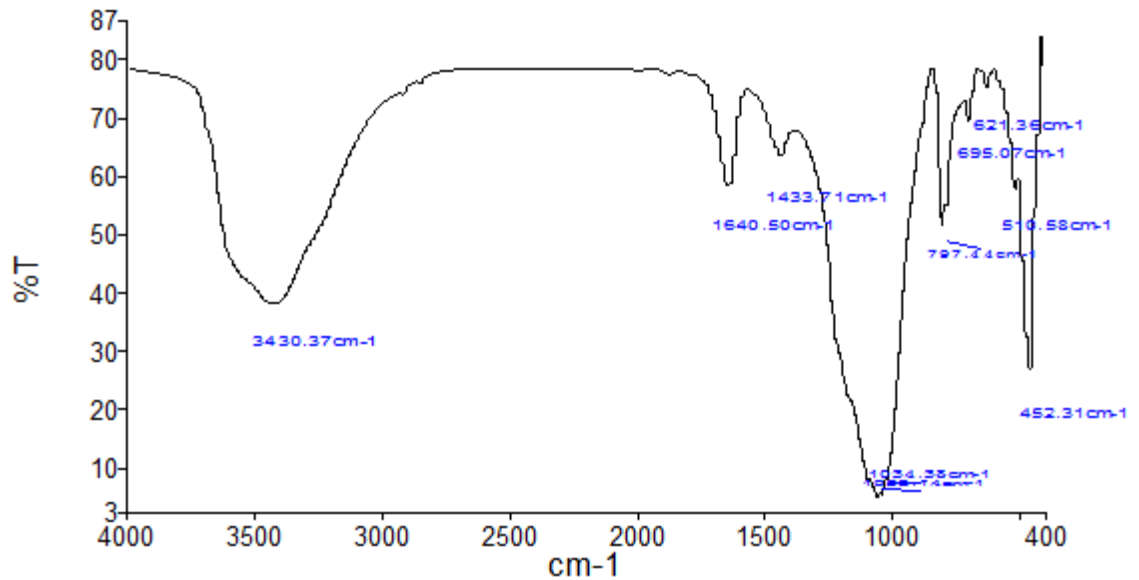


Tabla de picos

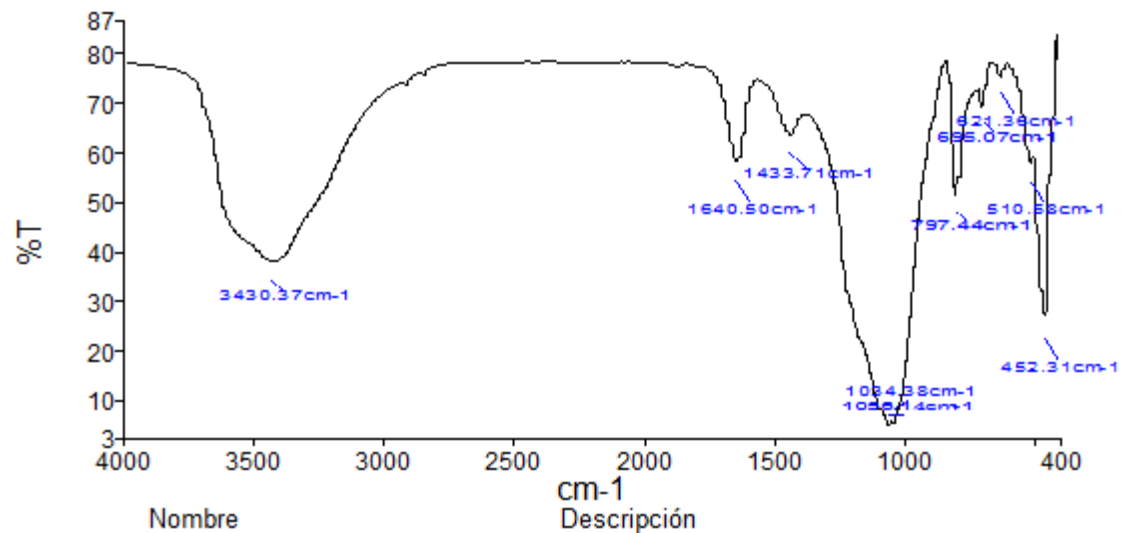
Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3436,14	8,62	2	2923,53	43,24	3	1640,82	37,56
4	1450,48	3,65	5	1014,47	2,8	6	876,52	26,36
7	797,09	56,82	8	713,99	65,65	9	616,4	66,89
10	468,77	24,56						

Gráfico del espectro



Nombre	Descripción
___ Zeolita	Muestra 015 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Gráfico de la tabla de picos

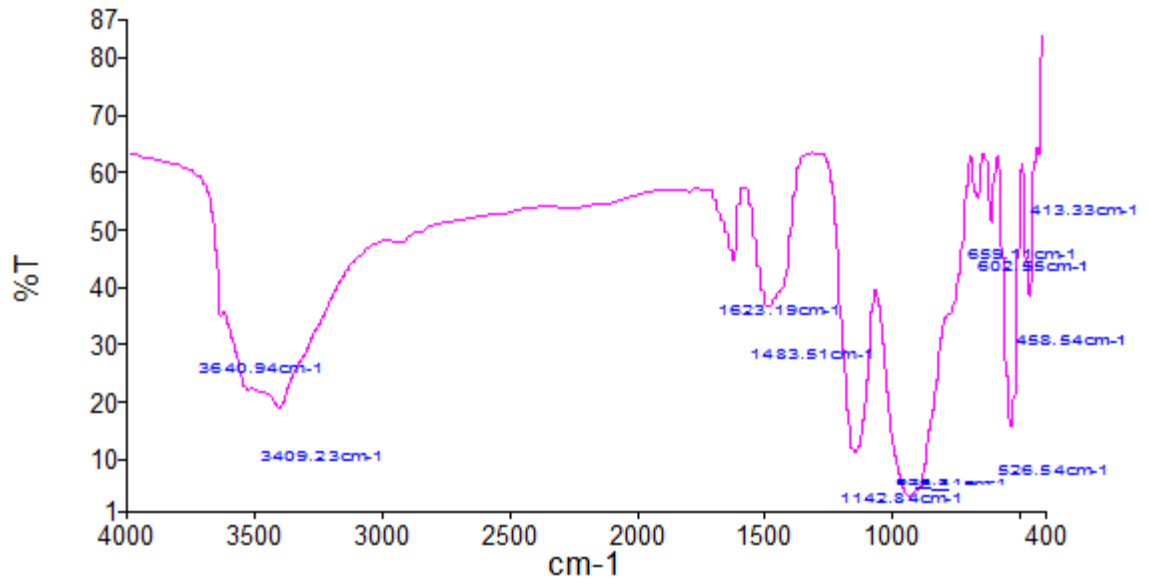


Nombre	Descripción
___ Zeolita	Muestra 015 Por Administrator Fecha martes, febrero 06 2018

Tabla de picos

Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3430,37	38,14	2	1640,5	58,76	3	1433,71	63,96
4	1056,14	4,51	5	1034,38	5,05	6	797,44	51,92
7	695,07	70,05	8	621,36	76,17	9	510,58	58,27
10	452,31	26,8						

Gráfico del espectro



Nombre	Descripción
Cemento_1	Muestra 017 Por Administrator Fecha miércoles, febrero 07 2018

Gráfico de la tabla de picos

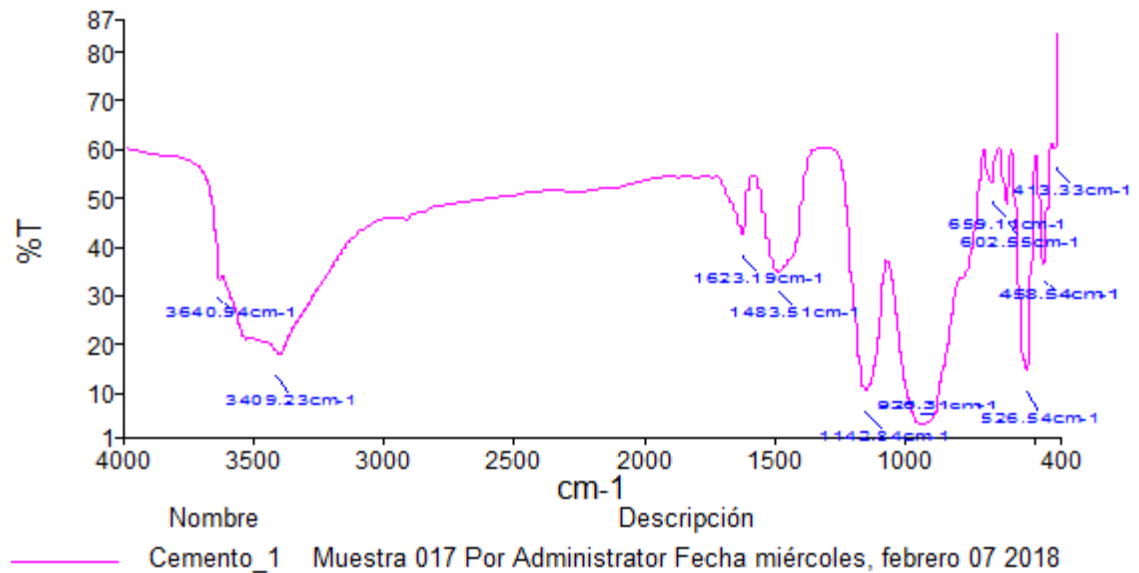


Tabla de picos

Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)	Pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3640,94	33,62	2	3409,23	17,82	3	1623,19	42,63
4	1483,51	35,06	5	1142,84	10,48	6	926,31	3,06
7	659,11	53,59	8	602,55	49,4	9	526,54	14,68
10	458,54	36,89	11	413,33	60,65			

BIBLIOGRAFÍA

Abrams, D. (1999). Design of concrete mixtures. Structural Materials Research Laboratory - Lewis Institute. Chicago.

Agrawal, U. S., Wanjari, S. P., & Naresh, D. N. (2017). Characteristic study of geopolymer fly ash sand as a replacement to natural river sand. *Construction and Building Materials*, 150, 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.029>

Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & Salem, H. A. (2016). Effect of water addition, plasticizer and alkaline solution constitution on fly ash based geopolymer concrete performance. *Construction and Building Materials*, 121, 694–703. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.062>

ASTM C109M-02. (2007). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. *Annual Book of ASTM Standards*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.1520/C0109>

ASTM C305. (2011). Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. *ASTM International*, 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0305-13.2>

Auqui, N. U., Baykara, H., Rigail, A., Cornejo, M. H., & Luis, J. (2017). An investigation of the effect of migratory type corrosion inhibitor on mechanical properties of zeolite-based novel geopolymers. *Journal of Molecular Structure*, 1146, 814–820. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.06.066>

Carlos, J., Cruz, D., María, J., & Colorado, D. (2014). A Much Better Concrete with Zeolite Additions- State of the Art Review. <https://doi.org/10.15242/IIE.E0514558>

Dassekpo, J. M., Zha, X., & Zhan, J. (2017). Synthesis reaction and compressive strength behavior of loess-fly ash based geopolymers for the development of sustainable green materials. *Construction and Building Materials*, 141, 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.034>

David Rodríguez Martínez, E., & Paya Bernabeu José María Monzó Balbuena, J. (2009). EFICIENCIA DE ACTIVADORES ALCALINOS BASADOS EN DIFERENTES FUENTES DE SILICE PARA LA PRODUCCION DE SISTEMAS GEOPOLIMERICOS DE CENIZA VOLANTE.

Enseñat de Villalonga, A., & Villalonga, A. E. de. (1977). La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica. *Materiales de Construcción*, 27(166–167), 221–241. <https://doi.org/10.3989/mc.1977.v27.i166-167.1180>

Galán García, I., Andrade PerdríX, C., Prieto Rábade Opto delIngenieríaEstructuralyMecdnicadematerialescompuestos, M., Pedro Mora PeriS Director, Lej., Carlos López, J., & Ángel Sanjuán Barbudo Ota Técnico delDpta deCaliáadIndustrialyMedioambiental IECA, M. (2010). Estudio del efecto sumidero de CO₂ de los materiales de base cemento. *Cemento Hormigón*, 939, 70–83.

Guades, E. J. (2016). Experimental investigation of the compressive and tensile strengths of geopolymer mortar : The effect of sand / fly ash (S / FA) ratio. *Construction and Building Materials*, 127, 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.030>

Guo, X., Shi, H., & Dick, W. A. (2010). Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.003>

Hernández, J. (2015). Calor de hidratación del concreto de Jose Leonardo Hernandez Ake en Prezi.

INEN. (2002). NTE INEN 2380:2011 Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Norma Inen 2380 - 2011 Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1(Primera Edición), 5. Retrieved from <http://181.112.149.203/buzon/normas/2380.pdf>

INEN 0488, N. (2009). Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 21.

Malkawi, A. B., Fadhil, M., Fauzi, A., & Almattarneh, H. (2016). Effects of Alkaline Solution on Properties of the HCFA Geopolymer Mortars. *Procedia Engineering*, 148, 710–717. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.581>

Morante, F. (2004). Las Zeolitas De La Costa De Ecuador (Guayaquil): Geología , Caracterización.

NTE INEN 1806 Cemento para Mampostería Requisitos. (2016). Norma INEN 1806 - 2016 Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Okoye, F. N., Durgaprasad, J., & Singh, N. B. (2015). Mechanical properties of alkali activated flyash / Kaolin based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 98, 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.009>

Patankar, S. V., Ghugal, Y. M., & Jamkar, S. S. (2014). Effect of Concentration of Sodium Hydroxide and Degree of Heat Curing on Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Indian Journal of Materials Science*, 2014, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/938789>

Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hanumantha Rao, B., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.041>

Qu, B., Martin, A., Pastor, J. Y., Palomo, A., & Fernández-Jiménez, A. (2016). Characterisation of pre-industrial hybrid cement and effect of pre-curing temperature. *Cement and Concrete Composites*, 73, 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.07.019>

Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(16), 1073–1078. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>

Sánchez Berriel, S., Favier, A., Rosa Domínguez, E., Sánchez MacHado, I. R., Heierli, U., Scrivener, K., ... Habert, G. (2016). Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba. *Journal of Cleaner Production*, 124, 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.125>

Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., & Bolio, H. (2011). Sustainable cement production-present and future. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 642–650. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>

Shehab, H. K., Eisa, A. S., & Wahba, A. M. (2016). Mechanical properties of fly ash based geopolymer concrete with full and partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 126, 560–565. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.059>

Shi, C., Jiménez, A. F., & Palomo, A. (2011). New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 750–763. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.016>

Singh, B., Rahman, M. R., Paswan, R., & Bhattacharyya, S. K. (2016). Effect of activator concentration on the strength, ITZ and drying shrinkage of fly ash/slag geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 118, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.008>

Solís Galván, J. C. (2012). Elementos clave de la gestión de tecnología con impacto en la eficiencia energética en las plantas de cemento. Caso de estudio plantas de cemento.

Taylor, H. F. W. (Harry F. W. . (1997). Cement chemistry. T. Telford.

U.S. Geological Survey, 2017. (2017). MINERAL COMMODITY SUMMARIES
2017 (U.S. Geolo). <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/70180197>

Villa, C., Pecina, E. T., Torres, R., & Gómez, L. (2010). Geopolymer synthesis
using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*,
24(11), 2084–2090. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052>