



## **RESUMEN**

Las cenizas volcánicas o puzolanas naturales son materiales usados en la construcción, en la fabricación de cementos, adición en morteros y hormigones como es el caso de esta monografía.

La puzolana natural empleada para esta investigación fue recolectada del yacimiento del volcán Tungurahua, ubicado en la provincia de Tungurahua del Ecuador. Este material fue sometido a un proceso de molido, quedando con una finura inferior a la del cemento.

Se analizó la resistencia con un ensayo a compresión a los 28 días que tendrá el hormigón con probetas cilíndricas de 100mm de diámetro x 200 mm de longitud según AASHTO T 2 y ASTM C 39, con variaciones de 15, 20, 25 y 30% del material puzolánico, para este ensayo se fabricó 3 probetas con cada una de las variaciones, es decir se construyó 12 probetas.

Para darle mayor fluidez y trabajabilidad, fue necesario el empleo de un aditivo (Sika-ViscoCrete-2100) que sirve de reductor de agua de alto rango y superplastificante, que cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 tipo F. En cuanto a los áridos se utilizó grava de 3/8 con un módulo de finura de 2,4 y arena del río Cañar con un módulo de finura de 3,21.

En dichos morteros se le realizaron ensayos físicos (observación) de durabilidad, la cual se puede evaluar o valorar de manera visual mediante la presentación de fisuras en las probetas, y la permeabilidad que presentan.

**PALABRAS CLAVES:** investigación, nivel Internacional, hormigones de alta prestación, materiales, arena, cemento, durabilidad, resistencia mecánica, puzolanas, granulometría de los áridos.



## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	8
INVESTIGACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL DE LOS HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN .....	10
USO DE LOS HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN .....	10
NECESIDAD DEL USO DE HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN EN EL ECUADOR.....	10
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
OBJETIVO GENERAL .....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICO .....	11
HIPÓTESIS.....	12
CONTENIDO .....	12
CAPITULO 1 .....	13
1. ESTADO DEL ARTE.....	13
1.1. DEFINICIÓN HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES.....	13
1.2. MATERIALES.....	13
1.2.1. CEMENTO.....	13
1.2.2. ARENA.....	13
1.2.3. ÁRIDO GRUESO.....	13
1.2.4. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.....	14
1.2.5. ADICIONES.....	14
1.3. PUZOLANAS NATURALES EXISTENTES EN ECUADOR.....	14
1.3.1. Tungurahua: .....	15
1.3.2. Cotopaxi: .....	15
1.3.3. Sangay: .....	16
1.3.4. Reventador: .....	16
1.4. USO DE LA CENIZA VOLCÁNICA EN HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN.....	16
1.4.1. Generalidades.....	16
1.4.2. Reacciones químicas durante el proceso de hidratación.....	17
1.4.3. Propiedades del hormigón utilizando cemento portland puzolánico.....	18
1.5. RESISTENCIA MECÁNICA.....	19
1.6. RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN.....	19
1.7. DESARROLLO DE TEMPERATURA.....	19
1.8. DURABILIDAD.....	19
1.9. LA PRESENCIA DE LAS PUZOLANAS EN EL CEMENTO.....	20



1.10.	MATERIALES CONTAMINANTES.....	21
1.11.	AMASADO.....	22
1.12.	RECUBRIMIENTO.....	22
1.13.	VENTAJAS.....	22
<b>CAPITULO 2.....</b>		<b>24</b>
<b>2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....</b>		<b>24</b>
2.1.	ORIGEN DE LOS MATERIALES.....	24
2.2.	ENSAYOS.....	24
2.2.1.	GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS.....	24
2.2.1.1.	Objetivos generales.....	24
2.2.1.2.	Objetivos específicos.....	24
2.2.1.3.	Base teórica.....	25
2.2.2.	DENSIDAD Y ABSORCIÓN.....	25
2.2.2.1.	Objetivo general.....	26
2.2.2.2.	Objetivos específicos.....	26
2.2.2.3.	Base Teórica.....	26
2.2.3.	MASA UNITARIA.....	28
2.2.3.1.	Objetivo.....	29
2.2.3.2.	Base teórica.....	29
2.2.4.	HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.....	29
2.2.4.1.	Objetivo.....	29
2.2.4.2.	Base teórica.....	30
2.3.	PROPIEDADES.....	31
2.3.1.	ÁRIDO FINO.....	31
2.3.1.1.	Granulometría del árido fino.....	31
2.3.1.2.	Determinación de la densidad y absorción de agua en árido fino.....	32
2.3.1.3.	Masa Unitaria.....	33
2.3.1.4.	Humedad.....	35
2.3.2.	ÁRIDO GRUESO.....	36
2.3.2.1.	Granulometría.....	36
2.3.2.2.	Determinación de densidad y absorción de agua en árido grueso.....	37
2.3.2.3.	Masa Unitaria.....	38
2.3.2.4.	Humedad.....	38



2.3.3.	CEMENTO.....	38
2.3.4.	PUZOLANA. ....	39
2.3.5.	SUPERPLASTIFICANTE. ....	39
2.3.5.1.	Descripción. ....	39
2.3.5.2.	Usos. ....	39
2.3.5.3.	Ventajas.....	40
2.3.5.4.	Modo de empleo. ....	40
2.3.5.5.	Datos técnicos. ....	41
2.3.5.6.	Medidas de seguridad. ....	41
<b>CAPITULO 3</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL EXPERIMENTO. ....</b>	<b>43</b>
3.1.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA. ....	43
3.2.	SELECCIONAR EL ASENTAMIENTO REQUERIDO.....	43
3.3.	SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO.....	44
3.4.	SELECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ÁRIDO GRUESO. ....	44
3.5.	MEZCLA Y REQUERIMIENTO DE AIRE.....	45
3.5.1.	PASO A.....	45
3.5.2.	PASO B :.....	45
3.6.	SELECCIÓN RELACION $W/(c+p)$ . ....	46
3.7.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE MATERIAL AGLOMERANTE.....	47
3.8.	DISEÑO DE LA MEZCLA BÁSICA CON CEMENTO SOLAMENTE.....	48
3.9.	DISEÑO DE LA MEZCLA ACOMPAÑANTE. ....	49
3.10.	DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA UN $m^3$ ....	51
<b>CAPITULO 4</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS DE LA TAREA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>53</b>
4.1.	DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO .....	53
4.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL HORMIGÓN.....	54
4.3.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA .....	54
4.4.	OBSERVACIÓN.....	55
4.5.	VALORACIÓN ECONÓMICA. ....	55



<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>59</b>
<b>ENSAYOS EN LOS COMPONENTES.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>65</b>
<b>ENSAYOS, ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS MUESTRAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>68</b>
<b>SEGUIMIENTO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS .....</b>	<b>68</b>



# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### HORMIGONES ESPECIALES

**“ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTAS  
PRESTACIONES UTILIZANDO ÁRIDOS Y CEMENTO  
LOCAL, CENIZAS VOLCÁNICAS NATURALES Y  
SÚPER-PLASTIFICANTE”**

**POR:**

**Autores: Byron Javier Jaigua Romero  
Santiago Esteban Vázquez Urgilés**  
**Tutor: Ing. Jorge Acevedo Catá, PhD**

**Cuenca, 25 de octubre de 2010**



## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que nos brindaron sus conocimientos tanto intelectuales étnicos y morales para luego poderlos aplicar en muchos campos de la ingeniería civil.

Un especial agradecimiento a mis padres, mis hermanas, mi esposa Maribel y mi hijo Sebastián, quienes me apoyaron con su cariño, comprensión y paciencia.

Bayron

Un agradecimiento especial a mi padre mi madre y mi hermana que me apoyaron en todo momento.

Santiago

Finalmente queremos agradecer al Ing. Jorge Acevedo Catá por brindarnos su apoyo experiencia y sabiduría para la realización de esta monografía.



## INTRODUCCIÓN

En la historia de la civilización humana el descubrimiento de los materiales y de las acciones cementantes hidráulicas fue posterior al descubrimiento del fuego y debió ser poco posterior al descubrimiento de la cerámica. Tal descubrimiento, por lo que se refiere a los pueblos mediterráneos, debió pasar de egipcios a griegos y romanos, siendo ampliado y perfeccionado en sucesivas etapas. Por razones de puro azar geográfico y geológico, los griegos y romanos, primeros en conocer “la cal”, pudieron mezclarla con materiales naturales de origen volcánico que tenían a la mano. Es probable que el primer empleo de estos materiales fuera el de servir de agregados para los morteros de cal. La observación debió hacer el resto, y de la comparación de la resistencia y del comportamiento general de los conglomerados hechos con cal y con materiales volcánicos y no volcánicos, surgió la nueva técnica de mezclar los primeros, ya como materiales activos, con la cal, en polvo y en seco o en húmedo, para obtener los que han pasado a la historia como “cementos y morteros romanos”, con base en cal y puzolana, o cal, puzolana y arena, respectivamente. Tales materiales fueron la tierra griega de Santorín y las cenizas y tobas romanas de Pozzuoli, localidad que ha legado el nombre genérico de puzolanas para éstos y para similares materiales en lo sucesivo.

La historia del hormigón constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente. Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente los sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide de Guiza.

En hormigones de alta y ultra- altas prestaciones, el fin primario es optimizar la distribución de tamaño de partículas, especialmente las finas. El uso de plastificantes de alto poder dispersante permiten obtener mezclas con baja relación agua- aglomerante. El hormigón resultante tiene una alta resistencia, alta compacidad y por ende baja porosidad. En muchas de estas mezclas, sin embargo, la sustitución de cemento Pórtland es menos del 15%. (Malhotra y Mehta, 1996; Zhang et a.l., 1996; Aitcin, 2000). Conservadoramente, en hormigones con altos volúmenes de cenizas volantes, las adiciones minerales son mucho más altas que en los hormigones de cemento pórtland ordinario, y la relación agua/aglomerante mucho más baja (en el orden de 0,35). La





resistencia a los 28 días está en el rango de los 60-90 MPa, muy lejos de los valores obtenidos en hormigones con el 100% de CPO. (Bouzoubaa et al., 1998; Lam et al, 2000; Poon et al, 2000).

Su uso tiene una gran importancia económica, por ejemplo en la construcción, el hecho de usar puzolanas, pues según la literatura especializada para la una tonelada de clinker se necesita consumir 150 Kg. de combustible. Teniendo como materia prima del cemento la puzolana, se evita la quema de caolín ahorrando combustible, puesto que la puzolana no se quema, se le adiciona al cemento durante su elaboración. Todo lo antes mencionado trae consigo una gran ayuda para el medio ambiente puesto que la producción del cemento contribuye con más del 7 % de la contaminación a nivel mundial por la emisión de CO<sub>2</sub>, debido a que requiere grandes cantidades de energía y genera la emisión de gases que producen el efecto invernadero, principalmente el CO<sub>2</sub>. La producción de una tonelada de cemento Pórtland genera aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub>. Si se estima que en la actualidad se producen cerca de 2 billones de toneladas de cemento Pórtland, esta producción generaría cerca del 7% del CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera.

Para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, producto de la producción de cemento Pórtland, se debe minimizar el consumo de clinker para la elaboración de concretos hidráulicos, incrementando el consumo de complementos cementantes tales como las cenizas volantes, subproductos de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía.

Debido a las exigencias del mercado y de la producción de cemento Portland, es cada vez más frecuente la elaboración de cementos con dos o más adiciones a partir de la molienda separada de sus constituyentes, dando origen a la formulación de los cementos a medida. Cuando el contenido de adiciones es alto, la utilización de puzolana y escoria en este tipo de cementos presenta la peculiaridad de disminuir la resistencia inicial del cemento resultante. Sin embargo, si algunas o ambas adiciones se activan, este problema puede minimizarse. En este trabajo se analiza la influencia de la incorporación al cemento Portland de puzolana natural (hasta 30%) activada físicamente sobre la resistencia a compresión de concretos. Los resultados indican que los cementos ternarios presentan un mejor comportamiento resistente que los cementos binarios.



## **INVESTIGACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL DE LOS HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN**

La optimización de los espacios urbanos y la habitabilidad son aspectos fundamentales en el mundo de la construcción actual. Para lo cual se han desarrollado soluciones para hacer más sencilla la producción de un hormigón de altas prestaciones que le permitirá aumentar la envergadura de las estructuras, mejorando la habitabilidad, con mayor seguridad y optimización de los materiales. A su vez se ve prolongada la vida útil de las estructuras, se reducen los ciclos de producción y se mejoran los acabados. Por último, permite que las estructuras ejecutadas converjan hacia criterios de sostenibilidad con respecto al hormigón tradicional, manteniendo un compromiso con el medio ambiente.

### **USO DE LOS HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN**

Los Hormigones de altas prestaciones HAP o concreto de altas prestaciones CAP son hormigones de última generación que incorporan dentro de sus componentes nuevos materiales y modernas técnicas de fabricación, mediante estos procedimientos se ha logrado mejoras específicas en los hormigones y un gran variedad para diferentes usos como túneles, edificios, puentes, cimentaciones y un sin número de estructuras de gran envergadura. Otro uso es en la fabricación de vigas o columnas pretensadas con lo cual se reduce las secciones de las mismas.

### **NECESIDAD DEL USO DE HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN EN EL ECUADOR**

Existen varias condiciones actuales que justifican la necesidad de usar hormigones de alta prestación en el Ecuador, como por ejemplo:

- Exigencia de edificios más altos que no se hubieran podido construir con hormigones de resistencia normal.
- Reducción de las dimensiones en columnas y vigas:
- Las construcciones donde se emplea este material, tienen una vida útil mayor.
- Incremento de los espacios libres en los pisos más bajos
- Reducción del peso muerto
- Cimentaciones más reducidas



## **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

El crecimiento acelerado de la población en el país ha dinamizado la oferta y la demanda de la vivienda, especialmente en las grandes y medianas ciudades, lo que evidencia un déficit habitacional estimado de 1,2 millones de viviendas, es decir 500 mil en el sector urbano y 700 mil en el rural.

Según estadísticas del Banco Central del Ecuador (BCE), el sector de la construcción contribuyó aproximadamente un 8,5% al Producto Interno Bruto (PIB) durante el período 2000-2007, con una tasa de crecimiento promedio del 9,41% y con una proyección de 11% para 2009, período hasta el cual El Banco Central cuenta con información estadística en su portal web.

De ahí que el problema de esta investigación consiste en incrementar la utilización de los yacimientos naturales con carácter puzolánico que existen en el país a la industria de la construcción y también la construcción de edificaciones de gran envergadura con la aplicación de estas puzolanas naturales en hormigones de alta prestación.

## **OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

Construcción de hormigones de alta prestación utilizando ceniza volcánica del Tungurahua, áridos locales, cemento local y superplastificante.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la actividad puzolánica de la ceniza volcánica del Tungurahua y determinar la durabilidad del hormigón para diferentes sustituciones de cemento, utilizando súper-plastificante y obtener competitivamente hormigones de resistencia a compresión hasta 50MPa.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICO**

- Determinar los áridos más adecuados para los hormigones de esta resistencia.
- Evaluar la efectividad del superplastificante en el aumento del asentamiento y la trabajabilidad del hormigón.
- Determinar las dosificaciones óptimas de los hormigones de resistencia hasta 50MPa empleando áridos locales.
- Valorar económicamente los resultados obtenidos



## HIPÓTESIS

- La cantidad óptima de material puzolánico natural es de un 20% de la cantidad de cemento.
- La sustitución de cemento por muestra no disminuye la durabilidad del mortero a los veintiocho días. Cuya durabilidad se la puede evaluar o valorar de manera visual mediante la presentación de fisuras en las probetas, y la permeabilidad que presentan.

## CONTENIDO

El contenido de esta monografía se ha dividido en cuatro capítulos para su presentación. El primero llamado “Estado del arte” consiste en una serie de conceptos que ayudaran al entendimiento del desarrollo del estudio realizado, así como los tipos de puzolanas que existen y sus propiedades, principales usos y aplicaciones de estas, el beneficio que proporcionan al medio ambiente, la presencia de las puzolanas en el cemento y en el hormigón, el comportamiento químico y las principales propiedades que tienen.

El segundo capítulo llamado “Caracterización de los materiales” trata acerca del origen y las propiedades de los materiales utilizados en estudio así como de todos los ensayos previos a la elaboración de la mezcla realizados a la puzolana, al árido fino y al cemento para luego pasar a la elaboración de la mezcla, ejemplo de ello, las granulometrías, pesos específicos, material más fino que tamiz 200, etc.

El tercer capítulo es el “Diseño del experimento”, en este se podrá revisar paso a paso el procedimiento para la elaboración de las mezclas obteniendo al final cuatro mezclas con diferente contenido de puzolana y posterior a ello las respectivas correcciones que se tuvieron que hacer durante el ensayo.

El cuarto capítulo se refiere a los “Resultados de la tarea experimental” obtenidos de los ensayos descritos en el capítulo anterior realizados a las probetas, con el respectivo análisis de los mismos.

Luego se expondrán las conclusiones de la investigación respondiendo los objetivos y las hipótesis planteados en la misma. Seguidamente se reflejaran todas las referencias bibliográficas citadas por el autor en la realización de este trabajo, así como la bibliografía consultada por el mismo.



## CAPITULO 1

### 1. ESTADO DEL ARTE

#### 1.1. DEFINICIÓN HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES.

Es una mejora del hormigón convencional que se obtiene mediante la dosificación y fabricación con cuidados especiales, además puede llevar materiales no convencionales como la microsílíce y puzolana. Con ello se consigue aumentar la resistencia a compresión que en la actualidad se considera debe ser mayor o igual de 50MPa., además de otras propiedades del hormigón, como son modulo de elasticidad, permeabilidad y durabilidad.

#### 1.2. MATERIALES.

##### 1.2.1. CEMENTO.

El cemento a emplear debe proporcionar elevada resistencia mecánica con la finalidad de conseguir una pasta de elevadas prestaciones.

El cemento debe presentar una baja demanda de agua y un bajo contenido en cloruros

La dosificación de cemento está comprendida entre 380-700 kg/m<sup>3</sup>.

Debido a la elevada cantidad de cemento deben extremarse las medidas para minimizar la retracción (curado)

##### 1.2.2. ARENA.

En general se utilizan arenas naturales lavadas, con bajo contenido en finos, aunque las arenas de machaqueo son utilizables.

Arenas de mala calidad pueden incrementar la demanda de agua y reducir las prestaciones del hormigón.

Deben presentar un grado de limpieza muy elevado.

Se recomienda un módulo de finura próximo a 3.

##### 1.2.3. ÁRIDO GRUESO.

Su resistencia no debe ser inferior a la que caracterizará la pasta.

El tamaño máximo de árido suele limitarse a 20 mm por razones de adherencia con la pasta y para evitar la rotura de éstos.

En general se trabaja con árido de machaqueo y con coeficiente de forma no inferior a 0.25.



#### **1.2.4. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.**

Es imprescindible para alcanzar las demandas de este tipo de hormigón. Los basados en melaminas y derivados de naftaleno son adecuados, pero los mejores resultados se obtienen con los aditivos basados en los éter de Policarboxílico.

La dosificación de aditivo acostumbra a ser elevada debido a que debe reducirse una importante proporción de agua y a su vez fluidificar hasta la consistencia deseada (en ocasiones hasta como líquido).

#### **1.2.5. ADICIONES.**

La microsíllice y la puzolana, debido a su elevado poder puzolánico, es la adición más adecuada para la fabricación de hormigón de altas prestaciones.

La incorporación de microsíllice mejora de forma importante propiedades como la impermeabilidad, compacidad, resistencia a la segregación, resistencia mecánica, etc.

La microsíllice resulta casi imprescindible si se desean resistencias superiores a 65-70 MPa.

### **1.3. PUZOLANAS NATURALES EXISTENTES EN ECUADOR.**

El Ecuador es tierra de volcanes. La región interandina de nuestro país está atravesada por varias cadenas montañosas en las que se destaca al menos una decena de volcanes, varios de ellos activos y a corta distancia unos de otros.

Las erupciones de estos colosos no son eventos nuevos, la historia de nuestro país tiene registros de estos fenómenos desde hace siglos. Es por eso que la población está acostumbrada y ha aprendido a convivir con los volcanes. Un ejemplo de ello es Quito, capital del Ecuador, una ciudad de un millón y medio de habitantes que se encuentra emplazada en las faldas del Pichincha, un volcán de actividad constante. Hace algunos años este volcán emitió grandes cantidades de ceniza que cayó en la ciudad. Lo mismo sucedió hace algunas semanas con la ceniza de otro volcán ubicado a más de 95 kilómetros de distancia de Quito, el Reventador. El viento acarreó el polvo desde la región amazónica hasta el valle de Quito. La lluvia de ceniza cubrió un área de 20 kilómetros cuadrados, afectando a Quito y a sus zonas circundantes por algunas horas.

Una vez que las medidas de seguridad y protección fueron tomadas, el inusual espectáculo de una ciudad envuelta en una nube de ceniza no dejó de llamar la atención de propios y extraños. Poco después, las lluvias contribuyeron a normalizar el ambiente y luego de tres días de la erupción la normalidad volvió a la capital. Estos fenómenos de la naturaleza han generado nuevas oportunidades para el turismo.

A estas cenizas no hay que verles solo como un problema ya que pueden darse un sinnúmero de usos, como en este caso para la fabricación de hormigones para lo cual los yacimientos de estas puzolanas naturales se pueden encontrar principalmente en los alrededores o en las cuencas de los 4 volcanes más activos del Ecuador que son el Cotopaxi, el Tungurahua el Sangay y el Reventador que se los puede revisar en los siguientes puntos.

### 1.3.1. Tungurahua:

El Tungurahua (5.023 metros) está localizado en la Cordillera de Ecuador (Los Andes), 140 kilómetros (87 millas) al sur de Quito, la capital del país. Notables montañas y volcanes cercanos son el Chimborazo (6.310 metros) y El Altar (5.319 metros). La pequeña ciudad de Baños, conocida por sus aguas termales, se encuentra en sus faldas, a aproximadamente cinco kilómetros al norte. El Tungurahua es parte del Parque Nacional Sangay. (Figura 1. Ubicación del volcán Tungurahua)



Figura 1. Ubicación del volcán Tungurahua

### 1.3.2. Cotopaxi:

A 5897 metros encima del nivel de mar, y elevando majestuosamente encima de las montañas Andinas, es el volcán más alto, es uno de los volcanes más activos en todo el Ecuador. Con un cono absolutamente simétrico forman su signo identificable, el volcán Cotopaxi es también una imagen de libro ilustrado de Ecuador. (Figura 2. Ubicación del volcán Cotopaxi).





**Figura 2.** Ubicación del volcán Cotopaxi

### 1.3.3. Sangay:

Desde, por lo menos, el año 1934, el Volcán Sangay ha estado erupcionando continuamente. Se encuentra situado en un paraje único, junto a otros dos volcanes, el Tungurahua y el Altar y extensas áreas de bosque. Actualmente la es un Parque Natural y se considera una de las más zonas más importantes del país. Se encuentra en la localización: 78.3 W, 2.0 S a una altura de 5230m

### 1.3.4. Reventador:

El volcán Reventador consta de tres partes y es un estrato-volcán. Hace aproximadamente 30000 años, el volcán principal sufrió un colapso sectorial que originó una caldera y un depósito de avalancha de escombros de enormes proporciones. . Se encuentra en la localización: 77.67 W , 0.07 S a una altura de 3563m

## 1.4. USO DE LA CENIZA VOLCÁNICA EN HORMIGONES DE ALTA PRESTACIÓN.

### 1.4.1. Generalidades.

Uno de los materiales de construcción más antiguos después de la cal y la piedra caliza fue la puzolana cuyo nombre proviene de una población cercana al Vesubio llamado Pozzuoli. Los romanos y griegos la utilizaron mezclándola con cal y ceniza volcánica (origen puzolana) dando mezclas duraderas. Esta concepción continúa plenamente vigente siendo el cemento portland puzolánico más utilizado en grandes obras de ingeniería de la actualidad debido a la larga vida útil para la cual están diseñadas. Teniendo esto como precedente se puede definir al cemento Portland puzolánico como el producto



que se obtiene después de adicionar al cemento portland ordinario el material puzolánico que puede variar en un porcentaje entre el 15 al 50%.

#### 1.4.2. Reacciones químicas durante el proceso de hidratación.

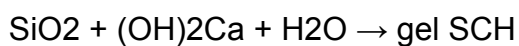
Las propiedades de las puzolanas (incluso las naturales) varían considerablemente, dependiendo de su origen. En nuestro país existen yacimientos de puzolana natural proveniente de erupciones volcánicas.

Las puzolanas, incorporadas dentro cemento portland tienen la capacidad de formar productos de hidratación a través de una reacción secundaria donde se combinan con el  $(OH)_2Ca$  formado durante la hidratación de los compuestos sílico-calcáreos (C3S y C2S) denominada primaria, resultando compuestos SCH (sílico-calcáreos hidratados):

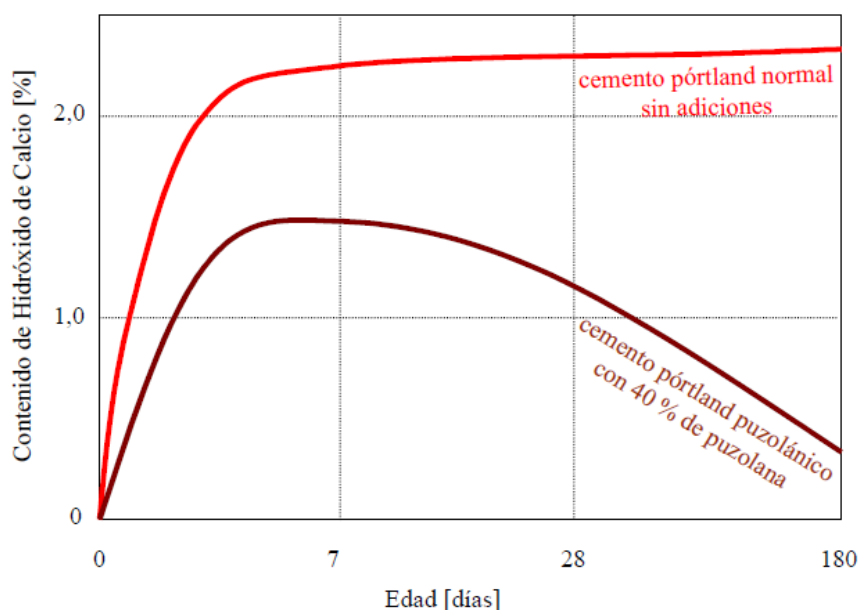
##### a) Hidratación primaria:



##### b) Hidratación secundaria:



Como se puede ver en la figura 3, el  $SiO_2$  es aportado por la puzolana y el  $(OH)_2Ca$  –hidróxido de calcio- es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Podrá observarse que durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de  $(OH)_2Ca$ . Por lo anterior se puede afirmar que a medida que avanza el proceso de hidratación, la cal libre disminuye, lo que indica la formación de productos de hidratación (en su mayor parte SCH y aluminosilicatos de calcio en menor medida) a partir de la puzolana.



**Figura 3.** Cambios en el contenido de  $(OH)_2Ca$  durante la hidratación del CPP.

Es evidente que el uso de una puzolana de buena calidad asegura, no solamente una menor cantidad de cal libre en la pasta de cemento sino que además se obtiene un mayor volumen de productos SCH por lo cual se obtiene, a igual relación agua cemento, una menor porosidad de la pasta debido a un refinamiento de poros y, consecuentemente, menor permeabilidad respecto del cemento portland normal producido a partir del mismo clinker portland. Esto significa la obtención de una pasta de cemento más compacta, resistente y durable.

#### **1.4.3. Propiedades del hormigón utilizando cemento portland puzolánico.**

Durante el proceso de fraguado del cemento portland puzolánico y los agregados se deben considerar las propiedades durante el fraguado (en estado fresco) y en estado endurecido.

##### **a) Propiedades en estado fresco.**

Las propiedades del hormigón en estado fresco dependen fundamentalmente de las características de los materiales componentes y las proporciones utilizadas, destacándose la influencia de los agregados (forma, tamaño y distribución) que suelen ocupar más del 70 % del volumen del hormigón. Además, las características del cemento portland puzolánico influyen en el comportamiento del hormigón. En general, el cemento portland puzolánico ( $400 \text{ m}^2/\text{kg} < \text{Blaine} < 500 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) es más fino que el cemento portland ordinario ( $300 \text{ m}^2/\text{kg} < \text{laine} < 350 \text{ m}^2/\text{kg}$ ), debido a esto se requiere mayor demanda de agua para el hormigón. Por consiguiente, se recomienda el uso de aditivos plastificantes para disminuir el contenido de cemento en lo máximo. De esta manera, puede ser aprovechada al máximo la alta capacidad de retención de agua que poseen los hormigones elaborados con puzolana. Existen parámetros que pueden ser determinados para describir el flujo del concreto en estado fresco los cuales se describen en la tabla 1 del Anexo 1, para la evaluación del hormigón en estado fresco se basan en 2 métodos que son por gravedad y por vibración.

##### **b) Propiedades en estado endurecido.**

Los hormigones que son desarrollados con puzolana tienen características de gran durabilidad, baja permeabilidad, bajo grado de calor de hidratación, alta resistencia final.



### **1.5. RESISTENCIA MECÁNICA.**

Ya se explicó anteriormente el mecanismo de hidratación del cemento portland puzolánico, que el desarrollo de resistencia depende principalmente de la velocidad de hidratación de las partículas de clinker portland y del tipo, contenido y finura de la puzolana. Una de las nuevas tendencias de los diseñadores de superestructuras es la de utilizar resistencias mayores a  $f'c=70$  MPa con resistencias no de 28 días sino de 56 o 90 días para la edad de diseño de hormigón.

### **1.6. RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN.**

Se entiende por hormigón de altas prestaciones aquel que tiene una resistencia característica de proyecto superior a  $50 \text{ N/mm}^2$  a los 28 días en probeta cilíndrica de 15x30 cm. A edades iniciales, será variable en función del tiempo y requerimientos considerados.

### **1.7. DESARROLLO DE TEMPERATURA.**

Cuando se realizan obras de gran envergadura donde se va emplear cantidades de hormigón en sus elementos principales como presas, muelles, etc., se ve en la necesidad de controlar el calor de hidratación cuando comienza el proceso de fraguado, para que el proceso de esfuerzo y deformación del concreto influya sobre la estructura evitando grietas por procesos térmicos, esto se puede lograr constructivamente incluyendo sistemas de enfriamiento en las estructuras, agua y agregados sometidos a bajas temperaturas o adicionando acero para que absorba estos esfuerzos adicionales. El cemento portland puzolánico tiene la ventaja de tener un componente mineral que reacciona con el hidróxido de calcio, el contenido total de clinker en su composición es menor que el cemento portland ordinario, cuando se consume la puzolana el calor de hidratación es menor que el cemento portland ordinario.

### **1.8. DURABILIDAD.**



La durabilidad se la ha definido como la habilidad de poner soportar los ataques químicos, del medio ambiente, abrasión u otro agente que afecte a la estructura. Esta definición es muy amplia ya que existen factores externos que pueden modificar las condiciones iniciales para la cual fue concebido la obra. Existen diferentes métodos de medición que resultan útiles para evaluar el desempeño del hormigón y de qué manera contribuirá a la durabilidad de la estructura. Entre las propiedades del hormigón que contribuyen con la durabilidad se destacan la permeabilidad, resistencia a los sulfatos, reacción álcali-agregado y susceptibilidad a la fisuración.

La condición que impone la durabilidad, es la de dificultar la penetración del agente agresor en el interior de la masa del concreto para evitar que induzca a la corrosión de las armaduras de acero, tiene que ver con el "desarrollo de los mecanismos de transporte". Es desde este aspecto de la durabilidad, donde la compacidad del concreto resulta fundamental. La durabilidad crece si aumenta la compacidad de la estructura interna del concreto, reduciéndose la red de poros abierta o interconectada, a través de la cual se desarrollan los mecanismos de transporte.

### **1.9. LA PRESENCIA DE LAS PUZOLANAS EN EL CEMENTO.**

En la actualidad existe una amplia variedad de cementos mezclados. Los materiales inorgánicos que son usados para reducir el consumo de cemento pueden ser mezclados y/o molidos íntimamente con el clinker y/o mezclados durante la fabricación de este o mezclados durante la fabricación del hormigón o morteros. Las cenizas volantes, escorias granuladas, micro sílice y otras puzolanas naturales o calcinadas son reportados como las adiciones minerales más utilizadas. La naturaleza de los productos formados durante la reacción puzolánica en los cementos mezclados depende de las propiedades de las puzolanas y del clinker utilizado para confeccionar el hormigón. Los principales productos de reacción son el silicato cálcico hidratado (CSH) y pequeñas cantidades de estringtonita y aluminatos hidratados.

La relativa proporción de los productos de reacción dependen de las características químicas y mineralogía de las puzolanas usadas. Como se vio anteriormente hoy en día existen disímiles usos de la puzolana, dentro de ellos se destaca el de la fabricación de cemento Pórtland puzolánico.

El cemento puzolánico ofrece muchas ventajas sobre los otros, y esto es debido al efecto puzolánico. Este consiste en que los aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su



resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica). La reacción química del fraguado del cemento podría plantearse de la siguiente forma:  $C_3S + H = CX-S-H + (3-x)CH$  Donde:  $C = CaO$  ;  $S = SiO_2$  ;  $H = H_2O$  Siendo el Gel C-S-H el responsable de las propiedades mecánicas del cemento. Podemos observar que se produce un tercer producto, abreviado CH en la fórmula, que no es sino el  $Ca(OH)_2$ , con poco valor cementante, y que es responsable de la reacción con los sulfatos que degradan la calidad del mismo. Para hacer frente a este problema, es por lo que se añade la Puzolana. Ésta, se compone de Aluminosilicatos que reaccionan con el componente CH de la forma siguiente:  $aS + bCH + zH = CbSaH(a+b)$  Donde: S = Aluminosilicatos de la Puzolana (Composición tipo  $SiO_2$  (75%) +  $Al_2O_3$  (10%) y otros).  $CH = Ca(OH)_2$  ;  $H = H_2O$  A pesar de que el cemento puzolánico presenta muy buenas características, también tiene sus desventajas dentro de las que se pueden encontrar:

- a) Necesidad de una mayor cantidad de agua de mezclado para una consistencia dada.
- b) Menores resistencia a la compresión en edades cortas, pero mayores a partir de los 28 días de fraguado e incluso antes.
- c) Requiere de mayor cuidado a la hora del curado, que el cemento normal, puesto que al hidratarse el cemento se forma el silicato tricálcico y la cal que desprende es la que reacciona con la puzolana, lográndose morteros u hormigones mas compactos y menos permeables, favoreciendo esto que no entren con gran facilidad los iones cloruros, responsables de la corrosión del acero.

#### 1.10. MATERIALES CONTAMINANTES.

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto.

Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables. Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales.



### **1.11. AMASADO.**

No hay un requisito respecto para ningún tipo específico de amasadora. Pueden utilizarse las mezcladoras de acción forzada, las mezcladoras de paletas, las amasadoras de caída libre, incluyendo los camiones hormigonera. El período de mezcla necesario debe determinarse mediante ensayos prácticos. En general, los períodos de mezcla deben ser más largos que en el caso de las mezclas convencionales. El momento de la adición de aditivos es importante y es preciso acordar los procedimientos con el proveedor después de los ensayos en planta. Si es necesario ajustar la consistencia después de la mezcla inicial, en general debe hacerse con aditivos.

### **1.12. RECUBRIMIENTO.**

El recubrimiento es importante para el dimensionado de las estructuras. El espesor del recubrimiento está relacionado con la compactación del concreto, de modo que un concreto más compacto permite reducir el recubrimiento requerido para una vida útil determinada, o elevar la vida útil ofrecida y mantener el recubrimiento determinado para otro concreto menos compacto. Más importante es la posibilidad que el concreto de alta resistencia y altas prestaciones ofrece para las estructuras, con los recubrimientos habituales, más durables y por tanto estructuras con una vida útil más elevada.

### **1.13. VENTAJAS.**



El concreto de altas prestaciones permite disponer de un material cuya capacidad resistente crece notablemente, manteniendo su peso constante. Esta prestación es importante para la industria de la prefabricación en la que el peso propio de los elementos estructurales es determinante. Por otra parte, la prefabricación estructural utiliza preferentemente el concreto pretensado que demanda secciones "esbeltas" en las que las tensiones introducidas por un pretensado determinado sean las más elevadas posibles. Ambas razones evolucionan en el mismo sentido cuando se utiliza concreto de alta resistencia y altas prestaciones. La misma sección, prácticamente con el mismo peso, puede ser fuertemente pretensada y, por tanto, más resistente. La relación resistencia/peso crece para la misma sección; esto es básico para el desarrollo de la industria de la prefabricación que aprovecha el concreto de alta resistencia y altas prestaciones para alcanzar rangos superiores de claros y sobrecargas. Espesores de alma de 0,18 m para vigas de 2,80 m de altura y espesores de cabeza inferior de 0,25 m para 4,50 m de anchura configuran elementos prefabricados esbeltos durables.

#### **1.14. EL PAPEL QUE JUEGA LAS PUZOLANAS PARA OBTENER UNA INTERFACE DE CALIDAD.**

El papel que juega las puzolanas en la elaboración de los cementos para obtener una interface de calidad puede ser:

- Producir retraso en el proceso de fraguado por lo tanto las retracciones son más lentas y de menor intensidad, constituyen también cementos más homogéneos.
- Mejor docilidad en el cemento con menos requerimiento de agua
- Reducción de costos en la producción de cementos
- Reducción de calor de hidratación
- Le vuelve al cemento más resístete a la acción de los sulfatos y de los hidróxidos de calcio.

Las desventajas son al desarrollo de la resistencia final, mayor contracción al secarse y menor durabilidad.



## CAPITULO 2

### 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

#### 2.1. ORIGEN DE LOS MATERIALES.

Los materiales como son: el árido grueso cuyo tamaño máximo fue de 3/8", y el árido fino (arena), fueron obtenidos de la provincia del Cañar, provincia vecina a la provincia del Azuay, los cuales son recolectados directamente del río Cañar.

#### 2.2. ENSAYOS.

##### 2.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. El término agregados comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizada para preparar morteros y concretos.

La limpieza, sanidad, resistencia, forma y tamaño de las partículas son importantes en cualquier tipo de agregado.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto. Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Colombiana NTC 32, los cuales se seleccionarán los tamaños y por medio de unos procedimientos hallaremos su módulo de finura, para el agregado fino y el tamaño máximo nominal y absoluto para el agregado grueso.

##### 2.2.1.1. *Objetivos generales.*

Establecer los requisitos de gradación y calidad para los agregados ( finos y gruesos) para uso en concreto.

##### 2.2.1.2. *Objetivos específicos.*

- Determinar el porcentaje de paso de los diferentes tamaños del agregado (fino y grueso) y con estos datos construir su curva granulométrica.
- Calcular si los agregados (fino, grueso) se encuentran dentro de los límites para hacer un buen diseño de mezcla.
- Determinar mediante el análisis de tamizado la gradación que existe en una muestra de agregados (fino, grueso).





- Conocer el procedimiento para la escogencia de un agregado grueso y fino en el diseño de mezcla, para elaborar un concreto de buena calidad.

### **2.2.1.3. Base teórica**

La granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

La serie de tamices utilizados para agregado grueso son 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", # 4 y para agregado fino son # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200.

La serie de tamices que se emplean para clasificar agrupados para concreto se ha establecido de manera que la abertura de cualquier tamiz sea aproximadamente la mitad de la abertura del tamiz inmediatamente superior, o sea, que cumplan con la relación 1 a 2.

La operación de tamizado debe realizarse de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana # 77 sobre una cantidad de material seco. El manejo de los tamices se puede llevar a cabo a mano o mediante el empleo de la máquina adecuada.

El tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en ningún caso se debe inducir con la mano el paso de una partícula a través del tamiz; Recomendando, que los resultados del análisis en tamiz se coloquen en forma tabular.

Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

### **2.2.2. DENSIDAD Y ABSORCIÓN.**

Una de las propiedades físicas de los agregados es la DENSIDAD. Al realizar este ensayo en el laboratorio podemos decir que de acuerdo a los tipos de agregados encontraremos partículas que tienen poros saturables como no saludables que dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, generando así una serie de estados de humedad y densidad.



Sabiendo lo que más interesa en el diseño de mezcla es la densidad aparente de los agregados. Este factor es importante para el diseño de mezcla porque con él podemos determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto.

### **2.2.2.1. Objetivo general**

Determinar la densidad y la absorción de los agregados (finos y gruesos) a partir del humedecimiento de los agregados en un tiempo determinado.

### **2.2.2.2. Objetivos específicos.**

- Calcular la densidad y absorción de una cierta muestra de agregado (fino y grueso) para saber si cumple los requerimientos para la elaboración del diseño de mezcla.
- Establecer el tipo de agregado (fino y grueso) para la elaboración de un buen diseño de mezcla.
- Conocer la importancia y cómo influye la densidad y absorción que tienen los agregados en una mezcla de concreto.

### **2.2.2.3. Base Teórica**

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

Como generalmente las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua se genera una serie de estados de humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad, descritos en las Normas Técnicas Colombianas 176 y 237; la que más interesa en el campo de la tecnología del concreto y específicamente en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables).

Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables. El valor de la densidad de la roca madre varía entre 2.48 y 2.8 kg/cm<sup>3</sup>. El procedimiento para determinarla está se encuentra en la NTC 176 para los agregados gruesos y la NTC 327 para los agregados finos.



Existen tres tipos de densidad las cuales están basadas en la relación entre la masa (en el aire) y el volumen del material; a saber:

- **Densidad Nominal.** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura establecida.
- **Densidad Aparente.** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.
- **Densidad Aparente (SSS).** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

La densidad aparente es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas, incluyendo el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La densidad aparente es también usada en el cálculo de los vacíos en el agregado en la NTC 1926. La densidad aparente (SSS) se usa si el agregado está húmedo, es decir, si se ha satisfecho su absorción. Inversamente, la densidad nominal (seco al horno) se usa para cálculos cuando el agregado está seco o se asume que está seco. La densidad nominal concierne a la densidad relativa del material sólido sin incluir los poros saturables de las partículas constituyentes.

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

La capacidad de absorción se determina por medio de los procedimientos descritos en la Norma Técnica Colombiana 176, para agregados gruesos, y la Norma Técnica Colombiana 237, para los agregados finos. Básicamente consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego de lo cual se saca y se lleva a la condición de densidad aparente (SSS); obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de pesos, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.



Para el cálculo, tanto las densidades como la absorción para el agregado grueso se calculan de la siguiente manera:

**Para el cálculo del árido grueso se determinó de la siguiente manera:**

- Densidad Aparente

$$D = A / [B - C]$$

Donde

A = es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr)

B = es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (gr)

C = es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr)

- Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca).

$$D = B / [B - C]$$

- Densidad Nominal.

$$D = A / [A - C]$$

- ABSORCIÓN

$$\text{Absorción} = ([B - A] / A) * 100$$

**Para el agregado fino la densidad se calcula de la siguiente manera:**

- Densidad Aparente

$$D_{\text{aparente}} = A / [B + S - C]$$

Donde

A = es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (grs)

B = es la masa del picnómetro lleno con agua

S = es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)

C = es la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr), y

D = densidad gr / cm<sup>3</sup>

- Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca).

$$D_{\text{sss}} = S / [B + S - C]$$

- Densidad Nominal.

$$D = A / [B + A - C]$$

- ABSORCIÓN

$$\text{Absorción (\%)} = ([S - A] / A) * 100$$

**Nota:** Para que la densidad se exprese en unidades de gr/cm<sup>3</sup>, se multiplica su valor por 1gr/cm<sup>3</sup> que es la densidad del agua a 20°C. En el ensayo no se indica pero se asume esta operación

### 2.2.3. MASA UNITARIA.

La masa unitaria suelta se realiza por medio del llenado con el agregado del recipiente, a una altura no mayor de 50 mm, se enraza y se pesa (3 veces), se saca la masa promedio y se divide sobre el volumen y nos da la masa unitaria suelta. Para la masa unitaria compacta se realiza el mismo procedimiento, con



la variación de que el recipiente se llena en tres capas y cada capa es golpeada según la Norma y luego se procede igual.

#### **2.2.3.1. Objetivo.**

Determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado (<100 T.M.N.) en estado suelto y estado compactado.

#### **2.2.3.2. Base teórica.**

El propósito de este método de ensayo es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para agregados que no excedan 100 mm de Tamaño Máximo Nominal. La masa de un agregado debe ser siempre relacionada con el volumen específico. La masa unitaria de un agregado debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto.

Este método permite la determinación de la masa unitaria de un agregado en la condición compactada (por apisonado externo o vibración) o en la condición suelta (como viene de una pala o cucharón) después de que el agregado ha sido secado hasta masa constante. El método involucra la determinación de una muestra de agregado en recipiente (medida) de volumen conocido, y entonces se resta la masa del recipiente.

Usando los datos obtenidos de la aplicación de las Normas NTC 237 y NTC 176 a la misma muestra, se puede calcular el porcentaje de vacíos (espacios con aire) en la muestra.

### **2.2.4. HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

En los agregados existen poros, los cuales encuentran en la intemperie y pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aporta agua a la mezcla.

En nuestro laboratorio utilizaremos agregados que están parcialmente secos (al aire libre) para la determinación del contenido de humedad total de los agregados. Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total. Este método es lo suficientemente exacto para los fines usuales, tales como el ajuste de la masa en una mezcla de hormigón.

#### **2.2.4.1. Objetivo.**

Establecer el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad total en una muestra de agregado fino y grueso por medio del secado.



#### 2.2.4.2. Base teórica.

Los agregados pueden tener algún grado de humedad lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros.

Las partículas de agregado pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

- Totalmente seco. Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante. (generalmente 24 horas).
- Parcialmente seco. Se logra mediante exposición al aire libre.
- Saturado y Superficialmente seco. (SSS). En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado sólo se logra en el laboratorio.
- Totalmente Húmedo. Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial.

El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$P = [(W - D) / D] * 100$$

Donde,

P = es el contenido de humedad [%]

W = es la masa inicial de la muestra [g]

D = es la masa de la muestra seca [g]

También existe la Humedad Libre donde esta se refiere a la película superficial de agua que rodea el agregado; la humedad libre es igual a la diferencia entre la humedad total y la absorción del agregado, donde la humedad total es aquella que se define como la cantidad total que posee un agregado. Cuando la humedad libre es positiva se dice que el agregado está aportando agua a la mezcla, para el diseño de mezclas es importante saber esta propiedad; y cuando la humedad es negativa se dice que el agregado está quitando agua a la mezcla.

Esta propiedad está regido por la Norma Técnica Colombiana # 1776 "Determinación del Contenido de Humedad Total" donde explica el procedimiento a seguir para realizar el ensayo para determinar dicha propiedad. Este método no se puede aplicar en aquellos casos en el que el calor pueda alterar al agregado, o donde se requiere una determinación más refinada de la humedad.



## 2.3. PROPIEDADES

### 2.3.1. ÁRIDO FINO

La arena es todo material pasante por el tamiz #4, para lo cual primeramente fue necesaria la obtención de este material mediante el cribado, de aquel material obtenido del río Cañar.

Una vez obtenido únicamente el árido denominado fino, es posible realizar los ensayos respectivos para la determinación de sus parámetros requeridos para el diseño de los hormigones, los que se enuncian a continuación:

- Granulometría
- Densidad y absorción
- Masa unitaria
- Humedad

#### 2.3.1.1. *Granulometría del árido fino.*

##### a) Material y equipos

- Balanza. Una balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg. El rango de uso de la balanza es la diferencia entre las masas del molde lleno y vacío.
- Serie de Tamices. Son una serie de tazas esmaltadas a través de las cuales se hace pasar una muestra de agregado que sea fino o grueso, su orden es de mayor a menor. Para este ensayo se utilizó el tamiz # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200 y fondo para el Agregado Fino.

##### b) Procedimiento

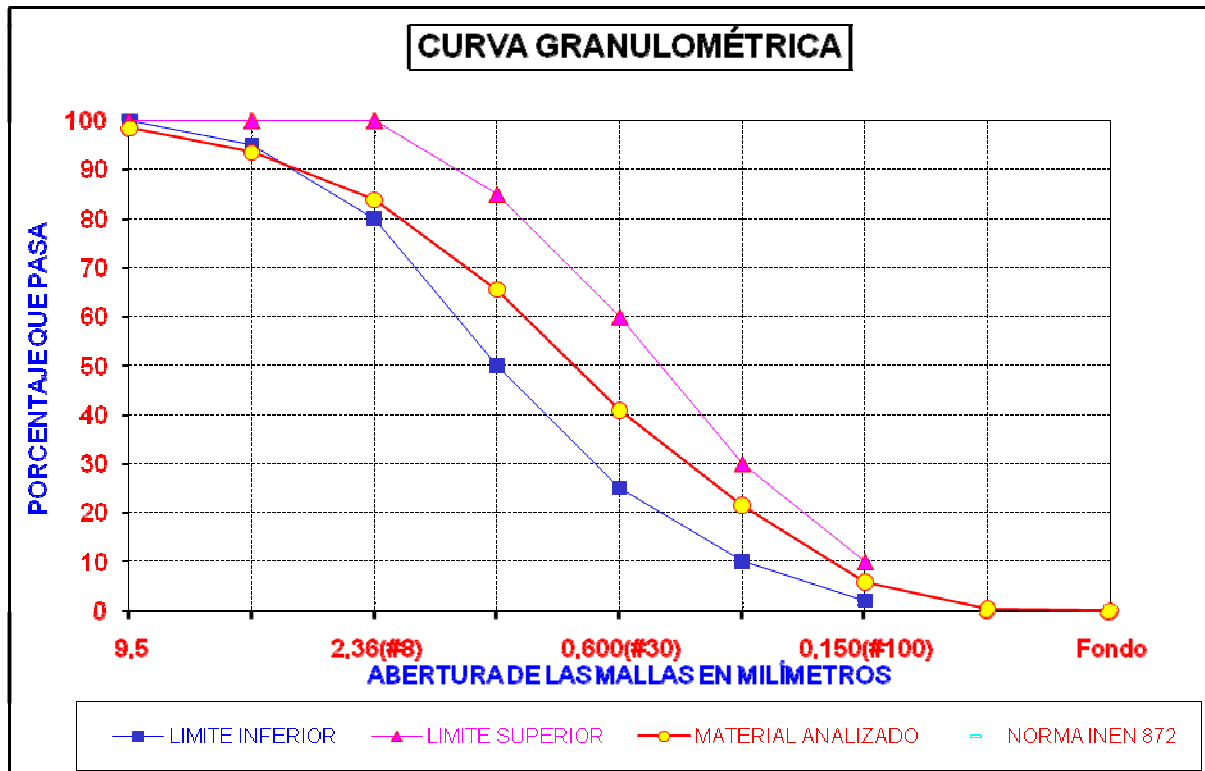
Se selecciona una muestra la más representativa posible y luego se deja secar al aire libre durante 8 días.

Durante estos 8 días se patea la arena para obtener un secado más rápido. Una vez secada la muestra se pesan 500 gramos de cada agregado fino y 10000 gramos de agregado grueso.

Después la muestra anterior se hace pasar por una serie de tamices o mallas dependiendo del tipo de agregado.

Lo mismo se realiza con el agregado fino pero se pasa por la siguiente serie de tamices (# 4, # 8, # 25, # 30 #50, #100, #200 y Fondo).

En la tabla 2 del Anexo 1 presentamos el ensayo granulométrico que dimos al árido utilizado en esta práctica dándonos la figura 4 que es la curva granulométrica resultante.



**Figura 4.** Curva granulométrica del árido fino utilizado

### 2.3.1.2. Determinación de la densidad y absorción de agua en árido fino.

#### a) Materiales y Equipos

- Balanza. Un aparato sensible, fácil de leer, con sensibilidad de 0.1 gramo de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango usado para este ensayo.
- Picnómetro. Frasco volumétrico de vidrio con capacidad de 500 cm<sup>3</sup> a temperatura normal
- Molde Metálico. Debe ser de forma tronco cónica con las medidas siguientes: 40 mm de diámetro en la base superior, 90 mm de diámetro en la inferior y 75 mm de altura.
- Pisón Metálico. Debe tener un peso de 340 g y una sección plana de 25 mm de diámetro
- Secador de Pelo. Aparato utilizado para secar el agregado.

#### b) Procedimiento

Se toma una muestra representativa de agregado fino la cual se sumerge durante 24 horas. Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de





un recipiente o bandeja la cual no es absorbente. Con el secador se le inyecta una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, la operación es terminada cuando los granos del agregado están sueltos. Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.

Se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos 250 cm<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.

Al término de este paso, se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y su cuantifico su valor. Se tomaron apuntes.

En la tabla 3 del Anexo 1 encontramos la determinación de la densidad y absorción de agua para los áridos finos utilizados en esta práctica. En el siguiente cuadro presentamos un resumen de los resultados

Ensayo número	1	2	Promedio
Masa de la muestra de ensayo (sss) en gr.	500.00	500.00	
Masa del matraz más agua en gramos: B	1278.70	1278.70	
Masa del matraz más agua más muestra: C	1583.90	1583.90	
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	481.40	481.40	
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2.570	2.567	2.57
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2.470	2.471	2.47
Porcentaje de absorción P <sub>a</sub> en %	3.860	3.860	2.041

### 2.3.1.3. Masa Unitaria.

#### a) Materiales y equipo

- Balanza con sensibilidad de 0.1% de la masa del material.
- Varilla compactadora
- Recipiente de medida de 10 dm<sup>3</sup>.
- Recipiente de medida con capacidad mínima a la indicada en el siguiente cuadro, dependiendo del tamaño máximo del agregado.



Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)	Capacidad del Molde*	
	(m <sup>3</sup> )	(L)
12.5	0.0028	2.8
25.0	0.0093	9.3
37.5	0.0140	14.0
75.0	0.0280	28.0
112.0	0.0700	70.0
150.0	0.0100	100.0

El volumen real del molde debe ser como mínimo un 95% del volumen nominal tabulado

## b) Procedimiento

### • Masa Unitaria Suelta

La masa unitaria suelta se determina usando el método de paleo para el cual sigue el siguiente procedimiento:

Determine la masa del recipiente y llene de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm por encima del borde. Enrase la superficie y pese el recipiente lleno. Repita esta operación tres veces y determine el promedio.

### • Masa Unitaria Compactada

La masa unitaria compactada se determina usando el método de apisonamiento con varilla en agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm, o mediante el método de golpeo si el tamaño máximo nominal es superior a los 37.5 mm e inferior a 150 mm.

Para el método de apisonado con varilla, mida la masa del recipiente y ponga el agregado en tres capas de igual volumen, hasta llenarlo. Empareje cada capa con la mano y apisona con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente a cada capa. Al apisonar la primera capa debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente y al apisonar las superiores aplicar la fuerza necesaria, para que la varilla solamente atreviese la respectiva capa. Nivela la superficie con la varilla y determine la masa del recipiente lleno.



El método de golpeo consiste en levantar las caras opuestas alternativamente cerca de 50 mm y permitir su caída de tal forma que se golpee fuertemente. Por este procedimiento, las partículas de agregado se acomodan en una condición densamente compactada. Compacte cada capa por sacudimiento del molde 50 veces de manera descrita, 25 veces en cada cara. \*p+3 Nivela la superficie del agregado con una plantilla de tal forma que las partes sobresalientes de las partículas más grandes que conforman el agregado grueso compensen aproximadamente los vacíos dejados en la superficie bajo el borde del molde.

Determine la masa del molde más su contenido y la masa del molde por separado y registre los valores con una aproximación de 0.05 Kg

En la tabla 4 del anexo 1 se puede observar los resultados en el laboratorio del ensayo para la determinación de la masa unitaria en el árido fino utilizado de acuerdo con la norma INEN 858.

#### **2.3.1.4. Humedad.**

##### **a) Materiales y equipo**

- Balanza. Una balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg.
- Horno. Fuente de Calor capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Recipiente. Se utiliza para introducir la muestra en el horno

##### **b) Procedimiento**

El procedimiento a seguir para el desarrollo del ensayo de humedad total es el siguiente:

- La muestra debe ser representativa según el lugar de abastecimiento que se va a ensayar y en el caso de agregados de masa normal.
- Después de escogida la muestra se prosigue a calcular su masa con aproximación de 0.1%, evitando la pérdida de humedad y del mismo material; luego de haberlo pesado se deposita la muestra en un recipiente para después ser sometido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  en el horno y de ésta de manera extraer la humedad.
- Inmediatamente el material esté seco se saca del horno y se deja enfriar (para no causar daños en la balanza) para finalmente calcular su masa.
- Se escogieron tres muestras de diferentes partes del abastecimiento de agregado y se le realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito a todas ellas.



En la tabla 8 del anexo 1 se puede observar la humedad respectiva para el árido fino

### **2.3.2. ÁRIDO GRUESO.**

El árido grueso empleado en esta práctica fue de 3/8" para la confección de las probetas, el mismo que fue obtenido mediante el proceso de tamizado de todo el material recolectado en el río Cañar.

Posterior al proceso anterior se llevo a cabo los siguientes ensayos con el objeto de obtener las propiedades necesarias para el diseño:

- Granulometría
- Densidad y absorción
- Masa unitaria
- Humedad

#### **2.3.2.1. Granulometría**

##### **a) Material y equipos**

- Balanza. Una balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg. El rango de uso de la balanza es la diferencia entre las masas del molde lleno y vacío.
- Serie de Tamices. Son una serie de tazas esmaltadas a través de las cuales se hace pasar una muestra de agregado que sea fino o grueso, su orden es de mayor a menor. En su orden se utilizarán los siguientes tamices: tamiz 1½". 1", ¾". ½" , 3/8", # 4 Fondo para el Agregado Grueso

##### **b) Procedimiento**

El procedimiento es el mismo simplemente que para el agregado se pasa por los siguientes tamices en orden descendente ( 1½" ,1", ¾", ½" , 3/8" , # 4 y Fondo)

La cantidad de muestra retenida en cada uno de los tamices se cuantifica en la balanza obteniendo de esta manera el peso retenido.

En la tabla 5 del Anexo 1 presentamos el ensayo granulométrico que dimos al árido utilizado en esta práctica dándonos la figura 5 que es la curva granulométrica resultante.

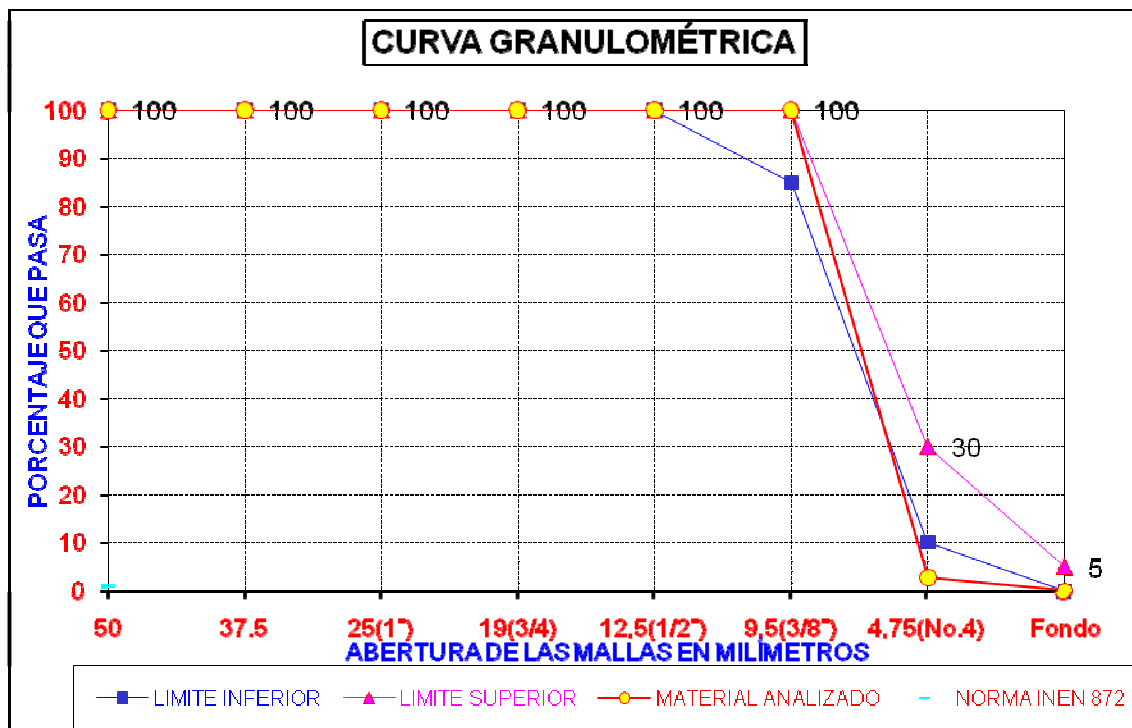


Figura 5. Curva granulométrica del árido grueso

### 2.3.2.2. Determinación de densidad y absorción de agua en árido grueso.

#### a) Materiales y equipo

- Balanza. Un aparato sensible, fácil de leer, con precisión del 0.05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango usado para este ensayo. La balanza debe estar equipada con un aparato apropiado para suspender el recipiente de la muestra en agua desde el centro de la plataforma de la balanza.
- Recipiente de la muestra. Una canasta de malla con abertura de 3.35 mm o más fina, o un balde de aproximadamente igual ancho y altura, con capacidad de 4L y 7L para un tamaño máximo nominal de 9.5 mm o menos. El recipiente debe ser construido de modo que no se atrape aire cuando se sumerja.
- Tamices. Tamiz N° 4 o 4.75 mm.

#### b) Procedimiento

Se escogió una muestra representativa del agregado, la cual se redujo desechando el material que pasara por el tamiz # 4, luego se procedió a lavarla y sumergirla en el balde durante 24 horas.



Al día siguiente, se tomo la muestra secándola parcialmente con una toalla hasta eliminar películas visibles de agua en la superficie. Se tuvo en cuenta que las partículas más grandes se secaron por separado. Cuando las partículas tienen un color mate es porque ya está en la condición saturada y superficialmente seca.

Con la balanza debidamente calibrada se pesa la muestra para averiguar su masa en esta condición. Luego se introdujo en la canastilla y se sumergió, y se cuantifico la masa sumergida en agua a una temperatura ambiente. Luego fue llevada al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, al día siguiente se cuantifico su peso y se tomaron apuntes.

En la tabla 6 del Anexo 1 encontramos la determinación de la densidad y absorción de agua para los áridos gruesos utilizados en esta práctica.

En el siguiente cuadro presentamos un resumen de los resultados

Ensayo número	1
Masa de la muestra en el aire estado sss: B	2060.40
Masa de la muestra sumergida en agua: C	1277.00
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	2032.19
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2.628
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2.593
Porcentaje de absorción P <sub>a</sub> en %	1.34

#### **2.3.2.3. Masa Unitaria.**

Tanto los materiales, equipos y procedimiento que se dio para determinar la masa unitaria en el árido fino es el mismo para el árido grueso, por lo tanto en la tabla 7 del anexo 1 se puede observar los resultados en el laboratorio del ensayo para la determinación de la masa unitaria en el árido grueso utilizado de acuerdo con la norma INEN 858

#### **2.3.2.4. Humedad.**

Tanto los materiales, equipos y procedimiento que se dio para determinar la humedad en el árido fino es el mismo para el árido grueso, por lo tanto en la tabla 8 del anexo 1 se puede observar los resultados en el laboratorio del ensayo para la determinación de la humedad en el árido grueso.

### **2.3.3. CEMENTO.**

El cemento que se utilizo fue el cemento Rocafuerte Portland el cual cumple con la norma INEN 152. El cemento se encontraba almacenado en un lugar



perfectamente seco y ventilado, bajo cubierta y sobre tarimas de madera y tampoco permaneció embodegado por largo tiempo.

La comprobación del cemento, indicado en el párrafo anterior, se referirá a:

TIPO DE ENSAYO	ENSAYO INEN
Análisis químico	INEN 152
Finura	INEN 196, 197
Tiempo de fraguado	INEN 158, 159
Consistencia normal	INEN 157
Resistencia a la compresión	INEN 488
Resistencia a la flexión	INEN 198
Resistencia a la tracción	AASHTO T-132

Si los resultados de las pruebas no satisfacen los requisitos especificados, el cemento será rechazado.

#### **2.3.4. PUZOLANA.**

El material puzolánico nos fue proporcionado por el Ing. Fernando Zalamea, esta puzolana cumple con la norma ASTM C 618 establece requerimientos de orden químico, de manera que los óxidos de sílice, aluminio y fierro deben ser iguales o mayores al 70% que el azufre expresado en S03 debe ser como máximo 4% y, la pérdida por calcinación no mayor de un 10%.

Además se requiere cumplir con un índice de actividad resistente, por el cual una pasta de mortero con material cementoso constituido por 80% de cemento Y. 20% de puzolana debe ofrecer una resistencia por lo menos de 75% de la obtenida con el cemento patrón.

En la tabla 9 del Anexo 1 se puede observar la composición química de la puzolana utilizada en el ensayo.

Propósito de los Ensayos en Puzolanas

- Asegurar que no se modifiquen las propiedades del concreto
- Establecer la performance
- Garantizar la uniformidad de las propiedades.

#### **2.3.5. SUPERPLASTIFICANTE.**

##### **2.3.5.1. Descripción.**

Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo líquido, reductor de agua de ultra alto rango y súper plastificante basado en policarboxilatos.

##### **2.3.5.2. Usos.**



Sika ViscoCrete 2100 puede ser usado tanto para concretos premezclados como prefabricación, al agregar el aditivo en las plantas brinda una excelente plasticidad y mantiene la manejabilidad por periodos hasta de 90 minutos.

Los tiempos de fraguado controlados hacen del Sika ViscoCrete 2100 ideal para aplicaciones horizontales y verticales.

### **2.3.5.3. Ventajas**

Reducción de agua: puede ser dosificado en pequeñas cantidades para obtener una reducción de agua de 10% al 15% y se logran reducciones de agua por encima del 45% para dosis altas. Sika ViscoCrete 2100 es adecuado para todos los niveles de reducción de agua.

Alta Plasticidad: La acción súper plastificante del Sika ViscoCrete 2100 brinda un alto asentamiento, se obtienen concretos fluidos que mantienen una excelente manejabilidad y pueden ser colocado con un mínimo de vibración incluso con una relaciones a/c de hasta 0.25.

El concreto plastificado con Sika ViscoCrete 2100 es altamente fluido y mantiene completamente la cohesión de la matriz de cemento eliminado la excesiva exudación y segregación.

Manejabilidad con fraguados controlados: Sika ViscoCrete 2100 ha sido formulado para proveer tiempos de manejabilidad extendidos de una forma controlada y predecible sin afectar los tiempos de fraguados.

La combinación de la reducción de agua y la acción plastificante del SikaViscoCrete 2100 brinda los siguientes beneficios al concreto endurecido.

- Altas resistencias finales, permitiendo diseños estructurales flexibles y económicos.
- Reducción de la relación a/c, produciendo concretos más densos y durables al reducir la permeabilidad.
- El alto efecto plastificante reduce los defectos en la superficie en los elementos de concreto y mejora la apariencia estética.

### **2.3.5.4. Modo de empleo.**

- a) **Dosis:** las dosis pueden variar dependiendo de los materiales usados, las condiciones ambientales y los requerimientos específicos del proyecto. Sika recomienda dosis de 0.15 % a 0.40 % del material cementante para aplicaciones de concreto convencional. Cuando se requieran altos asentamientos o concretos auto compactantes (CAC) se pueden usar dosis de 0.40% a 0.80% del material cementante. Dosis por fuera del rango recomendado pueden ser usadas donde materiales especiales como la microsilica sean especificados. Condiciones ambientales extremas o proyectos especiales requieren consideraciones adicionales, en estos casos contactar a nuestro departamento técnico.





**b) Mezclado:** Para obtener los mejores resultados como plastificante, adicionar Sika Viscocrete 2100 directamente a la mezcla fresca de concreto en la mezcladora al final del ciclo de la bachada. Sika ViscoCrete 2100 también puede ser integrado al concreto en el ciclo regular del aditivo en la bachada o en el concreto fresco en el camión mezclador. Para optimizar el efecto superplastificante, después de la adición del Sika ViscoCrete 2100, se recomienda hacer un mezclado a 80 – 100 RPM en la mezcladora o en el camión mezclador. Combinaciones con otros aditivos: Sika ViscoCrete 2100 es altamente efectivo sólo o mezclado con otros aditivos, si se utiliza en combinación con ciertos reductores del rango del tipo Sikament el efecto plastificante puede ser afectado. Combinación con microsilica: Sika Viscocrete 2100 es particularmente adecuado para usar con micro sílice por su capacidad de reducción de agua y su control adecuado del asentamiento.

#### **2.3.5.5. Datos técnicos.**

Sika ViscoCrete 2100 cumple con los requerimientos de la norma ASTM C – 494 Tipos A y F.

Densidad: 1.078 kg/l  $\pm$  0,02 kg/l

#### **2.3.5.6. Medidas de seguridad.**

Contiene soluciones poliméricas acuosas. Puede causar irritación en la piel, ojos o vías respiratorias. Evitar el contacto y usar en áreas ventiladas, lavar con jabón después de su uso.



*Universidad de Cuenca  
Facultad de Ingeniería.*

## CAPITULO 3

### 3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

Con los parámetros obtenidos se procede al diseño del experimento para lo cual se seguirá de la siguiente manera:

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA.

- Si la desviación estándar “S” es conocida, elijo la mayor de:

$$f_{cr} = f_c + 1.34 S$$
$$f_{cr} = 0.90f_c + 2.33 S$$

- Si no se conoce la desviación estándar y la mezcla se basara sólo en los resultados de la mezcla de prueba, entonces:

$$\frac{f_c + 9.7}{0.90}$$

$$\frac{50 + 9,7}{0,90} = 66,33 \text{ MPa}$$

RESISTENCIA DE PROYECTO	50 MPa
RESISTENCIA DE OBRA	59,7 MPa
RESISTENCIA DE LABORATORIO	66,3 MPa

#### 3.2. SELECCIONAR EL ASENTAMIENTO REQUERIDO.

- Si se usa superplastificante.

Se diseña para un asentamiento de 25 a 50 mm antes de la adición del superplastificante.

- Si no se usa superplastificante.

Se elige el asentamiento de acuerdo al tipo de aplicación, como el procedimiento para el hormigón normal.

Como se va a usar superplastificante Sika-ViscoCrete-2100 el hormigón se diseñará para que tenga un asentamiento de 25 a 50 mm antes de echar el superplastificante Sika-ViscoCrete-2100.



### 3.3. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO.

- ✓ Para resistencia < 62 MPa. tamaño de 20 mm ó 25 mm.
- ✓ Para la resistencia > de 62 MPa. tamaño de 10 mm ó 13 mm.

Debido a la resistencia se decidió elegir al árido 3/8 cuyo tamaño máximo es de 3/8" es decir 9,5 mm., se eligió este tamaño, menor al recomendado para asegurar una mayor resistencia, dado que no se tiene un gran conocimiento y estudio de áridos en nuestro medio.

### 3.4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ÁRIDO GRUESO.

El contenido óptimo del árido grueso se selecciona de la tabla siguiente, ya que el modulo de finura de la arena es de 3.

Contenido óptimo de árido grueso para áridos de tamaño máximo nominal, usado con una arena con modulo de finura 2.5 a 3.2				
Tamaño máximo nominal del árido grueso en mm	<b>9.5</b>	12.7	19	25
Fracción en volumen del peso unitario compactado	<b>0.65</b>	0.68	0.72	0.75

El contenido óptimo del árido grueso seleccionado de la tabla es de 0.65 por unidad de volumen del hormigón.

#### Cálculo del peso seco por m<sup>3</sup>.

$$W_{ag} = V_{ag} * P_{uag}$$

Donde

$P_{uag}$  : Peso Unitario Compactado del árido grueso.

El peso seco del árido por m<sup>3</sup> de hormigón es de:

$$W_{ag} = 0,65 \text{ m}^3 * 1590 \text{ Kg/m}^3 = 1034 \text{ Kg}$$

FRACCIÓN DE ÁRIDO GRUESO OPTIMO =	<b>0.65</b>	m <sup>3</sup>
PESO DEL ÁRIDO GRUESO =	<b>1034</b>	Kg



### 3.5. MEZCLA Y REQUERIMIENTO DE AIRE.

Consta de 2 pasos:

#### 3.5.1. PASO A

Haga un estimado del agua de mezclado y del contenido de aire esperado (aire ocluido).

ESTIMADO DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN FRESCO PARA UNA ARENA CON 35% DE VACÍO.

<u>Asentamiento en mm</u>	<u>Agua de mezclado Kg/ m<sup>3</sup></u>			
	<u>Tamaño máximo del árido en mm</u>			
	<u>9.5</u>	<u>12.5</u>	<u>19.0</u>	<u>25.0</u>
25-50	195	190	182	178
50-75	200	197	189	184
75-100	205	204	196	190
Contenido de aire en %	3	2.5	2	1.5
	(2.5)*	(2.0)*	(1.5)*	(1.0)*

\* Para hormigón con Superplastificante

Sobre la base del asentamiento de 25 a 50 mm y el tamaño máximo requerido de 9,5 mm en la tabla anterior se determina el primer estimado de agua de 195 Kg / m<sup>3</sup> de hormigón y el aire atrapado en la mezcla usando el HRWR es de 2,5 %.

AGUA DE MEZCLADO =	195 Kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE AIRE =	2.5 %

#### 3.5.2. PASO B :

Ajuste para tener en cuenta la influencia de la forma y rugosidad superficial de las partículas del árido fino.

Estos factores pueden afectar significativamente el acomodamiento y la laborabilidad.



El contenido de vacío, V, de la arena mide esta influencia, además de ser una medida del acomodamiento del árido.

$$\left( \%V = 1 - \frac{PUC, Kg / m^3}{Densidad, Kg / m^3} \right) * 100$$

El gráfico del agua de mezclado fue desarrollado para V= 35%.

El agua de mezclado ajustada= (V-35)\* 4.7 Kg/m<sup>3</sup>.

Este es el cambio esperado en el requerimiento de agua es de 4.7 Kg por cada 1% de cambio en el contenido de vacío.

$$\%V = \left( 1 - \frac{1758}{2470} \right) * 100 = 28,8 \%$$

VACIOS EN ARENA =	28,8 %
AJUSTE AGUA POR VACIOS =	-29,14 Kg/m <sup>3</sup>
AGUA REQUERIDA PARA LA MEZCLA(INCLUYE ADITIVO) =	165,8 Kg/m <sup>3</sup>

### 3.6. SELECCIÓN RELACIÓN W/(c+p).

En lugar de la relación agua-cemento, se elige, para la resistencia deseada, la siguiente relación: agua / (cemento + puzolana).

W/(c+p) MÁXIMA RECOMENDADA PARA HORMIGONES HECHOS CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.

Resistencia en obra $f_{cr}$ Mpa		W/c+p			
		Tamaño máximo del árido en mm			
		9.5	12.5	19	25
49	28 días	0.50	0.48	0.45	0.43
	56 días	0.55	0.52	0.48	0.46
56	28 días	0.44	0.42	0.40	0.38
	56 días	0.48	0.45	0.42	0.40
63	28 días	0.38	0.36	0.35	0.34
	56 días	0.42	0.39	0.37	0.36
70	28 días	0.33	0.32	0.31	0.30
	56 días	0.37	0.35	0.33	0.32
77	28 días	0.30	0.29	0.27	0.27
	56 días	0.33	0.31	0.29	0.29
83	28 días	0.27	0.26	0.25	0.25
	56 días	0.30	0.28	0.27	0.26

Aunque la resistencia requerida en la mezcla de prueba en el laboratorio es de 66,3 MPa, el valor a usar en la tabla es:

$$(0.90) \times 66,3 = 59,7 \text{ MPa.}$$

Debido a que no existe este valor en la tabla, es necesario interpolar entre los valores de 56 y 63 para obtener la relación W/(c+p) correspondiente a 59,7 MPa, lo cual arroja una relación de 0,41.

$f_{CR}$	W/(c + p)
59,7	0,41

- Para una relación w/(c+p) dada la resistencia obtenida es mayor con el uso de superplastificante que sin él. Esta mayor resistencia se obtiene en un tiempo menor.
- Con el uso de superplastificante se obtiene una resistencia dada, en un tiempo determinado, con menos material aglomerante.
- Cuando el contenido de aglomerante excede 600 Kg se puede obtener una mezcla más adecuadas usando material aglomerante alterativo ó ajustando el método de dosificación empleado.

### 3.7. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE MATERIAL AGLOMERANTE.



El peso de material aglomerante para un m<sup>3</sup> es de:

$$P_c = P_a / \text{relación } [w/(c+p)] = 165,8 \text{ Kg} / 0.41 = 403,7 \text{ Kg.}$$

Donde:

P<sub>c</sub>: peso del material aglomerante

P<sub>a</sub>: peso del agua.

- Dosifique el hormigón asumiendo que todo el aglomerante es cemento Portland.
- Determine el volumen y la masa del árido fino usando el método del volumen absoluto.
- Ajuste la dosificación para tener en cuenta el agua en el árido.

$$P_c = 403,7 \text{ Kg.}$$

### 3.8. DISEÑO DE LA MEZCLA BÁSICA CON CEMENTO SOLAMENTE.

CANTIDAD DE ARENA

$$\frac{\text{Peso Cemento}}{\text{YCEMENTO}} + \frac{\text{Peso Agua}}{\text{YAGUA}} + \frac{\text{Peso Árido Grueso}}{\text{YARIDO GRUESO}} + \frac{\text{Peso Arena}}{\text{YARENA}} + \frac{\%Aire \cdot 1000}{100} = 1000 \text{ lt}$$

$$\frac{403,7}{3,15} + \frac{165,5}{1} + \frac{1034}{2,593} + \frac{\text{Peso Arena}}{2,47} + \frac{2,5 \cdot 1000}{100} = 1000$$

$$\text{Peso Arena} = 697,96 \text{ Kg}$$

CEMENTO =	128,16	[ dm <sup>3</sup> ]
ÁRIDO GRUESO =	398,77	[ dm <sup>3</sup> ]
AGUA =	165,5	[ dm <sup>3</sup> ]
AIRE =	25	[ dm <sup>3</sup> ]
ARENA =	282,57	[ dm <sup>3</sup> ]
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>1000</b>	<b>[ dm<sup>3</sup> ]</b>

MATERIALES PARA UN m<sup>3</sup> DE MEZCLA BÁSICA

CEMENTO =	404	[ Kg ]
-----------	-----	--------





ÁRIDO GRUESO =	1034	[ Kg ]
AGUA INCLUIDO ADITIVO =	166	[ Kg ]
ARENA =	698	[ Kg ]
PESO TOTAL	2302	[ Kg ]

### 3.9. DISEÑO DE LA MEZCLA ACOMPAÑANTE.

Para determinar el diseño de mezcla óptimo, el diseñador necesita preparar varias mezclas de prueba que tengan diferentes contenidos de puzolanas a las cuales se denominan mezclas acompañantes.

- Sobre la base de la mezcla diseñada en el paso 3.1.9. , haga otras mezclas que reemplacen % de cemento por puzolana.
- Para decidir los % a usar, hay que tener en cuenta la calidad de la puzolana planificada a utilizar.
- Recomendación:
  - Si es ceniza volante tipo F, entonces se reemplaza de 15 a 20%
  - Si es ceniza volante tipo C, entonces se reemplaza de 20 a 35%.
- El uso del método del volumen absoluto para re-calcular la arena requiere que se conozca la densidad de la ceniza volante.

La ceniza volante se reemplaza de 15 a 30%, entonces:

<b>MEZCLA ACOMPAÑANTE # 1</b>	15%
<b>MEZCLA ACOMPAÑANTE # 2</b>	20%
<b>MEZCLA ACOMPAÑANTE # 3</b>	25%
<b>MEZCLA ACOMPAÑANTE # 4</b>	30%

MEZCLA ACOMPAÑANTE	CEMENTO	CENIZA VOLANTE	TOTAL
	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]
# 1	343.4	60.6	404
# 2	323.2	80.8	404
# 3	303	101	404
# 4	282.8	121.2	404

### CORRECCIONES DEL VOLUMEN DE MEZCLA POR ADICIÓN DE PUZOLANA.



COMPONENTES	MEZCLA # 1	MEZCLA # 2	MEZCLA # 3	MEZCLA # 4
	[ dm <sup>3</sup> ]	[ dm <sup>3</sup> ]	[ dm <sup>3</sup> ]	[ dm <sup>3</sup> ]
CEMENTO =	109.02	102.60	96.19	89.78
CENIZA VOLANTE TIPO C	22.95	30.61	38.26	45.91
ÁRIDO GRUESO	398.77	398.77	398.77	398.77
AGUA	166.00	166.00	166.00	166.00
AIRE	25.00	25.00	25.00	25.00
ARENA	278.26	277.02	275.79	274.55
VOLUMEN TOTAL	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

### DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ACOMPAÑANTES DE PRUEBA PARA UN m<sup>3</sup>

COMPONENTES	MEZCLA # 1	MEZCLA # 2	MEZCLA # 3	MEZCLA # 4
	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]
CEMENTO	343.4	323.2	303	282.8
CENIZA VOLANTE TIPO C	60.6	80.8	101	121.2
ARENA SECA	687.3113	684.2514	681.1915	678.1316
ÁRIDO GRUESO SECO	1034	1034	1034	1034
AGUA =	166.00	166.00	166.00	166.00

Debido a que se van a confeccionar tres probetas para cada uno de los porcentajes, es necesario hallar el volumen necesario de mezcla para cada porcentaje.

DATOS DE LAS PROBETAS		
ALTURA	20	cm
DIÁMETRO	10	cm
VOLUMEN	1570	cm <sup>3</sup>
	1.57	lt

Este es el volumen necesario para una sola probeta, como el ensayo consiste en tres probetas el volumen requerido sería de aproximadamente 5 litros.

Por motivos de facilidad de confección de la mezcla, y para que la misma sea suficiente para realizar el ensayo en el Cono de Abraham (Asentamiento), se decidió realizar un volumen de mezcla de 15 lt.

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE PRUEBA PARA 15 LITROS				
COMPONENTES	MEZCLA # 1	MEZCLA # 2	MEZCLA # 3	MEZCLA # 4



	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]
CEMENTO	5.15	4.85	4.55	4.24
CENIZA VOLANTE TIPO C	0.91	1.21	1.52	1.82
ÁRIDO GRUESO SECO	15.51	15.51	15.51	15.51
AGUA	2.49	2.49	2.49	2.49
ARENA SECA	10.31	10.26	10.22	10.17

Cabe recordar que para la construcción de estas probetas los materiales no se encuentran estado seco, razón por la cual hay que trabajar con pesos húmedos, que es en realidad el estado en que se encuentran los materiales en la naturaleza.

Cuando se estudió las propiedades de los materiales, se realizó ensayos de humedad y absorción que proporcionaron los siguientes datos:

Árido fino:

$$\omega = 5,12 \%$$

$$\text{Absorción} = 3,86 \%$$

Árido grueso:

$$\omega = 1,90 \%$$

$$\text{Absorción} = 1,34 \%$$

Con estos datos se procede a corregir los pesos, para obtener los pesos de los materiales en estado húmedo, lo que se denomina Corrección por Humedad.

<b>DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE PRUEBA PARA 15 LITROS (ESTADO HÚMEDO)</b>				
<b>COMPONENTES</b>	<b>MEZCLA # 1</b>	<b>MEZCLA # 2</b>	<b>MEZCLA # 3</b>	<b>MEZCLA # 4</b>
	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]
CEMENTO	5.15	4.85	4.55	4.24
CENIZA VOLANTE TIPO C	0.91	1.21	1.52	1.82
ÁRIDO GRUESO HÚMEDO	15.80	15.80	15.80	15.80
AGUA CORREGIDA	2.26	2.27	2.27	2.27
ARENA HÚMEDA	10.84	10.79	10.74	10.69
ADITIVO	0.06	0.06	0.06	0.06

### 3.10. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA UN m<sup>3</sup>

Con los diferentes pesos obtenidos en la mezcla básica seca corregida, los dosificamos para un m<sup>3</sup> ya que esta dosificación es para 15 litros y obtenemos lo siguiente:



<b>DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CORREGIDA PARA 1m<sup>3</sup> (ESTADO SECO)</b>				
<b>COMPONENTES</b>	<b>MEZCLA #</b>	<b>MEZCLA #</b>	<b>MEZCLA #</b>	<b>MEZCLA #</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
	<b>[ Kg ]</b>	<b>[ Kg ]</b>	<b>[ Kg ]</b>	<b>[ Kg ]</b>
CEMENTO	343.40	323.20	303.00	282.80
CENIZA VOLANTE TIPO C	60.60	80.80	101.00	121.20
ÁRIDO GRUESO SECO	1034.00	1034.00	1034.00	1034.00
AGUA	166.00	166.00	166.00	166.00
ARENA SECA	687.31	684.25	681.19	678.13
ADITIVO	4.00	4.00	4.00	4.00
<b>PESO TOTAL</b>	<b>2295.31</b>	<b>2292.25</b>	<b>2289.19</b>	<b>2286.13</b>

## CAPITULO 4

### 4. RESULTADOS DE LA TAREA EXPERIMENTAL

Una vez fabricadas las probetas de 100mm de diámetro y 200mm de altura según AASHTO T 2 y ASTM C 39 y dadas el curado necesario para alcanzar la resistencia máxima durante 28 días se les calculó el peso específico y se les sometió a un ensayo de compresión con el objetivo de determinar la efectividad de la puzolana en estudio como adición en hormigón de alta prestación en un 15%, 20%, 25% y 30%, los resultados de dichos ensayos se informaran y analizaran durante el desarrollo de este capítulo.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados para este estudio, se realizaron ensayos que determinen las propiedades físico-mecánicas de los hormigones de alta prestación con sustitución de los porcentos antes mencionados y además otros que determinen la durabilidad de los mismos.

#### 4.1. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.

El primer parámetro que se determino es el asentamiento mediante el cono de Abrahams con la muestra de prueba para la cual se hizo con y sin superplastificante, cumpliendo con las normas que dicen que sin superplastificante el asentamiento está entre 2.5 y 5cm.

Los resultados de este experimento se presentan en la tabla 1 del Anexo 2.

A continuación se presenta los resultados de los asentamientos mediante un grafico en la figura 6 que compara los asentamientos con superplastificante y sin el mismo.

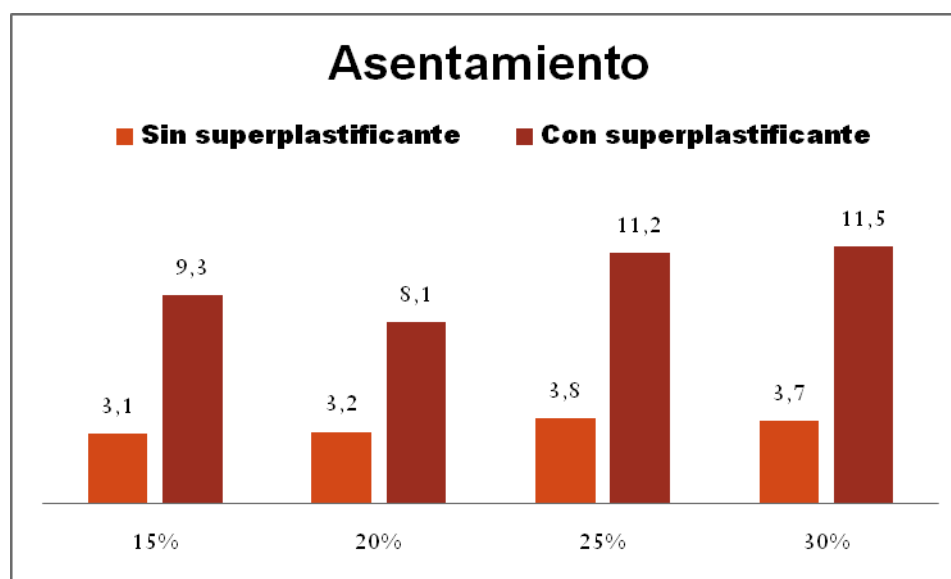


Figura 6. Asentamientos con y sin superplastificante

#### 4.2. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL HORMIGÓN.

Para la determinación de este parámetro se midió el peso del hormigón fresco, es decir antes de que fragüe con el recipiente, posteriormente se peso el recipiente y se obtuvo el peso específico de cada una de las probetas dándonos un promedio para cada porcentaje

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla 2 del Anexo 2.

A continuación se presenta los resultados de los pesos específicos mediante un grafico en la figura 7 para cada mezcla.

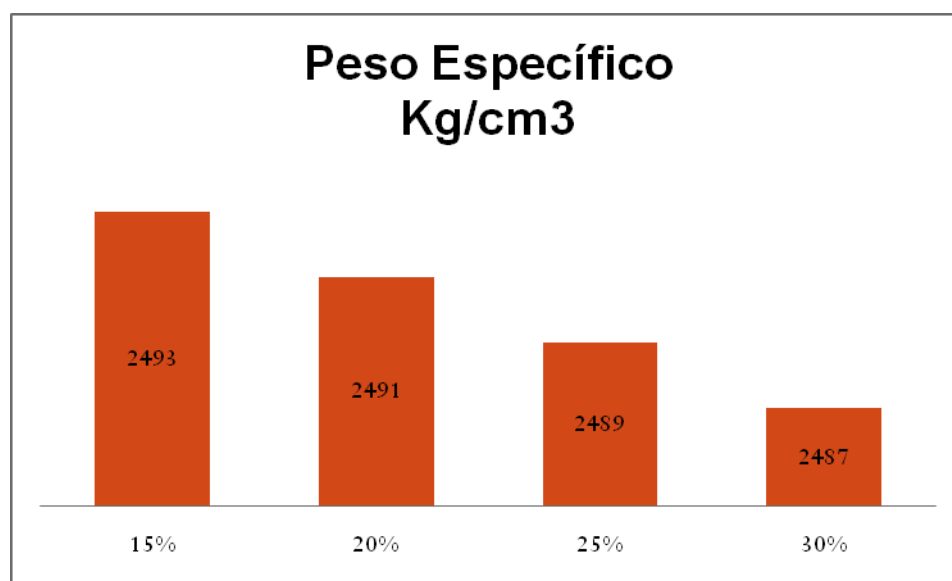


Figura 7. Pesos específicos para cada mezcla

#### 4.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA.

Luego del curado, es decir mantenimiento de las probetas sumergidas en agua durante 28 días, se procedió al ensayo de resistencia o de compresión de las mismas sometiendo primero al capeado para dar uniformidad a la fuerza y sometiendo a una fuerza vertical en una prensa hidráulica hasta su fractura falla por compresión.

Los resultados se puede observar en la tabla 3, 4, 5 y 6 del anexo 2.

A continuación se presenta los resultados de los ensayos a compresión mediante un grafico en la figura 8 para cada mezcla.

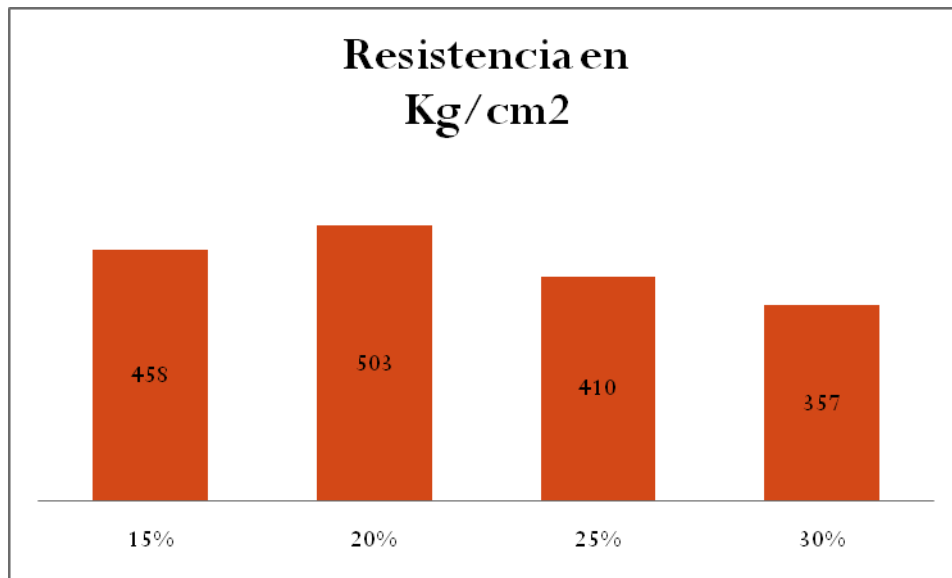


Figura 8. Resistencia obtenida con cada mezcla.

#### 4.4. OBSERVACIÓN.

En el Anexo 3 se puede visualizar todo el procedimiento de esta práctica mediante fotos

#### 4.5. VALORACIÓN ECONÓMICA.

En la tabla 7 del Anexo 2 se puede observar una valoración económica de un metro cúbico de hormigón



## CONCLUSIONES

- La actividad que generó la adición de puzolana nos permitió reducir las cantidades de cemento portland usado en los hormigones de altas prestaciones, constituyendo una atractiva propuesta desde el punto de vista medio ambiental.
- En cuanto a la resistencia del hormigón se cumplió con el objetivo, la resistencia máxima que se logró obtener fue de  $503\text{kg/cm}^2$  a los 28 días con un contenido de ceniza volcánica del 20%
- La adición del súper plastificante fue bastante efectivo ya que el asentamiento de la mezcla mediante el ensayo del cono de Abrahán nos dio sin superplastificante entre 2.5 a 5cm según la norma. Por lo tanto el aditivo utilizado es bastante efectivo ya que dio mayor fluidez en el hormigón y aumentó el asentamiento considerablemente.
- En cuanto a los áridos empleados se puede concluir que son de buena calidad ya que cumplen con las normas establecidas, además fueron suficientes para lograr llegar a la resistencia planteada que era  $500\text{Kg/cm}^2$  siendo este el principal objetivo, aun así se logro llegar a  $503\text{Kg/cm}^2$  a los 28 días, que consumó nuestras expectativas
- La dosificación mas óptima nos dio con el 20% de ceniza volcánica lo cual plasmó con la hipótesis planteada.
- La sustitución de cemento por muestra no disminuyó la durabilidad del hormigón a los veintiocho días. Cuya durabilidad se la pudo evaluar o valorar de manera visual mediante la presentación de fisuras en las probetas, las cuales en nuestro proyecto no se evidenciaron.
- En cuanto a la valoración económica nos dio cantidades para cada situación de ceniza bastante aceptables para poder involucrarlo en el mercado, por lo tanto se puede decir que este hormigón nos puede traer bastantes beneficios económicos ya que su costo está en un valor no tan grande para el comercio.





## **RECOMENDACIONES**

- Repetir este ensayo procurando utilizar una granulometría más estricta y que cumpla con todas las normas existentes.
- Ejecutar este trabajo pero utilizando otras cenizas naturales para poder observar la actividad puzolánica y la variabilidad que tienen cada una de ellas.
- Realizar este ensayo utilizando otros tipos de aditivos para valorar la actividad de cada uno de ellos y poder efectuar una comparación cualitativa.
- Efectuar este ensayo utilizando varios tipos de cemento para valorar la resistencia que se obtiene con cada uno de ellos.
- Controlar el rango de dosificación de los aditivos empleados, sin que excedan el máximo ni el mínimo recomendado en cada caso.
- Deben considerarse las propiedades mecánicas de los áridos para la consecución de la resistencia mecánica deseada.
- Realizar ensayos a compresión a mayor tiempo que los 28 días para valorar la actividad puzolánica a mayor tiempo.
- Tratar de ejecutar los ensayos correspondientes a las propiedades de durabilidad de los hormigones, para poder valorar o evaluar no solamente de una manera visual, sino también de forma mecánica y química.
- Los áridos deben ser lavados para que se eliminen los finos indeseables en su contenido.



## BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.arquicity.com/hormigon-altas-prestaciones.html>  
<http://www.hormigon-altas-prestaciones.com/>  
<http://www.admixtures.basf-cc.es/es/productos/pliegos-condic...>  
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/70>  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/130>  
<http://www.imcyc.com/ct2007/may07/tecnologia.htm>  
<http://www.aidico.es/el-prefabricado-de-hormigon-respuesta-a...>  
<http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732008000300005&...>  
CIATH. Hormigón de Alto Desempeño para Estructuras. Universidad Nacional de Córdoba Argentina. <http://www.efn.uncor.edu/dep/estruct/ciath/HAD.HTM>  
Sánchez de Guzmán D, "Tecnología del Concreto y Mortero", Colección Básica Del Concreto, Instituto del Concreto  
Martínez A. Hormigón Autocompactante. [http://www.hormigonelaborado.com/infotecnica\\_autoc.htm](http://www.hormigonelaborado.com/infotecnica_autoc.htm)  
Manual De Usos Del Hormigón Elaborado. Resistencia del Hormigón <http://www.hormigonelaborado.com/manual-5.htm>.  
Sánchez de Guzmán D, "Concreto y Morteros Manejo y Colocación en Obra", Colección Básica Del Concreto, Instituto del Concreto, Volumen 4.  
*MANUAL DEL INGENIERO CIVIL. Tomo I. Mac Graw Hill: México. sección 5-6.*  
*CONCRETO. Serie de Conocimientos Básicos. Revista N°1. ASOCRETO. Instituto Colombiano de Productores de Cemento.*  
Normas Técnicas INEN. (Instituto Ecuatoriano de Normalización) <http://www.inen.gov.ec/>

## ANEXO 1

### ENSAYOS EN LOS COMPONENTES

Tabla 1. Pruebas usadas para evaluar el hormigón en estado fresco

Tabla 2. Determinación de la granulometría con árido fino

Tabla 3. Determinación de la densidad y absorción de agua para el árido fino

Tabla 4. Determinación de la masa unitaria para el árido fino

Tabla 5. Determinación de la granulometría del árido grueso

Tabla 6. Determinación de la densidad y absorción de agua para el árido grueso.

Tabla 7. Determinación de la masa unitaria en el árido grueso

Tabla 8. Humedad para el árido fino

Tabla 9. Humedad para el árido grueso

Tabla 10. Composición química de la puzolana

<b>Prueba</b>	<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>Relación</b>
Slump	Gravedad	Relacionada al esfuerzo de fluencia
Esfera de Kelly	Presión por penetración	Relacionada al esfuerzo de fluencia
Prueba de Vicat	Presión por penetración	Relacionada al esfuerzo de fluencia
K-slump	Gravedad	Relacionada a la segregación
Viscometro	Gravedad	Relacionada a la viscosidad
Prueba de Ve-Be	Por vibración	Para hormigones con alto esfuerzo de fluencia

Tabla 1. Pruebas usadas para evaluar el hormigón en estado fresco

ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN						
DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA						
MUESTRA				ENSAYO		
Tipo de árido:	ARENA			Norma:	INEN 696	
Procedencia:	RIO BULU-BULU			Fecha:	07 de Agosto de 2010	
Sector:	COCHANCAY			Realizado:		
Tamiz mm	RETENIDO			PASA %	REQUISITO % PASA	
	PESO (gr)	%	Acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
9,5	31.1	1.555	1.555	98.445	100	100
4,75(#4)	98.41	4.9205	6.4755	93.5245	95	100
2,36(#8)	193.73	9.6865	16.162	83.838	80	100
1,18(#16)	367.16	18.358	34.52	65.48	50	85
0,600(#30)	492.41	24.6205	59.1405	40.8595	25	60
0,300(#50)	387.54	19.377	78.5175	21.4825	10	30
0,150(#100)	314.22	15.711	94.2285	5.7715	2	10
0,075(#200)	109.13	5.4565	99.685	0.315		
Fondo	6.3	0.315	100	0		
Total	2000	100				
Masa Muestra de Ensayo:	2000	gramos		Módulo de finura: Mf =	2.91	
Requisito de Gradación de la Arena para hormigón				Módulo de Finura: 2,3 a 3,1		

Tabla 2. Determinación de la granulometría con árido fino

ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN						
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA.						
MUESTRA				ENSAYO		
Tipo de árido:	Arena			Norma:	INEN 856	
Procedencia:				Fecha:	7-Aug-10	
Sector:				Realizado:		
DATOS DE ENSAYO						
No. Prueba				1	2	
Masa de la muestra de ensayo (sss) (gr).				500.00	500.00	
Masa del matraz más agua (gr) : B				1278.70	1278.70	
Masa del matraz más agua más muestra (gr) : C				1583.90	1583.90	
Masa de la muestra seca al horno (gr). A				481.40	481.40	
Densidad real (estado sss): D <sub>sss</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )				2.57	2.567	
Densidad seca (estado seco): D <sub>s</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )				2.47	2.471	
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )				2.73	2.732	
Porcentaje de absorción: Pa en %				3.86	3.86	
D <sub>sss</sub> =	2.567	gr/cm <sup>3</sup>		Densidad real	D <sub>sss</sub> = 500 / (B+500-C)	
D <sub>s</sub> =	2.471	gr/cm <sup>3</sup>		Densidad seca	D <sub>s</sub> = A / (B+500-C)	
D =	2.732	gr/cm <sup>3</sup>		Densidad aparente	D = A / (B+A-C)	
Pa =	3.86	%		Porcentaje de absorción	Pa = 100 x ( 500-A ) / A	

Tabla 3. Determinación de la densidad y absorción de agua para el árido fino



<b>ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN</b>			
<b>DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA</b>			
<b>MUESTRA</b>		<b>ENSAYO</b>	
Tipo de árido:		Norma:	<b>INEN 858</b>
Procedencia:		Fecha:	
Sector:		Realizado:	
<b>DATOS DEL MOLDE</b>			
Peso (gr):	8302		
Altura (cm):	17	Área del recipiente (cm <sup>3</sup> ) :	176.71
Diámetro (cm):	15	Volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> ) :	3004.15
<b>ESTADO SUELTO</b>			
<b>No. Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> ) : V	3004.15	3004.15	3004.15
Masa del recipiente más muestra (gr) :	13370	13281	13296
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	5068.00	4979.00	4994.00
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )	1.687	1.657	1.662
<b>ESTADO COMPACTADO</b>			
<b>No. Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> ) : V	3004.15	3004.15	
Masa del recipiente más muestra (gr) :	13589.00	13573.00	
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	5287.00	5271.00	
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )	1.760	1.755	
Masa unitaria ( densidad aparente ) suelta:	1.669	gr/cm <sup>3</sup>	
Masa unitaria ( d. aparente ) compactada:	1.757	gr/cm <sup>3</sup>	

Tabla 4. Determinación de la masa unitaria para el árido fino

<b>ÁRIDO GRUESO PARA HORMIGÓN</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA</b>	
<b>Solicitante:</b>	<b>INFORME:</b>
<b>Dirección:</b>	
<b>MUESTRA</b>	<b>ENSAYO</b>
Tipo de árido: ROCA TRITURADA 3/8"	Norma: <b>INEN 696</b>
Procedencia: COCHANCAY	Fecha:



Sector:				Realizado:		
Tamiz mm	RETENIDO			PASA %	Requisito % Pasa	
	PESO (gr)	%	Acumulado		Lim Inf	Lim Sup
50				100.00	100	100
37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
25(1")	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
19(3/4)	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
12,5(1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
9,5(3/8")	0.00	0.00	0.00	100.00	85	100
4,75(No.4)	9719.00	97.19	97.19	2.81	10	30
Fondo	281.00	2.81	100.00	0.00	0	5
Total	10000.00	100.00				
Masa Muestra de Ensayo: 10000.00 gramos				Tamaño Máx. en mm: 9.50		

Tabla 5. Determinación de la granulometría del árido grueso

ÁRIDO GRUESO PARA HORMIGÓN					
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA.					
MUESTRA			ENSAYO		
Tipo de árido:			Norma:	<b>INEN 857</b>	
Procedencia:			Fecha:		
Sector:			Realizado por:		
DATOS DE ENSAYO					
No. Prueba			1	2	
Masa de la muestra en el aire estado sss (gr.) : B			2060.40	2966.10	
Masa de la muestra sumergida en agua (gr.) : C			1277.00	1836.00	
Masa de la muestra seca al horno (gr) : A			2032.19	2928.40	
Densidad real (estado sss): D <sub>sss</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )			2.630	2.625	
Densidad seca (estado seco): D <sub>s</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )			2.594	2.591	
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )			2.691	2.681	
Porcentaje de absorción: Pa en %			1.39	1.29	
D <sub>sss</sub> =	2.628	gr/cm <sup>3</sup>	Densidad real	D <sub>sss</sub> = B / ( B - C )	
D <sub>s</sub> =	2.593	gr/cm <sup>3</sup>	Densidad seca	D <sub>s</sub> = A / ( B - C )	
D =	2.686	gr/cm <sup>3</sup>	Densidad aparente	D = A / ( A - C )	
Pa =	1.34	%	Porcentaje de absorción	Pa = 100 x ( B - A ) / A	

Tabla 6. Determinación de la densidad y absorción de agua para el árido grueso.

<b>ARIDO GRUESO PARA HORMIGÓN</b>			
<b>DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA</b>			
<b>MUESTRA</b>		<b>ENSAYO</b>	
Tipo de árido :	ROCA TRITURADA	Norma:	<b>INEN 858</b>
Procedencia:	MINA SAN LUIS	Fecha:	
Sector:		Realizado por:	
<b>DATOS DEL MOLDE</b>			
Peso (gr):	8302		
Altura (cm):	17	Área del recipiente (cm <sup>3</sup> ) :	176.71
Diámetro (cm):	15	Volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> ) :	3004.15
<b>ESTADO SUELTO</b>			
No. Prueba		1	2
Volumen del recipiente: V en cm <sup>3</sup>		3004.15	3004.15
Peso del recipiente más muestra en gr		12506.00	12517.00
Masa de la muestra de ensayo: m		4204.00	4215.00
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )		1.399	1.403
<b>ESTADO COMPACTADO</b>			
No. Prueba		1	2
Volumen del recipiente: V en cm <sup>3</sup>		3004.15	3004.15
Peso del recipiente más muestra		13076.00	13080.00
Masa de la muestra de ensayo: m		4774.00	4778.00
Densidad aparente: D (gr/cm <sup>3</sup> )		1.589	1.590
Masa unitaria (densidad aparente) suelta:		1.401	gr/cm <sup>3</sup>
Masa unitaria ( d. aparente ) compactada:		1.590	gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 7. Determinación de la masa unitaria en el árido grueso

<b>Árido Fino</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Peso Recipiente</b>	<b>Peso Húmedo</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Humedad</b>
<b>#</b>	<b>(gr)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(gr)</b>	<b>%</b>
1	251.2	547.9	536.2	4.11
2	199.2	553.3	532.4	6.27
3	203.1	550.2	533.7	4.99
<b>Promedio</b>				5.12

Tabla 8. Humedad para el árido fino



Árido Grueso				
Muestra	Peso Recipiente	Peso Húmedo	Peso Seco	Humedad
#	(gr)	(gr)	(gr)	%
1	298.5	1319.1	1300.2	1.89
2	401.1	1203.5	1190.2	1.69
3	254	1444.8	1420.3	2.10
<b>Promedio</b>				1.89

Tabla 9. Humedad para el árido grueso

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PUZOLANA ESTUDIADA							
PORCENTAJES							
CENIZA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Álcalis	P.F.
Tipo C	60.49	12.06	13.64	0.77	0.51	1.16	8.47

Tabla 10. Composición química de la puzolana





## ANEXO 2

# ENSAYOS, ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS MUESTRAS

Tabla 1. Asentamientos sin y con superplastificante

Tabla 2. Resultados de los pesos específicos

Tabla 3. Ensayo a Compresión con 15% de Puzolana

Tabla 4. Ensayo a Compresión con 20% de Puzolana

Tabla 5. Ensayo a Compresión con 25% de Puzolana

Tabla 6. Ensayo a Compresión con 30% de Puzolana

Tabla 7. Valoración económica

Porcentaje	Asentamiento sin superplastificante	Asentamiento con superplastificante
	(cm)	(cm)
15%	3.1	9.3
20%	3.2	7.1
25%	3.8	11.2
30%	3.7	12.5

Tabla 1. Asentamientos sin y con superplastificante

Porcentaje	Probeta	Probeta + Recipiente (gr)	Recipiente (gr)	Probeta (gr)	Diámetro cm	Volumen cm <sup>3</sup>	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>3</sup> )
15%	1	9551	5634	3917	10.08	1596.03	2.454	2493
	2	9460	5632	3828	9.97	1561.39	2.452	
	3	9773	5635	4138	10.12	1608.72	2.572	
20%	1	9553	5633	3920	9.96	1558.26	2.516	2491
	2	9603	5630	3973	9.97	1561.39	2.545	
	3	9545	5641	3904	10.15	1618.27	2.412	
25%	1	9689	5635	4054	9.96	1558.26	2.602	2489
	2	9453	5632	3821	9.97	1561.39	2.447	
	3	9549	5634	3915	10.15	1618.27	2.419	
30%	1	9599	5630	3969	9.96	1558.26	2.547	2487
	2	9530	5641	3889	9.97	1561.39	2.491	
	3	9554	5633	3921	10.15	1618.27	2.423	

Tabla 2. Resultados de los pesos específicos

<b>Ensayo a Compresión con 15% de Puzolana</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistencia (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.08	79.80	36227	453.96
2	9.97	78.07	36479	467.26
3	10.12	80.44	36350	451.91
<b>Promedio</b>	10	79	36352	458

Tabla 3. Ensayo a Compresión con 15% de Puzolana

<b>Ensayo a Compresión con 20% de Puzolana</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistencia (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	9.96	77.91	38770	497.61
2	9.97	78.07	41503	531.62
3	10.15	80.91	38756	478.98
<b>Promedio</b>	10	79	39676	503

Tabla 4. Ensayo a Compresión con 20% de Puzolana

<b>Ensayo a Compresión con 25% de Puzolana</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistencia (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.07	79.64	34164	428.96
2	10.11	80.28	34164	425.58
3	10.03	79.01	29589	374.49
<b>Promedio</b>	10	80	32639	410

Tabla 5. Ensayo a Compresión con 25% de Puzolana

<b>Ensayo a Compresión con 30% de Puzolana</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistencia (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	9.98	78.23	30106	384.86
2	10.05	79.33	28154	354.91
3	9.95	77.76	25775	331.48
<b>Promedio</b>	10	78	28012	357

Tabla 6. Ensayo a Compresión con 30% de Puzolana



DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA 1m <sup>3</sup> (ESTADO SECO)					PRECIO						
COMPONENTES	MEZCLA # 1	MEZCLA # 2	MEZCLA # 3	MEZCLA # 4	VALOR \$	UNIDAD		\$	\$	\$	\$
	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]	[ Kg ]				MEZCLA # 1	MEZCLA # 2	MEZCLA # 3	MEZCLA # 4
CEMENTO	343.40	323.20	303.00	282.80	6.2	50	Kg	42.58	40.08	37.57	35.07
CENIZA VOLANTE TIPO C	60.60	80.80	101.00	121.20	3	50	Kg	3.64	4.85	6.06	7.27
ÁRIDO GRUESO SECO	1034.00	1034.00	1034.00	1034.00	5	1	m <sup>3</sup>	2.09	2.09	2.09	2.09
AGUA	166.00	166.00	166.00	166.00	0.1	1	m <sup>3</sup>	0.02	0.02	0.02	0.02
ARENA SECA	687.31	684.25	681.19	678.13	10	1	m <sup>3</sup>	2.65	2.64	2.63	2.62
ADITIVO	4.00	4.00	4.00	4.00	5	1	lt	19.80	19.80	19.80	19.80
Relación W/(C+P)	0.42	0.42	0.42	0.42	<b>TOTAL (USD)</b>			<b>70.78</b>	<b>69.48</b>	<b>68.17</b>	<b>66.87</b>

Tabla 7. Valoración Económica



## ANEXO 3

### SEGUIMIENTO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS

En el presente documento presentamos un seguimiento fotográfico de todos los ensayos y experimentos hechos en el laboratorio y para seguir ordenadamente la secuencia se presenta el siguiente índice:

- Foto 1. Áridos utilizados
- Foto 2. Determinación de la humedad
- Foto3. Cantidades de agua y aditivo
- Foto 4. Mezclado de materiales
- Foto 5. Asentamiento inicial 15%
- Foto 6. Asentamiento inicial 20%
- Foto 7. Asentamiento inicial 25%
- Foto8. Asentamiento inicial 30%
- Foto9. Asentamiento final con superplastificante 15%
- Foto 10. Asentamiento final con superplastificante 20%
- Foto 11. Asentamiento final con superplastificante 25%
- Foto 12. Asentamiento final con superplastificante 30%
- Foto 13. Fabricación de las probetas dando 25 golpes cada capa (3 capas)
- Foto 14. 3 Probetas por cada contenido de ceniza
- Foto 15. Peso específico del Hormigón
- Foto16. Nomenclatura de las probetas
- Foto 17. Todas las probetas después del curado
- Foto 18. Capeado de las probetas
- Foto 19. Capeado final de todas las probetas
- Foto 20. Ensayo a compresión
- Foto 21. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36227Kgf)
- Foto 22. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36479Kgf)
- Foto 23. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36350Kgf)
- Foto 24. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (38770Kgf)
- Foto 25. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (41503Kgf)
- Foto 26. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (38756Kgf)
- Foto 27. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (34164Kgf)
- Foto 28. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (34164Kgf)

Foto 29. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (29589Kgf)

Foto 30. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (30106Kgf)

Foto 31. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (28154Kgf)

Foto 32. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (25775Kgf)



*Foto 1. Áridos utilizados*



*Foto 2. Determinación de la humedad*



Foto3. Cantidades de agua y aditivo



Foto 4. Mezclado de materiales



Foto 5. Asentamiento inicial 15%





Foto 6. Asentamiento inicial 20%



Foto 7. Asentamiento inicial 25%



Foto 8. Asentamiento inicial 30%



Foto9. Asentamiento final con superplastificante 15%



Foto 10. Asentamiento final con superplastificante 20%



Foto 11. Asentamiento final con superplastificante 25%





Foto 12. Asentamiento final con superplastificante 30%



Foto 13. Fabricación de las probetas dando 25 golpes cada capa (3 capas)



Foto 14. 3 Probetas por cada contenido de ceniza



Foto 15. Peso específico del Hormigón



Foto16. Nomenclatura de las probetas



Foto 17. Todas las probetas después del curado



Foto 18. Capeado de las probetas



Foto 19. Capeado final de todas las probetas



Foto 20. Ensayo a compresión





Foto 21. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36227Kgf)



Foto 22. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36479Kgf)

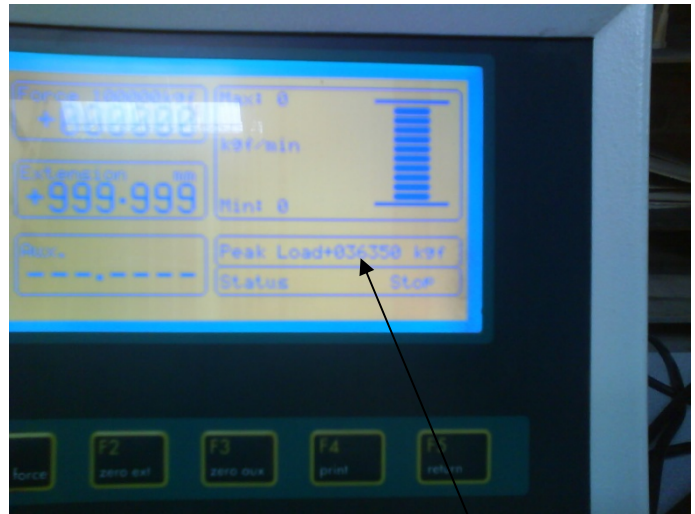


Foto 23. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 15% de puzolana y resultado del mismo. (36350Kgf)

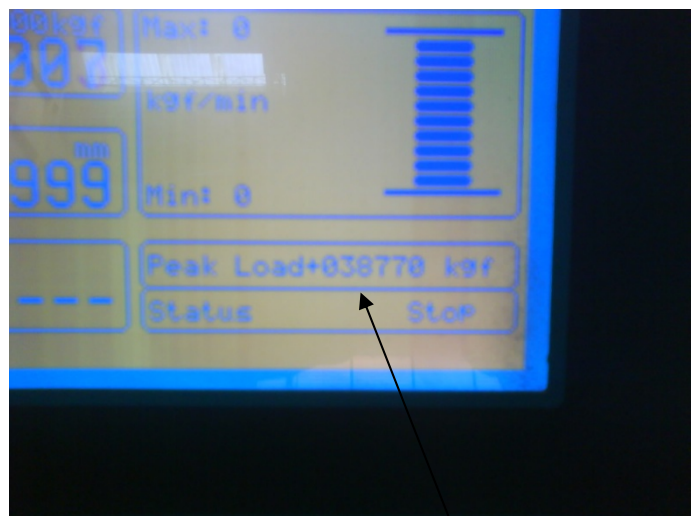


Foto 24. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (38770Kgf)





Foto 25. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (41503Kgf)

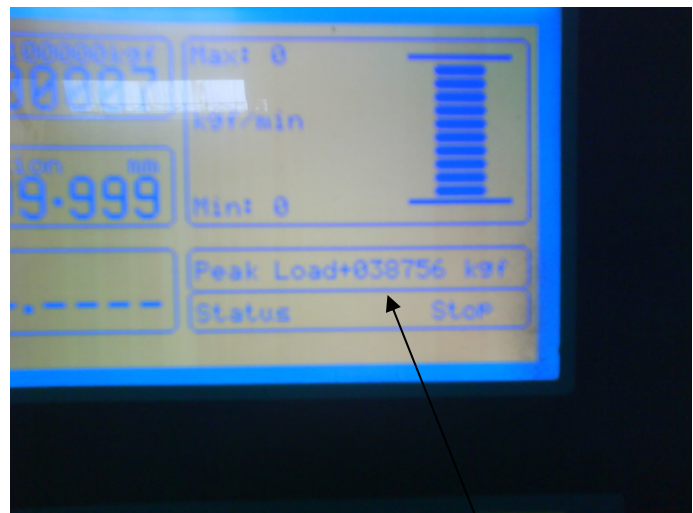


Foto 26. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 20% de puzolana y resultado del mismo. (38756Kgf)



Foto 27. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (34164Kgf)



Foto 28. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (34164Kgf)



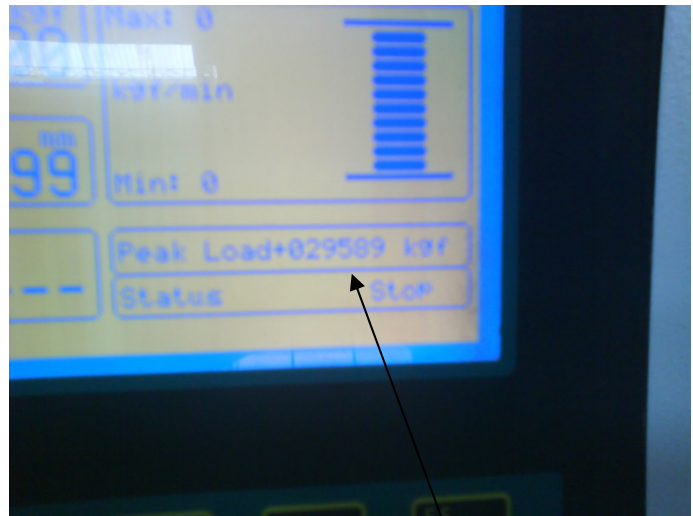


Foto 29. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 25% de puzolana y resultado del mismo. (29589Kgf)



Foto 30. Ensayo a compresión en probeta 1 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (30106Kgf)





Foto 31. Ensayo a compresión en probeta 2 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (28154Kgf)



Foto 32. Ensayo a compresión en probeta 3 con el 30% de puzolana y resultado del mismo. (25775Kgf)