

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICOMECÁNICAS DE  
GEOPOLIMEROS UTILIZANDO GRANITO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA  
LADRILLERA COMO MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS AL CEMENTO  
PORTLAND TIPO I**

**FABIOLA MARINA CORONADO LIZARAZO  
PAOLA ANDREA FLOREZ ARIAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2010**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICOMECÁNICAS DE  
GEOPOLIMEROS UTILIZANDO GRANITO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA  
LADRILLERA COMO MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS AL CEMENTO  
PORTLAND TIPO I**

**FABIOLA MARINA CORONADO LIZARAZO  
PAOLA ANDREA FLOREZ ARIAS**

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de geólogo**

**DIRECTOR:  
Ph.D CARLOS ALBERTO RIOS REYES  
GEÓLOGO**

**CODIRECTOR:  
LUIS EDUARDO MORENO TORRES  
INGENIERO CIVIL**

**ORLANDO ARDILA  
GEÓLOGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUCARAMANGA  
2010**

## DEDICATORIA

*A mis padres Gustavo y Marina por su sacrificio, su apoyo, su paciencia, su colaboración en los momentos que más los he necesitado y por darme la fuerza necesaria para alcanzar esta meta tan importante en mi vida.*

*A mis hermanos Carlos y Gustavo, por su cariño y por estar siempre ahí cuando necesite de sus conocimientos.*

*A mis amigas, Gudis, Aleja, Rocio, Fabis, por ser cómplices de locuras, tristezas, alegrías, etc..., durante esta etapa de mi vida y lo más importante, por su amistad durante todos estos años y que espero sea por muchos más.*

*A mi Amorcito Pichuchis por estar siempre a mi lado, por su apoyo durante este proceso, por regalarme los mejores momentos de felicidad, por su amor incondicional y por hacer parte de mi vida en el momento preciso.*

***Paola Andrea Flórez Arias***

## DEDICATORIA

*Primordialmente doy gracias a DIOS por permitirme llegar a esta meta tan deseada, dándome las fuerzas necesarias para seguir luchando día tras día rompiendo todas las barreras que se me presenten.*

*A mi hija Leszly Fabiana por ser el impulso y la fuerza que me hacía falta*

*A mis padres, Cristina Lizarazo que con sus oraciones y sabios consejos me has guiado siempre hacia delante; Luis F. Coronado por su fe y confianza que siempre me has brindado. Les debo todo*

*A mis hermanos Wilder y Auriol por soportarme y ser el apoyo moral que me brindaron durante mis estudios, apoyo que recordare siempre como ejemplo de lucha y superación.*

*A cesar René por ser la compañía y respaldo en los momentos buenos y malos de mi vida.*

*A mis amigas(os), Adri, chiru, Paflow, Marlyn, Paola, Nina, Maryi, Pigueluchis, Erick, Oskeiro, Raúl, por compartir esos secretos, chismes y aventuras que solo se pueden vivir entre amigos y sobre todo gracias por su amistad y a todos aquellos que no nombro por lo extensa que sería la lista.*

*Los quiero mucho....*

***Fabiola M. Coronado Lizarazo***

## AGRADECIMIENTO

Al Geólogo Carlos Alberto Ríos director de nuestro proyecto de grado, por sus aportes, tiempo y su interés en la realización de este proyecto.

A los codirectores, el Ingeniero Luis Eduardo Moreno; al Geólogo Orlando Ardila, por su colaboración y guía en el desarrollo de este proyecto.

A los laboratoristas de ANDINA INGENIERIA, por su colaboración, paciencia e incondicional servicio prestado en los momentos previos a la investigación.

A los profesores y cuerpo administrativo de la Escuela de Geología, por crear espacios académicos que nos posibilitaron el acceso al conocimiento.

A nuestros amigos: Chiru, Adri, Lonchi, Gustavez, Jonma, Lucho, nando, familiares... y todas las personas que de una u otra forma estuvieron involucradas en este proyecto..... GRACIAS.....

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
2. MARCO REFERENCIAL	8
2.1 MARCO TEÓRICO	8
2.1.1 Geopolímeros.	9
2.1.2 Geopolimerización.	10
2.1.3 Cemento Portland.	11
2.1.4 Cemento.	13
2.1.5 Arena.	14
2.1.6 Mortero.	15
2.1.7 Agua.	16
2.1.8 Aditivos.	16
2.1.9 Granito de Pescadero	17
2.1.10 Retal de Ladrillo.	17
2.2 MARCO NORMATIVO	19
3. MATERIALES	20
3.1 MATERIAL CEMENTANTE Y AGREGADOS	20
3.2 ADICIONES MINERALES	20
3.3 ADITIVOS QUIMICOS	22
3.4 AGUA	22
4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	23
4.1 GENERALIDADES	23

4.2 FASES DE LA INVESTIGACION	23
4.2.1 Selección y preparación de los materiales.	24
4.2.2 Caracterización de los materiales.	25
4.2.3 Fase de elaboración de las probetas.	39
4.2.4 Interpretación de resultados.	45
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	55
ANEXOS	60

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones NTC (Normas Técnicas Colombianas) para Cementos portland Tipo I	12
Tabla 2. Normas I.N.V.E (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS).	19
<i>Tabla 3.</i> Porcentajes de la materia prima a utilizar para la elaboración de los morteros.	23
Tabla 4. Fases minerales de los materiales.	26
<i>Tabla 5.</i> Datos granulométricos para el cemento	29
Tabla 6. Datos granulométricos para el retal de ladrillo	30
<i>Tabla 7.</i> Datos granulométricos para el Granito	30
<i>Tabla 8.</i> Datos para la clasificación de los agregados según la cantidad de materia orgánica	33
<i>Tabla 9.</i> Cantidad de materiales para la preparación de 6 probetas y 9 probetas según la Norma NTC 220.	40
<i>Tabla 10.</i> Cantidad y relación de los materiales a utilizar para 27 probetas	40
<i>Tabla 11.</i> Variables del experimento, con arena lavada	40
<i>Tabla 12.</i> Variables del experimento, con arena no lavada	41

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Granito de Pescadero	17
<i>Figura 2a y 2b.</i> Localización Planta de Producción del Ladrillo.	18
<i>Figura 3.</i> Granito de Pescadero, pulverizado y tamizado	21
<i>Figura 4.</i> Retal de Ladrillo, pulverizado y tamizado	21
<i>Figura 5.</i> Mortero de Ágata	
<i>Figura 6.</i> Tamizador Mecánico	24
<i>Figura 7.</i> Difractómetro de polvo (DRX)	26
<i>Figura 8.</i> Desarrollo de la prueba de modulo de finura	28
<i>Figura 9.</i> Serie de tamices	32
<i>Figura 10.</i> Desarrollo de la prueba de Azul de Metileno	32
<i>Figura 11.</i> Desarrollo de la prueba de peso unitario y porcentaje de vacios	34
<i>Figura 12.</i> Lupa Microscópica	35
<i>Figura 13.</i> Frasco de Le Chatelier	36
<i>Figura 14.</i> Prensa para concreto PINZUAR DIGITAL.	38
<i>Figura 15.</i> Mezcla de materiales y preparación de los moldes.	42
<i>Figura 16.</i> Moldes que contiene el mortero.	43
<i>Figura 18.</i> Horno (Binder, E D53-UL # 03-51342)	44
<i>Figura 19.</i> Probetas sometidas a la prueba de resistencia a la compresión	45
<i>Figura 20.</i> Peso específico de los materiales alternativos y cemento	46
<i>Figura 21.</i> Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente.	47
<i>Figura 22.</i> Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente y con ataque de sulfato de Magnesio (MgSO <sub>4</sub> ).	48
<i>Figura 23.</i> Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente y con ataque de acido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).	49
<i>Figura 24.</i> Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C.	50

*Figura 25.* Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C y con ataque de sulfato de Magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ). 51

*Figura 26.* Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C y con ataque de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). 52

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1. Ficha técnica del silicato de sodio.	60
ANEXO 2. Espectro de DRX de la arena lavada	61
ANEXO 3. Espectro de DRX del Granito	62
ANEXO 4. Espectro de DRX del retal de Ladrillo	63
ANEXO 5. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	64
ANEXO 6. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	65
ANEXO 7. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente	66
ANEXO 8. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	67
ANEXO 9. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	68
ANEXO 10. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	69
ANEXO 11. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	70

ANEXO 12. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.	71
ANEXO 13. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	72
ANEXO 14. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	73
ANEXO 15. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	74
ANEXO 16. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO-LLO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	75
ANEXO 17. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	76
ANEXO 18. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	77
ANEXO 19. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	78
ANEXO 20. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.	79
ANEXO 21. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas de cemento (CPO) con arena lavada curada a temperatura ambiente.	80

ANEXO 22. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas de cemento (CPO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente. 81

## RESUMEN

**TITULO:** “ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICOMECÁNICAS DE GEOPOLIMEROS UTILIZANDO GRANITO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA LADRILLERA COMO MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS AL CEMENTO PORTLAND TIPO I”.<sup>1</sup>

**Autor(es):** CORONADO LIZARAZO Fabiola Marina, FLOREZ ARIAS Paola Andrea \*\*

**Palabras Claves:** Geopolimerización, Activación alcalina, Morteros, Resistencia a la compresión, Fraguado, Curado, Cemento portland tipo 1.

Materiales alternativos como lo son retal de ladrillo y el granito pueden ser utilizados para reemplazar el cemento Portland en la industria de construcción. Sin embargo estos materiales han sido poco estudiados, por tanto no se utilizan actualmente en la producción del concreto hidráulico. Con base a lo anterior, en este estudio se analizaron estos dos materiales alternativos para ver su comportamiento con respecto al cemento portland tipo 1, sustituyéndolo en proporciones del 20% y el 100%, el cual sufre un proceso de geopolimerización mediante una activación alcalina: Hidróxido de Sodio (NaOH) [8M] y Silicato de Sodio Neutro 42 (NaOH + Na<sub>2</sub>O:3,2SiO<sub>2</sub>), debido a su contenido de sílice y alúmina. Se evaluaron la resistencia a la compresión simple para las edades de 7, 14 y 28 días; se atacaron con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentración de PH= 1 y sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>) para las edades de 7, 14 y 21 días, todas las probetas o morteros fueron curadas a temperatura ambiente. Para realizar estos tipos de pruebas se prepararon 486 probetas, donde se hicieron 27 probetas por cada material con arena lavada y no lavada, estallándose tres ejemplares para cada edad determinada, con fraguado a temperatura ambiente de 65°C.

Como fase final de esta investigación, se compararon los resultados obtenidos en cada una de las pruebas, donde los materiales alternativos con respecto al cemento, se determinó que el porcentaje óptimo para reemplazar el cemento portland tipo 1 por materiales alternativos es el 20%.

---

1 Trabajo de Modalidad Investigación. 2010

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – químicas, Escuela de Geología. Director Geólogo PhD. Carlos Alberto Ríos Reyes.

## ABSTRACT

**TITLE: STUDY COMPARATIVE OF THE PROPERTIES PHYSICAL - MECHANICAL OF GEOPOLYMERS USING GRANITE AND RESIDUALS OF THE BRICK INDUSTRY LIKE RAW MATERIAL ALTERNATIVE TO THE CEMENT PORTLAND TYPE I\***

**AUTHORS:** CORONADO LIZARAZO Fabiola Marina, FLORES ARIAS Paola Andrea\*\*

**KEYWORDS:** Geopolymerization, Alkaline activation, Mortars, Resistance to the compression, Forge, Cured, Cement Portland type I.

Alternative materials as the patch of brick and the granite can be used to replace the Portland cement in the construction industry. However these materials have been little studied, therefore they are not used at the moment in the production of the hydraulic concrete. With base to the above-mentioned, in this study these two alternative materials were analyzed to see their behavior with regard to the Portland cement type 1, substituting it in proportions of 20% and 100%, which suffers a geopolymerization process by means of an alkaline activation: Sodium Hydroxide (NaOH) [8M] and Sodium Silicate Neuter 42 ( $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{O}:3,2\text{SiO}_2$ ), due to their silica content and alumina. Were evaluated the resistance to the simple compression for the ages of 7, 14 and 28 days; it's were attacked with sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentration of PH = 1 and magnesium sulfate ( $\text{MgSO}_4$ ) for the ages of 7, 14 and 21 days, all the test tubes or mortars were cured to ambient temperature. To carry out these types of tests, was got ready 486 test tubes, where 27 test tubes were made by each material with washed sand and not washed, being exploded three copies for each certain age, with having forged at ambient temperature the 65°C.

As final phase of this investigation, the results were compared obtained in each one of the tests, where the alternative materials with regard to the cement, was determined that the optimum percentage to replace the Portland cement type 1 for alternative materials is 20%.

---

\* Research work 2010

\*\* Faculty of Physical Chemistry Engineering, School of Geology. Ph.D. Carlos Alberto Ríos Reyes.

## INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del crecimiento poblacional y desarrollo socioeconómico, la demanda de cemento Portland como material de construcción ha venido aumentando a nivel mundial, la producción convencional del cemento Portland puede ocasionar problemas ambientales que se derivan del calentamiento global, como las altas emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la calcinación de las calizas para obtener clinker y quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para su procesamiento. La industria cementera mundial está buscando vías experimentales que permitan desarrollar cementos que precisen menor energía en su formación, degraden menos los entornos y emitan menos gases contaminantes a la atmósfera. (*Davidovits, 1994<sup>a</sup>, McCaffery, 2002*)<sup>1,2</sup>.

El empleo de diferentes residuos o subproductos industriales y materiales geológicos como materiales alternativos en la fabricación de cemento se ha revelado como un medio muy efectivo para alcanzar, en gran parte, esta sostenibilidad.

Los geopolímeros tiene un elevado potencial para ser usados en diversos campos, pero predomina el uso como sustituto de cementos portland. Los geopolímeros tiene la ventaja de tener bajas emisiones de CO<sub>2</sub> en su producción, una gran resistencia química y térmica, y buenas propiedades mecánicas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas.

Algunos trabajos de geopolímeros, como el de *Soares, P., et al (2008)*<sup>3</sup>, muestran la transformación de materiales geológicos en geopolímeros mediante la activación alcalina y los caracterizan según sus propiedades mecánicas, composición y microestructura.

El siguiente trabajo de grado se realiza con el fin de encontrar nuevos materiales con baja producción de gases contaminantes y conocer algunas propiedades fisicomecánicas de los materiales propuestos, sustituyendo el cemento Portland de manera parcial o total.

## 1. PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planeta está en proceso acelerado de calentamiento global, debido a la acumulación en la atmósfera de una serie de gases que, procedente de actividades humanas, retienen el calor que recibimos del sol, actuando como un abrigo o un invernadero. El  $\text{CO}_2$  es uno de los principales gases emitidos hacia la atmósfera el cual contribuye con cerca del 65% del calentamiento global, siendo la industria cementera una de las responsables directas de las emisiones de dicho gas, produciendo entre 5% a 7% del total de las emisiones de  $\text{CO}_2$  en el mundo (en términos de producción, hay una generación promedio de 170 millones de toneladas de cemento por año). (Aristizábal, J. y Luengas, C.2004)<sup>4</sup>

Los estudios que se han realizado últimamente con respecto a los materiales cementantes se fundamentan en el desarrollo de sistemas basados en fases que constituyen el clinker del cemento Portland. Estos sistemas cementantes han servido adecuadamente, pero presentan algunos inconvenientes como el gran consumo de energía que supone su síntesis, la baja resistencia a la corrosión de sus productos de hidratación que genera una disminución en su durabilidad. Desde el punto de vista mecánico, la resistencia por parte de estos materiales a medios acuosos con pH moderadamente ácidos, y a elevadas concentraciones de sulfatos es muy débil.

Dado que la materia prima son residuos de la industria ladrillera y material geológico (granito) se considera oportuno su utilización ya que es de bajo costo y contribuye a la disminución de gases contaminantes

Uno de los objetivos finales del presente trabajo de investigación es realizar un análisis comparativo de morteros convencionales a los cuales se les adicionaran materiales alternativos para de esta manera mejorar las condiciones de un mortero

de alta resistencia o lograr propiedades superiores o iguales a los morteros hechos a base de cemento Portland tipo 1.

## 1.2 ANTECEDENTES

El uso de materiales cementantes en las construcciones se ha venido utilizando a través del tiempo por diferentes civilizaciones. Desde los egipcios con el yeso impuro calcinado, los griegos y los romanos con la caliza calcinada quienes en un tiempo posterior aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedras trituradas o ladrillo y tejas quebradas, siendo este el primer concreto (mortero) hecho en la historia. El mortero de cal no endurece bajo el agua; siendo este un problema de gran importancia para las construcciones que se realizan bajo el agua, los romanos decidieron buscar una solución y mezclaron cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada finamente trituradas. La sílice activa y la alamina que se encontraba en las cenizas y las tejas se combinaron con la cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico, proveniente del nombre del pueblo de Pozzuoli, cerca del Vesubio, primer lugar donde fue encontrada ceniza volcánica. El nombre de “cemento puzolánico” es usado hoy en día para describir los cementos obtenidos simplemente por moler materiales naturales a temperatura normal (Neville, M. A., 1999)<sup>5</sup>.

A continuación se muestran una serie de investigaciones recientes que se han hecho con materiales suplementarios:

*Góngora (1998)*<sup>6</sup> Utilizó la cascarilla de arroz como aligeramiento en el hormigón. La investigación que se realizó, dio a conocer una forma sencilla y muy económica de aligerar el concreto con un agregado no convencional.

*Escalante, G. J., (2002)*<sup>7</sup> realizó un estudio donde muestra niveles de reemplazo de materiales puzolánico por concreto hasta de un 30%, así como la escoria de

alto horno que puede sustituirse de un 10% a 90% variando según algunas normas.

*Devasto, S., (2002)*<sup>8</sup> desarrollo un estudio donde se dio a conocer la corrección de estructuras de concreto que se mejoraron con caolín, también se mostró el comportamiento geológico de los cementos adicionados con caliza y polvo de horno.

*Wang, A., Zhang, Ch., Sun, W., (2003)*<sup>9</sup>, realizaron un estudio en donde examinaron el método para determinar el grado de hidratación del cemento y el grado de reacción puzolánica de la ceniza volante. En los resultados obtenidos en esta investigación se encontró que la ceniza volante muestra buena actividad puzolánica al reaccionar con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , y por lo tanto, aumenta la hidratación del cemento.

*Khandaker, M y Anwar, H. (2003)*<sup>10</sup>, ellos investigaron sobre ceniza volcánica y polvo de piedras de lava volcánica reemplazándolo en la producción de cemento Portland entre un 0% a 50% de sustitución del material cementante. Se analizaron propiedades físicas y químicas, evaluando su influencia en las propiedades del cemento. Dando resultados buenos con respecto al potencial de los cementos mezclados con los materiales volcánicos, presentando un alto tiempo de fraguado y un bajo calor de hidratación usando un 20% de material reemplazante.

*Targan, S., et al (2003.)*<sup>11</sup>, Investigaron el efecto de la ceniza volcánica como puzolana natural en las propiedades del cemento Portland, reemplazándola en un rango de 5% a 30% del cemento, en los resultados se obtuvo que el uso de un 5% de puzolana natural aumentaba la resistencia a la compresión de los especímenes comparados con la muestra de referencia a los 60 días.

*Tangchirapat, W., et al (2006)*<sup>12</sup>, en su estudio analizaron ceniza de la palma de coco como material puzolánico en el concreto, siendo este un material descartado

por la industria del aceite de coco. Las partículas utilizadas en esta investigación presentan un promedio de 15.9  $\mu\text{m}$  y 7.4  $\mu\text{m}$ . Se utilizó también cemento Portland tipo I reemplazándolo en un 10%, 20%, 30% y 40% por la ceniza de palma de coco. Se realizó un análisis a su resistencia a la compresión, tiempos de fraguado y ataque de sulfatos y los resultados de estas pruebas mostraron una disminución en el tiempo de fraguado inicial como en el final, variando de acuerdo al porcentaje de la sustitución y al tamaño de las partículas. Como conclusión de esta investigación se obtuvo que el porcentaje óptimo para la sustitución sea el 20% de aceite de palma de coco.

*Shayan, A., y Xu, A., (2005)*<sup>13</sup>, desarrollaron un análisis basado en el polvo de vidrio obtenido de botellas de diferentes colores, realizando un diseño de mezclas para un concreto de 40MPa incorporando diferentes proporciones de reemplazamiento del cemento y el polvo de vidrio (0%, 20% y 30%). Los resultados de las pruebas realizadas a los 28 días mostraron una baja resistencia a la compresión, pero en el caso de los 404 días, las pruebas realizadas arrojaron como resultados un incremento hasta de 55MPa, también se encontraron resultados favorables con respecto a la corrosión del acero de refuerzo en los especímenes elaborados.

### 1.3 OBJETIVOS

**1.3.1 Objetivo General.** Llevar a cabo la preparación y caracterización de las propiedades fisicomecánicas de geopolímeros obtenidos a partir de la activación alcalina de granito y residuos de la industria ladrillera.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Evaluar el uso del granito y residuos de la industria ladrillera para su utilización como aditivos de manera total y/o parcial al cemento portland ordinario en la preparación de geopolímeros (morteros).
- ✓ Determinar la influencia de los parámetros experimentales (tiempo y temperatura de curado) en el proceso de geopolimerización.
- ✓ Evaluar el desempeño y durabilidad de morteros contruidos de geopolímeros a partir de pruebas fisicomecánicas: resistencia a la compresión, al ataque acido y ataque con sulfatos.
- ✓ utilizar materias primas de bajo costo como sustitutos del cemento portland ordinario para la producción de productos (morteros) de alta calidad y ambientalmente ecológicos.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

Se denomina **cemento** a un conglomerante hidráulico compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, que mezclado con agregados (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto.

Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, por tanto la conveniencia, precio accesible, adaptabilidad, resistencia y durabilidad del cemento Portland han sido fundamentales para estas aplicaciones, es difícil imaginar el tremendo crecimiento de la industria del cemento durante el siglo pasado. El hombre tuvo que ir descubriendo ciertas rocas naturales, las cuales a través de una calcinación simple dan un producto que, al agregar agua, se endurece. (*Cabañas, A., 2008*)<sup>14</sup>

Considerando que el cemento Portland o hormigón es uno de los más utilizados en todo tipo de construcciones, se ha planteado la necesidad de encontrar nuevos materiales que puedan reemplazarlo de manera parcial o total, considerando el gran impacto ambiental que produce, y buscando la necesidad de mejorar la calidad de las construcciones. Esto podrá realizarse con la producción de unos materiales llamados geopolímeros, que para su producción no se requiere grandes temperaturas, lo que reduciría la emisión de gases. Sin embargo, pese a que fueron descubiertos en 1970, recién desde 2000 han comenzado a estudiarse en detalle, por lo que aún queda mucho recorrido para su implementación.

Para la elaboración de los morteros se debe tener en cuenta los materiales de partida, las proporciones, la elaboración, los días de curado, de la cual dependen

las buenas o malas resistencias de estos. Los morteros están compuestos por agregados finos (arenas), agua y cemento.

El cemento Portland tiene varias clasificaciones según su composición química y físico-química y esa clasificación depende también del país de origen y las respectivas normatizaciones.

En Colombia, las especificaciones de calidad son establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), siendo muchos de los estándares adaptados de la normalización ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials). Las normas NTC 121 y 321 establecen las propiedades físicas, mecánicas y las especificaciones químicas de los cementos *portland*, mientras las normas NTC 30 y 31 clasifican y definen los tipos de cementos. *(De Gutiérrez, R)*<sup>15</sup>

**2.1.1 Geopolímeros.** Estos son polímeros inorgánicos formados por redes 3D amorfas de tetraedros alternados de  $\text{AlO}_4$  - y  $\text{SiO}_4$  de gran estabilidad térmica y química, no inflamables, con buenas propiedades mecánicas y fácilmente procesables a temperaturas inferiores a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  y presión atmosférica. *(Beleña, I., et al, 2004)*<sup>16</sup>

*Geopolímeros* es el nombre que desde fines de 1970 se ha aplicado a una amplia gama de hidróxido de álcalis o de silicato aluminico activado por aglutinantes en los cuales su composición óxidos de metales alcalinos *(Davidovits 1982 a 1991)*. Algunos geopolímeros también contienen cationes alcalinos, especialmente en productos a base de  $\text{Ca}_2$  sobre los desechos industriales, tales como escorias de alto horno o cenizas volantes, aunque la cuestión de si los cationes alcalinos son incorporados en la estructura de los geopolímeros en gran medida sigue sin resolverse hasta la fecha. *(Lloyd, J, 2006)*<sup>17</sup>

La reacción de geopolimerización se produce bajo condiciones altamente alcalinas entre un polvo de aluminosilicato y una solución activadora (basada en una mezcla molar de hidróxido sódico y un silicato alcalino, por ejemplo, de sodio o de potasio) a condiciones ambientales.

**2.1.2 Geopolimerización.** Geopolimerización es un proceso complejo, que implica una serie de reacciones análogas disolución-reorientación-solidificación observadas en la síntesis de zeolitas por tratamiento hidrotérmico de precursores sólidos (van Jaarsveld et al.1997). (Lloyd, J, 2006).

La geopolimerización es una manera viable para procesar y agregar valor a los residuos industriales de aluminio-silicato dando lugar a materiales con elevadas resistencias mecánicas, alta inercia química y que permiten encapsular otros residuos, incluso peligrosos.

Los residuos industriales que proceden de diversos tipos de arcillas para la fabricación de áridos ligeros se han caracterizado para la producción de geopolímeros mediante el proceso de ataque alcalino. Su incorporación en una matriz geopolimérica permite la posibilidad de desarrollo de paneles de aislamiento (térmico y acústico). Además, la inmovilización de materiales peligrosos es un logro adicional importante. Los geopolímeros se han producido con fórmulas diferentes y se han caracterizado sus propiedades mecánicas, composición y microestructura, para dar lugar a una composición interesante con propiedades aislantes. Se ha llevado a cabo además un análisis preliminar sobre la formación de sales que tiene lugar en este tipo de geopolímeros como una desventaja de los mismos. (Soares, P. et al. 2008)

**2.1.3 Cemento Portland.** El cemento portland está definido por la norma ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) C 150 como un conglomerante hidráulico producido al pulverizar el clinker que consiste esencialmente de silicatos de calcio, conjuntamente con una o más formas de sulfato de calcio. El clinker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y es producido por una mezcla de materiales sintetizados aproximadamente a 1450°C. Los principales óxidos presentes en la materia prima son CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Este tipo de cemento se fabrica a partir de materiales minerales extraídos de canteras especialmente y en algunas ocasiones es necesario adicionar otros productos para mejorar la composición química de materias primas. Los materiales que se utilizan en la fabricación del cemento portland deben presentar cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro.

El cemento Pórtland tiene varias clasificaciones pero cada una de estas depende de su composición química y sus propiedades físico-químicas resultando así, diferentes tipos de cemento. *(De Gutiérrez, R)*

En la **tabla 1** se especifican algunas propiedades del cemento portland Tipo I, el cual será utilizado en el trabajo de investigación.

Tabla 1. Especificaciones NTC (Normas Técnicas Colombianas) para Cementos portland Tipo I

PROPIEDAD	TIPO 1
Finura <i>Blaine</i> , m <sup>2</sup> /kg (min)	280
Exp. Autoclave. % máx.	0.8
t. de fraguado (Vicat):	
- inicial. minutos (min.)	45
- final. horas	8
Resistencia (mínima). MPa	
1 d	-
3 d	8.0
7 d	15.0
28 d	24.0
Calor de H. *, cal/g	
7 d	-
28 d	-
Exp. Sulfatos. 14 d. % máx.*	-
C <sub>3</sub> A máx. . %	-
Pérdida al Fuego, máx. %	-
MgO máx. %	7.0
SO <sub>3</sub> máx. %	3.5
R. I. . máx %	-
*Requisitos opcionales	

(Tomado de PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE CEMENTOS NACIONALES, De Gutiérrez, R).

Es reconocido que del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 80% de la masa) de cada metro cúbico de concreto fabricado está constituido por agregado, condición que destaca la importancia que tienen estos materiales en la elaboración de este producto. Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles de uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de producto químicos absorbidos y de otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

**2.1.4 Cemento.** Una definición general sería “Material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas las cuales le dan la capacidad de compactar fragmentos minerales para formar un material final sólido” esta definición comprende una gran variedad de materiales cementantes (*Neville, 1999*).

Los cementos que se utilizan en la fabricación del concreto se denominan cementos hidráulicos. El cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conservara su resistencia y estabilidad.

Los cemento hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de calcio y pueden clasificarse en general, como cementos naturales, cemento portland y cemento de alta alúmina (*Neville, 1999*).

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos. Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

El cemento exhibe su mayor utilidad al ser transformado en concreto y mortero. El primero surge básicamente de la combinación de cemento, gravilla, arena y agua; mientras que el segundo resulta de mezclar cemento, arena y agua. Los concretos sirven como elementos estructurales en la construcción, mientras que los morteros sirven como materiales de pega en mampostería (paredes). El productor de

concreto está íntimamente vinculado con la industria del cemento, dado que éste constituye su principal materia prima.

#### 2.1.4.1 Composición química del cemento

Óxido de calcio (CaO)  $\Longrightarrow$  60-70%

Dióxido de silicio (incluyendo 5% de sílice libre) (SiO<sub>2</sub>)  $\Longrightarrow$  19-24%

Trióxido de aluminio (Al<sub>3</sub>O<sub>3</sub>)  $\Longrightarrow$  4-7%

Óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)  $\Longrightarrow$  2-6%

Óxido de magnesio (MgO)  $\Longrightarrow$  <5%

#### 2.1.4.2 Características del Cemento

- ✓ Color: Este cemento presenta una tonalidad grisácea
- ✓ Finura: El diámetro de las partículas varía entre 0.0152 – 0.0003 mm
- ✓ Resistencia: Las pruebas realizadas son las mecánicas

**2.1.5 Arena.** La **arena** es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada *grano de arena*. Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca. Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo, y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava.

El componente más común de la arena, en tierra continental y en las costas no tropicales, es la sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo a los recursos y condiciones locales de la roca. En algunos lugares hay arena que contiene hierro, feldespato o, incluso, yeso. Según

el tipo de roca de la que procede, la arena puede variar mucho en apariencia. Por ejemplo, la arena volcánica es de color negro mientras que la arena de las playas con arrecifes de coral suele ser blanca.

La arena es transportada por el viento, también llamada arena eólica, (pudiendo provocar el fenómeno conocido como calima) y el agua, y depositada en forma de playas, dunas, médanos, etc.

Es un agregado fino de origen natural, que por sus características de forma favorece la unión con el cemento y a su vez con los agregados gruesos. La arena tiene un diámetro entre 4.76 mm y 0.074 mm, cuando la granulometría de las arenas es excesivamente fina, es decir, con módulos de finura menores a 3.00 exige una mayor cantidad de cemento y agua, y como consecuencia se obtiene un hormigón de consistencia “pegajosa”. (Cabañas., A. 2008)

**2.1.6 Mortero.** El mortero se puede definir como la mezcla de cemento, agregado fino y agua, además puede contener algún aditivo. Cuando la mezcla utilizada en el mortero está compuesta por agregado grueso da como resultado el concreto u hormigón. El cemento que se utiliza, es cemento Portland Tipo I, el cual como los cementos hidráulicos, tiene las características de aglutinar agregados para la conformación del concreto. La razón de que estos cementos sean hidráulicos es que tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, esta combinación química hace que el concreto hidrate las partículas de cemento. (Mancipe, J.P., Pereira, L., Bermúdez, D., 2007)<sup>18</sup>

Los morteros son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua, que sirven para unir las piedras o ladrillos que integran las obras de fábrica y para revestirlos con enlucidos o revocos. Los morteros se denominan según sea el aglomerante. Así se tienen morteros de yeso, de cal o de cemento.

La mezcla de un aglomerante y agua se denomina pasta y se dice de consistencia normal cuando la cantidad de agua de amasado es igual a los huecos del

aglomerante suelto; si es menor será seca y mayor fluida, llamándose lechada cuando se amasa con mucha agua.

**2.1.7 Agua.** En el caso del agua que se emplea en la fabricación del concreto, se considera que puede tener dos funciones principales, la primera como agua de mezclado y la segunda como agua de curado

Cuando el agua funciona como un ingrediente en la fabricación del concreto, es decir como agua de mezclado, se puede estimar que le agua ocupa entre 10 y 15 por ciento de cada metro cubico de concreto que se fabrica; casi cualquier agua que sea potable y no tenga olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto sin aplicar verificación de calidad alguna. *(Cabañas, P.A, 2008)*

**2.1.8 Aditivos.** Las sustancias que se agregan al concreto para mejorar su manejo, ya sea para acelerar su fraguado, endurecer su superficie y/o incrementar su impermeabilidad, se conocen como aditivos. Los aditivos son complementos y no son esenciales de todos los materiales que componen la mezcla como el cemento, el agua y los agregados, se incorporan justo antes o durante la mezcla. Un aditivo es un producto químico que, en excepto ocasiones especiales, se agrega a la mezcla de concreto en cantidades no mayores del 5% por masa de cemento. Los aditivos pueden ser orgánicos o inorgánicos en cuanto a la composición, pero químicamente difieren del mineral, en su carácter esencial, los productos minerales incorporados en la mezcla, casi invariablemente más del 5% de la masa del cemento, son conocidos como materiales cementantes o como sustancias adicionales. *(Cabañas, P.A, 2008)*

En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados.

**2.1.9 Granito de Pescadero.** El granito de pescadero se presenta como una roca de color gris, de estructura masiva y textura variada desde microgranito a granito porfirítico. Estas estructuras, evidencian una historia compleja de enfriamiento del magma que dio origen a este cuerpo ígneo.

Es una roca fanerítica compuesta por alrededor de 25 a 35% de cuarzo y más del 50% de feldespato potásico y de plagioclasa rica en sodio. Los cristales de cuarzo, de forma aproximadamente esférica, suelen ser vítreos y de color claro a gris oscuro. Al contrario las cristales de feldespato no son vítreos, tienen un color generalmente de blanco a gris y exhiben una forma rectangular más que esférica. Otros constituyentes comunes del granito son la moscovita y algunos silicatos oscuros, en particular la biotita y el anfíbol y algunos minerales opacos hacen parte de los constituyentes accesorios con aproximadamente el 2% de la composición total. (Mantilla, L.C., et al 2002)<sup>19</sup>. Esta roca fue tomada del Cañón del Chicamocha. (Ver figura 1)



Figura 1. Granito de Pescadero

**2.1.10 Retal de Ladrillo.** El ladrillo macizo es un material de construcción muy común en las edificaciones, en el recubrimiento de suelos y la pavimentación. Arcos, bóvedas, cúpulas, pilares y chimeneas también pueden construirse con ladrillos. Se compone de materias primas extraídas de la tierra como la arcilla la cual debe tener una determinada composición química para ser apta para la

confección de un ladrillo. Dentro de esta composición debe encontrarse un determinado contenido de álcalis y ácidos que sea menor al 0.2%, algunas sustancia solubles como sales, en un porcentaje menor al 0.04%, sulfuros de hierro, alúmina, sílice, entre otros compuestos que son primordiales para que el ladrillo adquiera sus propiedades características. A su vez, para realizar el adecuamiento de la materia prima (ladrillo), se elabora un ajuste granulométrico, donde se define la finura de la arcilla que nos dará el grado de plasticidad. También se realizan otro tipo de ajustes como ajuste por contracción, donde se agregan arenas o arcillas no plásticas, ajustes por humedad y por último se hace una mezcla homogénea para que todo el material final tenga la misma composición.

En la investigación realizada el retal de ladrillo y el granito se sometieron a un proceso de pulverización, para obtener como resultado final un polvo, el cual fue tamizado y utilizado para la realización de las probetas mezclándolo con el cemento Portland en diferentes proporciones y en un 100%. La localización de la ladrillera es (LADRILLOS Y TUBOS, Calle 105 -1Km delante de cancha Barrio Dangond, Bucaramanga). (Ver figura 2a y 2b)



Figura 2a y 2b. Localización Planta de Producción del Ladrillo.

## 2.2 MARCO NORMATIVO

En este trabajo se utilizaron algunas Normas Icontec para la construcción, en las cuales se basan los ensayos que se realizaron a los materiales a los que se les hicieron las respectivas pruebas. Las normas que se utilizaron se encuentran relacionadas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Normas I.N.V.E (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS).

<b>NORMA</b>	<b>CONTENIDO</b>
<b>I.N.V.E. - 123 – 07</b>	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
<b>I.N.V.E. - 214 – 07</b>	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro
<b>I.N.V.E. - 217</b>	Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino
<b>I.N.V.E. - 217 – 07</b>	Densidad Bulk (Peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o suelos.
<b>I.N.V.E. – 222</b>	Peso específico y absorción de agregados finos
<b>I.N.V.E. – 222 - 07</b>	Gravedad específica y absorción de agregados finos.
<b>I.N.V.E. 235 – 07</b>	Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales.
<b>I.N.V.E. – 307</b>	Peso específico del cemento hidráulico
<b>I.N.V.E. – 307 – 07</b>	Densidad del cemento hidráulico.
<b>I.N.V.E. – 329 – 07</b>	Expansión potencial de morteros de cemento portland expuestos a la acción de sulfatos.
<b>I.N.V.E. - 323 – 07</b>	Resistencia a la compresión de los morteros de cemento hidráulico.
<b>I.N.V.E. - 410</b>	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
<b>NTC – 32</b>	Granulometría de agregados finos.
<b>NTC - 220</b>	Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado.
<b>NTC – 489</b>	Resistencia química de morteros.

NTC (NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS)

### 3. MATERIALES

#### 3.1 MATERIAL CEMENTANTE Y AGREGADOS

En las mezclas necesarias para la elaboración de las probetas y sus respectivas pruebas se requirieron los siguientes materiales de partida:

- ✓ Cemento Portland Tipo 1, marca Holcim
- ✓ Arena fina, suministrada por la ferretería EL ARCA (33a N. 32 – 67 Bucaramanga) la cual ha sido previamente recolectada en el río pescadero

#### 3.2 ADICIONES MINERALES

Su aplicación en la elaboración de estas probetas tiene diversos objetivos: mejorar las propiedades y las respuestas de los materiales frente a agresiones, evitar la contaminación, disminuir el costo y reducir el consumo de combustibles no renovables

Suele considerarse en los diseños, criterios de resistencias mecánicas, y en menor proporción la resistencia a los agentes químicos que deterioran al concreto Tomando como referencia información del ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials), se diseño morteros con diferentes porcentajes de material en reemplazo del cemento Portland tipo 1.

Los materiales que fueron empleados en el laboratorio fueron dos:

- ✓ Granito de Pescadero (*ver Figura 3*)
- ✓ Residuos de la industria ladrillera (*ver Figura 4*)

El granito de pescadero fue recolectado en el Cañón del Chicamocha y suministrado por la Escuela de Geología donde se encuentra una buena cantidad de este material debido a estudios realizados en la zona; en el caso de los residuos ladrilleros se obtuvo por medio de la ladrillera (LADRILLOS Y TUBOS, Calle 105 -1Km delante de cancha Barrio Dangond, Bucaramanga).



*Figura 3.* Granito de Pescadero, pulverizado y tamizado



*Figura 4.* Retal de Ladrillo, pulverizado y tamizado

### 3.3 ADITIVOS QUIMICOS

Se emplean para aportar propiedades especiales a la mezcla fresca o endurecida. Los aditivos químicos pueden mejorar las características de durabilidad, trabajabilidad o resistencia de una mezcla dada.

- ✓ Hidróxido de Sodio (NaOH)
- ✓ Silicato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}:3,2\text{SiO}_2$ ) (*Ficha técnica, ver anexo 1*)

Se utilizan en una relación 1:2,5 (NaOH:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

### 3.4 AGUA

El agua a utilizar en las mezclas debe ser potable y sin impurezas.

## 4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 4.1 GENERALIDADES

En la siguiente parte del documento se explica el procedimiento desarrollado para la parte experimental de esta investigación, que considera cada uno de los materiales empleados en este trabajo.

Como primera parte de este trabajo, se realizó la preparación de los materiales seleccionados (granito y ladrillo), tamizándolos y pulverizándolos. Luego de esto, se realizó una caracterización física compuesta por la determinación de porcentaje de vacíos, fineza, granulometría entre otros. También se realizaron pruebas químicas de Difracción de Rayos X para determinar cualitativamente su composición mineralógica. Como parte final del trabajo se elaboraron los ensayos con el material cementante y los materiales alternativos (granito y ladrillo), en la siguiente tabla se muestra las proporciones en % a utilizar de los materiales:

MATERIAL	GRANITO	RESIDUO DE LADRILLO	CEMENTO
PROPORCION EN %	100%		
		100%	
			100%
	20%		80%
		20%	80%

Tabla 3. Porcentajes de la materia prima a utilizar para la elaboración de los morteros.

### 4.2 FASES DE LA INVESTIGACION

A continuación se hará la descripción de cada una de las fases y el respectivo procedimiento que se realizó en cada una de ellas.

**4.2.1 Selección y preparación de los materiales.** Los materiales de partida fueron suministrados por fuentes diferentes. El residuo de la industria ladrillera fue suministrado por LADRILLOS Y TUBOS LTDA y el Granito de Pescadero por la Escuela de Geología. Estos materiales fueron seleccionados para darles un mejor aprovechamiento, debido a los grandes yacimientos, su fácil acceso, bajo costo, contenido de sílice y alúmina y a que se encontraban como desechos en el caso de los residuos de ladrillo.

Los materiales utilizados (Granito y ladrillo) en esta investigación se prepararon de la siguiente manera:

Primero se pulverizaron en el mortero de ágata (Retsch, RM 100) (*ver Figura 5*) donde se obtuvo un material homogéneo, una vez realizado esto, se utilizó un tamizador mecánico (RO-TAP, Testing Sieve Shaker, serial N. 21707) (*ver Figura 6*), donde se recolectó el material que paso por la malla N. 120 (125  $\mu$ m). Estas maquinas se encuentran en el laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS).



*Figura 5. Mortero de Ágata*



*Figura 6. Tamizador Mecánico*

**4.2.2 Caracterización de los materiales.** Los materiales seleccionados fueron sometidos a una serie de pruebas para conocer sus características principales.

Estas pruebas se nombran a continuación:

- ✓ Análisis Mineralógico por DRX
- ✓ Módulo de finura
- ✓ Análisis granulométrico
- ✓ Cantidad de materia orgánica
- ✓ Peso unitario y porcentaje de vacíos
- ✓ Clasificación de rocas terrígenas según su composición
- ✓ Peso específico y absorción de agregados finos
- ✓ Resistencia a la compresión

**4.2.2.1 Análisis Mineralógico por DRX.** La imperfección cristalina natural de los materiales muestran diversos patrones de difracción de rayos X, que se representan en forma de bandas o líneas que al ser medidas con exactitud dan información acerca de los defectos estructurales.

Por medio de este análisis se obtuvieron las fases minerales cristalinas y amorfas que están presentes en los materiales alternativos y la arena.

Este análisis se realizó en los laboratorios de Difracción de Rayos X, en el difractómetro de polvo (RIGAKU, Modelo D/MAX IIIB) de la escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS). (*Ver Figura 7*)



Figura 7. Difractómetro de polvo (DRX)

En la siguiente tabla se relacionan los materiales con las fases minerales presentes en cada uno de los materiales.

MATERIAL	FASES
ARENA LAVADA	<input type="checkbox"/> Caolinita
	<input type="checkbox"/> Konickita
	<input type="checkbox"/> Laumontita
	<input type="checkbox"/> Anatasa
	<input type="checkbox"/> Microclina
	<input type="checkbox"/> Moscovita
	<input type="checkbox"/> Clinocloro
	<input type="checkbox"/> Albita
	<input type="checkbox"/> Cuarzo
	<input type="checkbox"/> Calcita
	GRANITO DE PESCADERO
<input type="checkbox"/> Microclina	
<input type="checkbox"/> Moscovita	
<input type="checkbox"/> Clinocloro	
<input type="checkbox"/> Albita	
<input type="checkbox"/> Cuarzo	
<input type="checkbox"/> Calcita	
LADRILLO	<input type="checkbox"/> Hematita
	<input type="checkbox"/> Microclina
	<input type="checkbox"/> Cuarzo
	<input type="checkbox"/> Moscovita

Tabla 4. Fases minerales de los materiales.

Estas fases minerales se pueden observar, mediante unas representaciones graficas, como resultado del estudio de difracción de rayos X. (*Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4*).

**4.2.2.2 Módulo de finura.** Para conocer la finura de los materiales se utiliza la norma I.N.V.E – 124-07, que tiene por nombre “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO”, la cual consta primero en determinar la corrección por punto cero o por meniscos sino son conocidas, también se determina la gravedad específica de los sólidos.

Los materiales se secan en el horno, se deja enfriar y se pesa aproximadamente 50 g, esta muestra se coloca en un vaso de precipitado, se le agrega 125 ml agua destilada hasta que la muestra quede totalmente sumergida, adicionalmente se coloca un agente dispersante: 125 ml de solución de hexametáfosfato de Sodio (40 g/l). Se deja la muestra en remojo por una noche.

Se transfiere la muestra con agua, a una probeta graduada de 1000ml con agua, luego se coloca la probeta graduada en un agitador durante un minuto.

Un minuto antes de comenzar el ensayo, se toma la una probeta graduada, tapándola con la mano, se agita la suspensión durante varios segundos, hasta lograr una suspensión uniforme, se continúa agitando volteando la probeta graduada hacia arriba y hacia abajo alternativamente 60 giros durante un minuto. Al terminar esto se coloca el cilindro sobre la mesa, se pone en marcha el cronómetro, si hay espuma presente se remueve con mucho cuidado.

Se anotan las dos primeras lecturas del hidrómetro, al minuto y a los dos después de haber colocado en cilindro sobre la mesa. Después de realizar la lectura de los dos minutos, se extrae cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y se coloca en una probeta graduada con agua limpia por poco tiempo; pues si el

material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causa errores de lectura. Luego se introduce nuevamente el hidrómetro y se realizan lecturas a los 1, 2, 3, 4, 8, 16, 30, 60, 125, 330, 1410 y 2850 minutos del inicio de la sedimentación, después de cada una de las lecturas, se extrae el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y se coloca en la probeta graduado con agua limpia.

Después de las respectivas lecturas, se coloca un termómetro en la suspensión; si se presentan cambios pueden afectar los resultados. (Ver figura 8)



Figura 8. Desarrollo de la prueba de modulo de finura

**CÁLCULOS:** Aquí se muestran los datos y resultados obtenidos en este ensayo

**t** = Tiempo transcurrido (min)

**T** = temperatura (°C)

**R<sub>a</sub>** = Lectura real del hidrómetro

**C<sub>cero</sub>** = Corrección de cero

**C<sub>t</sub>** = Factor de corrección por temperatura

**R<sub>c</sub>** = Lectura corregida del hidrómetro

**a** = Valor para diferentes gravedades especificas

**W** = masa de la muestra secado al horno

**%F** = Calculo del porcentaje más fino

**R<sub>m</sub>** = Corrección por menisco

**L** = Profundidad efectiva (mm)

**K** = Constante que depende del valor específico y de la temperatura

**D** = Diámetro de la partícula (mm)

Estas son las formulas a utilizar y algunos datos se observan en las tablas presentes en la norma I.N.V.E – 124-07

$R_c = R_a - C_{\text{cero}} + C_t$

$\%F = R_c \cdot a \cdot 100 / W$

$R_m = R_a + \text{menisco}$

$D = K \sqrt{L/t}$

### RESULTADOS DE LA PRUEBA:

TIPO DE MATERIAL				CEMENTO											
t (seg)	T(°C)	Ra	Ccero	CT	Rc	a	W	%F	Rm	L	L/t	RAIZ (L/t)	K	D(mm)	D(u)
1	27	22	0	2.4	24.4	0.96	50.0	46.85	23	12.5	12.5	3.5355	0.0043	0.0152	15.2
2	27	1	0	2.4	3.4	0.96	50.0	6.53	2	16	8	2.8284	0.0043	0.0122	12.2
3	27	0	0	2.4	2.4	0.96	50.0	4.61	1	16.1	5.367	2.3166	0.0043	0.0100	10.0
4	27	0	0	2.4	2.4	0.96	50.0	4.61	1	16.1	4.025	2.0062	0.0043	0.0086	8.6
8	27	0	0	2.4	2.4	0.96	50.0	4.61	1	16.1	2.013	1.4186	0.0043	0.0061	6.1
16	28	0	0	2.9	2.9	0.96	50.0	5.57	1	16.1	1.006	1.0031	0.0042	0.0042	4.2
30	29	0	0	3.3	3.3	0.96	50.0	6.34	1	16.1	0.537	0.7326	0.0042	0.0031	3.1
60	29	0	0	3.3	3.3	0.96	50.0	6.34	1	16.1	0.268	0.5180	0.0042	0.0022	2.2
125	29	0	0	3.3	3.3	0.96	50.0	6.34	1	16.1	0.129	0.3589	0.0041	0.0015	1.5
330	30	0	0	3.7	3.7	0.96	50.0	7.10	1	16.1	0.049	0.2209	0.0128	0.0028	2.8
1410	28	0	0	2.9	2.9	0.96	50.0	5.57	1	16.1	0.011	0.1069	0.0042	0.0004	0.4
2850	27	0	0	2.4	2.4	0.96	50.0	4.61	1	16.1	0.006	0.0752	0.0043	0.0003	0.3

Tabla 5. Datos granulométricos para el cemento

TIPO DE MATERIAL				LADRILLO											
t (seg)	T(°C)	Ra	Ccero	CT	Rc	a	W	%F	Rm	L	L/t	RAIZ (L/t)	K	D(mm)	D(u)
1	27	22	1	2.4	23.4	1.14	50.0	53.35	23	12.5	12.5	3.5355	0.0043	0.0152	15.2
2	27	21	1	2.4	22.4	1.14	50.0	51.07	22	12.7	6.35	2.5199	0.0043	0.0108	10.8
3	27	21	1	2.4	22.4	1.14	50.0	51.07	22	12.7	4.233	2.0575	0.0043	0.0088	8.8
4	27	21	1	2.4	22.4	1.14	50.0	51.07	22	12.7	3.175	1.7819	0.0043	0.0077	7.7
8	28	20	1	2.9	21.9	1.14	50.0	49.93	21	12.9	1.613	1.2698	0.0043	0.0055	5.5
16	28	20	1	2.9	21.9	1.14	50.0	49.93	21	12.9	0.806	0.8979	0.0042	0.0038	3.8
30	29	16	1	3.3	18.3	1.14	50.0	41.72	17	13.5	0.45	0.6708	0.0042	0.0028	2.8
60	29	13	1	3.3	15.3	1.14	50.0	34.88	14	14	0.233	0.4830	0.0042	0.0020	2.0
125	29	10	1	3.3	12.3	1.14	50.0	28.04	11	14.5	0.116	0.3406	0.0041	0.0014	1.4
330	30	7	1	3.7	9.7	1.14	50.0	22.12	8	15	0.045	0.2132	0.0128	0.0027	2.7
1410	28	5	1	2.9	6.9	1.14	50.0	15.73	6	15.3	0.011	0.1042	0.0042	0.0004	0.4
2850	27	3	1	2.4	4.4	1.14	50.0	12.32	4	15.6	0.005	0.0740	0.0043	0.0003	0.3

Tabla 6. Datos granulométricos para el retal de ladrillo

TIPO DE MATERIAL				GRANITO											
t (seg)	T(°C)	Ra	Ccero	CT	Rc	a	W	%F	Rm	L	L/t	RAIZ (L/t)	K	D(mm)	D(u)
1	27	18	1	2.4	19.4	0.98	50.0	38.02	19	13.2	13.2	3.6332	0.0043	0.0156	15.6
2	27	17	1	2.4	18.4	0.98	50.0	36.06	18	13.3	6.65	2.5788	0.0043	0.0111	11.1
3	27	16	1	2.4	17.4	0.98	50.0	34.10	17	13.5	4.5	2.1213	0.0043	0.0091	9.1
4	27	15	1	2.4	16.4	0.98	50.0	32.14	16	13.7	3.425	1.8507	0.0043	0.0080	8.0
8	28	14	1	2.4	15.4	0.98	50.0	30.18	15	13.8	1.725	1.3134	0.0043	0.0056	5.6
16	28	12	1	2.9	13.9	0.98	50.0	27.24	13	14.2	0.888	0.9421	0.0042	0.0040	4.0
30	29	11	1	3.3	13.3	0.98	50.0	26.07	12	14.3	0.477	0.6904	0.0042	0.0029	2.9
60	29	9	1	3.3	11.3	0.98	50.0	22.15	10	14.7	0.245	0.4950	0.0042	0.0021	2.1
125	29	5	1	3.3	7.3	0.98	50.0	14.31	6	15.3	0.122	0.3499	0.0041	0.0014	1.4
330	30	3	1	3.7	5.7	0.98	50.0	11.17	4	15.6	0.047	0.2174	0.0128	0.0028	2.8
1410	28	1	1	2.9	2.9	0.98	50.0	5.68	2	16	0.011	0.1065	0.0042	0.0004	0.4
2850	27	0	1	2.4	1.4	0.98	50.0	2.74	1	16.1	0.006	0.0752	0.0043	0.0003	0.3

Tabla 7. Datos granulométricos para el Granito

Para los materiales alternativos, su finura con respecto al cemento no varía mucho, estos se mantienen en un rango de diámetro de las partículas de 0.0152 – 0.0003 mm.

**4.2.2.3 Análisis granulométrico.** El análisis granulométrico consiste en la distribución de partículas que constituyen el material previamente triturado, donde se seleccionan en fracciones de igual tamaño. La granulometría se mide de acuerdo a la norma I.N.V.E. 123 -07 que tiene por nombre “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO”, la cual consiste en tomar 2000g del agregado fino, llevándola a una serie de tamices N. 8, N. 16, N. 30, N. 40, N. 50 y N. 100, o los que sean necesarios, dependiendo del tipo de muestra o de las especificaciones para el material que se ensaya.

En la operación de tamizado manual se sacude(n) el tamiz o tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre la malla. En ningún caso se permite girar o manipular manualmente fragmentos de la muestra a través de un tamiz. Al desmontar los tamices debe comprobarse que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas atrapadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunirlas con lo retenido en el tamiz. (*Ver figura 9*).



Figura 9. Serie de tamices

Esta arena de Pescadero, cumple con los requisitos exigidos para la fabricación de los morteros.

**4.2.2.4 Cantidad de materia orgánica.** La cantidad de materia orgánica se mide de acuerdo a la norma I.N.V.E. 235 -07, que tiene por nombre “VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y LLENANTES MINERALES”, la cual consiste en introducir en una Bureta 25 ml de azul de metileno disuelto en 30ml de agua, a su vez en un vaso de precipitado se introduce 10 g del agregado fino y se agregan 200ml agua destilada. Para empezar con el procedimiento, la solución de azul de metileno es titulada en pequeños incrementos en el vaso de precipitado que contiene agua destilada y el agregado fino. Después de cada incremento se retira del recipiente una pequeña cantidad del agua con la muestra, empleando una varilla agitadora de vidrio y se deja caer una gota sobre un papel de filtro. En el momento en el que el agregado fino no pueda absorber mas azul de metileno se forma un anillo azul en el papel de filtro, es en este instante en donde se procede a medir la cantidad de solución de azul de metileno añadida y a calcular el valor de azul de metileno. (Ver figura 10)



Figura 10. Desarrollo de la prueba de Azul de Metileno

**CÁLCULOS:** Aquí se muestran los datos y resultados obtenidos en este ensayo

**VA=** Valor de azul de Metileno

**C =** Concentración de solución de azul de metileno. (mg Azul por ml solución)

**V =** Solución de azul de metileno requerida en titulación (ml)

**W =** Material seco utilizado en la prueba (gr).

$$VA = (C * V) / W$$

#### RESULTADOS DE LA PRUEBA:

$$C = 5$$

$$V = 14$$

$$W = 10$$

$$VA = (5 * 14) / 10 = 7$$

VALOR DE AZUL DE METILENO (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7 - 12	Marginalmente Aceptable
13 - 19	Problemas/posible falla
≥ 20	Fallado

*Tabla 8.* Datos para la clasificación de los agregados según la cantidad de materia orgánica. El valor Azul de Metileno está entre 7 – 12, lo cual se considera marginalmente aceptable, según dicha norma. Siendo este valor influyente en la síntesis del geopolímero y en las características fisicomecánicas.

**4.2.2.5 Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos.** El peso unitario y porcentaje de vacíos se realiza de acuerdo a la norma I.N.V.E. - 217, que tiene por nombre “PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO” la cual tiene dos partes. La primera nos dice que se debe introducir material en un recipiente cilíndrico de volumen 2832 cc y peso 1429 g, llenándolo hasta su tope sin producirle ningún apisonamiento, pesar el material utilizado y realizar este procedimiento 3 veces para obtener un promedio. En la segunda parte del ensayo,

se inserta el material en el mismo molde hasta su tercera parte y se suministra 25 golpes con una barra, igualmente se hace para las 2/3 partes del molde y para el molde completo. Este proceso se realiza 3 veces tomando en cada vez el peso y sacando un promedio. (Ver figura 11)



Figura 11. Desarrollo de la prueba de peso unitario y porcentaje de vacíos

**CÁLCULOS:** Aquí se muestran los datos y resultados obtenidos en este ensayo.

**S** = Gravedad específicas (gr/ml)

**W** = Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

**M** = Peso unitario, peso apisionado (gr/cc)

**% Vacíos** =  $[(S * W - M) / (S*W)] * 100$

**RESULTADOS DE LA PRUEBA:**

**S** = 2.58

**W** = 998

**M** = 1349.6

**% Vacíos** =  $[(2.58 * 998 - 1349.6) / (2.58*998)] * 100 = 47.58$

El resultado de % de vacíos fue de 47.58%.

**4.2.2.6 Clasificación de rocas terrígenas según su composición.** Para esta clasificación se realizó mediante las guías del laboratorio de Sedimentología para Geología, el cual consta en tomar 10 g del agregado fino, colocándolos bajo una

lupa microscópica (NIKON inc. High Intensity Illuminator, NI-150); sometiéndolo a un análisis sobre redondez de los granos, calibración, tamaño y composición mineralógica. (Ver figura 12)



Figura 12. Lupa Microscópica

#### RESULTADOS:

- ✓ Composición mineralógica: Cuarzo (40%), Feldespato Potásico (15%), Moscovita (5%), Biotita (10%), Plagioclasas (15%), Anfíboles (9%) y Fragmentos de roca (6%).
- ✓ Tamaño de grano: El tamaño de las partículas varía entre el rango de 0.14mm – 1.19mm, de arena fina a muy gruesa.
- ✓ Forma de las partículas: Se utilizan dos criterios que son esfericidad o redondez y calibración; En este análisis se observa partículas redondeadas y con presencia de bordes o aristas, la cual se considera que es de tipo angular – subredondeada. Y debido a la variación en el tamaño de las partículas la arena se estima como moderadamente calibrada.

**4.2.2.7 Peso específico y absorción de agregados finos.** Para determinar el peso específico del cemento y los materiales alternativos, se realizan mediante la Norma I.N.V.E 307, que tiene por nombre “PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS”, la cual consta en llenar el frasco de Le Chatelier con keroseno hasta un punto situado entre las marcas 0 y 1 ml, luego el frasco se sumerge en agua a temperatura ambiente durante unos diez minutos, antes de

hacer cualquier lectura.

Se coloca un embudo en la parte superior del frasco para así poder agregar el material, aproximadamente 64 gr, en pequeñas cantidades, a la misma temperatura que el líquido, procurando evitar salpicaduras y observando que el material no se adhiera a las paredes del frasco. Después de agregado todo el material, debe taparse el frasco y hacerse girar en posición inclinada o en círculo poco a poco, hasta que no ascienda burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Si se ha añadido la cantidad suficiente de material, el nivel del líquido debe quedar en su posición final en cualquier punto en la serie superior de graduaciones, se lee la lectura final después de haberla sumergido otra vez en el baño de agua. Este proceso se realiza para cada uno de los materiales. (Ver figura 13)



Figura 13. Frasco de Le Chatelier

**CÁLCULOS:** Aquí se muestran los datos y resultados obtenidos en este ensayo.

**PE=** Peso específico, (gr/ml)

**W=** Peso del cemento, (gr)

**V=** Volumen desplazado, (ml)

**PE= W/V**

**RESULTADOS DE LA PRUEBA:**

1. Peso específico del cemento, **PE= 64/22.1 = 2.98**
2. específico del ladrillo, **PE= 40/18.2 = 2.19**
3. específico del granito, **PE= 64/23.4 = 2.74**

**4.2.2.8 Resistencia a la compresión Simple.** Algunas propiedades del concreto se asocian con la resistencia a la compresión como: densidad, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, resistencia a los sulfatos, entre otras. Estas propiedades pueden llegar a aumentar la calidad y durabilidad del concreto.

Podemos definir la resistencia a la compresión como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $\sigma$ , expresada en kilogramo por centímetro cuadrado ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ ), mega pascales (MPa), o en libras por pulgada cuadrada ( $\text{Lb} / \text{pulg}^2$  ó psi) (*Kosmatka, 1992*).

Según *Kosmatka (1992)*, se pueden realizar probetas a diferentes edades siempre y cuando se tenga en cuenta la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia a otras edades, siendo estas: a los 7 días se estima como un 75% de la resistencia a los 28 días, y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente un 10% y 15% respectivamente, mayores que la resistencia a los 28 días.

Este ensayo se realizó para todas las probetas, donde se recolectaron los datos de las resistencias a la compresión, obtenidas a diferentes tiempos de curado: 7, 14, 21 y 28 días, contados después de 24 horas de realizadas las probetas. Al cumplirse cada edad, se tomaron las probetas para realizarle la prueba de

resistencia a la compresión, en la Prensa para concreto (PINZUAR DIGITAL modelo PC- 160 /116). (Ver figura 14). Esta prueba se rige por la norma NTC – 220.



Figura 14. Prensa para concreto PINZUAR DIGITAL.

### CÁLCULOS:

$\sigma$  = Resistencia a la compresión en Megapascuales (MPa)

**G**= Es la carga máxima en Newtons que admite la probeta

**A**= Área de la probeta en mm<sup>2</sup>

$$\sigma = G/A \text{ (N/ mm}^2\text{)}$$

**4.2.3 Fase de elaboración de las probetas.** Para la preparación de las mezclas seguimos el siguiente proceso:

- ✓ Limpiar los moldes, hasta que queden completamente limpios
- ✓ Secar los moldes
- ✓ Engrasar los moldes
- ✓ Calcular las proporciones de la pasta de cemento, de tal forma que no nos sobre mucho material, ya que este no es reutilizable
- ✓ Pesar las proporciones de la pasta de cemento, para así comenzar a la elaboración de las probetas
- ✓ Homogenizar la mezcla
- ✓ Agregar agua/químicos a la mezcla
- ✓ Verter pasta de cemento al 50% de capacidad del molde
- ✓ Compactar la pasta vertida en los moldes
- ✓ Verter pasta de cemento al 100% de la capacidad del molde
- ✓ Retirar el exceso de pasta de cemento en los moldes
- ✓ Compactar la pasta vertida en los moldes
- ✓ Cubrir los moldes con plástico
- ✓ Retirar las mezclas de los moldes (24 horas después)
- ✓ Marcar las mezclas con los códigos respectivos

Para la elaboración de las diferentes mezclas, se determinaron previamente las proporciones del material que se requiere para cada una; indicadas por la norma NTC – 220 (ver *tabla 5 y 6*). En total se realizaron cinco tipos de mezclas, una mezcla patrón y cuatro para cada uno de los materiales alternativos sustituyendo un 20 y 100% del material cementante, el cual sufre un proceso de geopolimerización mediante una activación alcalina: Hidróxido de Sodio (NaOH) [8M] y Silicato de Sodio Neutro 42 (NaOH + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), debido a su contenido de sílice y alúmina; las cuales se fabricaron con arena lavada y con arena no lavada (ver *tablas 7 y 8*). Algunas probetas fueron curadas y fraguadas a temperatura

ambiente; otras fueron fraguadas a temperatura de 65°C, estas también fueron sometidas a ataque en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentración de  $PH= 1$  y sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ). En total se elaboraron 486 probetas.

MATERIAL	6 PROBETAS	9 PROBETAS
CEMENTO, g	500	740
ARENA, g	1375	2035
AGUA, ml Pórtland	242	359

Tabla 9. Cantidad de materiales para la preparación de 6 probetas y 9 probetas según la Norma NTC 220.

MEZCLA	MATERIALES ALTERNATIVOS (g)	ARENA (g)	AGUA (ml)	ADITIVOS	
				Hidróxido de Sodio (NaOH) (ml)	Silicato de Sodio ( $Na_2SiO_3$ ) (ml)
CPO	2220	6105	1077	0	0
GGTO	2220	6105	0	307.71	769.29
G CPO - GTO	1776 - 444	6105	861.6	61.5	153.9
GLLO	2220	6105	0	307.71	769.29
G CTO - LLO	1776 - 444	6105	861.6	61.5	153.9

Tabla 10. Cantidad y relación de los materiales a utilizar para 27 probetas

Edad (días)	Muestra Patrón CPO	GGTO	G CPO - GTO	GLLO	G CPO - LLO
		Sustitución 100%	Sustitución 20%	Sustitución 100%	Sustitución 20%
7	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3
21 / 28	3	3	3	3	3

Tabla 11. Variables del experimento, con arena lavada

Edad (días)	Muestra Patrón CTO	GGTO	G CPO - GTO	GLLO	GCPO - LLO
		Sustitución 100%	Sustitución 20%	Sustitución 100%	Sustitución 20%
7	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3
21 / 28	3	3	3	3	3

Tabla 12. Variables del experimento, con arena no lavada

Símbolos de las mezclas:

- ✓ **CPO:** Cemento, Muestra patrón
- ✓ **GGTO:** Geopolímero de Granito
- ✓ **G CPO – GTO:** Geopolímero de Cemento – Granito
- ✓ **GLLO:** Geopolímero de Ladrillo
- ✓ **G CPO – LLO:** Geopolímero de Cemento – Ladrillo

Como primera medida, se realiza la combinación de todos los materiales manualmente en un recipiente limpio, en este caso una bandeja de metal, teniendo en cuenta que los materiales queden bien mezclados para que al final como resultado obtengamos una mezcla homogénea. A su vez se van preparando los moldes cúbicos (50\*50\*50mm) aplicándoles en las caras interiores un recubrimiento delgado de un agente desmoldante, que puede ser aceite o grasa. Para realizar esto procedimiento se emplea un trapo impregnado u otro medio apropiado, (ver figura 15). Se debe tener en cuenta que al final de aplicado el agente desmoldante debe quedar una capa delgada y uniforme, eliminando cualquier exceso de este.



Figura 15. Mezcla de materiales y preparación de los moldes.

Después de preparar cada uno de los moldes, (los cuales tiene tres compartimientos) y de realizada la mezcla, se prosigue a introducir la pasta resultante en estos de la siguiente manera: El proceso de llenado de los moldes se debe iniciar antes de 150s, contados desde la terminación de la mezcla inicial del mortero, en cada compartimiento se coloca una capa de aproximadamente la mitad de la profundidad del molde. Se apisona con 32 golpes con el compactador de manera uniforme en toda la superficie. Una vez terminada esta operación, en todos los compartimientos se llena con una segunda capa y se apisona como se hizo anteriormente. Al finalizar la segunda de compactación las caras superiores de los cubos deben quedar un poco más altas que los bordes superiores del molde. El material que se ha depositado en los bordes se introduce al compartimiento con la ayuda de un palustre, donde la superficie de los cubos se alisa con el lado plano de este. Concluida la operación de llenado, los moldes se trasladan a un cuarto húmedo durante un periodo de aproximadamente 24 horas con las caras superiores de los cubos expuestas al aire, pero protegidas de cualquier tipo fluido que les pueda caer, (*ver figura 16*).



*Figura 16.* Moldes que contiene el mortero.

Después del fraguado de 24 horas, se debe retirar los cubos de sus respectivos moldes con mucho cuidado para no causarles ningún daño, soltando cada uno de los tornillos y separando cuidadosamente cada cara. Luego de sacados los cubos del molde (*ver figura 17*), se dejaron a 7, 14 y 28 días de curado a temperatura ambiente y su vez se realizaron probetas, donde el fraguado fue a temperatura entre 65°C, de 24 horas en el horno (Binder, E D53-UL # 03-51342), (*ver figura 18*), se dejaron a 7, 14 y 28 días de curado a temperatura ambiente.

Al finalizar cada uno de las respectivas edades, se le realiza a las probetas los ensayos de resistencia a la compresión y se va tomando nota de los resultados arrojados.



**Figura 17.** Cubos desmoldados



**Figura 18.** Horno (Binder, E D53-UL # 03-51342)

De cada tipo de mezcla que se preparó, se tomaron 18 probetas para realizarle ataques con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a un  $PH=1$  y sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ),

después de 21 días de curado se sumergieron en recipientes que contenían cada una de estas soluciones químicas, durante 7, 14 y 21 días.

Un día antes de cumplirse las respectivas edades se sacaron de los recipientes y pasadas las 24 horas fueron sometidas a la prueba de resistencia a la compresión.  
(Ver figura 19)



Figura 19. Probetas sometidas a la prueba de resistencia a la compresión

**4.2.4 Interpretación de resultados.** En esta etapa de la investigación, los resultados se analizaron teniendo en cuenta las pruebas que se le realizaron a los materiales alternativos, agregados finos y materiales cementantes.

#### 4.2.4.1 Gráficos comparativos

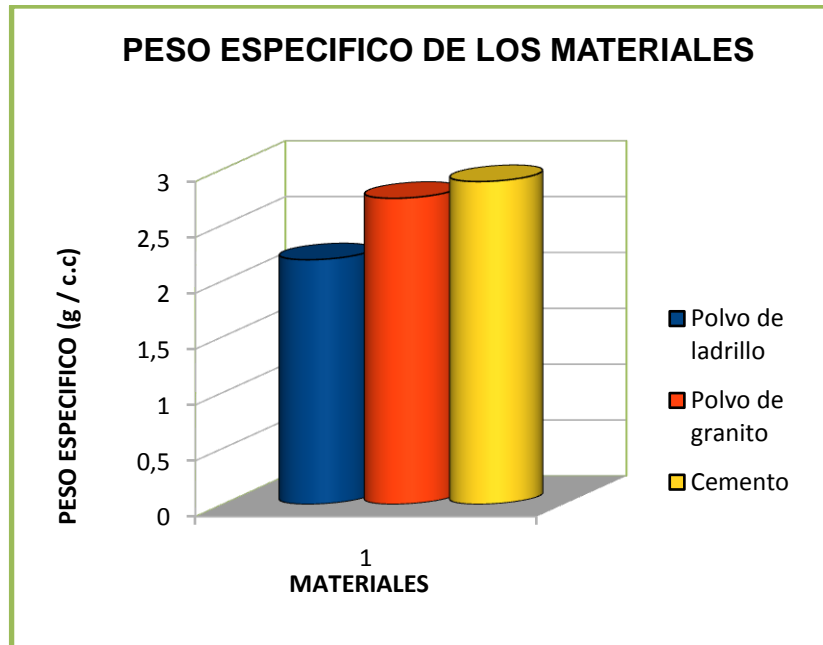


Figura 20. Peso específico de los materiales alternativos y cemento

En la gráfica anterior se puede observar que los materiales alternativos presentan pesos específicos similares, siendo para el polvo de ladrillo 2,19 g /cc y para el polvo de granito 2,74 g /cc. Comparando estos resultados con el peso específico del cemento que es 2,89 g /cc, se puede deducir que los materiales alternativos pueden trabajar como aligerantes en las mezclas.

**4.2.4.2 Análisis de resistencias a la compresión.** Por cada día de curado se realizó tres veces el mismo ensayo a las probetas con la misma mezcla, obteniendo los resultados experimentales, así se procedió a obtener un valor promedio por cada día de curado para realizar la respectiva comparación.

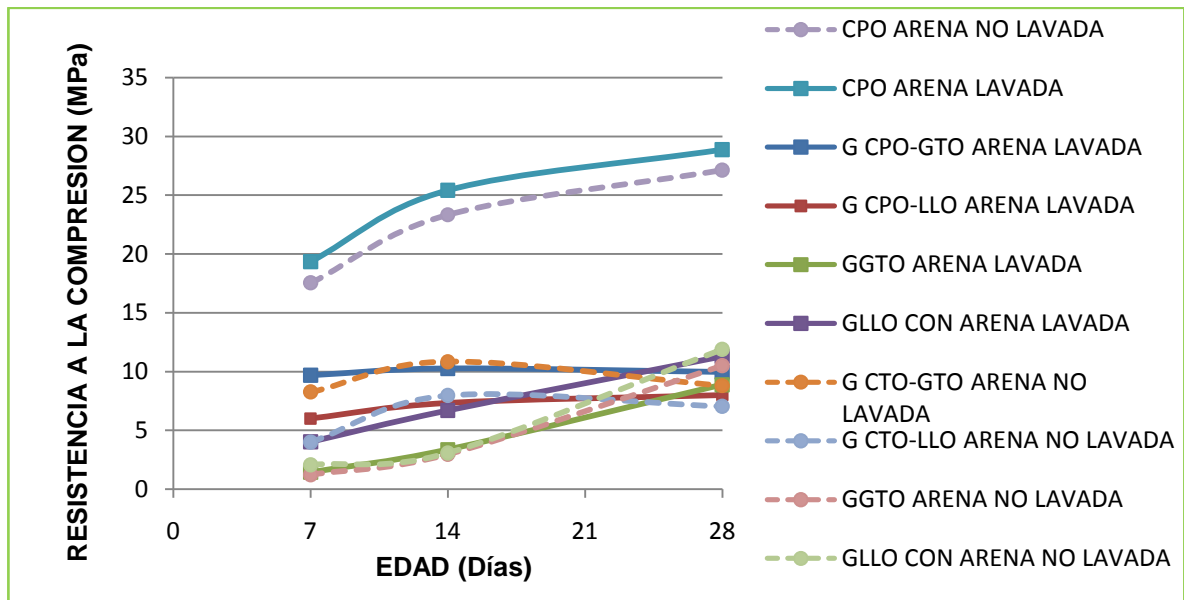


Figura 21. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente.

En la *figura 21*, muestra de manera general que para la mayoría de las probetas curadas a temperatura ambiente, aumenta la resistencia a la compresión simple a medida que pasa el tiempo, pero más notable en las fabricadas con arena lavada.

Las probetas geopoliméricas elaboradas con GLLO con arena lavada – no lavada, GTO con arena lavada – no lavadas y G CPO-GTO arena lavada, adquirieron buena o constante resistencia a la compresión comparados con respecto a la muestra patrón CPO.

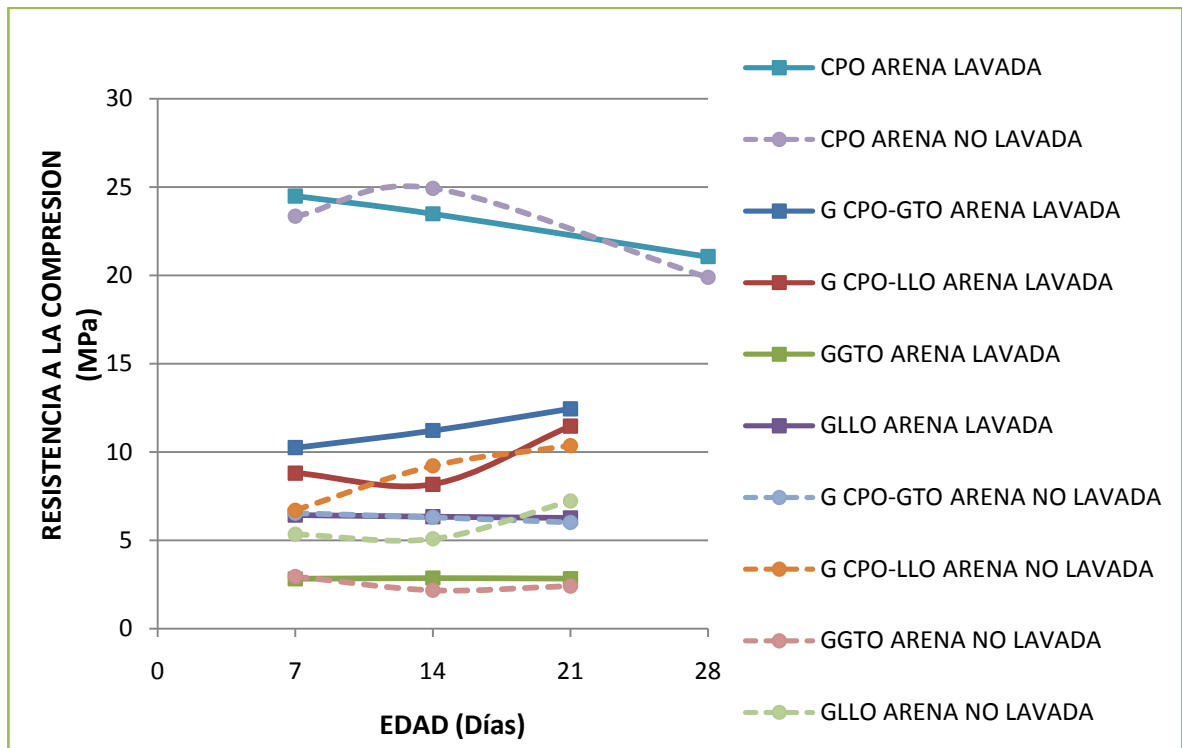


Figura 22. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente y con ataque de sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ).

En la *figura 22*, Se puede observar que la mayoría de las probetas geopoliméricas curadas y fraguadas a temperatura ambiente: G CPO-GTO arena lavada, G CPO – LLO arena lavada - no lavada, LLO arena no lavada, resultan ser poco afectadas con el sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ), mostrando un incremento en la resistencia a la compresión simple a medida que pasan los días.

Por último, las probetas realizadas con GGTO arena lavada, GGTO arena no lavada, G CPO-GTO arena no lavada, presentan un comportamiento constante. De manera general se puede indicar que a las probetas geopoliméricas sometidas al ataque con el sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ) no es fuerte; logrando así obtener buenas resistencias a la compresión, en cambio la muestra patrón se ve afectado notoriamente.

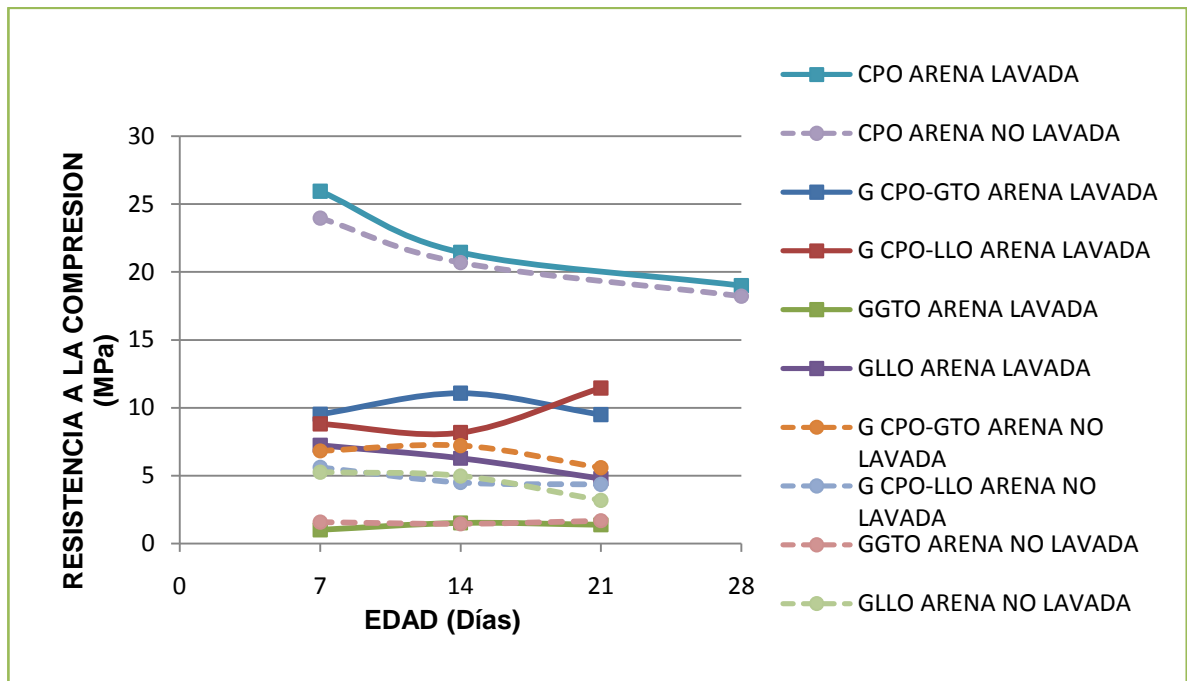


Figura 23. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente y con ataque de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

En la *figura 23*, se muestra cómo se comportan las probetas geopoliméricas elaboradas con G CPO-LLO arena lavada adquieren más resistencia a la compresión simple después de los 14 días sin que la afecte el ataque con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ); siendo lo contrario para las probetas geopoliméricas realizadas G CPO-GTO arena lavada - no lavada, GLLO arena lavada - no lavada, G CPO-LLO arena no lavada, GGTO arena lavada, y las probetas patrón de CPO con arena lavada - no lavada, se ven afectadas notablemente en su resistencia a la compresión logrando que esta decaiga rápidamente. Por último se puede observar que el GGTO con arena no lavada no sufre ningún cambio en su comportamiento.

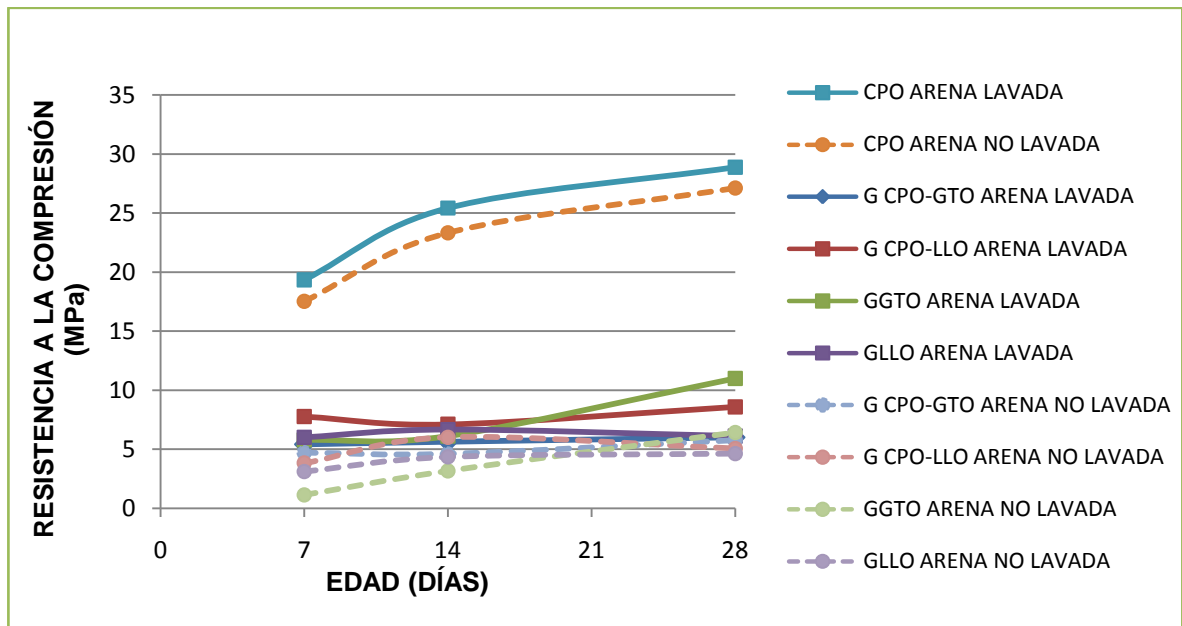


Figura 24. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C.

En la *figura 24*, muestra de manera general que para la mayoría de las probetas curadas a temperatura ambiente y fraguadas a 65°C, aumenta la resistencia a la compresión simple a medida que pasa el tiempo, pero más notable en las fabricadas con arena lavada.

Las probetas geopoliméricas elaborados con G CTO-LLO con arena lavada, GGTO con arena lavada, adquieren buena resistencia a la compresión comparados con respecto a la muestra patrón CPO.

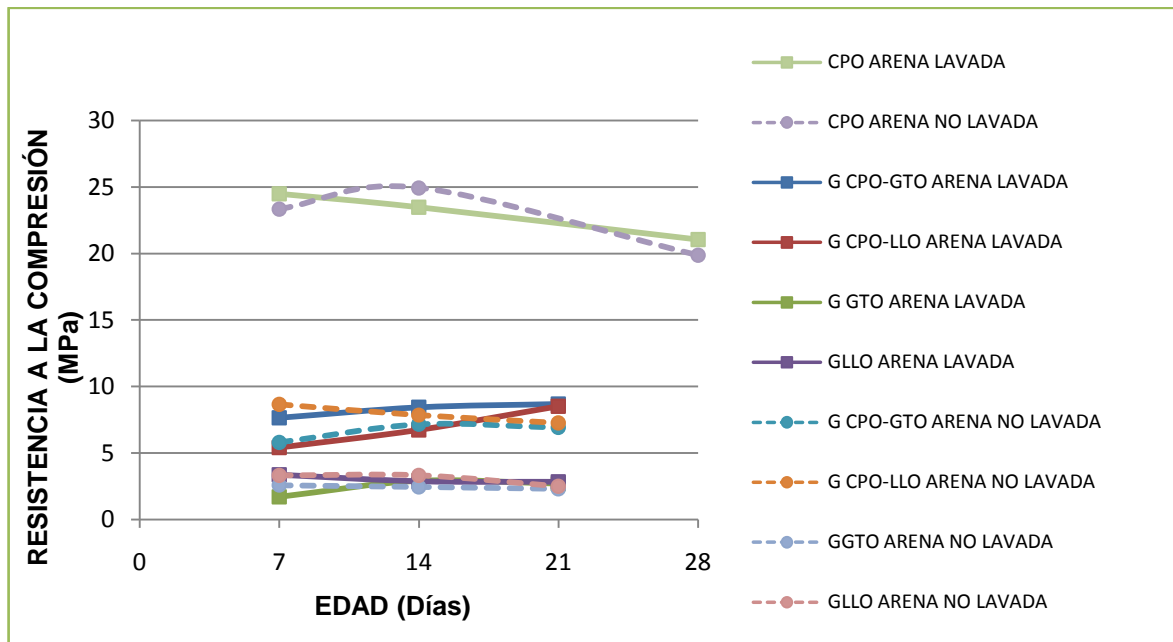


Figura 25. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C y con ataque de sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ).

En la figura 25, se puede observar que la mayoría de las probetas geopoliméricas y las probetas patrón, curadas a temperatura ambiente y fraguadas a 65°C: GTO arena lavada – no lavada, LLO arena lavada – no lavada, CTO-GTO arena no lavada, CTO-LLO arena no lavada y CTO arena lavada – no lavada, muestran una disminución notable o se mantienen continuas en la resistencia a la compresión simple a medida que pasan los días, al ser afectadas con el ataque de sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ).

Las probetas geopoliméricas elaboradas con CTO-LLO con arena lavada, CTO-GTO con arena lavada, adquirieron buena resistencia a la compresión comparados con respecto a la muestra patrón CTO.

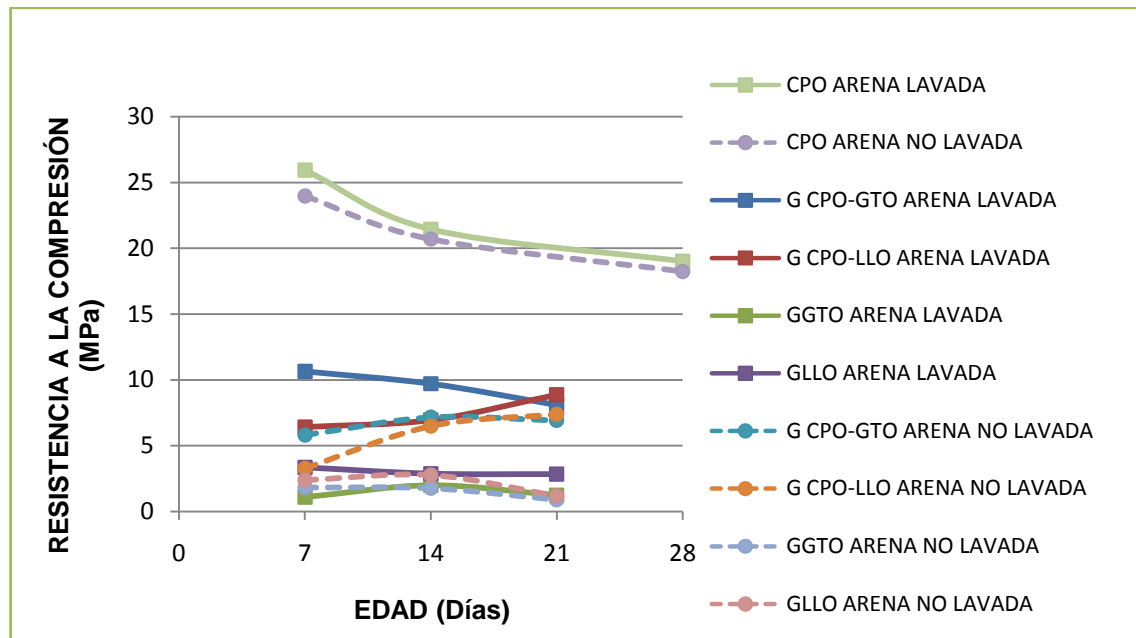


Figura 26. Resistencia a la compresión de las probetas con arena lavada y no lavada, curada a temperatura ambiente, fraguada a 65°C y con ataque de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

En la figura 26, se puede observar que la mayoría de las probetas geopoliméricas y las probetas patrón, curadas a temperatura ambiente y fraguadas a 65°C: GGTO arena lavada – no lavada, GLLO arena lavada – no lavada, G CPO-GTO arena no lavada, G CPO-LLO arena no lavada y CPO arena lavada – no lavada, muestran una disminución notable o se mantienen continuas en la resistencia a la compresión simple a medida que pasan los días, al ser afectadas con el ataque de el sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>).

Las probetas geopoliméricas elaborados con G CPO-LLO con arena lavada, adquirieron buena resistencia a la compresión comparados con respecto a la muestra patrón CPO.

## CONCLUSIONES

- ✓ A pesar que la resistencia a la compresión de los morteros fabricados con geopolímeros disminuye en comparación con la muestra patrón (CPO 100%), el porcentaje de reemplazo de cemento que muestra mejores resultados es 20%.
- ✓ Las probetas de geopolímeros fraguadas a temperatura ambiente, arrojaron mejores resultados de resistencia a la compresión simple, con respecto a las fraguadas a temperaturas mayores.
- ✓ Al someter las probetas a ataques con sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ), se observó un alto grado de ataque durante los 21 días de sumergida en este, deteriorándolos de una manera notoria.
- ✓ Se observó que los morteros geopoliméricos realizados con arena lavada arrojaron mejores resultados en la resistencia a la compresión simple que los elaborados con arena no lavada, siendo de gran importancia el uso de agregado fino con un bajo contenido material orgánica.
- ✓ En términos generales los morteros geopoliméricos de retales de ladrillo y granito presentan bajas propiedades mecánicas.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Para lograr aceptables y mejores resultados en las probetas geopoliméricas se recomienda utilizar proporciones diferentes de los materiales, para optimizar el % de remplazo adecuado del material cementante.
- ✓ Debido que las propiedades mecánicas de los morteros geopoliméricos no son comparables con las del mortero de cemento CPO, se recomienda en caso que se pueda emplear en la industria, sea utilizado como material de relleno ó en zonas donde se presenten bajos esfuerzos compresivos.
- ✓ Se sugiere que los materiales alternativos, que presentan una finura similar ó igual a la del cemento utilizado, ya que nos proporciona mayor área de reacción para que haya una mayor compactación. A su vez que estos materiales aditivos sean residuos para sí contribuir a disminuir la contaminación del medio ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ <sup>1</sup>Davidovits, J. (1994) Global warming impact on the cement and aggregates industries, *World Resource Review*, 6, 2, 263-278.
- ✓ <sup>2</sup>McCaffrey, R. (2002). *Climate Change and the Cement Industry*, *Global Cement and Lime Magazine (Environmental Special Issue)*, pp. 15-19.
- ✓ <sup>3</sup>Soares, P., Pinto A. T., Ferreira V. M y Labrincha, J. A, (2008). Geopolímeros basados en residuos de la producción de áridos ligeros, *Materiales de Construcción*, Vol. 58, 291, 23-34, ISSN: 0465-2746, Páginas 569 – 572.
- ✓ <sup>4</sup>Aristizábal, J. y Luengas, C. 2004. Reducción De Emisiones En La Industria Cementera Usando Madera Procedente De Plantaciones Dendroenergéticas
- ✓ <sup>5</sup>Neville, M. A., 1996, *Properties of concrete*, Fourth Edition, Wiley.
- ✓ <sup>6</sup>Góngora, I., (1998). Utilización de la cascarilla de Arroz como aligeramiento en el Hormigón.
- ✓ <sup>7</sup>Escalante, G. J., 2002, *Materiales Alternativos al Cemento Portland*, avance y perspectiva. Vol 21, Marzo – Abril, 2002. Páginas 79 - 88.
- ✓ <sup>8</sup>Delvasto, S., (2002). Prevención y protección de la corrección de estructuras de concreto armado en la adición de origen nacional obtenida a partir de un caolín de alta pureza.

- ✓ <sup>9</sup>Wang, A., Zhang, Ch., Sun, W., (2003). Fly ash effects. The active effects to fly ash. Cement and Concrete Research, 34. Páginas 2057 - 2060.
- ✓ <sup>10</sup>Khandaker, M y Anwar, H. (2003). Development of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research, Vol 56. Páginas 99 - 109.
- ✓ <sup>11</sup>Targan, S., Olgun, A., Erdogan Y., Sevinc, V, (2003). Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash and fly ash on the properties of Portland cement. Cement and Concrete Research, Vol 33. Páginas 1175 - 1182.
- ✓ <sup>12</sup>Tangchirapat, W., Saeting, T., Jaturapitakkul, Ch., Kiattikomol, K y siripanichgorn, (2006). Use of waste ash from palm oil industry in concrete. Waste management.
- ✓ <sup>13</sup>Shayan, A., Xu, A. (2004). Value-added utilisation of waste glass in concrete. Cement and Concrete Research, Vol 34. Páginas 81 - 89.
- ✓ <sup>14</sup>Cabañas., A. (2008). Concreto Presforzado. Instituto Politecnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2008. Páginas 569 – 572
- ✓ <sup>15</sup>De Gutiérrez, R., (2001) Propiedades y comportamiento de cementos nacionales.
- ✓ <sup>16</sup>Beleña, I., Tendero, M.J.L, Tamayo, E.M., Vie, D, 2004, Estudio y optimización de los parámetros de reacción para la obtención de material geopolimérico, Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, V. 43, No. 2, 2004. Páginas 569 – 572.
- ✓ <sup>17</sup>Lloyd, J., 2006. Modelling the Formation of geopolymers, Marzo, 2006.
- ✓ <sup>18</sup>Mancipe, J., Pereira, L., Bermúdez, D., 2007. Diseño de concretos de alta

resistencia a partir de una puzolana natural. Diciembre, 2007.

- ✓ <sup>19</sup>Mantilla, L.C., *et al*, 2002. Estudio sobre el origen de los filones de fluorita en los municipios Cepita, los Santos, Piedecuesta y su relación con la historia hidrotermal del flanco suroeste del macizo de Santander. Febrero, 2002.
- ✓ <sup>20</sup>AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or (50 mm) Cube Specimens). Philadelphia: ASTM 2001, 5 p. il. (ASTM C 109/C 109M).
- ✓ I.N.V.E – 124 – 07. Análisis Granulométrico Por Medio Del Hidrómetro
- ✓ NTC – 32. Granulometría de agregados finos.
- ✓ I.N.V.E – 123 – 07. Análisis Granulométrico Por Tamizado
- ✓ I.N.V.E – 235 – 07. Valor de azul de metileno en agregados fino y en llenantes minerales.
- ✓ I.N.V.E – 217. Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos.
- ✓ Caballero V. M.; Cruz Guevara, L. E. 2007, Descripción Y Clasificación Por Composición De Las Rocas Terrígenas En Muestra De Mano.
- ✓ I.N.V.E – 307. Peso Específico Y Absorción De Agregados Finos
- ✓ NTC – 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm ó 50,8mm de lado.
- ✓ I.N.V.E – 323 – 07. Resistencia a la compresión de los morteros de cemento hidráulico.

- ✓ I.N.V.E – 410. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- ✓ I.N.V.E – 329 – 07. Expansión potencial de morteros de cemento Portland expuestos a la acción de sulfatos.
- ✓ NTC – 489. Resistencia química de morteros.
- ✓ Gimeno, D., Davodovits, J., Marini, C., Rocher, P., Tocco, S., Cara, S., Diaz, N., Segura, C., Sistu, G, 2003, Desarrollo de un cemento de base silicatada a partir de rocas volcanicas vitreas alcalinas: interpretación de los resultados preindustriales basada en la composición químico – mineralógica de los precursores geológicos, Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, V. 42, No. 2, Páginas 69 - 78.
- ✓ Méndez, R., 2008. Determinación de la reactividad puzolánica de adiciones minerales de origen natural con el cemento portland. Junio, 2008.
- ✓ Molina, B. O. I., Moragues, T. A., Galvez R. J. C, 2008, La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigon: propiedades físicas, difusión del ion cloruro y del dióxido de carbono, Análisis de Mecánica de la Fractura 25, Vol 2, Páginas 575 – 580.
- ✓ Puertas, F., Barba, A., Gazulla, M.F., Gómez, M.P., Palacios, M., Martinez-Ramirez, S, 2006, Residuos cerámicos para su posible uso como materia prima en la fabricación de clinker de cemento portland: caracterización y activación alcalina, Materiales de Construcción, Vol 56, No. 281, Páginas 73 – 84.
- ✓ Skvara, F, 2007, Alkali activate materials or geopolymers?, Department of

Glass and Ceramics, Institute of Chemical Tecnology Prague, Czech Republic, Páginas 173 – 177.

- ✓ Skvara, F., Dolezal, J., Svoboda, P., Kopechy, L., Pawlasova, S., Lucuk, M., Dvoracek, k., Beksa, M., Myskova, L., Sulc, R, Concrete based on fly ash geopolymers, Páginas 1 – 19.
- ✓ Skvara, F., Jilek, T., Kopecky, L., 2005, Geopolymer materials based on fly ash, Department of Glass and Ceramics, Institute of Chemical Tecnology Prague, Czech Republic, Páginas 195 - 204.
- ✓ Song, X.J., Marosszeky, M., Brungs, M., Munn, R, 2005, Durability fo fly ash based geopolimer concrete against sulphuric acid attack, 10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components LYON, France, Páginas 1 – 7.
- ✓ Vijalla, R.B., 2008, Studies on fly ash-based geopolymer concrete, Malaysian Construction Research Journal, Vol 3, No. 2, Patinas 2 – 20.
- ✓ Thokchom, S., Ghosh, P., Ghosh., S. 2009. Acid Resistance of Fly ash based Geopolymer mortars. International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 6, Mayo 2009. Páginas 36 - 40.
- ✓ Song, X. et al. (2006). Study of alkali metal activators on sulphuric acidresistance of fly ash based geopolymers. *International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer Khon Kaen, Thailand, May 24-25, 2006*. Páginas 158 - 166.
- ✓ I.N.V.E – 317 – 07. Densidad Bulk (pero unitario) y porcentaje de vacios de los agregados compactados o suelos.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Ficha técnica del silicato de sodio.



## FICHA TECNICA

CÓDIGO: 026Ab

SILICATO DE SODIO NEUTRO

### 1. IDENTIFICACION

FORMULA QUIMICA:	$\text{Na}_2\text{O}:3,2\text{SiO}_2$
NOMBRE COMERCIAL:	SILICATO DE SODIO NEUTRO 42
PESO MOLECULAR:	184 g/mol
SINONIMOS:	VIDRIO SOLUBLE

### 2. DESCRIPCION

Los Silicatos de Sodio comprenden un grupo de sustancias químicas, compuestas de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y agua, en proporciones diferentes para cada tipo de silicato. Dependiendo de su composición, ofrecen un amplio rango de propiedades físicas y químicas.

### 3. USOS

El Silicato de Sodio Neutro 42 es usado en las industrias de pegantes, papel y cartón. En la fabricación de detergentes, limpiadores de composición especial y jabones líquidos. También se usa para tratamiento de aguas, prevención de la corrosión y en la industria cerámica para la producción de cementos refractarios.

### 4. ESPECIFICACIONES TECNICAS

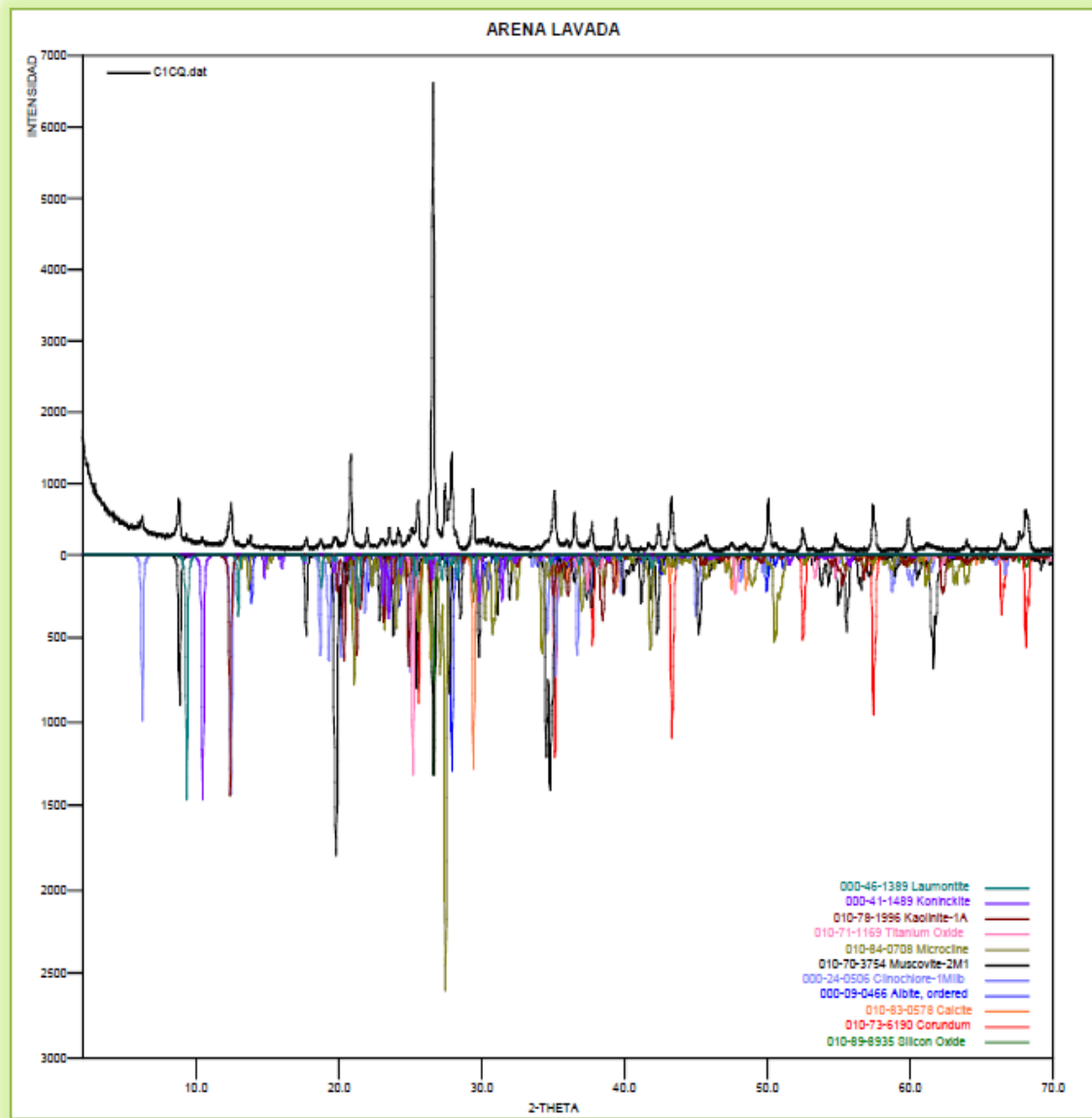
PROPIEDAD	ESPECIFICACION	VALOR TÍPICO
RELACIÓN ( $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ )	3.00 – 3.25	3.10
DENSIDAD BAUMÉ (°Be)	40.5 – 43.5	42
ÓXIDO DE SODIO (% p/p $\text{Na}_2\text{O}$ )	8.76 – 9.86	9.27
ÓXIDO DE SILICIO (% p/p $\text{SiO}_2$ )	27.39 – 30.27	28.74
GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.3876 – 1.4286	1.4078
SÓLIDOS TOTALES (% p/p)	36.79 – 39.73	38.01
pH		11.3

Elaboró	Revisó	Aprobó
Director Técnico	Representante de Ventas	Gerente Comercial

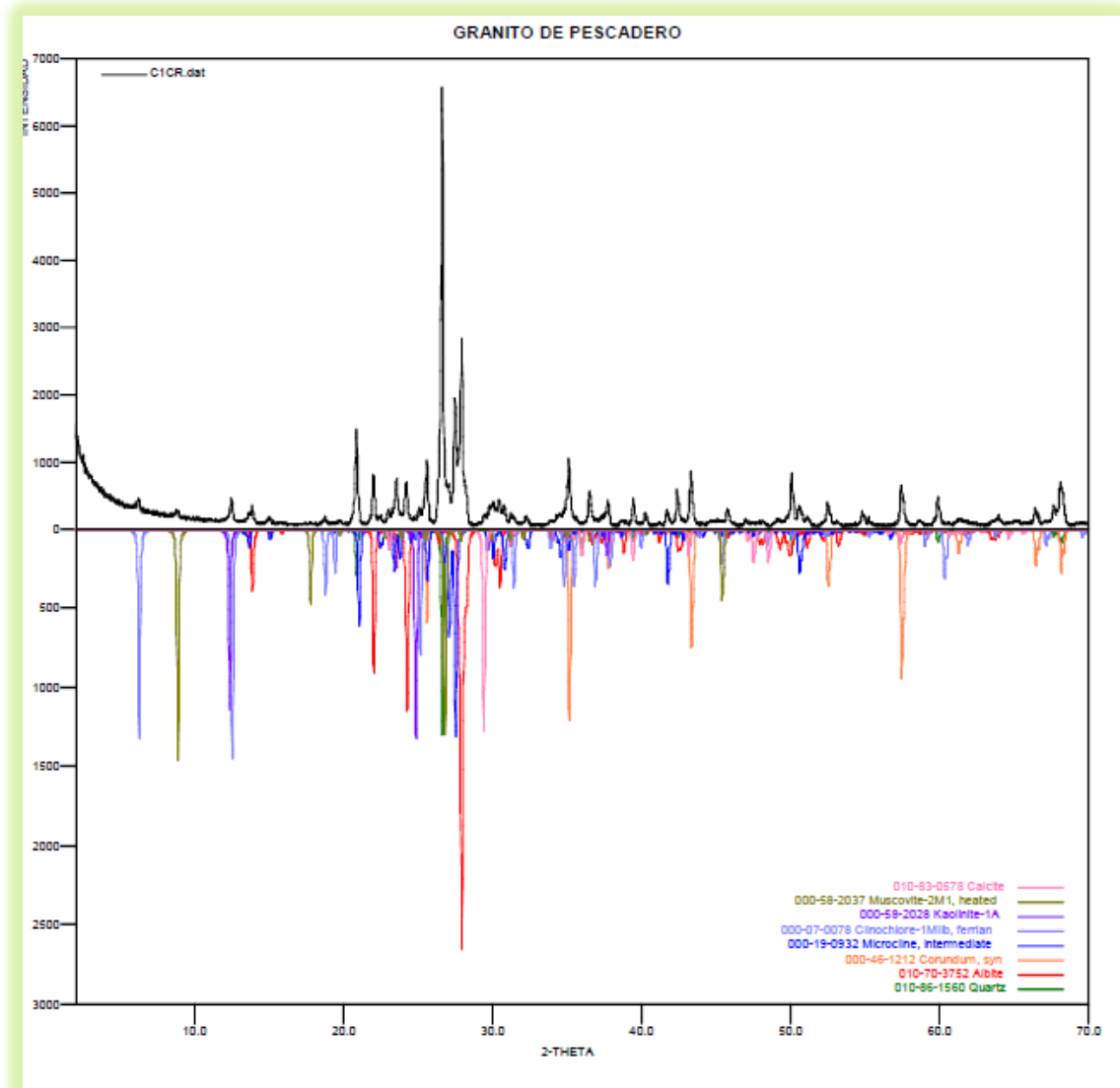
Revisión No. 6, 2008-04-23. FUENTE: P013, P069.

60

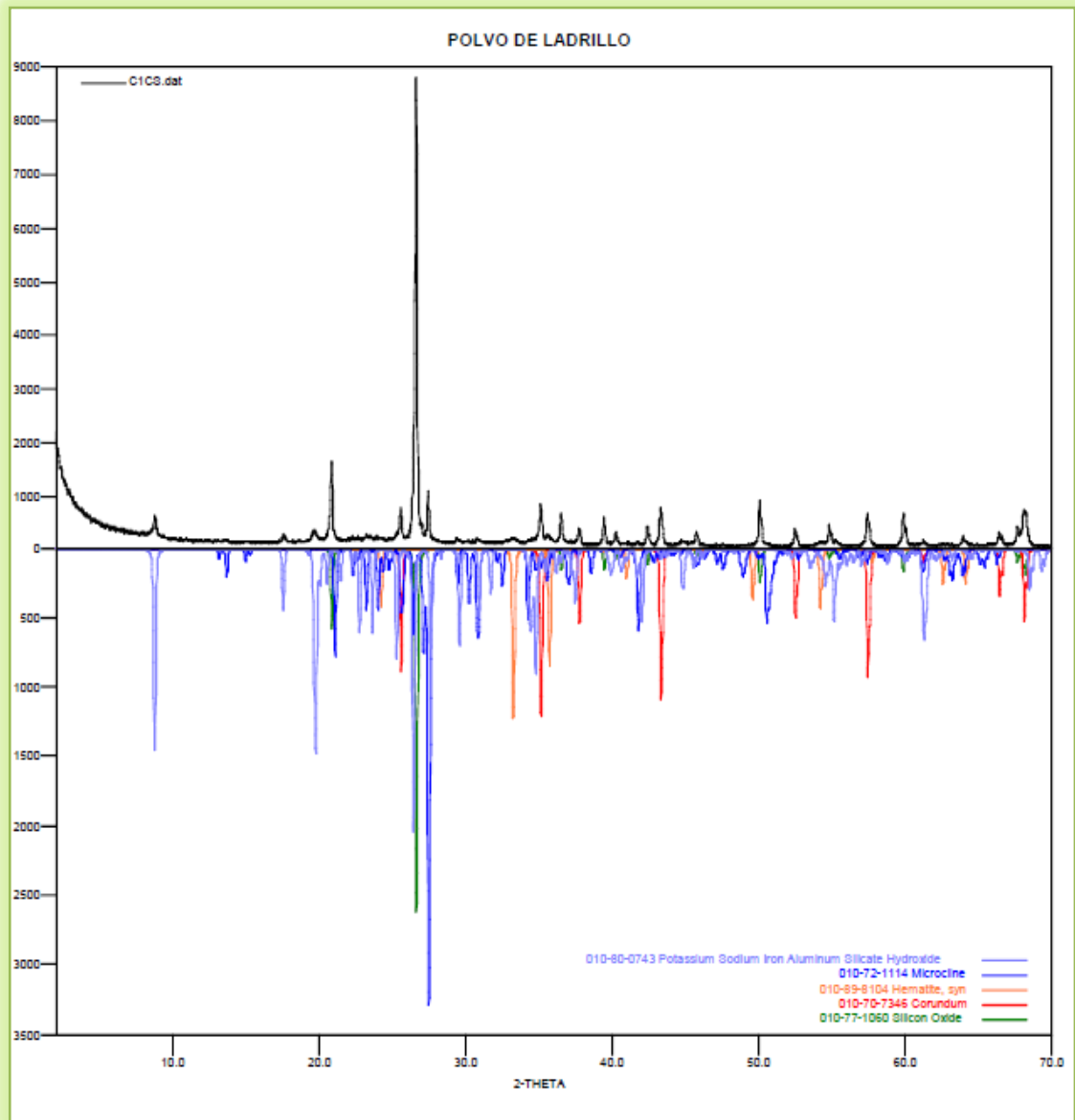
## ANEXO 2. Espectro de DRX de la arena lavada



### ANEXO 3. Espectro de DRX del Granito



### ANEXO 4. Espectro de DRX del retal de Ladrillo



**ANEXO 5. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>YIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - GRANITO CON ARENA LAVADA (T° AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDR	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	27/11/2009	7	24.7	2500.00	9.88
2	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	27/11/2009	7	23.8	2500.00	9.52
3	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	27/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	04/12/2009	14	21.3	2500.00	8.52
5	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	04/12/2009	14	28.1	2500.00	11.24
6	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	04/12/2009	14	27.6	2500.00	11.04
7	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	18/12/2009	28	33	2500.00	13.20
8	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	18/12/2009	28	22.9	2500.00	9.16
9	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	21/11/2009	18/12/2009	28	18.9	2500.00	7.56
10	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	17/12/2009	7	24.3	2500.00	9.72
11	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	17/12/2009	7	24.1	2500.00	9.64
12	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	17/12/2009	7	23.1	2500.00	9.24
13	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	24/12/2009	14	31.0	2500.00	12.40
14	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	24/12/2009	14	28.7	2500.00	11.48
15	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	24/12/2009	14	23.4	2500.00	9.36
16	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	31/12/2009	21	21.7	2500.00	8.68
17	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	31/12/2009	21	27.2	2500.00	10.88
18	ATAQUE CON ACIDOS	21/11/2009	31/12/2009	21	22.4	2500.00	8.96
19	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	17/12/2009	7	19.8	2500.00	7.92
20	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	17/12/2009	7	26.4	2500.00	10.56
21	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	17/12/2009	7	30.6	2500.00	12.24
22	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	24/12/2009	14	28.1	2500.00	11.24
23	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	24/12/2009	14	25.5	2500.00	10.20
24	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	24/12/2009	14	30.5	2500.00	12.20
25	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	31/12/2009	21	27.2	2500.00	10.88
26	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	31/12/2009	21	31.8	2500.00	12.72
27	ATAQUE CON SULFATOS	21/11/2009	31/12/2009	21	34.3	2500.00	13.72

**ANEXO 6. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - GRANITO CON ARENA NO LAVADA (T° AMBIENTE)					
<b>N° CILINDRO</b>	<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>FECHA DE FUNDICIÓN</b>	<b>FECHA DE ROTURA</b>	<b>EDAD DE CILINDRO (DIAS)</b>	<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm<sup>2</sup>)</b>
1	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	18/11/2009	7	18.6	2500.00	7.44
2	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	18/11/2009	7	22.7	2500.00	9.08
3	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	18/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	25/11/2009	14	26.7	2500.00	10.68
5	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	25/11/2009	14	29.3	2500.00	11.72
6	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	25/11/2009	14	25.3	2500.00	10.12
7	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	09/12/2009	28	19.1	2500.00	7.64
8	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	09/12/2009	28	22.7	2500.00	9.08
9	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	12/11/2009	09/12/2009	28	24.2	2500.00	9.68
10	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	08/12/2009	7	17.3	2500.00	6.92
11	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	08/12/2009	7	15.0	2500.00	6.00
12	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	08/12/2009	7	18.9	2500.00	7.56
13	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	15/12/2009	14	20.3	2500.00	8.12
14	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	15/12/2009	14	18.0	2500.00	7.20
15	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	15/12/2009	14	15.8	2500.00	6.32
16	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	22/12/2009	21	15.9	2500.00	6.36
17	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	22/12/2009	21	12.2	2500.00	4.88
18	ATAQUE CON ACIDOS	12/11/2009	22/12/2009	21	13.8	2500.00	5.52
19	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	08/12/2009	7	15.6	2500.00	6.24
20	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	08/12/2009	7	17.4	2500.00	6.96
21	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	08/12/2009	7	16.0	2500.00	6.40
22	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	15/12/2009	14	16.5	2500.00	6.60
23	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	15/12/2009	14	17.9	2500.00	7.16
24	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	15/12/2009	14	12.8	2500.00	5.12
25	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	22/12/2009	21	16.4	2500.00	6.56
26	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	22/12/2009	21	13.2	2500.00	5.28
27	ATAQUE CON SULFATOS	12/11/2009	22/12/2009	21	15.4	2500.00	6.16

**ANEXO 7. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160H16					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - LADRILLO CON ARENA LAVADA (T° AMBIENTE)					
<b>N° CILINDRO</b>	<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>FECHA DE FUNDICIÓN</b>	<b>FECHA DE ROTURA</b>	<b>EDAD DE CILINDRO</b>	<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm<sup>2</sup>)</b>
1	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	26/11/2009	7	13.4	2500.00	5.36
2	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	26/11/2009	7	16.7	2500.00	6.68
3	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	26/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	03/12/2009	14	20.3	2500.00	8.12
5	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	03/12/2009	14	18.7	2500.00	7.48
6	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	03/12/2009	14	16.1	2500.00	6.44
7	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	17/12/2009	28	23.4	2500.00	9.36
8	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	17/12/2009	28	18.8	2500.00	7.52
9	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	20/11/2009	17/12/2009	28	17.9	2500.00	7.16
10	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	16/12/2009	7	19.4	2500.00	7.76
11	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	16/12/2009	7	19.4	2500.00	7.76
12	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	16/12/2009	7	27.3	2500.00	10.92
13	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	23/12/2009	14	21.1	2500.00	8.44
14	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	23/12/2009	14	15.9	2500.00	6.36
15	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	23/12/2009	14	24.3	2500.00	9.72
16	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	30/12/2009	21	23.5	2500.00	9.40
17	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	30/12/2009	21	25.4	2500.00	10.16
18	ATAQUE CON ACIDOS	20/11/2009	30/12/2009	21	37.1	2500.00	14.84
19	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	16/12/2009	7	21.9	2500.00	7.76
20	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	16/12/2009	7	26.3	2500.00	7.76
21	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	16/12/2009	7	24.5	2500.00	10.92
22	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	23/12/2009	14	25.5	2500.00	8.44
23	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	23/12/2009	14	24.8	2500.00	6.36
24	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	23/12/2009	14	25.5	2500.00	9.72
25	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	30/12/2009	21	25.5	2500.00	9.40
26	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	30/12/2009	21	38.6	2500.00	10.16
27	ATAQUE CON SULFATOS	20/11/2009	30/12/2009	21	38.4	2500.00	14.84

**ANEXO 8. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC376/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VELOCIDAD DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - LADRILLO CON ARENA NO LAVADA (T AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DIAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	17/11/2009	7	7.8	2500.00	3.12
2	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	17/11/2009	7	12.2	2500.00	4.88
3	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	17/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	24/11/2009	14	19.9	2500.00	7.96
5	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	24/11/2009	14	20.9	2500.00	8.36
6	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	24/11/2009	14	19.0	2500.00	7.60
7	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	08/12/2009	28	18.2	2500.00	7.28
8	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	08/12/2009	28	17.3	2500.00	6.92
9	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	11/11/2009	08/12/2009	28	17.3	2500.00	6.92
10	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	07/12/2009	7	18.7	2500.00	7.48
11	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	07/12/2009	7	13.9	2500.00	5.56
12	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	07/12/2009	7	9.4	2500.00	3.76
13	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	14/12/2009	14	11.8	2500.00	4.72
14	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	14/12/2009	14	13.6	2500.00	5.44
15	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	14/12/2009	14	8.4	2500.00	3.36
16	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	21/12/2009	21	12.2	2500.00	4.88
17	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	21/12/2009	21	11.4	2500.00	4.56
18	ATAQUE CON ACIDOS	11/11/2009	21/12/2009	21	9.1	2500.00	3.64
19	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	07/12/2009	7	13.8	2500.00	5.52
20	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	07/12/2009	7	17.5	2500.00	7.00
21	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	07/12/2009	7	18.9	2500.00	7.56
22	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	14/12/2009	14	21.6	2500.00	8.64
23	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	14/12/2009	14	23.5	2500.00	9.40
24	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	14/12/2009	14	24.0	2500.00	9.60
25	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	21/12/2009	21	22.8	2500.00	9.12
26	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	21/12/2009	21	27.2	2500.00	10.88
27	ATAQUE CON SULFATOS	11/11/2009	21/12/2009	21	27.7	2500.00	11.08

## ANEXO 9. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE GRANITO CON ARENA LAVADA (T° AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DIAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	24/11/2009	7	3.8	2500.00	1.52
2	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	24/11/2009	7	3.4	2500.00	1.36
3	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	24/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	01/12/2009	14	7.4	2500.00	2.96
5	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	01/12/2009	14	8.1	2500.00	3.24
6	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	01/12/2009	14	9.8	2500.00	3.92
7	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	15/12/2009	28	24.7	2500.00	9.88
8	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	15/12/2009	28	18.7	2500.00	7.48
9	PROBETAS GRANITO	18/11/2009	15/12/2009	28	23.3	2500.00	9.32
10	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	14/12/2009	7	2.8	2500.00	1.12
11	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	14/12/2009	7	2.1	2500.00	0.84
12	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	14/12/2009	7	2.6	2500.00	1.04
13	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	21/12/2009	14	2.9	2500.00	1.16
14	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	21/12/2009	14	2.7	2500.00	1.08
15	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	21/12/2009	14	5.8	2500.00	2.32
16	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	28/12/2009	21	4.3	2500.00	1.72
17	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	28/12/2009	21	3.7	2500.00	1.48
18	ATAQUE CON ACIDOS	18/11/2009	28/12/2009	21	2.4	2500.00	0.96
19	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	14/12/2009	7	8.4	2500.00	3.36
20	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	14/12/2009	7	5.2	2500.00	2.08
21	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	14/12/2009	7	7.5	2500.00	3.00
22	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	21/12/2009	14	5.7	2500.00	2.28
23	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	21/12/2009	14	8.4	2500.00	3.36
24	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	21/12/2009	14	7.4	2500.00	2.96
25	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	28/12/2009	21	5.6	2500.00	2.24
26	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	28/12/2009	21	7.2	2500.00	2.88
27	ATAQUE CON SULFATOS	18/11/2009	28/12/2009	21	8.4	2500.00	3.36

**ANEXO 10. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE GRANITO CON ARENA NO LAVADA (T: AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DIAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	15/11/2009	7	3.1	2500.00	1.24
2	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	15/11/2009	7	2.6	2500.00	1.04
3	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	15/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	22/11/2009	14	10.0	2500.00	4.00
5	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	22/11/2009	14	6.7	2500.00	2.68
6	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	22/11/2009	14	5.7	2500.00	2.28
7	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	06/12/2009	28	25.4	2500.00	10.16
8	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	06/12/2009	28	25.9	2500.00	10.36
9	PROBETAS GRANITO	09/11/2009	06/12/2009	28	27.5	2500.00	11.00
10	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	05/12/2009	7	4.7	2500.00	1.88
11	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	05/12/2009	7	2.8	2500.00	1.12
12	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	05/12/2009	7	4.4	2500.00	1.76
13	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	12/12/2009	14	3.7	2500.00	1.48
14	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	12/12/2009	14	3.2	2500.00	1.28
15	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	12/12/2009	14	4.0	2500.00	1.60
16	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	19/12/2009	21	3.9	2500.00	1.56
17	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	19/12/2009	21	2.5	2500.00	1.00
18	ATAQUE CON ACIDOS	09/11/2009	19/12/2009	21	6.2	2500.00	2.48
19	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	05/12/2009	7	8.5	2500.00	3.40
20	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	05/12/2009	7	7.4	2500.00	2.96
21	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	05/12/2009	7	6.2	2500.00	2.48
22	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	12/12/2009	14	5.2	2500.00	2.08
23	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	12/12/2009	14	6.4	2500.00	2.56
24	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	12/12/2009	14	4.6	2500.00	1.84
25	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	19/12/2009	21	4.1	2500.00	1.64
26	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	19/12/2009	21	5.9	2500.00	2.36
27	ATAQUE CON SULFATOS	09/11/2009	19/12/2009	21	8.0	2500.00	3.20

**ANEXO 11. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo con arena lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>YIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS LADRILLO CON ARENA LAVADA (T° AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	23/11/2009	7	11	2500.00	4.40
2	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	23/11/2009	7	9.2	2500.00	3.68
3	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	23/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	30/11/2009	14	18.3	2500.00	7.32
5	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	30/11/2009	14	16.2	2500.00	6.48
6	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	30/11/2009	14	15.8	2500.00	6.32
7	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	14/12/2009	28	26.8	2500.00	10.72
8	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	14/12/2009	28	26.7	2500.00	10.68
9	PROBETAS LADRILLO	17/11/2009	14/12/2009	28	31.2	2500.00	12.48
10	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	13/12/2009	7	19.3	2500.00	7.72
11	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	13/12/2009	7	18.8	2500.00	7.52
12	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	13/12/2009	7	16.2	2500.00	6.48
13	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	20/12/2009	14	14.9	2500.00	5.96
14	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	20/12/2009	14	16.2	2500.00	6.48
15	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	20/12/2009	14	16	2500.00	6.40
16	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	27/12/2009	21	13.4	2500.00	5.36
17	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	27/12/2009	21	12	2500.00	4.80
18	ATAQUE CON ACIDOS	17/11/2009	27/12/2009	21	10.4	2500.00	4.16
19	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	13/12/2009	7	15.6	2500.00	6.24
20	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	13/12/2009	7	17.4	2500.00	6.96
21	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	13/12/2009	7	15.2	2500.00	6.08
22	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	20/12/2009	14	13.5	2500.00	5.40
23	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	20/12/2009	14	16.9	2500.00	6.76
24	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	20/12/2009	14	17.1	2500.00	6.84
25	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	27/12/2009	21	18.8	2500.00	7.52
26	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	27/12/2009	21	13.2	2500.00	5.28
27	ATAQUE CON SULFATOS	17/11/2009	27/12/2009	21	15	2500.00	6.00

**ANEXO 12. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena no lavada curada y fraguada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS LADRILLO CON ARENA NO LAVADA (T° AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	10/11/2009	7	5.8	2500.00	2.32
2	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	10/11/2009	7	4.5	2500.00	1.80
3	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	10/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	17/11/2009	14	7.5	2500.00	3.00
5	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	17/11/2009	14	7.8	2500.00	3.12
6	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	17/11/2009	14	7.8	2500.00	3.12
7	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	01/12/2009	28	29.5	2500.00	11.80
8	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	01/12/2009	28	27.6	2500.00	11.04
9	PROBETAS LADRILLO	04/11/2009	01/12/2009	28	32.2	2500.00	12.88
10	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	30/11/2009	7	15.6	2500.00	6.24
11	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	30/11/2009	7	15.8	2500.00	6.32
12	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	30/11/2009	7	8.1	2500.00	3.24
13	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	07/12/2009	14	12.0	2500.00	4.80
14	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	07/12/2009	14	14.4	2500.00	5.76
15	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	07/12/2009	14	11.0	2500.00	4.40
16	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	14/12/2009	21	7.8	2500.00	3.12
17	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	14/12/2009	21	8.8	2500.00	3.52
18	ATAQUE CON ACIDOS	04/11/2009	14/12/2009	21	7.3	2500.00	2.92
19	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	30/11/2009	7	10.4	2500.00	4.16
20	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	30/11/2009	7	16.9	2500.00	6.76
21	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	30/11/2009	7	12.8	2500.00	5.12
22	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	07/12/2009	14	13.7	2500.00	5.48
23	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	07/12/2009	14	12.3	2500.00	4.92
24	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	07/12/2009	14	12.1	2500.00	4.84
25	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	14/12/2009	21	17.8	2500.00	7.12
26	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	14/12/2009	21	16.4	2500.00	6.56
27	ATAQUE CON SULFATOS	04/11/2009	14/12/2009	21	20.0	2500.00	8.00

**ANEXO 13. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - GRANITO CON ARENA LAVADA (FRAGUADO (T° 60 - 65))					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	09/12/2009	7	13.4	2500.00	5.36
2	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	09/12/2009	7	13.7	2500.00	5.48
3	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	09/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	16/12/2009	14	15.0	2500.00	6.00
5	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	16/12/2009	14	15.1	2500.00	6.04
6	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	16/12/2009	14	12.2	2500.00	4.88
7	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	30/12/2009	28	14.3	2500.00	5.72
8	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	30/12/2009	28	13.4	2500.00	5.36
9	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	03/12/2009	30/12/2009	28	17.4	2500.00	6.96
10	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	29/12/2009	7	24.9	2500.00	9.96
11	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	29/12/2009	7	29.4	2500.00	11.76
12	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	29/12/2009	7	25.5	2500.00	10.20
13	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	03/01/2010	14	31.5	2500.00	12.60
14	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	03/01/2010	14	19.3	2500.00	7.72
15	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	03/01/2010	14	22.0	2500.00	8.80
16	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	10/01/2010	21	24.0	2500.00	9.60
17	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	10/01/2010	21	22.0	2500.00	8.80
18	ATAQUE CON ACIDOS	03/12/2009	10/01/2010	21	14.6	2500.00	5.84
19	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	29/12/2009	7	17.4	2500.00	6.96
20	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	29/12/2009	7	16.4	2500.00	6.56
21	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	29/12/2009	7	23.6	2500.00	9.44
22	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	03/01/2010	14	21.4	2500.00	8.56
23	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	03/01/2010	14	18.2	2500.00	7.28
24	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	03/01/2010	14	23.7	2500.00	9.48
25	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	10/01/2010	21	24.8	2500.00	9.92
26	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	10/01/2010	21	16.4	2500.00	6.56
27	ATAQUE CON SULFATOS	03/12/2009	10/01/2010	21	24.0	2500.00	9.60

**ANEXO 14. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – granito (G CPO - GTO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>YIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - GRANITO CON ARENA NO LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7	11.7	2500.00	4.68
2	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7	11.9	2500.00	4.76
3	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	12.6	2500.00	5.04
5	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	10.6	2500.00	4.24
6	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	11.5	2500.00	4.60
7	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	13.4	2500.00	5.36
8	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	15.4	2500.00	6.16
9	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	14.6	2500.00	5.84
10	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.5	2500.00	5.80
11	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.3	2500.00	5.72
12	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.7	2500.00	5.88
13	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	19.2	2500.00	7.68
14	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	16.8	2500.00	6.72
15	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	17.7	2500.00	7.08
16	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	15.8	2500.00	6.32
17	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	20.1	2500.00	8.04
18	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	16.0	2500.00	6.40
19	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	12.6	2500.00	5.80
20	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	18.7	2500.00	5.72
21	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	16.1	2500.00	5.88
22	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	21.7	2500.00	7.68
23	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	17.8	2500.00	6.72
24	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	18.4	2500.00	7.08
25	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	21.0	2500.00	6.32
26	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	21.0	2500.00	8.04
27	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	22.7	2500.00	6.40

**ANEXO 15. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO - LLO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - GRANITO CON ARENA NO LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65)					
<b>N° CILINDRO</b>	<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>FECHA DE FUNDICI</b>	<b>FECHA DE ROTURA</b>	<b>EDAD DE CILINDRO (DÍAS)</b>	<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm<sup>2</sup>)</b>
1	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7	11.7	2500.00	4.68
2	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7	11.9	2500.00	4.76
3	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	08/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	12.6	2500.00	5.04
5	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	10.6	2500.00	4.24
6	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	15/12/2009	14	11.5	2500.00	4.60
7	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	13.4	2500.00	5.36
8	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	15.4	2500.00	6.16
9	PROBETAS CEMENTO - GRANITO	02/12/2009	29/12/2009	28	14.6	2500.00	5.84
10	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.5	2500.00	5.80
11	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.3	2500.00	5.72
12	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	28/12/2009	7	14.7	2500.00	5.88
13	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	19.2	2500.00	7.68
14	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	16.8	2500.00	6.72
15	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	04/01/2010	14	17.7	2500.00	7.08
16	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	15.8	2500.00	6.32
17	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	20.1	2500.00	8.04
18	ATAQUE CON ACIDOS	02/12/2009	11/01/2010	21	16.0	2500.00	6.40
19	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	12.6	2500.00	5.80
20	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	18.7	2500.00	5.72
21	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	28/12/2009	7	16.1	2500.00	5.88
22	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	21.7	2500.00	7.68
23	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	17.8	2500.00	6.72
24	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	04/01/2010	14	18.4	2500.00	7.08
25	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	21.0	2500.00	6.32
26	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	21.0	2500.00	8.04
27	ATAQUE CON SULFATOS	02/12/2009	11/01/2010	21	22.7	2500.00	6.40

**ANEXO 16. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de cemento – ladrillo (G CPO-LLO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE CEMENTO - LADRILLO CON ARENA NO LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	07/12/2009	7	18.4	2500.00	2.32
2	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	07/12/2009	7	13.4	2500.00	5.36
3	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	07/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	14/12/2009	14	15.9	2500.00	6.36
5	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	14/12/2009	14	14.0	2500.00	5.60
6	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	14/12/2009	14	15.3	2500.00	6.12
7	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	28/12/2009	28	13.5	2500.00	5.40
8	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	28/12/2009	28	12.9	2500.00	5.16
9	PROBETAS CEMENTO - LADRILLO	01/12/2009	28/12/2009	28	9.2	2500.00	3.68
10	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	27/12/2009	7	14.0	2500.00	5.60
11	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	27/12/2009	7	9.1	2500.00	3.64
12	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	27/12/2009	7	11.5	2500.00	4.60
13	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	03/01/2010	14	18.3	2500.00	7.32
14	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	03/01/2010	14	16.4	2500.00	6.56
15	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	03/01/2010	14	13.9	2500.00	5.56
16	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	10/01/2010	21	18.9	2500.00	7.56
17	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	10/01/2010	21	18.2	2500.00	7.28
18	ATAQUE CON ACIDOS	01/12/2009	10/01/2010	21	18.3	2500.00	7.32
19	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	27/12/2009	7	24.0	2500.00	9.60
20	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	27/12/2009	7	17.1	2500.00	6.84
21	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	27/12/2009	7	23.9	2500.00	9.56
22	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	03/01/2010	14	17.8	2500.00	7.12
23	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	03/01/2010	14	21.3	2500.00	8.52
24	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	03/01/2010	14	19.8	2500.00	7.92
25	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	10/01/2010	21	17.4	2500.00	6.96
26	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	10/01/2010	21	20.9	2500.00	8.36
27	ATAQUE CON SULFATOS	01/12/2009	10/01/2010	21	16.2	2500.00	6.48

**ANEXO 17. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE GRANITO CON ARENA LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DIAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	01/12/2009	7	13.5	2500.00	5.40
2	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	01/12/2009	7	15.5	2500.00	6.20
3	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	01/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	08/12/2009	14	16.4	2500.00	6.56
5	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	08/12/2009	14	16.1	2500.00	6.44
6	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	08/12/2009	14	13.5	2500.00	5.40
7	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	22/12/2009	28	28.8	2500.00	11.52
8	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	22/12/2009	28	30.4	2500.00	12.16
9	PROBETAS GRANITO	25/11/2009	22/12/2009	28	23.5	2500.00	9.40
10	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	21/12/2009	7	2.6	2500.00	1.04
11	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	21/12/2009	7	2.4	2500.00	0.96
12	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	21/12/2009	7	3.2	2500.00	1.28
13	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	28/12/2009	14	3.6	2500.00	1.44
14	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	28/12/2009	14	6.2	2500.00	2.48
15	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	28/12/2009	14	5.1	2500.00	2.04
16	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	04/01/2010	21	3.1	2500.00	1.24
17	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	04/01/2010	21	3.4	2500.00	1.36
18	ATAQUE CON ACIDOS	25/11/2009	04/01/2010	21	2.8	2500.00	1.12
19	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	21/12/2009	7	2.4	2500.00	0.96
20	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	21/12/2009	7	3.3	2500.00	1.32
21	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	21/12/2009	7	7.1	2500.00	2.84
22	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	28/12/2009	14	9.1	2500.00	3.64
23	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	28/12/2009	14	7.0	2500.00	2.80
24	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	28/12/2009	14	5.7	2500.00	2.28
25	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	04/01/2010	21	7.3	2500.00	2.92
26	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	04/01/2010	21	5.2	2500.00	2.08
27	ATAQUE CON SULFATOS	25/11/2009	04/01/2010	21	7.7	2500.00	3.08

**ANEXO 18. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de granito (GGTO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS DE GRANITO CON ARENA NO LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DIAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	06/12/2009	7	3	2500.00	1.20
2	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	06/12/2009	7	2.7	2500.00	1.08
3	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	06/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	13/12/2009	14	7.1	2500.00	2.84
5	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	13/12/2009	14	5.6	2500.00	2.24
6	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	13/12/2009	14	11.1	2500.00	4.44
7	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	27/12/2009	28	18	2500.00	7.20
8	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	27/12/2009	28	16.3	2500.00	6.52
9	PROBETAS GRANITO	30/11/2009	27/12/2009	28	13.9	2500.00	5.56
10	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	26/12/2009	7	5.8	2500.00	2.32
11	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	26/12/2009	7	4.9	2500.00	1.96
12	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	26/12/2009	7	3.0	2500.00	1.20
13	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	02/01/2010	14	3.3	2500.00	1.32
14	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	02/01/2010	14	5.0	2500.00	2.00
15	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	02/01/2010	14	4.9	2500.00	1.96
16	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	09/01/2010	21	2.0	2500.00	0.80
17	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	09/01/2010	21	2.3	2500.00	0.92
18	ATAQUE CON ACIDOS	30/11/2009	09/01/2010	21	2.4	2500.00	0.96
19	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	26/12/2009	7	6.3	2500.00	2.52
20	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	26/12/2009	7	4.9	2500.00	1.96
21	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	26/12/2009	7	8.2	2500.00	3.28
22	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	02/01/2010	14	8.1	2500.00	3.24
23	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	02/01/2010	14	4.8	2500.00	1.92
24	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	02/01/2010	14	5.5	2500.00	2.20
25	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	09/01/2010	21	7.3	2500.00	2.92
26	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	09/01/2010	21	4.5	2500.00	1.80
27	ATAQUE CON SULFATOS	30/11/2009	09/01/2010	21	8.0	2500.00	3.20

**ANEXO 19. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTME-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS LADRILLO CON ARENA LAVADA (FRAGUADO T: 60 - 65)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICI	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	30/11/2009	7	14.6	2500.00	5.84
2	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	30/11/2009	7	15.5	2500.00	6.20
3	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	30/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	07/12/2009	14	18.6	2500.00	7.44
5	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	07/12/2009	14	18.3	2500.00	7.32
6	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	07/12/2009	14	13.2	2500.00	5.28
7	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	21/12/2009	28	15.9	2500.00	6.36
8	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	21/12/2009	28	17.5	2500.00	7.00
9	PROBETAS LADRILLO	24/11/2009	21/12/2009	28	12.6	2500.00	5.04
10	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	20/12/2009	7	7.7	2500.00	3.08
11	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	20/12/2009	7	10.2	2500.00	4.08
12	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	20/12/2009	7	7.3	2500.00	2.92
13	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	27/12/2009	14	7.9	2500.00	3.16
14	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	27/12/2009	14	7.9	2500.00	3.16
15	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	27/12/2009	14	5.8	2500.00	2.32
16	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	03/01/2010	21	5.5	2500.00	2.20
17	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	03/01/2010	21	6.1	2500.00	2.44
18	ATAQUE CON ACIDOS	24/11/2009	03/01/2010	21	9.7	2500.00	3.88
19	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	20/12/2009	7	9.6	2500.00	3.08
20	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	20/12/2009	7	8.4	2500.00	4.08
21	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	20/12/2009	7	9.8	2500.00	2.92
22	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	27/12/2009	14	9.0	2500.00	3.16
23	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	27/12/2009	14	10.8	2500.00	3.16
24	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	27/12/2009	14	9.6	2500.00	2.32
25	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	03/01/2010	21	5.2	2500.00	2.20
26	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	03/01/2010	21	7.8	2500.00	2.44
27	ATAQUE CON SULFATOS	24/11/2009	03/01/2010	21	8.4	2500.00	3.88

**ANEXO 20. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas geopoliméricas de ladrillo (GLLO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente y fraguado de 65°C.**

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.Y.E 410</b>							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS LADRILLO CON ARENA NO LAVADA (FRAGUADO T° 60 - 65)					
<b>N° CILINDRO</b>	<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>FECHA DE FUNDICI</b>	<b>FECHA DE ROTURA</b>	<b>EDAD DE CILINDRO (DÍAS)</b>	<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm<sup>2</sup>)</b>
1	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	03/12/2009	7	8.2	2500.00	3.28
2	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	03/12/2009	7	7.4	2500.00	2.96
3	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	03/12/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	10/12/2009	14	12.6	2500.00	5.04
5	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	10/12/2009	14	10.7	2500.00	4.28
6	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	10/12/2009	14	9.4	2500.00	3.76
7	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	24/12/2009	28	10.5	2500.00	4.20
8	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	24/12/2009	28	9.1	2500.00	3.64
9	PROBETAS LADRILLO	27/11/2009	24/12/2009	28	10.7	2500.00	4.28
10	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	23/12/2009	7	4.0	2500.00	1.60
11	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	23/12/2009	7	7.2	2500.00	2.88
12	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	23/12/2009	7	6.7	2500.00	2.68
13	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	30/12/2009	14	8.1	2500.00	3.24
14	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	30/12/2009	14	8.4	2500.00	3.36
15	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	30/12/2009	14	4.2	2500.00	1.68
16	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	06/01/2010	21	2.4	2500.00	0.96
17	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	06/01/2010	21	2.7	2500.00	1.08
18	ATAQUE CON ACIDOS	27/11/2009	06/01/2010	21	3.8	2500.00	1.52
19	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	23/12/2009	7	7.0	2500.00	2.80
20	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	23/12/2009	7	7.8	2500.00	3.12
21	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	23/12/2009	7	10.1	2500.00	4.04
22	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	30/12/2009	14	7.5	2500.00	3.00
23	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	30/12/2009	14	9.7	2500.00	3.88
24	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	30/12/2009	14	7.8	2500.00	3.12
25	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	06/01/2010	21	5.7	2500.00	2.28
26	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	06/01/2010	21	6.1	2500.00	2.44
27	ATAQUE CON SULFATOS	27/11/2009	06/01/2010	21	7.0	2500.00	2.80

**ANEXO 21. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas de cemento (CPO) con arena lavada curada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		NTC3761/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2009					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS CEMENTO CON ARENA LAVADA (T AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO (DÍAS)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	07/11/2009	7	47.3	2500.00	18.92
2	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	07/11/2009	7	49.4	2500.00	19.76
3	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	07/11/2009	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	14/11/2009	14	61.1	2500.00	24.44
5	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	14/11/2009	14	62.9	2500.00	25.16
6	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	14/11/2009	14	66.7	2500.00	26.68
7	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	28/11/2009	28	77.2	2500.00	30.88
8	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	28/11/2009	28	66.5	2500.00	26.60
9	PROBETAS CEMENTO	01/11/2009	28/11/2009	28	72.9	2500.00	29.16
10	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	27/11/2009	7	73.7	2500.00	29.48
11	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	27/11/2009	7	61.7	2500.00	24.68
12	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	27/11/2009	7	59.2	2500.00	23.68
13	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	04/12/2009	14	57.2	2500.00	22.88
14	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	04/12/2009	14	53.7	2500.00	21.48
15	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	04/12/2009	14	43.9	2500.00	19.96
16	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	11/12/2009	21	51.6	2500.00	20.64
17	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	11/12/2009	21	43.4	2500.00	17.36
18	ATAQUE CON ACIDOS	01/11/2009	11/12/2009	21		2500.00	0.00
19	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	27/11/2009	7	65.6	2500.00	26.24
20	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	27/11/2009	7	61.3	2500.00	24.52
21	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	27/11/2009	7	56.9	2500.00	22.76
22	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	04/12/2009	14	63	2500.00	25.20
23	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	04/12/2009	14	55.5	2500.00	22.20
24	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	04/12/2009	14	57.7	2500.00	23.08
25	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	11/12/2009	21	62.3	2500.00	24.92
26	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	11/12/2009	21	43	2500.00	17.20
27	ATAQUE CON SULFATOS	01/11/2009	11/12/2009	21		2500.00	0.00

**ANEXO 22. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para probetas de cemento (CPO) con arena no lavada curada a temperatura ambiente.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS - NORMA I.N.V.E 410							
<b>PRENSA</b>		PRENSA PARA CONCRETO PINZUAR DIGITAL					
<b>MODELO / SERIE</b>		PC-160/116					
<b>CARGA MÁXIMA (KN)</b>		1000					
<b>MÉTODO DE CALIBRACIÓN</b>		MTC376/ISO7500-1/ASTM E-4					
<b>VIGENCIA DE CALIBRACIÓN</b>		ENERO 20 DE 2003					
<b>PROYECTO</b>		GEOPOLIMEROS PROBETAS CEMENTO CON ARENA NO LAVADA (T° AMBIENTE)					
N° CILINDRO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD DE CILINDRO	CARGA MÁXIMA	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESIÓN (KN/mm <sup>2</sup> )
1	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	08/11/2003	7	41.3	2500.00	16.76
2	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	08/11/2003	7	45.8	2500.00	18.32
3	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	08/11/2003	7		2500.00	0.00
4	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	15/11/2003	14	61.2	2500.00	24.48
5	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	15/11/2003	14	53.4	2500.00	21.36
6	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	15/11/2003	14	60.4	2500.00	24.16
7	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	23/11/2003	28	65	2500.00	26.00
8	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	23/11/2003	28	70.2	2500.00	28.08
9	PROBETAS CEMENTO	02/11/2003	23/11/2003	28	68.3	2500.00	27.32
10	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	28/11/2003	7	55.8	2500.00	22.32
11	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	28/11/2003	7	68.5	2500.00	27.40
12	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	28/11/2003	7	55.5	2500.00	22.20
13	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	05/12/2003	14	58	2500.00	23.20
14	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	05/12/2003	14	53.3	2500.00	21.32
15	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	05/12/2003	14	43.3	2500.00	17.56
16	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	12/12/2003	21	48.4	2500.00	19.36
17	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	12/12/2003	21	42.7	2500.00	17.08
18	ATAQUE CON ACIDOS	02/11/2003	12/12/2003	21		2500.00	0.00
19	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	28/11/2003	7	62.3	2500.00	24.92
20	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	28/11/2003	7	58.3	2500.00	23.32
21	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	28/11/2003	7	53.8	2500.00	23.92
22	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	05/12/2003	14	55.6	2500.00	22.24
23	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	05/12/2003	14	56.2	2500.00	22.48
24	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	05/12/2003	14	52.8	2500.00	21.12
25	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	12/12/2003	21	47	2500.00	18.80
26	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	12/12/2003	21	52.4	2500.00	20.96
27	ATAQUE CON SULFATOS	02/11/2003	12/12/2003	21		2500.00	0.00