



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y  
LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN  
ALIVIANADO USANDO PIEDRA PÓMEZ DE LATACUNGA.  
APLICACIÓN A LA FABRICACIÓN DE PANELES  
PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES”**

**AUTORA: GALLEGOS PEÑARRETA, ANALÍA MARICELA**

**DIRECTOR: DR. CAIZA, PABLO.**

**CODIRECTOR: ING. BONIFAZ, HUGO**

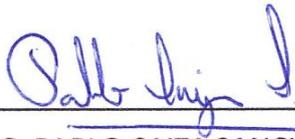
**SANGOLQUÍ**

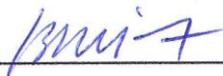
**2015**

## CERTIFICACIÓN

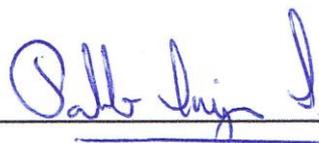
Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. **ANALÍA MARICELA GALLEGOS PEÑARRETA** como requerimiento para la obtención del título de INGENIERA CIVIL

Sangolquí, Junio de 2015

  
\_\_\_\_\_  
ING. PABLO CAIZA SANCHEZ, Ph.D  
DIRECTOR DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
ING. HUGO BONIFAZ  
CODIRECTOR DE TESIS

REVISADO POR

  
\_\_\_\_\_  
ING. PABLO CAIZA SANCHEZ, Ph.D  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

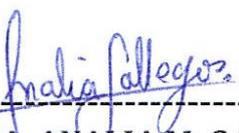
**ANALÍA MARICELA GALLEGOS PEÑARRETA**

Declaro que:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO PÓMEZ DE LATACUNGA. APLICACIÓN A LA FABRICACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES”**, ha sido desarrollada en base a una investigación adecuada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención parcial a la obtención del título de Ingeniera Civil.

Sangolquí, Junio de 2015

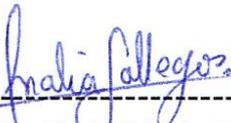
  
-----  
SRTA. ANALIA M. GALLEGOS P.

## AUTORIZACIÓN

Yo, **ANALÍA MARICELA GALLEGOS PEÑARRETA**

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo **“DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO PIEDRA PÓMEZ DE LATACUNGA. APLICACIÓN A LA FABRICACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Junio de 2015

  
-----  
SRTA. ANALIA M. GALLEGOS P.

## DEDICATORIA

Este esfuerzo se lo dedicó al ángel que Dios puso en mi camino, siempre ha estado ahí para mí, que ha sabido ser el mayor ejemplo de constancia y amor. Gracias por darme la vida Madre **Irlanda Peñarreta** quien me guío por el camino para poder llegar a cumplir otro sueño.

A mi Padre **Pablo Gallegos**, mis hermanos **Pablo** y **Fernanda**, mi sobrino **Francis** que con su amor y paciencia me han enseñado a salir adelante.

A mi novio **Andrés Calero**; que ha estado a mi lado dándome amor, cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante en esta etapa de mi vida.

A todos mis amigos, y compañeros que de alguna manera se vieron involucrados en este proyecto de Tesis con su apoyo incondicional.

**Analía Maricela Gallegos Peñarreta**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber guiado mis pasos hasta la presente fecha y permitirme cumplir una de mis metas y sobre todo por permitir la existencia de mi familia. A mi madre **IRLANDA** (principal pilar de mi vida, ejemplo dedicación y constancia) quien con su apoyo incondicional logro que mis estudios sean posible ya que supo brindarme su amor incondicional, llenándome de fortaleza para enfrentar cada día, mujer que me acompaña enfrentando muchos momentos difíciles como también de dicha, a mi padre **PABLO** por haber estado con mi madre en cada momento y ser su apoyo, mis hermanos **KATIA, PABLO** quienes me brindan su cariño y están junto a mí en todo y estos momentos de felicidad, a mi sobrino **FRANCIS** que lleno mis días de alegría con su ternura e inocencia, a mi novio **ANDRÉS** que me ha sabido brindar su apoyo incondicional para culminar este proyecto, quien ha llenado de felicidad mis días desde su llegada. A todos mis compañeros con los cuales compartimos cada dificultad y tropiezo durante la carrera, con los que enfrente dichos momentos al igual con los que tuve días llenos de gloria. A mis profesores que fueron transmitiéndome sus conocimientos profesionales y colaboraron con mi crecimiento, y en especial quiero agradecer a **PABLO CAIZA** mentor de este proyecto y por su excelente desempeño como profesor, amigo, ser humano y su apoyo incondicional.

A todos GRACIAS...

**Analía Maricela Gallegos Peñarreta**

## INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ESTADO DEL ARTE.....	2
1.3 ÁREA DE INFLUENCIA.....	3
1.4 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6 METODOLOGÍA.....	6
CAPÍTULO II.....	8
DESCRIPCIÓN DE AGREGADOS FINO Y GRUESO.....	8
2.1 INTRODUCCIÓN.....	8
2.2 Hormigón liviano.....	8
2.2.1 Antecedentes.....	8
2.2.2 Definición.....	9
2.2.3 Clasificación.....	11

2.2.4 Composición.....	15
2.2.5 Características y Propiedades Físicas y Químicas .....	17
2.2.6 Propiedades del Hormigón fresco.....	19
2.2.7 Usos y aplicaciones.....	19
2.3 Roca Ignimbrita.....	20
2.3.1 Origen.....	20
2.3.2 Definición .....	21
2.3.3 Composición .....	21
2.3.4 Propiedades Físicas.....	22
2.3.5 Ensayos de laboratorio de roca Ignimbrita de Latacunga .....	22
2.3.5.1 Ensayo peso específico .....	22
2.3.5.1.1 Procedimiento.....	24
2.3.5.1.2 Resultados.....	25
2.3.5.2 Ensayo de Abrasión .....	25
2.3.5.2.1 Procedimiento.....	27
2.3.5.2.2 Resultados.....	29
2.4 Roca Pómez .....	30
2.4.1 Antecedentes.....	30
2.4.2 Origen.....	31
2.4.3 Definición .....	35
2.4.4 Composición .....	35
2.4.5 Propiedades físicas.....	35
2.4.6 Usos .....	36
2.4.7 Localización en Ecuador .....	36
2.4.8 Ensayos de laboratorio de roca Pómez de Latacunga .....	37
2.4.8.1 Ensayo específico.....	37
2.4.8.2 Ensayo Abrasión .....	37
2.4.8.3 Ensayo de Granulometría .....	37

2.4.8.3.1 Procedimiento.....	40
2.4.8.4 Densidad Aparente Suelta y Compacta .....	41
2.4.8.4.1 Procedimiento.....	42
2.4.8.4.2 Resultados.....	44
2.4.8.5 Capacidad de Absorción.....	44
2.4.8.5.1 Procedimiento.....	45
2.4.8.5.2 Resultados.....	46
2.4.8.6 Contenido de humedad .....	46
2.4.8.6.1 Procedimiento.....	47
2.4.8.6.2 Resultados.....	48
2.4.9 Ensayo de laboratorio de roca Chasqui Lasso .....	48
2.4.9.1 Resultados .....	48
2.5 Agregado fino .....	49
Caracterización del agregado fino de Píntag.....	49
2.5.1 Peso específico .....	49
2.5.1.1 Procedimiento.....	50
2.5.1.2 Resultados .....	52
2.5.2 Ensayo de granulometría para áridos finos.....	52
2.6 Agregado Grueso .....	53
2.6.1 Peso específico .....	53
2.6.1.1 Resultados .....	54
2.7 Reacción ÁLCALICE-SÍLICE en el hormigón. ....	55
CAPÍTULO III.....	61
DISEÑO DE HORMIGÓN ALIVIANADO.....	61
3.1 Introducción .....	61
3.2 Dosificación para muestra de prueba.....	62
3.2.1 Hormigón liviano estructural .....	65
3.2.2 Propiedades de Ingeniería .....	65

3.3	Diseño de mezcla de hormigón liviano .....	67
3.4	Dosificación para muestra de prueba 180kg/cm <sup>2</sup> .....	70
3.5	Preparación del hormigón de prueba .....	74
3.5.1	CONSISTENCIA.....	75
3.5.2	Ensayo de resistencia a la compresión.....	82
3.5.3	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	84
3.5.4	Corrección por humedad. ....	94
3.6	Módulo de elasticidad .....	94
3.6.1	Introducción.....	94
3.6.2	Importancia de su conocimiento .....	95
3.6.3	Equipo .....	98
3.6.4	Procedimiento .....	98
3.6.5	Cálculos.....	100
CAPÍTULO IV.....		104
PANELES NO ESTRUCTURALES.....		104
4.1	Introducción .....	104
4.1.1	Reseña histórica sobre paneles prefabricados .....	104
4.2	Definición.....	105
4.3	Tipos de paneles.....	105
4.3.1	Paneles portantes.....	106
4.3.2	Paneles no portantes.....	106
4.4	Fabricación del panel liviano .....	107
4.4.1	Dimensiones.....	107
4.4.2	Molde .....	109
4.4.3	Amasado, hormigonado y compactación del hormigón.....	110
4.4.3.1	Procedimiento.....	112
4.4.4	Acabados .....	115
4.4.5	Curado .....	116

4.3.6 Desmolde .....	117
4.4.7 Costos .....	118
4.5 Ventajas y Desventajas.....	119
4.6 Resultados.....	120
4.6.1 Ensayo de compresión de cilindros .....	120
4.6.2 Módulo de elasticidad .....	121
4.7 Carga puntual .....	124
4.7.1 Ensayo a flexión .....	126
CAPÍTULO V.....	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
CONCLUSIONES .....	129
RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	134
ANEXOS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 1: CALCULOS DE LOS ENSAYOS PARA LA ROCA IGNIMBRITA	
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
ANEXO 2: CALCULOS DE LOS ENSAYOS PARA LA ROCA POMÉZ..	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
ANEXO 3: CALCULOS DE LOS ENSAYOS PARA LA ROCA CHASQUI	
BLANCA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 4: FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO MODULO DE ELASTICIDAD	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
ANEXO 5: FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO CARGA PUNTUAL	<b>¡Error! Marcador</b>
<b>no definido.</b>	

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 .....	14
RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN DE HORMIGONES LIVIANOS.....	14
TABLA 2. ....	26
ESPECIFICACIONES PARA LA CARGA. ....	26
TABLA 3. ....	27
TIPOS DE GRADUACIÓN.....	27
TABLA 4. ....	30
RESUMEN DE ENSAYOS ROCA IGNIMBRITA. ....	30
TABLA 5. ....	33
CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS.....	33
TABLA 6. ....	39
DIMENSIONES DE TAMICES. ....	39
TABLA 7. ....	48
RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE ROCA PÓMEZ BLANCA. ....	48
TABLA 8. ....	49
RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA CHASQUI.....	49
TABLA 9. ....	53
RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA ROJA. ....	53
TABLA 10.....	54
RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA GRAVA.....	54
TABLA 11.....	63
CLASIFICACIÓN DE HORMIGÓN LIVIANO .....	63
TABLA 12.....	64
PROPIEDADES Y DIFERENTES TIPOS DE HORMIGÓN LIVIANO.....	64
TABLA 13.....	67
CONTENIDO DE CEMENTO EN HORMIGÓN LIVIANO Y HORMIGÓN NORMAL.....	67
TABLA 14.....	69
ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE MATERIAL PARA HORMIGÓN LIVIANO.....	69

TABLA 15.....	72
PROPORCIONES DE DISEÑO PARA PIEDRA PÓMEZ BLANCA MÁS ARENA DE PESO NORMAL. ...	72
TABLA 16.....	73
PROPORCIONES DE DISEÑO CON PIEDRA PÓMEZ BLANCA MÁS GRAVA DE PESO NORMAL.....	73
TABLA 17.....	74
PROPORCIONES DE DISEÑO CON CHASQUI. ....	74
TABLA 18.....	78
CONSISTENCIA ASENTAMIENTO Y TRABAJABILIDAD DEL CONO DE ABRAMS. ....	78
TABLA 19.....	101
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN LIVIANO. ....	101
TABLA 20.....	102
CÁLCULOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	102
TABLA 21.....	102
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN LIVIANO. ....	102
TABLA 22.....	103
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....	103
TABLA 23.....	111
CALCULO DE PARÁMETROS PARA LA INERCIA.....	111
TABLA 24.....	112
DOSIFICACIÓN UTILIZADA PARA REALIZAR 1 PANEL.....	112
TABLA 25.....	120
RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE PANELES.....	120
TABLA 26.....	121
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN LIVIANO. ....	121
TABLA 27.....	122
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....	122
TABLA 28.....	122
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN LIVIANO. ....	122
TABLA 29.....	123
CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....	123
TABLA 30.....	128
CÁLCULO DE LAS REACCIONES PARA UNA CARGA PUNTUAL.....	128

## NDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: FOTOGRAFÍA DE HORMIGÓN LIVIANO.....	9
FIGURA 2: FOTOGRAFÍA DE LA ROCA IGNIMBRITA.....	20
FIGURA 3: FOTOGRAFÍA DE TROZOS DE ROCA IGNIMBRITA.....	24
FIGURA 4: FOTOGRAFÍA DE UN TROZO DE MUESTRA.....	24
FIGURA 5: FOTOGRAFÍA PESANDO LA CAJA PETRI.....	24
FIGURA 6: FOTOGRAFÍA DE UNA BANDEJA CON LA CAJA PETRI, MERCURIO Y TROZO DE IGNIMBRITA.....	25
FIGURA 7: FOTOGRAFÍA TAMIZANDO EL MATERIAL.....	27
FIGURA 8: FOTOGRAFÍA DEL MATERIAL EN EL HORNO.....	28
FIGURA 9: FOTOGRAFÍA DEL MATERIAL EN EL HORNO.....	28
FIGURA 10: FOTOGRAFÍA DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.....	29
FIGURA 11: FOTOGRAFÍA DEL MATERIAL RETENIDO.....	29
FIGURA 12: IMAGEN DE ROCA PÓMEZ.....	30
FIGURA 13: FOTOGRAFÍA CUARTEANDO EL MATERIAL.....	41
FIGURA 14: FOTOGRAFÍA DE COLUMNA DE TAMICES.....	41
FIGURA 15: FOTOGRAFÍA PESANDO EL MATERIAL.....	41
FIGURA 16: FOTOGRAFÍA MIDIENDO BALDE.....	42
FIGURA 17: FOTOGRAFÍA ENRASANDO MATERIAL.....	43
FIGURA 18: FOTOGRAFÍA COMPACTANDO EL MATERIAL.....	43
FIGURA 19: FOTOGRAFÍA PESANDO MATERIAL.....	44
FIGURA 20: FOTOGRAFÍA SATURANDO MATERIAL.....	45
FIGURA 21: FOTOGRAFÍA DE LA MUESTRA EN EL HORNO.....	47
FIGURA 22: FOTOGRAFÍA DE LA MUESTRA EN EL PICNÓMETRO.....	50
FIGURA 23: FOTOGRAFÍA DEL PICNÓMETRO CON LA BOMBA DE VACÍOS.....	51
FIGURA 24: FISURAS EN MAPA CAUSADAS POR LA RAS EN UNA CIMENTACIÓN.....	55
FIGURAN 25: ESTRUCTURAS AFECTADAS POR LA RAS.....	55
FIGURA 26: FISURAS EN MAPA CAUSADAS POR LA RAS EN UNA PARED.....	56

FIGURA 27: SALÓN DE ACTOS DE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS EN URBANA-CHAMPAIGN. ....	65
FIGURA 28: MEDIDAS DEL ASENTAMIENTO. ....	77
FIGURA 29: FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO CONO DE ABRAM. ....	78
FIGURA 30: INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CURADO HÚMEDO EN LA RESISTENCIA. ....	80
FIGURA 31: MOLDES CILÍNDRICOS. ....	81
FIGURA 32: FOTOGRAFÍA DE LA TOMA DE CILINDROS. ....	82
FIGURA 33: FOTOGRAFÍA DE LOS CILINDROS PARA SER DESENCOFRADOS. ....	82
FIGURA 34: FOTOGRAFÍA DE PROBETAS DE HORMIGÓN PARA COMPRESIÓN. ....	82
FIGURA 35: FOTOGRAFÍA DE PROBETAS A ENSAYAR. ....	83
FIGURA 36: FOTOGRAFÍA DEL VALOR DE LA CARGA REGISTRADA. ....	83
FIGURA 37: FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA UNIVERSAL CON PROBETA. ....	84
FIGURA 38: FOTOGRAFÍA DE PROBETA ENSAYADA. ....	84
FIGURA 39: DEMANDA VS TENSIÓN DEL HORMIGÓN. ....	94
FIGURA 40: NIVELES APROXIMADOS EN EL MÓDULO ELÁSTICO DE DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS. ....	96
FIGURA 41: MOLDE DE CILINDRO DE HORMIGÓN CON EL COMPRESÓMETRO. ....	98
FIGURA 42: FOTOGRAFÍA DEL CILINDRO CON EL DEFORMIMETRO. ....	99
FIGURA 43: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA. ....	101
FIGURAN 44: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA. ....	103
FIGURA 45: PANELES PORTANTES. ....	106
FIGURA 46: PANELES NO PORTANTES. ....	107
FIGURA 47: DISEÑO DEL PANEL. ....	108
FIGURA 48: VISTA LATERAL FRONTAL DEL PANEL. ....	108
FIGURA 49: VISTA DE LAS DOS TAPAS DEL PANEL ALIVIANADO. ....	109
FIGURA 50: UNIÓN DE DOS PANELES. ....	109
FIGURA 51: FOTOGRAFÍA DEL MOLDE DE MADERA. ....	109
FIGURA 52: FOTOGRAFÍA DEL MOLDE DE MADERA PARTE FRONTAL. ....	110
FIGURA 53: FOTOGRAFÍA PESANDO MATERIAL. ....	112
FIGURA 54: DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN APLICADA PARA LA ELABORACIÓN DEL PANEL. ....	113
FIGURA 55: FOTOGRAFÍA DE DOSIFICACIÓN DE CEMENTO. ....	113
FIGURA 56: FOTOGRAFÍA DE LA COLOCACIÓN DEL CEMENTO EN LA CONCRETERA. ....	113
FIGURA 57: FOTOGRAFÍA DE LA COLOCACIÓN DE LOS CANALES. ....	114
FIGURA 58: FOTOGRAFÍA DE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA EN LOS PANELES. ....	114

FIGURA 59: FOTOGRAFÍA DE LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA EN LOS PANELES. ....	114
FIGURA 60: FOTOGRAFÍA DEL ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN. ....	115
FIGURA 61: FOTOGRAFÍA DE LA TOMA DE TESTIGOS. ....	115
FIGURA 62: FOTOGRAFÍA PALETEANDO EL PANEL. ....	115
FIGURA 63: FOTOGRAFÍA DE PANELES TERMINADOS. ....	116
FIGURA 64: FOTOGRAFÍA DE PANELES HÚMEDOS. ....	116
FIGURA 65: FOTOGRAFÍA DE PANELES CUBIERTOS CON PLÁSTICO. ....	117
FIGURA 66: FOTOGRAFÍA DEL PANEL DESENCOFRANDO. ....	117
FIGURA 67: CURVA DE RESISTENCIA VS TIEMPO. ....	120
FIGURA 68: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA. ....	121
FIGURA 69: CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA. ....	123
FIGURA 70: CARGA PUNTUAL APLICADA AL PANEL. ....	124
FIGURA 71: DIAGRAMAS DE UNA CARGA PUNTUAL. ....	125
FIGURA 72: FLEXIÓN TEÓRICA DE UNA VIGA APOYADA-ARTICULADA SOMETIDA A UNA CARGA PUNTUAL CENTRADA F. ....	127

## RESUMEN

En el presente proyecto se presenta información obtenida sobre la elaboración de paneles no estructurales livianos, los que podrán ser utilizados a nivel nacional disminuyendo el peso general de la mampostería esto implica que al momento de realizar construcciones los elementos estructurales como: losas, vigas, columnas y fundaciones sean de menor dimensión, logrando un menor costo. El procedimiento de este proyecto consiste en encontrar una dosificación de hormigón liviano utilizando agregados livianos de origen volcánico como es la piedra pómez (Chasqui blanco, obtenido en la provincia de Cotopaxi sector Lasso), y arena obtenida en la Provincia de Pichincha sector Píntag. La caracterización de cada material utilizado para la dosificación del Hormigón, así como el curado cilindros se realizó en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cuyas resistencias, fluctuaban entre los  $60\text{kg/cm}^2$  hasta  $180\text{k g/cm}^2$ . El hormigón liviano debido a que sus densidades bajas presentan propiedades físicas tales como aislamiento térmico, acústico, y resistencia al fuego. Obteniendo mayores beneficios que con las de un hormigón de peso normal, además utiliza materiales locales. Otra ventaja importante es la reducción de tiempo en construcción por lo tanto hay un menor costo.

### **PALABRAS CLAVES:**

**PANELES LIVIANOS,**

**HORMIGÓN LIVIANO,**

**DOSIFICACIÓN,**

**AGREGADO LIVIANO,**

**PIEDRA PÓMEZ.**

## **ABSTRACT**

In this project information obtained on the development of lightweight non-structural panels is presented, which may be used nationwide by reducing the overall weight of the masonry this implies that at the time of construction of structural elements such as slabs, beams, columns and foundations are of smaller size, achieving a lower cost. The process of this project is to find a dosage of lightweight concrete using lightweight aggregates as volcanic pumice stone ("Chasqui" obtained in the province of Cotopaxi, Lasso sector), and sand obtained in the province of Pichincha, Pintag sector. The characterization of each material used for dosing of concrete and the curing is carried out in the laboratory of the University of the Armed Forces ESPE, whose resistances ranged between  $60\text{kg/cm}^2$  to  $180\text{kg/cm}^2$ . The lightweight concrete because their low densities have physical properties such as thermal insulation, acoustic, and fire resistance. Obtaining greater benefits than those of a normal weight concrete, also uses local materials. Another important advantage is the reduction in construction time so there is a lower cost.

### **KEYWORDS:**

**LIGHT PANELS,**

**LIGHTWEIGHT CONCRETE,**

**DOSAGE,**

**ADDED WEIGHT,**

**PUMICE STONE.**

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de un país se relaciona con muchos factores tales como la investigación y la búsqueda de nuevas alternativas y metodologías. Una de las mejores formas para lograr el emprendimiento es la investigación.

Inicialmente se debe considerar que el país se encuentra en una zona sísmica de gran peligrosidad, por lo que es importante reducir las cargas sísmicas.

Nótese que el país cuenta con depósitos importantes de material volcánico.

Adicionalmente, las paredes existentes se construyen con bloques alivianados de calidad regular, por lo que debemos optimizar este sistema constructivo.

Finalmente el costo elevado que actualmente tiene la construcción tanto en mano de obra como de los materiales hace que se busquen nuevas alternativas o tecnologías para la elaboración de viviendas, edificios, entre otros. Tratando de bajar los costos y los tiempos posibles de la construcción.

Las cuatro razones mencionadas nos permiten concluir que debemos buscar alternativas para reducir las cargas sísmicas, aprovechar los materiales disponibles y optimizarlo en la forma actual de construir.

Por esta razón se realizará el diseño de mampostería en forma de paneles. Se busca reducir el peso de la mampostería y de esta manera las cargas.

Con la investigación de este proyecto se intenta generar un elemento alternativo, además mayor diversidad u opciones en el mercado de la construcción.

Esta investigación aprovechará las características que pueden dar los paneles alivianados, con el objeto de contar con un material estructural de bajo peso, moldeable, homogéneo, y al menor costo posible.

Debido a que es una investigación práctica se aplicara el análisis deductivo, pues se parte de resultados experimentales para encontrar un peso adecuado.

Los resultados del presente proyecto servirán a toda la población ecuatoriana, que se proyecte en el estudio y uso de materiales de construcción, ya que se tendrá una pequeña base teórica – práctica en cuanto a la elaboración de paneles livianos.

La presente investigación justifica la importancia de utilizar el material con el que dispone el Ecuador como es la piedra pómez volcánica (Chasqui). Además hay mucho por investigar, con el fin de mejorar la construcción en el país.

Debemos dar a conocer que la presente investigación ha tenido dificultades por la falta de información, normativa sobre la elaboración de hormigones livianos, también no contar con todo el equipo especializado que se requiere, por lo que se ha improvisado con otros instrumentos para realizar las mismas funciones.

## **1.2 ESTADO DEL ARTE**

De acuerdo a los artículos encontrados en varios sitios web como:

- 1.([http://www.kgs.ku.edu/Publications/Bulletins/96/06\\_uses.html](http://www.kgs.ku.edu/Publications/Bulletins/96/06_uses.html)),
- 2.(<http://www.examiner.com/article/health-concerns-about-fly-ash-concrete-not-completely-alleviated-by-epa-proposal>),
- 3.([http://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?depth=1&hl=es&prev=/search%3Fq%3Dalleivated%2Bconcrete%2Bprojects%2Bwith%2Bvolcanic%](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=/search%3Fq%3Dalleivated%2Bconcrete%2Bprojects%2Bwith%2Bvolcanic%2B)

2Bmaterials%26biw%3D1366%26bih%3D667&rurl=translate.google.com.ec &sl=en&u=http://www.examiner.com/article/health-concerns-about-fly-ash-concrete-not-completely-alleviated-by-epam), entre otros.

Existen muchos tipos de hormigón de peso liviano que se pueden producir, ya sea mediante el uso de agregado liviano o mediante el uso de un agente que incorporara aire, y que se usa para elementos no estructurales. Este es el caso del uso de piedra volcánico (Chasqui) como agregado liviano: La piedra pómez es un agregado liviano de bajo peso específico y baja densidad. Se trata de un material altamente poroso con un alto porcentaje de absorción de agua. En este trabajo no se utilizará agregado convencional reemplazado completamente por piedra pómez.

La ventaja de realizar este tipo de hormigón liviano es de suma importancia para la industria de la construcción. Las ventajas del hormigón liviano son su masa reducida y mejoradas propiedades de aislamiento térmico y de sonido, mientras que mantiene una resistencia adecuada.

(Publication, 1996)

### **1.3 ÁREA DE INFLUENCIA**

El país está buscando nuevas alternativas de construcción por lo que esta investigación afectara a la mayoría de áreas de la construcción.

Tendrá aplicación a nivel local, regional y nacional en donde se realicen obras de Ingeniería Civil que requieran materiales de construcción alternativos con el fin de disminuir el peso de las paredes y agilizar el proceso constructivo.

Los principales beneficiarios de la investigación de este Proyecto de Grado será la población ecuatoriana, los usuarios que se proyecten en el estudio y uso de los materiales de construcción. Los cuales mediante la presente investigación tendrán una base teórica-práctica en cuanto a la fabricación de paneles alivianados con roca pómez.

Otro sector que se verá beneficiado es la explotación de la minería con la obtención de este material pétreo (piedra pómez), ya que se promoverá la utilización de este material, generando nuevas plazas de empleo.

#### **1.4 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Como todos conocemos el país está cruzando (año 2015) una de las tantas crisis económicas en las que se ha visto envuelto en los últimas décadas, lo que obliga a realizar investigaciones sobre nuevos materiales y elementos alternativos de construcción que reduzcan los costos y tiempos de mano de obra posibles de construcción, generando nuevas plazas de trabajo.

La investigación que se presenta en este proyecto utilizó dos tipos de piedras pómez obtenidas de diferentes sectores (minas) como son Lasso y San Felipe de la ciudad de Latacunga, provincia Cotopaxi, con el objeto de usar agregados que constantemente son desechos.

Nótese que a pesar de que varios materiales en el país se consideran de mala calidad, se pudo rescatar uno de ellos logrando la resistencia exigida por los códigos de construcción.

Esta investigación generará un elemento que reducirá las cargas sísmicas en las estructuras y por ende se reducirá las dimensiones de los elementos estructurales, como: columnas, vigas, losas entre otros y que faciliten la construcción de paredes, dando agilidad a los procesos.

Además, se exige cumplir con los requerimientos que se establece en la norma ecuatoriana NEC – 11.

La importancia de fabricar nuevos elementos no estructurales como paneles alivianados es generar nuevas tecnologías y que se implanten normativas para este tipo de elementos, mejorar procesos constructivos, proponiendo que los elementos sean modulares, pre moldeable, transportables, manejables, fácil de hacer tanto en situ como en fábricas.

Con este trabajo intentamos motivar la investigación para mejorar procesos constructivos, proponiendo que los elementos sean modulares, pre moldeable, transportables, manejables, fáciles de hacer tanto en sitio como en fábricas.

Otra razón es reducir el costo que presenta actualmente la mampostería en porcentaje con la obra total, sobre todo debido a que esta es la piel de cualquier estructura.

## **1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ✚ El objetivo principal de este proyecto es el de determinar la mezcla para realizar los paneles alivianados de hormigón liviano utilizando material volcánico como es la piedra pómez.
- ✚ Determinar la dosificación de material liviano (Roca Chasqui) que debe colocarse en el hormigón alivianado, para el diseño de paneles no estructurales, con material volcánico procedente de Lasso.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para cumplir con los propósitos planteados debemos cumplir varios objetivos parciales, mismos que se presentan a continuación:

- ✚ Caracterizar cada uno de los materiales que constituyen el hormigón liviano, para evaluar la capacidad física y mecánica del agregado liviano que conformara la fabricación del panel no estructural.
- ✚ Recopilar toda la información posible y necesaria para tener una fuente importante y comparar esta información con nuestros resultados.
- ✚ Encontrar la cantidad más adecuado de agregado liviano para la fabricación de paneles alivianados no estructurales.
- ✚ Diseñar la dosificación de hormigón liviano más adecuada siguiendo la normativa ASTM (C128, C127, C117, D2419) y del Instituto

Ecuatoriano de Normalización (INEN 860, 696, 690), para la fabricación de paneles no estructurales.

- ✚ Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión para verificar que tan resistente es el hormigón liviano.
- ✚ Determinar el módulo de elasticidad que nos da la mezcla obtenida.

## 1.6 METODOLOGÍA

### **Modalidad de Investigación Experimental.**

Para la elaboración del presente proyecto se utilizará la investigación experimental, el análisis de resultados con el objetivo de obtener una dosificación adecuada para la fabricación de paneles alivianados.

#### **Investigación aplicada:**

La **investigación experimental**, es la que obtiene su información de la actividad predispuesta, planificada e intencional que tiene el investigador y que pretende con su ejercicio, modificar una realidad conocida y con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo. Se puede o no usar un grupo de control, con el fin de hacer comparaciones, estudios y cálculos posteriores y estadísticas para así comprobar las hipótesis o rechazarlas según el caso. (Campbell y Staley, 1966)

Según el nivel de conocimientos que se adquieren se divide en: exploratoria y descriptiva. (Briones, 1995)

**Investigación exploratoria:** Es aquella que se realiza con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de un problema y encontrar los procedimientos adecuados para elaborar una investigación posterior. La importancia radica en el uso de sus resultados para abrir nuevas líneas de investigación.

**Investigación descriptiva:** Con este tipo de investigación se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus

particularidades y propiedades. Sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo. Esta forma de investigación requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo, con el fin de responder los cuestionamientos del objeto que se investiga.

**Un experimento:** es un estudio que involucra la manipulación intencional de una acción para analizar posibles efectos. Se manipula deliberadamente una o más variables independientes para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control del investigador, (Montgomery, 1993) “define experimento como una prueba o ensayo”. Para estos casos, la metodología es generalmente cuantitativa.

### **Elaboración del proyecto.**

El proyecto se conforma de 5 capítulos que enfocan lo siguiente:

- **CAPITULO I:** Este contiene el estado de arte, el área de influencia que tiene el proyecto, los objetivos que persigue esta investigación, la importancia de la misma, metodología aplicada en la investigación.
- **CAPITULO II:** Contiene el fundamento teórico de la investigación y resultados de los ensayos que se realizaron para caracterizar los materiales hasta obtener el más adecuado.
- **CAPITULO III:** Contiene la dosificación de la mezcla obtenida del hormigón alivianado, determinación del módulo de elasticidad de la mezcla definida.
- **CAPITULO IV:** Descripción, determinación del módulo de elasticidad, diseño y elaboración de paneles con hormigón liviano no estructurales. Resultados de carga.
- **CAPITULO V:** Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía
- Anexos.

## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DE AGREGADOS FINO Y GRUESO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo, hace referencia a una breve descripción teórica sobre los materiales que constituyen la dosificación de hormigón liviano. Pues como ya se conoce este hormigón no es muy utilizado en el Ecuador a pesar de las ventajas que se presenta en este proyecto.

Una de las finalidades de este capítulo es realizar los ensayos de laboratorio con lo que se podrá caracterizar el mismo, para tener un mejor criterio de selección sobre los agregados que van a ser utilizados en nuestra investigación, y esta cumpla con las necesidades que pretende el proyecto.

Los ensayos que analizan la humedad de los materiales son muy importantes ya que debemos determinar una relación de agua cemento lo menor posible en la pasta para lograr resistencias altas.

Cuyos materiales se obtuvieron de las canteras ubicadas en la Provincia de Pichincha, Parroquia Pintag, al Sur – Este de la ciudad de Quito en la Mina denominada El Volcán. La otra mina está ubicada en la provincia de Cotopaxi, Sector Lasso, faldas del Cotopaxi.

Se debe tomar en cuenta que la realización del ensayo de granulometría es muy importante y la partida de los demás ensayos, ya que influye mucho en las características finales del hormigón que se va a obtener.

#### **2.2 Hormigón liviano**

##### **2.2.1 Antecedentes**

Dentro de la historia los procesos constructivos determinaron que cuando el hombre pretendió levantar edificaciones requirió usar materiales que lo permitieran y encontró en las arcillas y materiales pétreos los más adecuados para su propósito, debiendo luego buscar pastas que posibiliten

su unión, usando ya los egipcios los yesos y las calizas para lograr unir de forma sólida la piedra.

Fueron los romanos quienes con su tradición y experiencia en construcción quienes desarrollaron las primeras opciones de hormigones aligerados donde se mezclaban materiales cementantes formados a partir de limos quemados, cenizas quemadas y materiales de baja densidad como la piedra pómez gracias a su cercanía con el Vesubio, materiales con los cuales construyeron tuberías, instalaciones portuarias, los arcos del Coliseo romano y otras obras que incluso perduran hasta la actualidad (<http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>).

Históricamente se menciona que en 1922, se construyó el primer edificio con hormigón aligerado utilizado en la ampliación del Gimnasio de la Escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas ya que el suelo tenía una capacidad portante muy baja solucionándose así el problema del peso sobre el suelo (Hormigones Livianos, Luis F. Valdez; Gabriel Suarez; ESPOL).

### 2.2.2 Definición



Figura 1: Fotografía de Hormigón liviano.

La palabra hormigón proviene del término *formàceo*, palabra latina que determina la cualidad de ser *moldeable* de un material.

**Hormigón**, es un material compuesto dedicado a la construcción formado básicamente de una mezcla de agregados pétreos, sean finos o gruesos, y un aglomerante que normalmente es cemento, mezclado con agua y aditivos, mismos que dan la estructura y consistencia final al material. El aglomerante básico es el cemento Portland - (Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura) - mezclado con proporciones determinadas de agua logra una reacción de hidratación lo que le permite ser moldeado y tener propiedades adherentes y que al fraguarse, se endurece con consistencia pétreo; se le pueden añadir aditivos generalmente en cantidades que bordean el 1% de la masa total y pueden ser colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, impermeabilizantes, fibras y otros. Se tiene que el hormigón convencional tiene un peso específico que varía entre los 2200 a los 2400 kg/m<sup>3</sup>, pero dependiendo de las proporciones de cada uno de sus componentes varía su peso, densidad, masa unitaria lo cual puede generar hormigones pesados, hormigones normales y hormigones livianos. (L, 2006).

**Hormigón liviano:** El concreto (hormigón) estructural de peso liviano se define en ACI (213R, 1987), como aquel que posee una densidad en situ (peso unitario) en el orden de 90 al 115lb/pie<sup>3</sup> (1440 a 1840 kg/m<sup>3</sup>) en comparación con el concreto de peso normal que presenta una densidad en el rango de 140 a 150 lb/pie<sup>3</sup> (2240 a 2400 kg/m<sup>3</sup>).

**Hormigón liviano**, es un concreto similar al normal pero que tienen una densidad menor; normalmente se le agregan aditivos ligeros como escorias, granulo fusiforme o piedra pómez natural; se puede así mismo adicionar aditivos de origen volcánico como la Pómez, arena de rio, filler, fibras, aditivos y agua en proporciones determinadas. En nuestro país, por sus características volcánicas, podemos contar con aditivos de ese origen que permiten alivianar el hormigón como es roca pómez o roca Chasqui. Este tipo de hormigón se usa habitualmente en prefabricados y para reducir cargas y pesos en los procesos constructivos.

Se designa como hormigones livianos o ligeros a todos aquellos que poseen características propias y que mediante métodos y mezclas en su proceso de elaboración se ha hecho más ligero que el hormigón convencional (cemento, grava y arena). Su uso se define básicamente por sus aplicativos en la construcción misma que es ideal para su uso en elementos secundarios en viviendas o edificaciones que requieren de reducciones en los pesos muertos lo cual permite la reducción del tamaño de columnas, zapatas y otros elementos de carga vinculados con la cimentación del suelo. Su peso específico es inferior generalmente a  $2 \text{ ton/m}^3$ . (*Publicado el 9 enero, 2010 por Constructor Civil*)

Según el código ACI 318-05 (Building Code Requirements for Structural Concrete), para que un hormigón entre en el grupo de los hormigones livianos estructurales, este debe tener como máximo una densidad de  $1840 \text{ kg/m}^3$  y una resistencia mínima a la compresión de 17 MPa a los 28 días. Actualmente, con los avances en los estudios de la tecnología del hormigón se pueden elaborar hormigones livianos con resistencias a la compresión de 69 MPa a los 28 días según estudios recientes.

### **2.2.3 Clasificación**

La multiplicidad de tipos existentes dificulta la clasificación de los hormigones livianos en categorías y divisiones netamente diferenciadas en base a los distintos métodos de elaboración, ya que algunos utilizan simultáneamente varios de ellos. Por lo que se presentara varias divisiones aceptables por varios autores:

**Primero:** Se basa en los tres procedimientos que, en forma individual o simultánea, conducen a la elaboración de los distintos tipos de hormigones livianos, a saber:

**1.-** Formación de numerosas pequeñas celdas por incorporación de aire o gas en el seno de la masa de hormigón fresco y su mantenimiento hasta que aquel se endurezca. (Hormigones Celulares)

*“Resultan del fraguado y endurecimiento de una mezcla formada por cemento y agua con o sin agregados finos que ha sido sometida a un tratamiento mecánico, físico o químico previo, destinado a crear una gran cantidad de pequeñas cavidades esféricas regularmente repartidas en el seno de la mezcla y todas de dimensiones aproximadamente iguales. Los alveolos, una vez formados, deben permanecer indeformables y sin experimentar desplazamientos en el curso de todas las operaciones que sufre la mezcla durante su elaboración y posteriormente a la misma. De las consideraciones precedentes se desprende que los llamados hormigones celulares no son, en realidad, hormigones en cuanto no responden a su clásica definición universalmente aceptada. Constituyen, cuando intervienen agregados finos en su elaboración morteros finos recubriendo los alveolos. Sin embargo, la denominación anterior queda justificada en estos casos por extensión considerando que cada alveolo reemplaza un grano de agregado grueso, de tal manera que pueden ser considerados como hormigones compuestos de una lechada de cemento, agregados finos y agregados gruesos constituidos por las células generadas.* (<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>)

Utilización de agregados livianos (Hormigones de Agregados Livianos)

*“Pueden ser clasificados en dos grandes grupos:*

**1.- Agregados naturales**, provenientes de yacimientos minerales y utilizados directamente después de diversas operaciones de molido y clasificación.

**2.- Agregados artificiales**, provenientes de una transformación térmica, efectuada por el hombre, de distintos productos minerales utilizados solos o en mezcla.

Dentro de la primera categoría pueden establecerse los siguientes subgrupos:

a) rocas de origen sedimentario

*b) rocas de origen ígneo*

*En la segunda categoría*

*a) agregados provenientes de la transformación de sustancias inorgánicas especialmente extraídas a tal efecto.*

*b) agregados provenientes de la recuperación de residuos de sustancias inorgánicas extraídas para otros usos.*

**3.** Realización de grandes huecos por la supresión de los elementos finos del agregado, el cual tendrá una granulometría uniforme. (Hormigones Carnosos o “Sin Finos”)

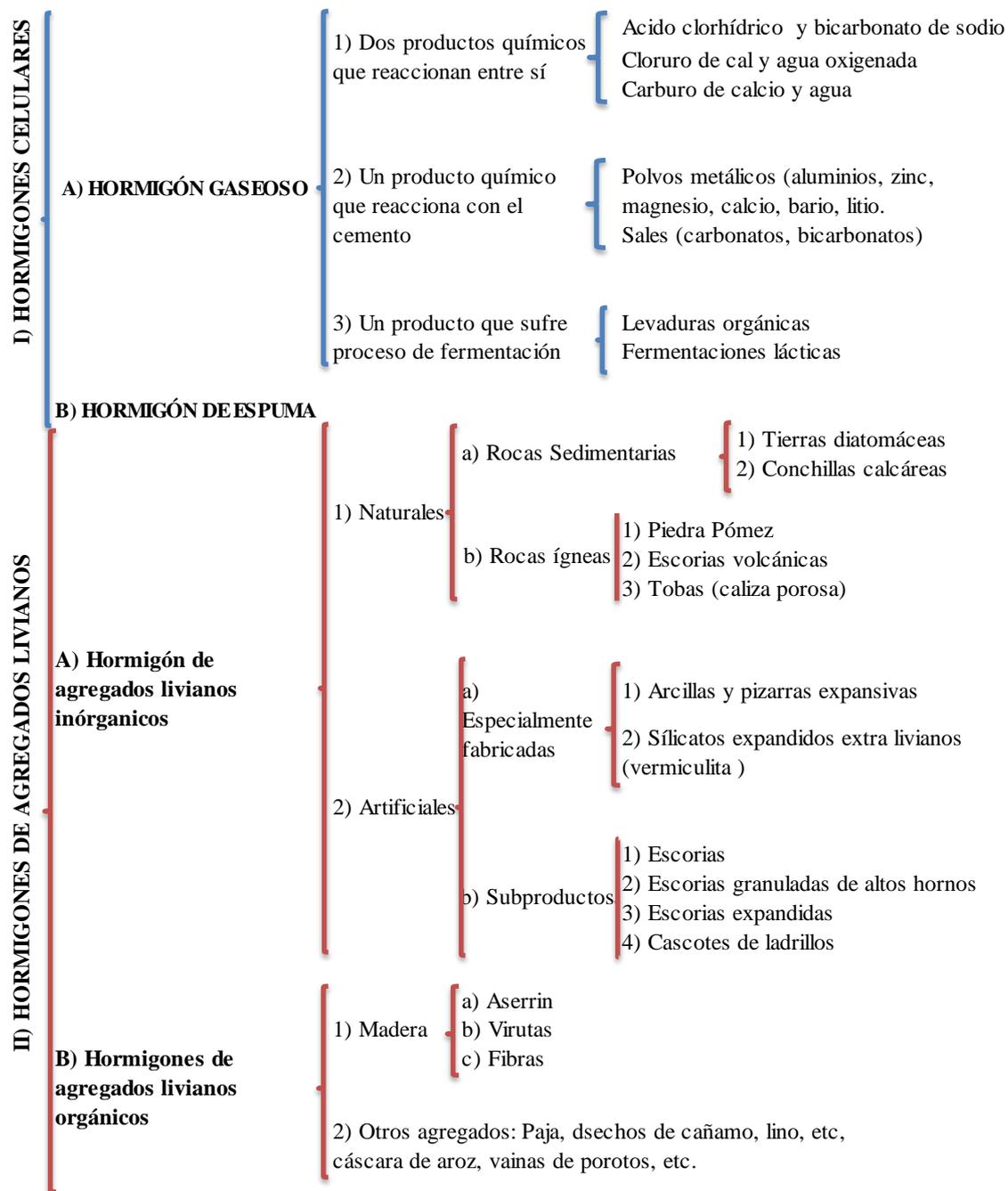
*“Los hormigones cavernosos – también llamados “sin finos” o de textura abierta son mezclas constituidas por agregados gruesos o medianos (con exclusión de finos) y cemento portland destinado a aglomerarlos.*

*Estos hormigones se diferencian esencialmente de los ordinarios en la granulometría de los agregados utilizados, obteniéndose la disminución de peso específico por la formación de grandes huecos en su masa como consecuencia de la supresión del agregado fino y por la reducción del porcentaje de cemento.*

*Esto es posible por el hecho de que el aglomerante tiene como única función envolver los granos de agregado grueso y vincularlos entre sí, y porque el lugar ocupado en el hormigón ordinario por el agregado fino es reemplazado, en los hormigones cavernosos, por huecos colmados de aire.*

Tabla 1

## Resumen de la Clasificación de Hormigones Livianos.



## III) HORMIGONES CAVERNOSOS O " SIN FINOS"

Fuente: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

## **Segundo: Clasificación por composición**

El hormigón con áridos livianos considera el reemplazo parcial de la fracción gruesa o total del árido normal por otro de menor densidad. Así surgen los nombres de “Sand Lightweight Concrete” y “Lightweight Aggregate Concrete”, es decir “Concreto de Arena ligera” y “Concreto de Agregados ligeros” respectivamente. (López, 1999)

El hormigón con árido grueso liviano y arena de densidad normal puede ser conceptualizado como un material de dos fases, una soportante constituida por el mortero de peso normal (cemento, agua y arena normal) y otra fase liviana formada por el árido de baja densidad. La resistencia mecánica y rigidez del hormigón dependerán entonces de la resistencia, rigidez y proporción de cada una de las fases constituyentes.

El concepto de las dos fases puede ser aplicado porque la interface o zona de transición no sería un factor limitante de las propiedades en este tipo de hormigón, puesto que el desarrollo inicial de las fisuras no se generaría alrededor del agregado, donde en situaciones normales se encontraría la interface, sino que el mecanismo de fisuras se daría de forma puntual a través del agregado de baja densidad. En este caso, como el módulo de elasticidad real de los áridos livianos es por lo general menor que el módulo de la fase soportante, las partículas del árido liviano actuarán como puntos débiles, aun teniendo una elevada resistencia propia según (Carlos Videla C., 2010).

### **2.2.4 Composición**

El Hormigón liviano está constituida por varios componentes de acuerdo al tipo de hormigón que se desee fabricar, en la actualidad tenemos muchos tipos de agregados desde inorgánicos hasta orgánicos, pero en este proyecto solo mencionare los elementos que utilizamos:

**CEMENTO:** es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una

pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. El cemento consiste esencialmente en silicato cálcico hidratado (S-C-H), este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas. Se denomina cemento hidráulico cuando el cemento, resultante de su hidratación, es estable en condiciones de entorno acuosas. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones (en cantidades inferiores al 1 % de la masa total del hormigón), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

**PIEDRA PÓMEZ:** también llamada pumita es una roca Magmática volcánica vítrea, con baja densidad y muy porosa, de color blanco o gris. En su formación la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión. Como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico.

Su textura es rugosa y su forma puede ser angular o redondeada. El tamaño de los granos al estado natural varía desde muy fino, semejante a la arena, hasta diámetros de una pulgada o más.

**ARENA:** es un conjunto de partículas de rocas disgregadas o molidas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm). Para nuestro caso el material se obtiene de canteras a cielo abierto. (Sterling, 2001).

**AGUA:** el agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.

En el primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para mejorar la hidratación del cemento.

### **2.2.5 Características y Propiedades Físicas y Químicas**

- ✚ El concreto liviano tiene una masa volumétrica seca al aire que varía entre 1350 a 1900 kg/m<sup>3</sup>. (Hormigones Livianos, Luis F. Valdez; Gabriel Suarez; ESPOL).
- ✚ Resistencia a la compresión a los 28 días de aproximadamente 17MPa.
- ✚ El concreto liviano se utiliza básicamente para disminuir la carga muerta de las estructuras así como son las losas de los edificios. Su uso es ideal para paneles de pisos, techo y paredes.
- ✚ El agregado de origen volcánico – Piedra Pómez – presenta un buen aislamiento térmico, el cual aumenta o disminuye en relación inversa con la densidad del material.
- ✚ Es un buen aislante acústico, el concreto liviano de origen volcánico, dado que la existencia de cámaras de aire en la textura de los hormigones de agregados livianos ofrece resistencia al paso de los sonidos.
- ✚ Este tipo de hormigones tienen como características fundamentales la resistencia al fuego, lo que facilita la protección de estructuras metálicas.
- ✚ La durabilidad del hormigón liviano con agregados de origen volcánico es un material muy durable y que no se degrada bajo condiciones climáticas extremas.
- ✚ Este tipo de hormigón tiene características de madera, es decir que puede ser cortado, atornillado y clavado.
- ✚ Al ser inorgánico, el hormigón aligerado no genera moho, hongos y tampoco es atacado por polillas y termitas. (Mindes)
- ✚ El coeficiente de expansión térmica del hormigón de peso liviano es el mismo que para el hormigón de peso normal, pero su conductividad térmica es considerablemente menor debido a la gran cantidad de

espacio vacío. La conductividad térmica depende de la unidad de peso.

- ✚ La conductividad térmica más baja significa que los hormigones livianos son generalmente más resistentes al fuego que los hormigones de peso normal.
- ✚ Los áridos livianos son más desintegrables que la mayoría de las rocas, de manera que los hormigones livianos en general no son adecuados para un gran desgaste.

Sin embargo, muchos agregados sintéticos tienen superficies muy duras y el hormigón liviano puede actuar igual de bien que el hormigón de peso normal en condiciones menos rigurosas de desgaste. El uso de arena natural y el desarrollo de altas resistencias a la compresión mejoran la resistencia a la abrasión.

La resistencia a la congelación y descongelación del hormigón liviano es similar a la del hormigón ordinario. La conducción de aire debe usarse siempre que el hormigón quede expuesto a la congelación y descongelación.

El contenido de humedad de los agregados puede ser crítico, porque cuando los agregados están cerca de la saturación, el congelamiento del agua en los poros de los agregados forzaría el agua fuera de la partícula agregada a la pasta circundante.

La presión hidráulica resultante puede causar el fallo de tracción si el aire arrastrado presente no es suficiente para acomodar el exceso de agua.

Para evitar esta situación, los agregados deben tener un valor bajo en contenido de humedad como sea posible y práctico durante la mezcla, o el concreto debe tener suficiente tiempo para secarse antes de ser expuesto a temperaturas de congelación.

La resistencia se mejora por el arrastre de aire, bajas relaciones de agua/cemento (a/c), del curado adecuado, y un período de secado antes del servicio.

Este tipo de hormigón, permite ahorro en el consumo de energía eléctrica, por sus características térmicas, especialmente en climas extremos.

El fraguado es uniforme y controlado.

### **2.2.6 Propiedades del Hormigón fresco**

El hormigón liviano tiene las mismas propiedades que el hormigón de peso normal en estado plástico. Las mezclas tienden a ser un poco más duras que las mezclas de hormigones ordinarios debidos a la naturaleza de los agregados livianos. Por lo tanto, la conducción de aire puede ser deseable únicamente para obtener mejoras en la trabajabilidad.

El asentamiento debe limitarse a un máximo de 100 mm, porque los asentamientos altos tienden a causar segregación de las partículas de agregado grueso liviano en lugar de la pasta.

Hay que recordar que los hormigones livianos tenderán a tener menor asentamiento por ende menor trabajabilidad debido a su baja densidad.

Se recomienda realizar usar las prácticas recomendadas para hormigón de peso normal para evitar la segregación en la colocación y el acabado del hormigón liviano.

### **2.2.7 Usos y aplicaciones**

Una de las principales ventajas del Hormigón liviano es su baja densidad que se traduce en bajo peso, y su baja conductividad que influye directamente en su capacidad como aislante térmico.

Las resistencias que presenta a solicitaciones mecánicas: acción de hielo-deshielo, acción del fuego.

El bajo peso resulta ser un factor ventajoso si consideramos su influencia directa en aspectos tales como transporte, montaje de elementos y estructuras. El hecho de lograrse con este hormigón, elementos de menor

peso, en comparación con el hormigón tradicional, hace disminuir el costo en el transporte de estos. Se produce además economía en los elementos resistentes ya que estos pueden lograrse de menores secciones, ahorrando material.

Su capacidad como aislante térmico, así como las obras de ingeniería requieren generalmente un hormigón particularmente resistente y compacto, en la edificación y en las construcciones rurales, etc. Se necesitan más bien materiales con buena capacidad de aislamiento térmico. Es un hecho conocido que la capacidad de aislamiento térmico de un material aumenta a medida que disminuye su densidad, esto es en general, cuando aumenta su porosidad. Por lo tanto lo más favorable sería que tuviese los poros más pequeños y en mayor número, sin embargo esto significaría un aumento de la absorción capilar por lo que ambas propiedades de los agregados se deben manejar muy bien.

Los usos más comunes del Hormigón liviano son como relleno de pisos y tabiques, otro es la elaboración de bloque y paneles. (Valdez Suárez)

### **2.3 Roca Ignimbrita**



Figura 2: Fotografía de la Roca Ignimbrita.

#### **2.3.1 Origen**

Se genera por la acumulación de rocas volcánicas provenientes de una colada piroclástica densa, con un alto contenido de fragmentos magmáticos, de carácter anguloso y que aparecen ligadas por una base de cemento.

Surgen en un proceso eruptivo a través del colapso de estas columnas eruptivas en las erupciones plinianas y se forma de materiales ácidos

mismos que podrían llegar a cubrir superficies extensas, pueden tener un gran desarrollo volumétrico sobre los estratovolcanes o volcanes estrombolianos. Se desarrollan en su composición flujos laminares y flujos turbulentos que llegan a determinar las extensiones y unidades de un depósito, en donde la velocidad de fluidización determina la composición de su estructura interna.

Existen dos tipos dependiendo de la potencia del depósito y área: las HARI, son muy potentes, tienen poca extensión superficial y se adaptan a la topografía emplazándose normalmente en zonas deprimidas, y las LARI, que son corrientes de muy alta energía, ocupan normalmente una gran extensión superficial y no están condicionadas en su emplazamiento por la topografía. (<http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/ig.htm>)

### 2.3.2 Definición

Proviene del latín *ignis* “fuego”; *imbr* – *imber* “aguacero”; e *ita* “sustantivo femenino”.

Es una roca ígnea que es básicamente toba dura que está compuesta normalmente de fragmentos de roca y fenocristales, en sus depósitos se observan con frecuencia la presencia de obsidiana; los depósitos de este material se aprovechan para la fabricación de materiales de la construcción como son los abrasivos, ligeros o aislantes.

En la definición de Cas y Wright (1992) que presentan en su libro, dice “roca o depósito formado a partir de un flujo piroclástico pumítico, independientemente de si está soldado o no. Los fragmentos pueden ser de tamaño muy variados, con pómez y otras rocas flotando en una matriz de ceniza”. (Abel H Pesce. dic 18 1978, tomo nro2, B.A.).

### 2.3.3 Composición

Las Ignimbritas se encuentran dentro de las rocas ígneas volcánicas. Por lo que se dice que son cimentaciones de corrientes de diversos materiales volcánicos.

Esta roca está compuesta por fragmentos del tamaño de la ceniza (<4mm), el lapilli (4-32mm) y en algunos casos por bloques (>32mm); estos fragmentos son generalmente cristales de cuarzo, pómez, feldespatoides, fragmentos de roca y astillas de vidrio, los cuales generalmente están alargadas y orientados en alguna dirección.

Esta roca está asociada a zonas de actividad volcánica y en general poseen una composición química intermedia-acida. (GEOMIMET, 1992)

Otras Ignimbritas están compuestas de abundantes fenocristales y están ligeramente estirados en la dirección del flujo. La matriz es de tipo pumítico-vitroclástica, aunque debido al proceso soldadura ha quedado convertida, prácticamente, en un vidrio homogéneo. (Seggiaro, 1987)

#### **2.3.4 Propiedades Físicas**

La Ignimbrita es una roca que se puede presentar en varios colores como negro, gris, pardo, rojo etc., con una textura muy compacta.

Las Ignimbritas se caracterizan por tener lo que en geología se conoce como flares, los cuales son líneas que cruzan la roca, y pueden estar compuestos de diferentes minerales.

Son de mala selección o es decir de distribución irregular de los tamaños de granos, heterogéneos y porosos.

Una roca presenta estructura fluida cuando contiene una serie de cristales alargados en una dirección preferente. Esta textura es típica de rocas ígneas que cristalizan a partir de un magma expuesto a esfuerzos tectónicos, o que presentan un cierto flujo (como las lavas volcánicas).

#### **2.3.5 Ensayos de laboratorio de roca Ignimbrita de Latacunga**

##### **2.3.5.1 Ensayo peso específico**

Debido a que la norma (NTE INEN 856 (ASTM-C127-04)) no se puede aplicar en agregados livianos, se aplicará el método del Mercurio, el que se

describe a continuación previo algunos conocimientos teóricos sobre este método.

**Densidad:** se define como el cociente entre la masa y el volumen de una cantidad cualquiera de materia. En el caso del agua vale justamente 1 kg/l. Se designa con la letra minúscula griega delta,  $\delta$ .

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}} \qquad \delta = \frac{m}{\text{Vol}} \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Si en lugar de considerar la masa de los cuerpos consideramos su peso, podemos definir una nueva magnitud, el **peso específico**, que es muy parecido a la densidad. Se designa con la letra minúscula griega rho,  $\rho$ . (Cabrera)

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso}}{\text{Volumen}} \qquad \rho = \frac{P}{\text{Vol}}$$

Si además recordamos que el peso de cualquier cuerpo en las proximidades de la superficie terrestre es:

$$P = m \cdot g$$

Podemos relacionar densidad y peso específico:

$$\rho = \delta \cdot g$$

El método de mercurio, consiste en determinar el volumen de un trozo irregular, sumergiendo el mismo en un recipiente con mercurio.

Se debe tomar en cuenta que la densidad, es una propiedad de los agregados de suma importancia en la elaboración de concretos, ya que está directamente relacionada con la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del hormigón. Donde el ACI (213R, 1987), menciona que a pesar de la alta porosidad y la debilidad inherente de agregado, existe una relación

entre la fuerza y la densidad del hormigón ligero, pero dependerá de las partículas usadas, por cuanto mayor densidad, mayor resistencia a la compresión.

### 2.3.5.1.1 Procedimiento

1.- Obtenemos varios trozos de roca Ignimbrita, del que queremos conocer su densidad.



Figura 3: Fotografía de Trozos de roca Ignimbrita.

2.- Pesamos la caja Petri, y las muestras.



Figura 4: Fotografía de un trozo de muestra.

3.- Tomamos la caja Petri, la llenamos con mercurio, enrasamos con un vidrio que tiene tarugos soldados en la parte inferior y lo pesamos.



Figura 5: Fotografía Pesando la caja Petri.

4.- Posteriormente colocamos el trozo de roca sobre el mercurio y lo forzamos a sumergirse con los tarugos del vidrio.

Esto provocará que el mercurio se derrame en la misma cantidad que el volumen del trozo de suelos pero como esto lo hacemos dentro de una bandeja podemos recoger el mercurio derramado y pesarlo. Como conocemos el peso específico del mercurio podemos obtener su volumen.



Figura 6: Fotografía de una bandeja con la caja Petri, Mercurio y trozo de Ignimbrita.

Este procedimiento se repite el número de veces de muestras a ensayarse.

#### **2.3.5.1.2 Resultados**

Al ensayar la muestra de la roca Ignimbrita por el método de Mercurio obtenemos el valor  $0,67\text{gr/cm}^3$ , mismo que nos permite verificar que es un agregado liviano y que no podemos aplicar el método del ACI 211 para encontrar las proporciones de la dosificación de hormigón liviano.

#### **2.3.5.2 Ensayo de Abrasión**

Este ensayo consiste en determinar el desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre.

El objetivo de este ensayo, como se lo indica en la norma (NTE INEN 860 (ASTM-C131)), es medir el desgaste producido por una combinación de

impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado de granulometría preparada.

La prueba consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico (giratorio), a una determinada velocidad. Dicho tambor se lo conoce como máquina de Los Ángeles. La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpe con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico.

Cuando el tambor rota, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta que ellas caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto - trituración. El contenido, entonces, es arrastrado dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña y el ciclo se repite. Después del número prescrito de vueltas, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizado para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.

Si los resultados de estas pruebas es negativos, no es necesario seguir con los ensayos restantes, debiéndose rechazar el agregado, siempre que la propiedad fundamental que se requiera sea la resistencia y la durabilidad.

La carga abrasiva la constituyen esferas de acero cuyo peso total dependerá de la graduación granulométrica de la muestra según la tabla siguiente:

Tabla 2.  
Especificaciones para la carga.

Gradación	Nº Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25

Fuente: NTE INEN. 860, (2011)

Tabla 3.  
Tipos de Graduación.

Pasante	Retenidos	"A"(12) gr	"B" (11) gr	"C" (8) gr	"D"(6) gr
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	Nº 4			2500 ± 10	
Nº 4	Nº 8				5000 ± 10

Fuente: NTE INEN. 860, (2011)

Las especificaciones para realizar los ensayos son las siguientes:

- ✚ Diámetro de las esferas: 1 <sup>27</sup>/<sub>32</sub> pulgadas.
- ✚ Peso de las esferas: entre 390 y 445 gramos.
- ✚ Número de revoluciones que debe girar la máquina de los Ángeles: 500.
- ✚ Velocidad a que debe girar la máquina: 30 a 33 r.p.m.

El resultado se expresa con el porcentaje de pérdida máxima:

$$\text{Pérdida Máxima} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

### 2.3.5.2.1 Procedimiento

1. En una muestra representativa procedemos a tamizar de acuerdo a la tabla 2.4, para obtener las cantidades requeridas.



Figura 7: Fotografía tamizando el material.

**2.** Lavamos el material y lo dejamos en el horno que debe estar a la temperaturas de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$ , Durante 24 horas.



Figura 8: Fotografía del material en el horno.



Figura 9: Fotografía del material en el horno.

**3.** Al día siguiente colocamos en la máquina de los Ángeles junto con las bolas de acero de acuerdo a la tabla 2, durante 500 vueltas. Esto consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico (giratorio), a una determinada velocidad.

Dicho tambor se lo conoce como máquina de Los Ángeles. La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpe con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico.



Figura 10: Fotografía de la Máquina de los Ángeles.

4. Tamizamos con el tamiz # 12 y todo lo retenido en este se lava y coloca en el horno para pesarlo al siguiente día.



Figura 11: Fotografía del material retenido.

#### 2.3.5.2.2 Resultados

Con nuestro material **tenemos un promedio de porcentaje de pérdida** de 52.38% siendo mayor al límite establecido por la norma ASTM que indica un límite máximo del 40%. Por lo tanto el material no es apto para soportar cargas o para resistir al desgaste.

Según la norma establecida el material no cumple el porcentaje mínimo de pérdida, pero para nuestro proyecto aceptaremos este valor por motivos prácticos.

Al no contar con minas que exploten este tipo de roca no pudimos seguir con la misma para cumplir el objeto de este proyecto, por lo cual dimos paso a la caracterización de una nueva roca de características similares como es la roca Pómez que a continuación presentamos su caracterización.

Tabla 4.  
Resumen de ensayos roca Ignimbrita.

VALORES CARACTERÍSTICOS – IGNIMBRITA		
PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Peso específico	0,67	g/cm <sup>3</sup>
Abrasión	52	%
Carga Abrasiva	12	Esferas

## 2.4 Roca Pómez



Figura 12: Imagen de Roca Pómez.

Fuente: barresfotonatura

### 2.4.1 Antecedentes

Se la llama también pumita o pumicita, es roca magmática volcánica vítrea, tiene baja densidad (entre 0,4 a 0,9 g/cm<sup>3</sup>) y es porosa lo cual le da un bajo peso unitario, con un color blanco o gris. Es un silicato volcánico de aluminio en el orden del 70% y contiene adicionalmente feldespatos potásico, cuarzo y plagioclasas y está compuesta normalmente por partículas vítreas con un alto contenido de sílice de hasta el 50% que cuando se forma al emanar la lava caliente y se mezcla con el agua del volcán y se proyecta al aire sufre una descompresión y se crea una espuma y por tanto una desgasificación por ello quedan espacios vacíos en su masa que se separan por paredes de vidrio volcánico y forman fenocristales.

Se la conoce también como puzolana y tiene bajo costo y es un ingrediente importante en la elaboración del cemento Portland ya que le añade durabilidad química (resistencia frente al ataque por las aguas puras, carbónicas, agresivas o ligeramente ácidas). Aparte de este uso industrial, se emplea piedra pómez en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas.

Su peso unitario varía de entre 350Kg/m<sup>3</sup> hasta 800Kg/m<sup>3</sup> y flota en el agua, es de textura rugosa y su forma podría ser redondeada o angular y el tamaño de sus granos de composición van desde muy fino, como la arena hasta otros de 1 pulgada o más grandes aun.

#### **2.4.2 Origen**

La piedra Pómez procede de las ROCAS ÍGNEAS. Formadas por solidificación de materiales fundidos, provienen de magma, erupciones, intrusivas = solidificaron dentro de la superficie, solidificación lenta.

**Definición de rocas ígneas.-** Piedra de gran solidez, formada por uno o más minerales, formadas por el fuego. Las rocas ígneas se forman cuando el magma, que es roca fundida, se enfría y solidifica. Con base en el mecanismo de enfriamiento, se pueden formar, así: a) cuando el enfriamiento se produce lentamente y bajo la superficie y b) si el enfriamiento se produce sobre la superficie y rápidamente. Las rocas ígneas componen casi el 95% de la parte superior de la corteza terrestre. (Maitre, 2002)

Cuando la solidificación del magma se produce en el seno de la litósfera, la roca resultante se denomina plutónica o intrusiva; si el enfriamiento se produce, al menos en parte, en la superficie o a escasa profundidad, la roca resultante se denomina volcánica o extrusiva y estos, a su vez, se subdividen en familias a partir de las diferentes texturas, asociaciones minerales y modo de ocurrencia. Las formas que adoptan los cuerpos ígneos durante su cristalización delimitan diferentes estructuras ígneas.

Existen diversos criterios para clasificar una roca ígnea, cada uno de ellos con objetivos definidos, como la ocurrencia de las rocas, el tamaño de grano, la textura y estructura, el contenido mineral o la composición química.

### **CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS:**

**Rocas ígneas intrusivas o plutónicas:** Son rocas formadas en el interior de la corteza terrestre. Cuando un magma se enfría bajo la superficie lo hace más lentamente, permitiendo un mejor desarrollo de los cristales, que debido a eso alcanzan tamaños que pueden ser observados a simple vista, generalmente abarcan grandes extensiones de terreno y llegan a la superficie terrestre mediante procesos orogénicos (deformaciones tectónicas) o mediante procesos externos de erosión. Dentro de este tipo de rocas, algunos autores reconocen una clase intermedia, la hipoabisal, que incluye a las rocas que han cristalizado a una profundidad moderada y se presentan en forma de filones o diques, rellenando grietas; son mucho menos abundantes que las plutónicas y se encuentran casi siempre asociadas a ellas.

**Rocas ígneas extrusivas, efusivas o volcánicas:** Las rocas volcánicas típicas son formadas por el rápido enfriamiento de la lava y de fragmentos piroclásticos. Este proceso ocurre cuando el magma es expulsado por los aparatos volcánicos; ya en la superficie y al contacto con la temperatura ambiental, se enfría rápidamente desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino (no apreciables a simple vista) y rocas piroclásticas.

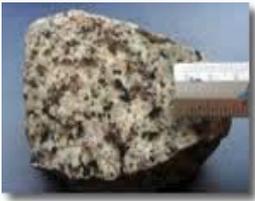
Los piroclásticos (del griego pyro, fuego, y klastos, quebrado), son producto de las erupciones volcánicas explosivas y contienen fragmentos de roca de diferentes orígenes, pueden ser de muchas formas y tamaños.

Las rocas ígneas dentro de los dos grandes grupos, se subdividen en diferentes familias tomando en cuenta la textura y los minerales esenciales (presencia básica para un determinado tipo), siendo entre sí equivalentes

mutuos. El siguiente cuadro presenta a los minerales esenciales que determinan las diferentes variedades de rocas ígneas:

Tabla 5.

Clasificación de rocas ígneas.

<b>ROCAS ÍGNEAS</b>		
<b>MINERALES ESENCIALES</b>	<b>ROCAS PLUTÓNICAS</b>	<b>ROCAS VOLCÁNICAS</b>
<i>Cuarzo, Feld K &gt; Plag Na, biotita, hornblenda</i>	<b>Granito</b> 	<b>Riolita</b> 
<i>Cuarzo, Plag Na &gt;= Feld K, biotita, hornblenda</i>	<b>Granodiorita</b>	<b>Cuarzolita</b>
<i>Feld K &gt; Plag Na, biotita, augita, hornblenda</i>	<b>Sienita</b> 	<b>Traquita</b> 
<i>Plag Na &gt;= Feld K, biotita, hornblenda, augita</i>	<b>Monzonita</b>	<b>Latita</b>
<i>Feld K &gt;= Feldespatoides, Plag Na, máficos</i>	<b>Sienita feldespatóidica</b> 	<b>Fonolita</b> 
<i>Cuarzo, Plag Na, biotita, hornblenda</i>	<b>Tonalita</b>	<b>Dacita</b>
<i>Plag Na, hornblenda, biotita</i>	<b>Diorita</b> 	<b>Andesita</b> 

CONTINUA



<p><i>Plag Ca, olivino, piroxeno, hornblenda, magnetita, ilmenita, etc.</i></p>	<p><b>Peridotitas (dunita)</b></p> 	
<p><i>Plag Ca, augita, hiperstena, olivino, hornblenda</i></p>	<p><b>Gabro</b></p> 	<p><b>Basalto</b></p> 
<p><i>Plag Ca, olivino, piroxeno, hornblenda</i></p>	<p><b>HIPOABISAL</b> <i>Pegmatita (diabasa)</i></p> 	
<p><i>Material expulsado por chimeneas volcánicas, transportados por aire y depositados en la superficie del suelo, en lagos o en las aguas de mar y posteriormente consolidados.</i></p>	<p>Tamaño del grano</p> <p>&gt;32 mm</p>	<p><b>PIROCLÁSTICAS</b></p> <p><i>Aglomerado</i></p> 
	<p>&gt;4 &lt;32</p>	<p><b>Brecha</b></p> 
	<p>&gt;1/4 &lt;4</p>	<p><b>Tobas de lapilli</b></p>
	<p>&lt;1/4</p>	<p><b>Tobas (cenizas)</b></p> 

**Fuente:** Servicio Geológico Mexicano.

### **2.4.3 Definición**

La pumita (también llamada piedra pómez, jal o liparita) es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad (flota en el agua) y muy porosa, de color blanco o gris. Cuando se refiere a la piedra pómez en lo que respecta a sus posibles aplicaciones industriales, también puede ser conocida como puzolana. En su formación, la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión. Como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico. (Valdez Suárez)

### **2.4.4 Composición**

Se compone de trióxido de sílice y trióxido de aluminio, entre otros componentes: 71% de SiO<sub>2</sub>, 12.8% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1.75% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1.36% de CaO, 3.23% de Na<sub>2</sub>O, 3.83% de K<sub>2</sub>O, 3.88% de H<sub>2</sub>O.

La piedra pómez no se crea en la naturaleza por igual, sus propiedades químicas (y su utilidad) varían enormemente según el yacimiento, pero por lo general está formada principalmente por dióxido de silicio (silicato de aluminio amorfo), óxido de aluminio y trazas de otros óxidos. (Vallejo. 2002)

### **2.4.5 Propiedades físicas**

Su constitución con gran cantidad de poros y células cerradas dan por resultado una porosidad con una solidez de grano al mismo tiempo. Su porosidad le permite absorber y retener el agua, además de hacerla ligera y otorgarle condiciones particulares, especialmente para el filtrado de productos de elaboración industrial.

La piedra es tan suave que puede ser tallada, torneada y grabada con gran facilidad. Su color blanco grisáceo le da una gran vistosidad, siendo también útil para la decoración.

Debido a su ligereza puede flotar sobre las aguas a causa del aire contenido en sus cavidades. Aparte de eso la piedra pómez es resistente al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua.

Las partículas de esta roca volcánica, poseen variadas formas predominando las alargadas y las angulosas. Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie trabajada. (Sherrow, 2001)

#### **2.4.6 Usos**

En la construcción es usada en forma triturada y se la utiliza para constituir morteros u hormigones aligerados que permiten mejorar las condiciones térmicas y acústicas de una construcción, tiene una muy alta dureza y por ello se la utiliza como abrasivo; adicionalmente se la usa como roca ornamental.

Se la usa adicionalmente como filtro en la industria, como polvo abrasivo en la cosmética y odontología.

#### **2.4.7 Localización en Ecuador**

En el Ecuador, país atravesado por cadenas montañosas y volcánicas de la Cordillera de los Andes, tenemos varias poblaciones de las cuales de forma habitual se puede extraer la piedra pómez, pero las canteras más conocidas y comunes pertenecen a las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Pichincha y en los sectores de Latacunga, Cayambe y Chalupas.

#### **Exploración y procesamiento de piedra pómez o pumita.-**

La explotación de la piedra pómez es un proceso de bajo impacto medioambiental ya que la mayor parte se encuentra en la superficie. La piedra pómez o pumita se hace pedazos o se raspa a granel y se lleva al triturador para un procesamiento preliminar (determinación de calibres, formas y grosores), se la carga y se la lleva hasta una planta para su procesamiento ya sea para fines de construcción, estéticos, de belleza y otros de limpieza.

## 2.4.8 Ensayos de laboratorio de roca Pómez de Latacunga

### 2.4.8.1 Ensayo específico

Para realizar este ensayo se aplicó los mismos parámetros que con la roca Ignimbrita. Es decir el método de Mercurio.

Al ensañar la muestra de la roca Pómez por el método de Mercurio obtenemos el valor  $0,44 \text{ gr/cm}^3$ , mismo que nos permite verificar que es un agregado liviano y que no podemos aplicar el método del ACI 211 para encontrar las proporciones de la dosificación de hormigón liviano.

### 2.4.8.2 Ensayo Abrasión

Utilizaremos los mismos parámetros que se realizaron con la roca Ignimbrita. Es decir se trabajara con la norma (NTE INEN 860 (ASTM-C131)).

En este ensayo se realizaron tres muestras de donde obtuvimos valores de 50,38%, 51,17% y 46,52%, con lo que **tenemos un promedio de porcentaje de pérdida** de 49.36% siendo mayor al límite establecido por la norma ASTM que indica un límite máximo del 40%. Por lo tanto el material no es tiene una buena resistencia al desgaste.

Según la norma establecida el material no cumple el porcentaje mínimo de pérdida, pero para nuestro proyecto aceptaremos este valor debido a que la mezcla que se desea determinar no es estructural.

### 2.4.8.3 Ensayo de Granulometría

Aplicaremos la Norma (NTE INEN 696 (ASTM - C136)).

La granulometría adecuada para un hormigón consiste en una combinación adecuada de tamaño de los granos, debiendo cumplir con el postulado de que el agregado debe ocupar el mayor volumen posible dentro del hormigón, entonces la distribución de partículas o granos, debe ser tal, que deje el menor porcentaje de “vacíos” (espacios llenos de aire) entre partículas.

El Ing. Norteamericano D. A. Abrams fue uno de los primeros en investigar la granulometría de los agregados y propuso un procedimiento para determinar la distribución de partículas que produce resultados satisfactorios.

*“Una de las propiedades importantes que influye notoriamente en los diseños de mezclas de hormigón es la granulometría del agregado, porque de esta propiedad depende la cantidad de pasta de cemento y agua a emplearse en una mezcla de hormigón. De igual manera influye en la trabajabilidad, cohesión, segregación, y características de acabado del hormigón fresco y fraguado” (GARZÓN, M., “Seminario de Graduación, Anexos: Ensayos para la investigación”, Universidad Central del Ecuador, p. 6, Quito, (2010)).*

El método de determinación granulométrico consiste en hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado cuadrado y ordenados por abertura de mayor a menor, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices, como lo indica la norma NTE INEN 696 (ASTM - C136).

Tenemos diferentes tipos de granulometría:

- 1. Bien Gradada.-** Se obtiene cuando el agregado presenta una distribución uniforme de mayor a menor. Su gráfico es una línea continua.
- 2. Mal Gradada.-** No hay una continuidad entre el porcentaje de cada tamiz, es decir, la curva graficada presentara desviaciones.
- 3. Uniforme.-** Se presenta cuando el agregado tiene partículas del mismo tamaño.
- 4. Abierta o Discontinua.-** Se produce cuando en ciertos tamices no se ha retenido material, la curva es discontinua, presenta interrupciones.

La serie de tamices que se utiliza para agregado grueso son los siguientes: 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", # 4, #8.

La operación de tamizado debe realizarse sobre una cantidad de material seco, previamente cuarteado. El manejo de los tamices se puede llevar a cabo a mano o mediante el empleo de la máquina de vibración.

Después de tamizar correctamente se toma el material retenido en cada tamiz y se lo pesa.

$$\%Retenido = \frac{\text{Masa de material retenido en tamiz}}{\text{Masa total de la muestra}} \times 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido \text{ acumulado}$$

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 representa 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: mixta.

Recomendaciones para la granulometría según la norma ASTM C136

**Tabla 6.**  
**Dimensiones de Tamices.**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, ABERTURAS CUADRADAS, mm (pulg.)	TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MÍNIMA, kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma ASTM C136

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

### **Módulo de Finura (MF)**

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100.

$$MF = \%Retenido\ acumulado/100$$

### **Tamaño Máximo Nominal (TMN)**

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal.

#### **2.4.8.3.1 Procedimiento**

El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado cuadrado y ordenados por abertura de mayor a menor, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices, como lo indica la norma NTE INEN 696 (ASTM - C136). La operación de tamizado debe realizarse sobre una cantidad de material seco, previamente cuarteado. El manejo de los tamices se puede llevar a cabo a mano o mediante el empleo de la máquina adecuada. Después de tamizar correctamente se toma el material retenido en cada tamiz y se lo pesa.



Figura 13: Fotografía cuarteando el material.



Figura 14: Fotografía de columna de tamices.



Figura 15: Fotografía pesando el material.

#### **2.4.8.4 Densidad Aparente Suelta y Compacta**

El ensayo se realizara de acuerdo a lo que se indica en la norma (NTE INEN 858: 2010).

La densidad es el resultado de dividir la masa por el volumen, también se dice que es la relación entre el número de partículas en un volumen dado.

Entonces, si se dice que es, la relación entre el número de partículas en un volumen dado, la Densidad aparente suelta será de menor proporción a la Densidad Compactada, debido a que el número de partículas sueltas dentro de un determinado volumen tiene mayor relación de vacíos, provocando un peso menor, en la masa que ocupará el volumen del recipiente.

Mientras que para la Densidad Compactada del mismo material, el peso será mayor, ya que al momento de su compactación, se reduce considerablemente la relación de vacíos que existe en el mismo volumen y por lo tanto su densidad aumentará.

Conocer este tipo de densidades nos ayuda para los cálculos de la dosificación del diseño de mezclas.

#### **2.4.8.4.1 Procedimiento**

Se prepara la muestra:

1. Se lava el material para limpiar cualquier impureza.
2. Se seca el material en el horno a una temperatura de 110 °C.
3. Se calibra el molde cilíndrico metálico.



Figura 16: Fotografía midiendo balde.

4. Se coloca la piedra de manera suelta, lanzándola desde una altura aproximada de 25 cm desde el fondo progresivamente hasta llenar el molde, luego se enrasa el molde y se pesa.



Figura 17: Fotografía enrasando material.

5. Para determinar la densidad compactada se llena el molde en tres capas, cada capa se compacta con 25 golpes, se debe utilizar la varilla de compactación (16 mm de diámetro, con dos extremos redondeados con punta semiesférica y 600mm de longitud) distribuidos uniformemente. Una vez lleno el molde se enrasa y se pesa.



Figura 18: Fotografía compactando el material.



Figura 19: Fotografía pesando material.

Se calcula el peso volumétrico usando la siguiente expresión:

Simbología:

P1: Peso del recipiente, en gr.

P2: Peso del recipiente con material o compactado, en gr.

V: Volumen del molde, en cm<sup>3</sup>.

$$P_{vol} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

#### 2.4.8.4.2 Resultados

Al realizar el ensayo con la roca pómez se obtuvo los siguientes valores de densidad aparente suelta: 0,55 g/cm<sup>3</sup>; 0,57 g/cm<sup>3</sup>; 0,57 g/cm<sup>3</sup>, dándonos un promedio de **0,56 g/cm<sup>3</sup>** y los valores de la densidad aparente compacta son: 0,62 g/cm<sup>3</sup>; 0,64 g/cm<sup>3</sup>; 0,63 g/cm<sup>3</sup>, dándonos un promedio de **0,63 g/cm<sup>3</sup>**.

#### 2.4.8.5 Capacidad de Absorción

Este ensayo consiste en encontrar la cantidad de agua que captan las partículas de los agregados, colocando los agregados en agua durante 24 horas para proceder a secar llegando al estado saturado con superficie seca o estado (SSS); luego el granulado debe ser colocado en un horno, durante 24 horas, con una temperatura de 110 °C ± 5 °C. El resultado queda expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca.

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma (NTE INEN 857) NTE INEN 857.

Las partículas de los agregados tienen porosidades capilares superficiales; estas porosidades capilares atraen el agua que se encuentra en el ambiente y las partículas que llamamos “secas al aire”, en realidad tienen sus poros capilares con agua, en armonía con la humedad ambiental la que es variable.

Para realizar la corrección de agua dentro del diseño de mezclas, es necesario conocer el porcentaje de absorción del agregado y el contenido de

agua en obra. Estos valores se acostumbra calcularlos en base al material secado en estufa que es una constante del material.

Ecuación a utilizarse para determinar el valor de absorción

$$\text{Absorción \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Dónde:

**A** = masa en aire de la muestra seca al horno, (gr)

**B** = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, (gr).

#### 2.4.8.5.1 Procedimiento

1. Se lavan las gravas para eliminar las impurezas adheridas en sus caras, luego se sumerge una muestra representativa durante 24 horas en agua para lograr su saturación.



Figura 20: Fotografía saturando material.

2. Se escurre el agua y se seca superficialmente hasta alcanzar la condición de superficie saturada seca (SSS), procurando que este paso se realice en el menor tiempo posible para evitar que se seque demasiado la muestra.
3. Se pesa la muestra en condición SSS en el aire.
4. Se coloca la muestra en el horno por 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo se toma el peso de la muestra seca.

Se calcula la absorción del árido grueso con la siguiente expresión:

$$Abs\ agua = \frac{B - A}{A} * 100$$

Dónde:

**A:** Peso de la muestra seca, en gr.

**B:** Peso de la muestra en superficie saturada seca en el aire, en gr.

**Abs agua:** Absorción de agua, en %

#### **2.4.8.5.2 Resultados**

Al realizar el ensayo con la roca pómez se obtuvo la siguiente capacidad de absorción 50,89%.

#### **2.4.8.6 Contenido de humedad**

El objetivo de este ensayo, como se lo indica en la norma (NTE INEN 690), es determinar en el laboratorio el contenido de agua de los suelos mediante el secado al horno.

Todas las partículas de los agregados tienen porosidades capilares superficiales, estas porosidades capilares están previstas al fijar, la relación agua – cemento, en el diseño de la mezcla. No se puede disminuir la cantidad de agua prevista pues esto provocaría mezclas secas, difíciles de manejar.

Entonces hay que procurar, por todos los medios, que la relación agua-cemento permanezca constante durante su fabricación, transporte y colocación del hormigón en obra.

Los agregados generalmente se los encuentra húmedos, y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de una mezcla.

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.

El desarrollo de este ensayo empieza por tener una cantidad lo suficientemente representativa, se debe pesar el recipiente cuidando que este seco y limpio, pesar la muestra cuidadosamente y llevarla al horno el que necesita mantener una temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ .

#### 2.4.8.6.1 Procedimiento

- Determinar y registrar la masa del recipiente el cual debe estar seco y limpio.
- Colocar cuidadosamente en el recipiente un poco de muestra.
- Colocar el recipiente con la muestra húmeda en el horno, con temperatura constante dada en la norma.
- Determinar la masa de muestra seca.



Figura 21: Fotografía de la muestra en el horno.

Calcular el contenido de humedad mediante la siguiente expresión:

Simbología

**W:** Peso de la muestra original, en gr.

**D:** Peso de la muestra seca, en gr.

$$H = \frac{W - D}{D} * 100$$

Donde,

H: Contenido de humedad evaporable de la muestra, en %.

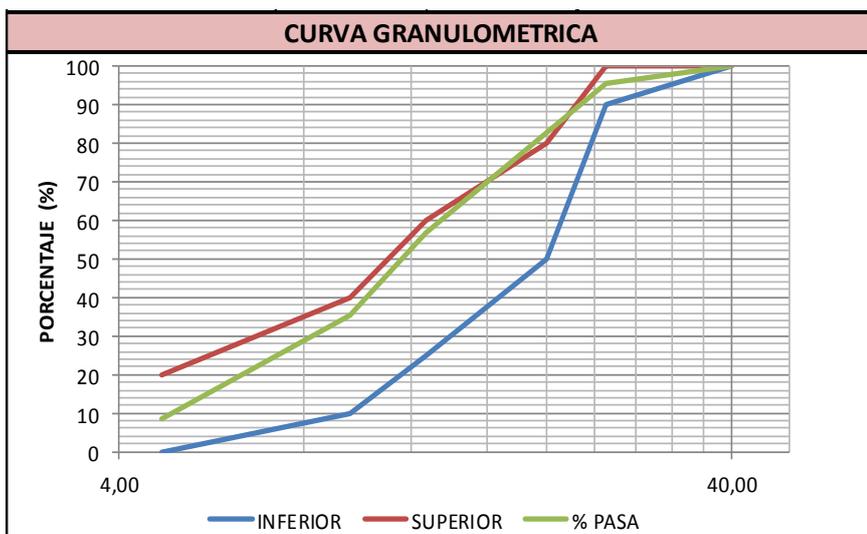
#### 2.4.8.6.2 Resultados

Al realizar el ensayo con roca Pómez obtuvimos una humedad de 11,54%.

Tabla 7.

Resumen de propiedades Físicas de Roca Pómez Blanca.

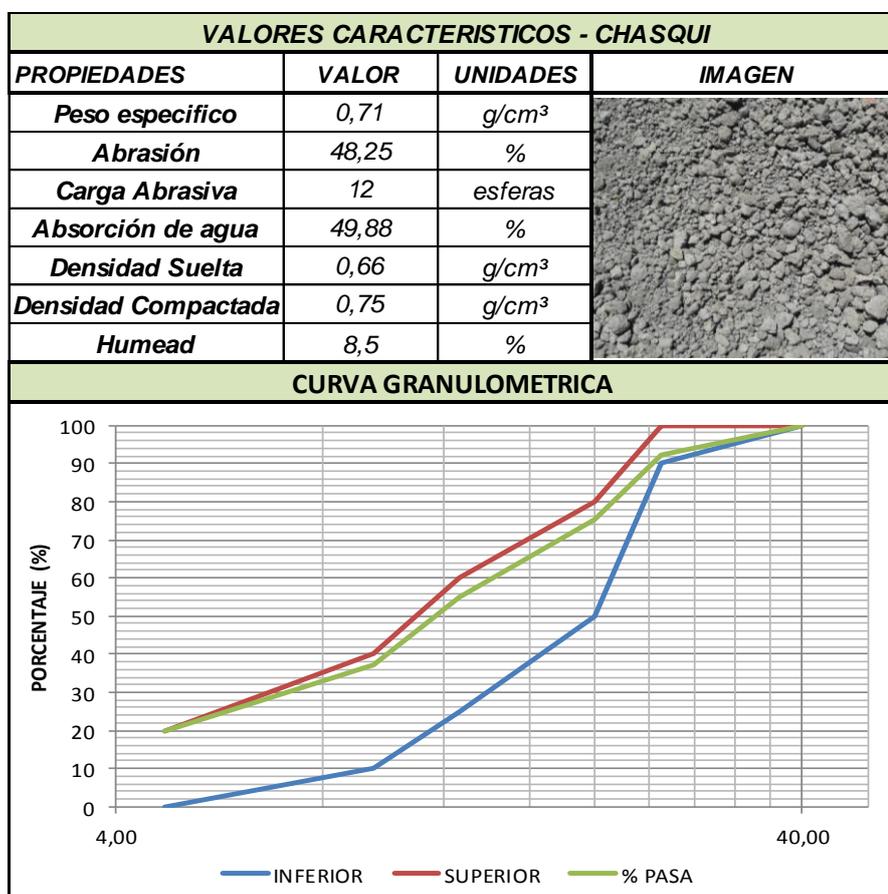
VALORES CARACTERISTICOS - PÓMEZ BLANCA			
PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES	IMAGEN
Peso específico	0,43	g/cm <sup>3</sup>	
Abrasión	49,36	%	
Carga Abrasiva	12	esferas	
Absorción de agua	50,89	%	
Densidad Suelta	0,56	g/cm <sup>3</sup>	
Densidad Compactada	0,62	g/cm <sup>3</sup>	
Humedad	11,54	%	



#### 2.4.9 Ensayo de laboratorio de roca Chasqui Lasso

##### 2.4.9.1 Resultados

Tabla 8.  
Resumen de propiedades Físicas de la roca Chasqui.



## 2.5 Agregado fino

### Caracterización del agregado fino de Píntag

Es el agregado de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

#### 2.5.1 Peso específico

Como ya se habló en el apartado anterior la densidad está relacionada directamente con el peso específico por lo que se utilizará la norma NTE INEN 856 para el agregado fino, se basan en el mismo principio de Arquímedes: “Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado”.

$$\rho = \frac{M_s}{M_s - M_{agua}}$$

Dónde:

$\rho$  = densidad real

$M_s$  = Masa del agregado en estado sobresaturado

$M_{agua}$  = Masa del agregado en el agua.

### 2.5.1.1 Procedimiento

Preparación de la muestra:

1. Se lava una muestra representativa de arena para eliminar polvo, limos, arcilla o partículas orgánicas que esta pueda contener y se pesa 1000 gr, posteriormente se sumerge en agua durante 24 horas.
2. De la muestra saturada se toma una cantidad mayor a 500 gr, se la expande en una bandeja y se la seca a temperatura ambiente hasta que se encuentre en condición satura superficie seca (SSS).
3. Se pesa 500gr de arena en condición SSS.
4. Se introduce en el picnómetro la cantidad de arena en condición SSS pesada anteriormente, se coloca alrededor de 100 ml de agua destilada y se toma la temperatura del agua.



Figura 22: Fotografía de la muestra en el picnómetro.

5. Se agita y se extrae el aire atrapado en el picnómetro usando la bomba de vacío.



Figura 23: Fotografía del picnómetro con la bomba de vacíos.

6. Se llena el picnómetro con agua hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del picnómetro, muestra y agua.
7. Se vierte el contenido en un recipiente y se lo pone a secar durante 24 horas. Se obtiene el peso seco de la arena.
8. Se determina la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración, con agua.

Se realiza los cálculos mediante las siguientes expresiones:

Simbología:

**A:** Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

**C:** Peso de la muestra seca, en gr.

**D:** Peso del picnómetro lleno de agua, en gr.

**E:** Peso del picnómetro + muestra + agua, en gr.

**G:** Peso específico del agua a la que se realizó el ensayo.

$$P_{esp} = \frac{C}{C + D - E} * G$$

$$P_{sss} = \frac{A}{A + D - E} * G$$

$$P_{ap} = \frac{C}{A + D - E} * G$$

$$Abs\ agua = \frac{A - C}{C} * 100$$

Donde,

**Pesp:** Peso específico de las partículas, en gr/cm<sup>3</sup>.

**Psss:** Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca, en gr/cm<sup>3</sup>.

**Pap:** Peso específico aparente de las partículas, en gr/cm<sup>3</sup>.

**Pap:** Peso específico aparente de las partículas, en gr/cm<sup>3</sup>.

**Abs agua:** Absorción de agua, en %.

### 2.5.1.2 Resultados

Al realizar el ensayo para determinar la densidad relativa aparente para agregado fino se obtuvo el valor de 2,45 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.5.2 Ensayo de granulometría para áridos finos

Utilizaremos los mismos parámetros que se realizaron con la roca Pómez. Norma (NTE INEN 696 (ASTM-C136)).

La serie de tamices utilizados para agregado fino son # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100.

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

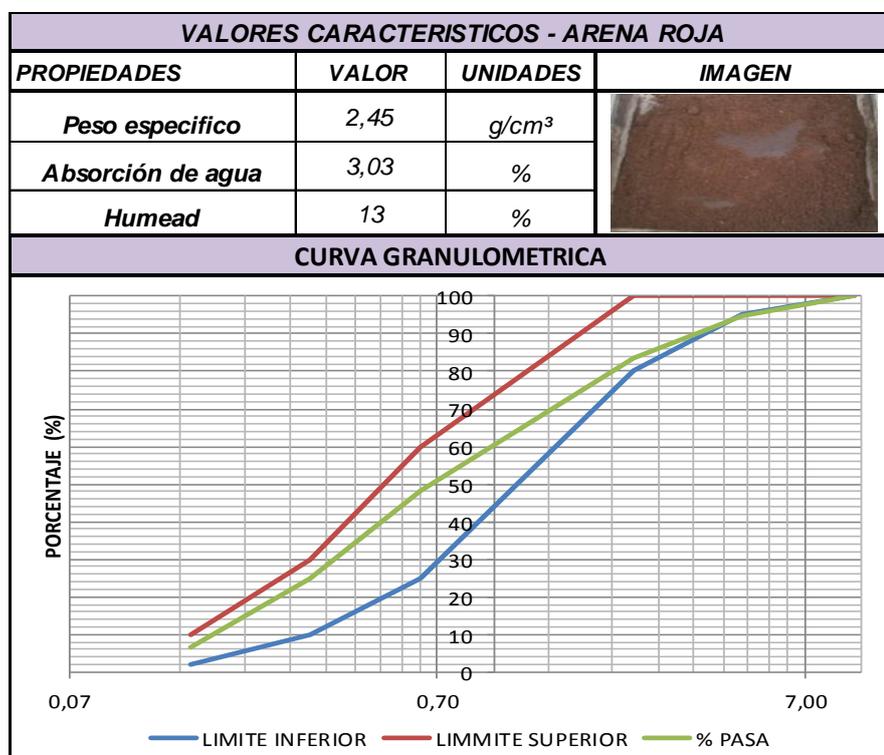
### Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100.

$$MF = \%Retenido\ acumulado / 100$$

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir hormigón debe estar entre 2,3 y 3,1 donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina; 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa.

**Tabla 9.**  
**Resumen de propiedades Físicas de la Arena roja.**



## 2.6 Agregado Grueso

### Caracterización del agregado grueso de Píntag

#### 2.6.1 Peso específico

Para determinar este valor aplicaremos la norma (NTE INEN 856:2010).

Es la relación entre la masa y el volumen total de agregados completamente saturados y libres de humedad superficial. Este valor es necesario para determinar la cantidad de agregado grueso que puede ser acomodado en una mezcla de hormigón.

Esta es la densidad más importante para calcular la dosificación del hormigón; este valor depende de la densidad de los componentes minerales y su porosidad del agregado.

A pesar de que la densidad se usa para el cálculo de cantidades del agregado dentro del hormigón y que generalmente un valor alto de densidad

implica un agregado de alta resistencia el valor de la densidad no es necesariamente una medida de la calidad del agregado.

Cuando se calcula el peso específico de un agregado usualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Simbología:

$P_1$ : Masa del ripio en SSS

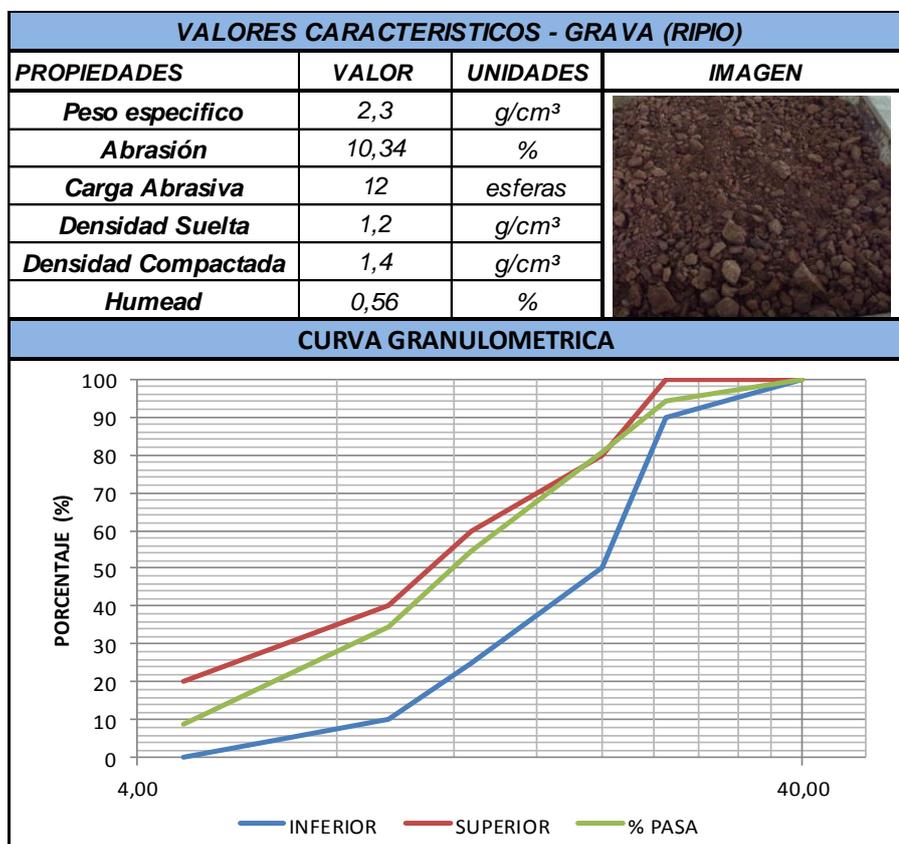
$P_2$ : Masa del ripio en agua

$P_3$ : Masa de ripio seco.

$$D_{SSS} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

### 2.6.1.1 Resultados

Tabla 10.  
Resumen de propiedades Físicas de la grava.



## 2.7 Reacción ÁLICALICE-SÍLICE en el hormigón.

**DEFINICION.-** Es la reacción química que se produce degradación entre los elementos componentes del hormigón; se forma en el momento de la reacción álcali-sílice un gel, mismo que al contactarse con el agua la absorbe y aumenta su volumen logrando ingresar entre los poros y micro poros del hormigón produciendo tensión y agrietamientos en el concreto y disminución de la capacidad de flexión y tracción, lo cual en el transcurso del tiempo, generará fatiga al material y su fractura, permite la entrada de agentes externos agresivos y afectará a su durabilidad. Se las conoce generalmente como **“reacciones expansivas de origen interno”**.



Figura 24: Fisuras en mapa causadas por la RAS en una cimentación.

Fuente: Pecchio M., 2006



Figuran 25: Estructuras afectadas por la RAS.

Fuente: Silva, 2006

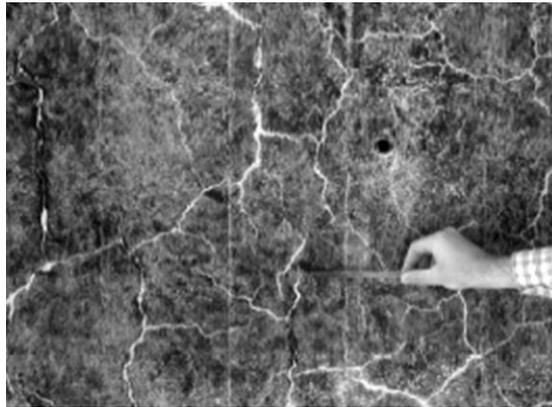


Figura 26: Fisuras en mapa causadas por la RAS en una pared.

Fuente: Shondeep L. Sarkar, 2004

### CLASIFICACION.-

Las reacciones álcalis-árido (RAA), engloban también a las siguientes reacciones químicas:

- álcali-sílice o (RAS),
- álcali-silicato, y
- y álcali-carbonato;

Siendo las más comunes y más estudiadas las RAS. Se determina RAS por un estudio del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC) intitulada ***HORMIGONES. Metodologías para prevenir reacciones expansivas internas***, a través de la norma (LNEC E461, 2006).

Según la forma y el estado en que se presenta la sílice reactiva en el agregado se determinan dos formas cinéticas de reacción (Ponce, 2006)

**1.- Reacción álcalis-sílice rápida**, cuando las rocas contienen minerales de sílice pobremente cristalizados como son: ópalo, tridimita y vidrio volcánico y que pueden provocar deterioros en el hormigón en un tiempo corto, dentro de 1 a 5 años luego de construido.

**2.-Reaccion álcalis-sílice lenta**, los agregados contienen formas de cuarzo micro cristalino, tensionado o deformado, debido a sus cristales muy

pequeños presentan una reacción lenta o diferida, con signos de deterioro externo en el hormigón entre 8 y 25 años.

### **CUANDO SE DA.-**

La durabilidad del hormigón pueden tener origen físico o químico; siendo las más determinantes en la construcción las causas químicas de la degradación del hormigón (**Santos Silva, 2007**), así:

Ataque por agua de mar

Ataque por sulfatos

Ataque por el agua dulce y medios ácidos

Ataque bioquímico

Corrosión de la armadura

Reacciones expansivas internas (RAS)

Para que las RAS se produzcan, es necesaria la presencia al mismo momento en el Hormigón, de contenidos suficientes en humedad, álcalis y áridos reactivos (Fernández, 2005).

El mecanismo de reacción química del RAS se ha constituido en un interesante ámbito de estudio de diversos investigadores (Dent Glasser y Kataoka, 1981 a, b) y Chatterji, 1989), constituyéndose en explicaciones del mecanismo reaccional del RAS que considera 2 modelos de reacción distintos: el modelo topo químico y el modelo de disolución-precipitación. (Santos Silva, 2006).

Entre los factores que influyen en el RAS (ACI, 221, 1998), se determina que existen cuatro factores que se tienen que presentar simultáneamente: temperatura, humedad, presencia de álcalis en el cemento y áridos con formas de sílice susceptibles de reaccionar.

**Temperatura**, la velocidad de reacción y la formación del gel aumenta con la temperatura y más altas temperaturas es menos viscoso el gel.

**Humedad**, la reacción álcali-sílice requiere de agua para tener lugar, y al ser absorbida por los geles higroscópicos se expande y desarrolla presiones capaces de fisurar el hormigón (Poole, 1997). Por debajo del 70% de humedad relativa la expansión es insignificante y a partir del 80% de humedad relativa, los efectos de la reacción aumentan dramáticamente.

**Presencia de álcalis en el cemento**, normalmente la existencia de álcalis sodio y potasio en las materias primas usadas en la manufactura del cemento como arcillas, piedras calizas, tizas y esquistos y cenizas puede generar expansión en el hormigón.

### **COMO SE PRODUCE.-**

Se produce por una reacción química álcali-sílice que logra la fractura y debilitamiento del concreto, produciendo que entre las estructuras más afectadas por esta reacción son las presas, puentes, muelles y los pavimentos en las carreteras existiendo evidencias de RAS en otros tipos de estructuras de hormigón. Se produce al existir una reacción entre los iones hidroxilos (OH-) de los hidróxidos de sodio y potasio presentes en el cemento y los componentes silíceos reactivos de los agregados. Estos iones (OH-) quiebran la estructura del sílice de los agregados y por la diferencia de carga en los iones, se permite la absorción de los iones alcalinos, generando luego la constitución de un gel silicio-alcalino, mismo que torna expansivo al absorber agua en presencia del calcio, generando un nuevo elemento químico, el hidróxido de calcio en forma cristalizada que ejercen presión en las paredes del concreto (Silvia Palazzi, 2008). Se produce el proceso reactivo, así:

#### **Proceso 1**

Sílice (SiO<sub>2</sub>) + Álcali (2NaOH) + Agua (H<sub>2</sub>O)  Gel álcali-sílice (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O)

## **Proceso 2**

El gel producto de la reacción + agua  Expansión del hormigón

Rol del calcio: El calcio no participa al inicio en la reacción, pero su presencia es determinante para que el resultado de la reacción química genere o no una resultante expansiva en el concreto. Una baja concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  produce un gel no expansivo, pero cuando la cantidad de Ca esta presenta de manera saturada permite la creación de un gel expansivo (Silvia Palazzi, 2008).

El óxido de sodio equivalente ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O}$ ), es utilizado por convección para indicar el contenido en el álcalis del cemento Portland, siendo normalmente utilizado, como forma de mitigar la RAS a valores inferiores al 0,6% (ASTM C150-02, 2003), aunque varios autores (Stievenard-Gireaud, 1987; Prince y Perami, 1993) recomiendan limites inferiores.

Las recomendaciones más actuales recomiendan que el control del contenido en  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  del hormigón, sea igual a la suma del contenido del  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  de sus constituyentes, con el límite de  $3\text{kg/m}^3$ .

### **CAUSAS DEL PORQUE SE PRODUCE.-**

Al existir dos modelos de reactividad química las causas son determinadas por los modelos que se aplican, así:

En el modelo topo químico la reacción es descrita como que se efectúa en la superficie de los áridos reactivos, sin que necesariamente exista un traslado de especies reactivas del árido para la solución.

En el modelo de disolución – precipitación la reacción es desarrollada en la solución intersticial después del cambio iónico de las diversas especies reactivas.

Las teorías de la formación del gel sílice-alkalino y de la expansividad están encuadradas hoy, en estos dos modelos. La expansividad del gel formado por el desarrollo de la RAS provoca la degradación del hormigón a través de diversos efectos mecánicos tanto en el material como en la estructura generando que se acentúen el surgimiento de:

Fisuras, Exudaciones, Eflorescencias, Pop-outs, Descamaciones y Expansión de la Estructura.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE HORMIGÓN ALIVIANADO

#### 3.1 Introducción

Este capítulo trata sobre la manera de cómo se encontró la dosificación, que no es más que las proporciones adecuadas para realizar el hormigón liviano. Este proceso es de gran importancia pues su resultado final nos dará el diseño de hormigón liviano con el que se trabajará en los paneles, el cual debe presentar las características deseadas para el proyecto mismas que dependen de los agregados que la conforman. Existen diversos métodos de dosificación, sin embargo no todos los métodos son válidos para realizar la dosificación que se desea con agregados livianos ya que su peso específico no es mayor que uno.

Con las proporciones adecuadas de los componentes del hormigón liviano se logrará cumplir la resistencia, durabilidad, comportamiento, trabajabilidad y otras propiedades que se necesita obtener para cumplir con el objeto del proyecto.

Para realizar dicho proceso de dosificación utilizaremos las recomendaciones del Método del ACI comité 213R (1986), y recomendaciones de proyectos realizados sobre hormigón liviano, proyectos como Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, Tom Holm (2001) Lightweight Concrete and Aggregate, Special concretes of Sidney Mindess Concrete, entre otros.

La mezcla o dosificación que se aplicó debe cumplir una resistencia mínima de  $180 \text{ kg/cm}^2$ , según se recomienda en el código de la construcción NEC-11.

Para alcanzar este objetivo se realizaron aproximadamente 52 cilindros de los cuales se trabajó con dos tipos de piedra pómez de diferentes sectores de la provincia de Cotopaxi.

De donde 36 cilindros estuvieron conformadas con la primera piedra analizada en este proyecto la cual denominamos piedra pómez blanca, misma que no nos dio los resultados requeridos, para lo que se decide ensayar 6 cilindros de roca pómez blanca con un porcentaje de grava, la cual tampoco cumplió los resultados requeridos y hasta se incrementó su peso, razón por la que se llegó a la conclusión de buscar otra piedra con características similares, es decir que sean de peso liviano pero con una resistencia mayor, para lo cual se moldearon 12 cilindros con la roca denominada Chasqui blanco, los cuales alcanzaron la resistencia que requiere el proyecto.

Al lograr la resistencia se puede continuar con la determinación del módulo de elasticidad.

### **3.2 Dosificación para muestra de prueba**

Después de analizar los parámetros que nos expone el método del ACI 211, se llega a la conclusión de que no se puede aplicar este método ya que éste es solo para hormigones de peso normal y denso.

Para realizar el diseño de la mezcla, aplicaremos las recomendaciones que nos expone ACI 211.2 y ACI 213R, pero antes se dará una pequeña introducción de teoría sobre el hormigón liviano y del porque no se puede aplicar el método de volumen absoluto del ACI.

Para el uso de hormigón liviano con propósitos no estructurales el ACI comité 213 realiza tres divisiones fundamentados en la fuerza y la unidad de peso: baja densidad, baja fuerza, hormigón usado para aislamiento; fuerza moderada en hormigón liviano usado para el bloque de hormigón y otras aplicaciones donde algo de fuerza útil es deseable, hormigón liviano estructural. Ver Tabla 11.

**Tabla 11.**  
**Clasificación de hormigón liviano**

	Hormigón Aislante			Hormigón Fuerza-Moderada		Hormigón Estructural		
Unidad de peso (kg/m <sup>3</sup> )	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Rango fuerza	(0,7 - 2 Mpa)			(7 - 14 Mpa)		(17 - 41 Mpa)		
Tipo de agregados	Vermiculite			Pumices		Arena volcánica		
		Perlite			Scoria			
						Arcilla o pizarras expandidas		
						Espuma de Scoria		
Otros hormigones livianos	Hormigón celular			hormigón liviano		peso normal		

Fuente: Tomado de figura 21.1, Special concretes, Sidney Mindess concrete  
Pág.582

Hay varios tipos de agregados livianos. Sin embargo, el hormigón de peso liviano también se puede conseguir por otros medios. Bajas densidades se alcanzan mediante una alta porosidad dentro del hormigón, y esta porosidad no tiene que ser limitada por el agregado. El aireado (espumado o celular) de concreto tiene una distribución uniforme de los vacíos de aire en toda la pasta o mortero, mientras que los hormigones livianos compactados también contienen grandes e irregulares huecos. En la Tabla 12 se resume los distintos tipos de hormigones livianos.

**Tabla 12.**  
**Propiedades y Diferentes Tipos de hormigón liviano.**

<i>Tipo de hormigón liviano</i>	<i>Tipo de agregado</i>	<i>Densidad de agregados (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Resistencia a la compresión a los 28 días (Mpa)</i>	<i>Densidad del hormigón (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Hormigón celular	-	-	1,4 - 4,8	400 - 600
Parcialmente compactado	Expansiva Vermiculita y Perlita	64 - 240	0,5 - 3,4	400 - 1120
	Pómez	480 - 880	1,4 - 3,8	720 - 1120
	Espuma de Escoria	480 - 960	1,4 - 5,5	960 - 1520
	Pulverizado Sinterizado - Ceniza de combustible	640 - 960	2,8 - 6,9	1120 - 1280
	Arcilla o Pizarra expandida	560 - 1040	5,5 - 8,3	960 - 1200
	Clinker	720 - 1040	2,1 - 6,9	720 - 1520
hormigón estructural ligero	agregados Livianos	480 - 1040	2,8 - 6,9	880 - 1200
	Espuma de Escoria	480 - 960	10,3 - 41,4	1680 - 2080
agregado	Pulverizado Sinterizado - Ceniza de combustible	680 - 960	13,8 - 41,4	1360 - 1760
hormigón	Arcilla o Pizarra expandida	560 - 1040	13,8 - 41,4	1360 - 1840

Fuente: Tomado de tabla 21.1, Special concretes, Sídney Mindess concrete Pág.583

El agregado de Clinker se desarrolló antes de la primera guerra mundial y se utiliza sobre todo en el bloque liviano, y espuma de escoria se produce comercialmente a finales de 1920. Desde la década de 1950, el Hormigón liviano se ha utilizado en muchos edificios de varios pisos y otras estructuras grandes.

Algunos de los ejemplos más notables son el Busch Memorial Stadium, St. Louis; los Apartamentos Watergate, Washington, D.C; las Torres Lake Point, Chicago; y Salón de Actos de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (Figura 27).



Figura 27: Salón de Actos de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

Fuente: Image taken by Dori, uploaded on 10 December 2004

### 3.2.1 Hormigón liviano estructural

El hormigón liviano estructural se lo realiza tanto con agregados gruesos y finos de peso ligero, pero es común que se reemplace en los hormigones de mayor resistencia toda o parte de la fracción fina con peso normal de arena.

Al realizar este tipo de reemplazo se aumentará el peso del hormigón liviano, se estima un valor aproximado de  $320\text{kg/m}^3$ . Aunque los áridos ligeros sintéticos son generalmente más caros que los agregados normales, el aumento de la fuerza - peso ofrece suficiente ahorro general en los materiales, a través de la reducción de las cargas de peso muerto que compensa el costo total más alto por metro cúbico de hormigón. Ya que al tener menores cargas totales significan reducir las secciones de apoyo, fundaciones, y refuerzo.

### 3.2.2 Propiedades de Ingeniería

Las propiedades de ingeniería de hormigones livianos dependen en gran medida del material usado en el diseño de mezcla. Como se observa en la Tabla 12, con algunos agregados livianos hay dificultad en la obtención de las resistencias deseadas en el hormigón y pueden llegar hasta 41 MPa, a pesar de la alta porosidad y la debilidad inherente de los áridos. Existe una relación entre la fuerza y densidad para el hormigón de peso liviano, que

depende en particular del agregado utilizado y la cantidad de arena de peso normal.

Se requieren bajas relaciones de agua cemento (a/c) para lograr mayores resistencias, pero la alta absorción de la mayoría de los áridos ligeros hace que sea difícil calcular esta proporción con exactitud.

Pero como se conoce se debe intentar lograr la más baja proporción de agua - cemento (a/c) en la pasta para obtener mayores resistencias significa que se necesitan contenidos de cemento altos para hormigones livianos estructurales en comparación con hormigones de peso normal de la misma resistencia (ver Tabla 13)

Además, las características físicas de los agregados livianos son tales que se requiere a menudo más agua para proporcionar una buena trabajabilidad.

La fractura del hormigón de peso liviano es algo diferente de la del hormigón ordinario. La falla ocurre comúnmente al través en lugar de alrededor del agregado.

En los hormigones normales los agregados y la pasta de cemento son casi iguales en resistencia, mientras que en los hormigones más débiles, la resistencia de la pasta puede superar a la del agregado.

Se ha encontrado que la resistencia del hormigón de peso liviano depende de la fracción de volumen del peso del agregado liviano. Los áridos livianos tienen bajos módulos de elasticidad debido a su alta porosidad.

En consecuencia, el módulo elástico del hormigón liviano será más bajo que el del hormigón de peso normal. Generalmente se encuentra en el rango de valores de 100000 a 170000 kg/cm<sup>2</sup>, es decir aproximadamente de un tercio a dos tercios del hormigón de peso normal. El valor exacto depende de la naturaleza del agregado usado, y por lo tanto el rango de variación es algo mayor para una resistencia a la compresión final dada.

El menor módulo de elasticidad de los agregados livianos también ofrece menos restricciones a las deformaciones dependientes del tiempo tales como la contracción por secado y fluencia. El promedio, de fluencia o de contracción del hormigón liviano tienden a ser mayor que la del hormigón de peso normal.

Se debe recordar que hay una considerable variación en fluencia y retracción entre los hormigones de una densidad dada, la magnitud está dada en función del contenido de cemento, la relación agua - cemento (a/c) de la pasta, módulo de elasticidad del agregado, y la tasa de pérdida de humedad.

**Tabla 13.**  
**Contenido de cemento en hormigón liviano y hormigón normal.**

<i>RESISTENCIA</i>		
<i>DE</i>	<i>Contenido de cemento kg/m<sup>3</sup></i>	
<i>COMPRESIÓN</i>		
<i>Mpa</i>	<i>Hormigón Liviano</i>	<i>hormigón normal</i>
17	255 - 420	210 - 330
21	285 - 450	210 - 360
28	330 - 510	240 - 420
35	390 - 570	300 - 450

Fuente: Tomado de tabla 21.1, Special concretes, Sidney Mindess concrete Pág.585

### 3.3 Diseño de mezcla de hormigón liviano

Las propiedades particulares de los agregados livianos generan problemas especiales en el cálculo de las proporciones para el hormigón liviano.

El método de volumen absoluto, que es la base del método de ACI de la dosificación del hormigón de peso normal, no puede ser utilizado para el hormigón de peso liviano.

Esto es debido a dos factores principales:

- 1.- Las variaciones en la gravedad específica.

## 2.- Cambios en el contenido de humedad

La gravedad específica de agregados de peso-normal es esencialmente independiente del tamaño de partícula. Así, cuando la curva granulométrica se determina sobre una base de peso (por análisis granulométrico), se puede convertir directamente en una base de volumen, ya que realmente son relaciones de volumen que son importantes en la dosificación.

Sin embargo, la constancia de la gravedad específica no se sostiene con agregados de peso ligero debido a que la cantidad de porosidad varía con el tamaño de partícula.

Las variaciones son particularmente marcadas en la fracción de agregado fino y significa que la curva granulométrica sobre una base de volumen que es diferente de una base de peso.

Es decir que para este caso el peso y volumen no tiene una relación directa que es en la que está basada la curva granulométrica. Se pudo comprobar que respecto a los valores indicados en la teoría, es necesario aumentar la cantidad de arena.

Debido a la absorción excesiva de muchos agregados de peso ligero (capacidad de absorción mayor 10%), la gravedad específica mayor también variará notablemente con el cambio de contenido de humedad. Además, la cantidad de absorción que se produce durante la mezcla no se determina fácilmente con precisión, y por lo tanto el cálculo de la relación agua-cemento no se puede utilizar como una base para la dosificación.

La cantidad de agua absorbida por el agregado depende tanto de su contenido de humedad inicial y el tiempo de exposición al agua en la pasta fresca. Por lo que es necesario adoptar un procedimiento de ensayo y error para el diseño de mezcla.

El ACI recomienda la práctica 211.2 que proporciona una guía general para la estimación de las proporciones para la primera mezcla y procedimientos para ajustar las cantidades para las mezclas posteriores.

Las recomendaciones deben ser necesariamente muy generales debido a la amplia gama de propiedades entre los agregados livianos.

El ACI recomienda hacer varias estimaciones en las cantidades donde el contenido de cemento se estima sobre la resistencia deseada, como se indica en la tabla 13. Se puede observar que estas estimaciones tienen límites muy amplios, y si la información precisa no está disponible, se necesitan una serie de mezclas de prueba a realizar para determinar el contenido óptimo de cemento.

La resistencia no se estima a partir de la relación agua/cemento, ya que la cantidad no está determinada. Se añade suficiente agua para proporcionar trabajabilidad, una adecuada colocación, consolidación, acabado sin segregación y consistente con los requisitos de resistencia requeridos. (Sídney, 2010)

Los requisitos de asentamiento para diferentes colocaciones son similares a aquellos para los hormigones de peso normal.

**Tabla 14.**  
**Estimación de cantidades de material para hormigón liviano.**

<i>Material</i>	<i>Requerimientos generales</i>
<i>Cemento</i>	250 - 420 kg/m <sup>3</sup> para 17 MPa 251 - 420 kg/m <sup>3</sup> para 21 MPa 252 - 420 kg/m <sup>3</sup> para 28 MPa 253 - 420 kg/m <sup>3</sup> para 35 MPa
<i>Agua</i>	Lo suficiente para obtener el asentamiento deseado: 180 - 300 kg/m <sup>3</sup>
<i>Aire introducido</i>	4 -8% con 19mm (3/4 in) tamaño máximo 5 -9% con 9,5mm (3/8 in) tamaño máximo
<i>Agregados</i>	1,04 - 1,19 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 40 - 60% Agregado fino

Fuente: Tomado de tabla 21.4, *Special concretes*, Sídney Mindess concrete Pág.590

El contenido de aire debe ser ligeramente mayor que para hormigón de peso normal debido a que el contenido de cemento generalmente es más alto y los tamaños máximos del agregado son por lo general más bajos. El contenido de aire debe estar en un intervalo de 5 a 9%.

El volumen total de los agregados necesarios se encuentra en el rango de 1,04 a 1,19  $\text{m}^3/\text{m}^3$  medida como la suma de los volúmenes no combinados de los agregados gruesos y finos los mismos que deben estar secos y sueltos, (esto será mayor que  $1\text{m}^3$  porque incluye el espacio que será ocupado por la pasta, así como algunos espacios adicionales de vacío debido a que los agregados no se compactan). El volumen exacto depende de la clasificación, la forma, la textura, porosidad de la superficie esta será menor con una buena gradación, forma bien redondeada, y baja porosidad en la superficie, pero también depende del contenido de cemento, de aire, y el agua necesaria.

El uso de arena de peso normal permite que la proporción de agregado liviano sea disminuida.

### **3.4 Dosificación para muestra de prueba $180\text{kg}/\text{cm}^2$**

Para determinar la mezcla de prueba deseada tomamos en cuenta tres propiedades importantes como densidad, trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Como ya hemos hablado los agregados livianos tienen un peso específico y rigidez menor que los áridos normales, lo que permite la variación en las propiedades del hormigón. La densidad del hormigón puede ser considerada como la propiedad fundamental, la misma que influye en otras propiedades como resistencia, rigidez, conductividad térmica, trabajabilidad entre otras, esta depende de la cantidad y densidad del agregado liviano.

La trabajabilidad depende principalmente de la cantidad de agua, granulometría del agregado y densidad del hormigón.

*“La resistencia de los hormigones con agregados livianos, depende, entre otras variables, de la resistencia propia y contenido del agregado liviano, del tipo de cemento y la relación agua/cemento de la pasta de cemento. En base a lo planteado anteriormente, se puede sostener que hormigón con agregado grueso liviano y arena de densidad normal puede ser modelado como un material de dos fases, una soportante constituida por mortero de peso normal y otra fase liviana formada por el árido de baja densidad. La densidad y resistencia mecánica del hormigón dependerá entonces de la densidad, resistencia y proporción de cada una de las fases”.*  
(Videla C., 2000)

Para encontrar las proporciones de la mezcla de diseño se realizaron varios ensayos con dos patrones de agregado liviano la que se denominan durante el proyecto como piedra pómez blanca obtenida de la zona de Latacunga, sector San Felipe y la segunda Chasqui blanca, pues también existe el Chasqui negro el cual no es muy comercial a pesar de tener mejor resistencia, la falta de explotación para esta roca se da porque los constructores o mineros no la usan en la construcción. Esta se obtuvo de la zona Cotopaxi, sector Lasso.

Las cantidades de cemento, agregado liviano, arena de peso normal y agua se tomaron de las recomendaciones de la Tabla 14, las mismas que fueron probadas variando las proporciones como se indica en la siguiente tabla.

Si suponemos que el volumen es proporcional al peso como apreciamos en la tabla 15, se tiene que el % de agregado fino es casi igual que el del agregado grueso liviano, pero en laboratorio se comprueba que no es así, que la arena debe ocupar aproximadamente entre el 40 y 60% del total de la mezcla de hormigón liviano en volumen.

Tabla 15.

Proporciones de diseño para piedra Pómez blanca más arena de peso normal.

PRIMERA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,04	2,43	36,9	2,12	32,17	1,8	62,81
SEGUNDA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,42	2,52	32,23	2,88	36,83	2,5	77,89
TERCERA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,67	3,18	36,85	2,78	32,21	2,2	84,59
CUARTA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,54	3,023	36,85	2,64	32,18	1,55	87,66
QUINTA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,61	3,11	36,89	2,71	32,15	1,8	78,98
SEXTA MEZCLA	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO						
	CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		A/C	RESISTENCIA
	Kg	Kg	%	Kg	%	Litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,75	3,27	36,82	2,86	32,21	1,9	76,23

Al realizar los ensayos con las proporciones que se presentan en la Tabla 15 no se logra los resultados requeridos para cumplir el objeto de este proyecto para lo cual se decide ensayar nuevas mezclas que contengan: Cemento, Piedra Pómez blanca más un porcentaje del 30% de Grava (ripi) de peso normal, arena de peso normal y agua. Se tomó el porcentaje del

30% debido a que si aumentamos este valor el peso del hormigón liviano incrementara y ese no es nuestro objetivo.

Con el objeto de mantener las proporciones y encontrar el 30% de grava necesario para cubrir el volumen del cilindro requerido, se utilizó la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

Donde,

$\gamma$  = Peso específico del material Kg/m<sup>3</sup>

$m$  = Peso del material en Kg

$V$  = Volumen que ocupa el material en m<sup>3</sup>

Como podemos ver en los requerimientos de la expresión es necesario conocer el peso específico tanto de la grava como de la piedra pómez, las proporciones que se necesitan son las que se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.

Proporciones de diseño con piedra Pómez Blanca más grava de peso normal.

1 PÓMEZ BLANCA + 30% DE RIPIO	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO					
	CEMENTO	FINO	PÓMEZ	GRAVA	A/C	RESISTENCIA
	kg	Kg	Kg	Kg	litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,67	4	2,22	2,48	1,75	74,26
2 PÓMEZ BLANCA + 30% DE RIPIO	PESO EN kg PARA 1 CILINDRO					
	CEMENTO	FINO	PÓMEZ	GRAVA	A/C	RESISTENCIA
	kg	Kg	Kg	Kg	litros	kg/cm <sup>2</sup>
	2,63	4,73	1,84	2	1,75	87,94

Al realizar las nuevas muestras podemos ver que no se obtienen los resultados requeridos adicionalmente se aprecia un incremento al peso por

lo cual, se llega a la conclusión de buscar una nueva piedra Pómez con mejores características.

Para lo cual tomamos la piedra Chasqui blanca, cuyo nombre se le atribuye por el lugar de donde procede.

**Tabla 17.**  
**Proporciones de diseño con Chasqui.**

*FECHA DE VACIADO: 13/11/2014*

<i>ASENTAMIENTO: 3,5cm</i>		<i>TEMPERATURA: 20 °C</i>			
<b>CHASQUI BLANCA</b>	<b>PESO EN kg PARA 1 CILINDRO</b>				
	<b>CEMENTO</b>	<b>FINO</b>	<b>GRUESO</b>	<b>A/C</b>	<b>RESISTENCIA</b>
	<b>Kg</b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Litros</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>
	3,8	4,67	4,18	1,9	187,2

### **3.5 Preparación del hormigón de prueba**

Como ya se ha mencionado varias veces en el presente proyecto ha sido necesario considerar las propiedades de los agregados que se utilizó, sobre la densidad del agregado liviano, la absorción y condiciones de humedad en la que estaba el momento de realizar la mezcla, puesto que como ya se ha dicho la relación agua cemento es una de las características fundamentales que interviene en la resistencia del hormigón a prepararse.

Para la elaboración de las muestras se trató de seguir todas las recomendaciones que dan otras investigaciones previas a este proyecto al momento de realizar el espécimen de prueba.

Al momento de preparar los especímenes se procedió en la siguiente Secuencia:

- Se colocó el agregado grueso liviano.
- Dos tercios (2/3) de agua.
- Se dejó girar aproximadamente uno o dos minutos.
- Se colca el cemento.
- Se deja girar aproximadamente 5 minutos, para que se mezcle.
- Se coloca todo el agregado fino

- La cantidad restante de agua.
- Se deja girar de 8 a 10 minutos hasta tener una consistencia adecuada.

Se procede a determinar la consistencia de la mezcla.

### **3.5.1 CONSISTENCIA**

Es un parámetro fundamental en el hormigón fresco. Se relaciona con el estado de fluidez de la mezcla y abarca un rango, desde las más secas hasta las más fluidas; la consistencia es una propiedad del hormigón fresco que determina la manejabilidad (capacidad de deformarse), permitiendo que sea colocado y compactado adecuadamente. Los principales factores que afectan la consistencia son:

- Agua de amasado
- Tamaño máximo del agregado
- Granulometría
- Forma del agregado

El contenido de agua en la mezcla, mientras más agua contenga, tiende a ser más fluida, pero no debe agregarse agua en exceso para hacer más trabajable la mezcla, llevándola a asentamientos en el cono de Abrams superiores a 15 cm. Esto no solo facilita la segregación de la mezcla, sino que, una vez colocado el hormigón, el agua en exceso busca escapar formando una gran cantidad de canales capilares que dejan las estructuras débiles, porosas y poco durables.

La granulometría del agregado, cuanto más fina sea la graduación más rígida será la mezcla, y el área superficial de los agregados aumentará requiriendo mayor pasta para revestirlas, y por ende mayor cantidad de agua para una misma trabajabilidad.

La forma y características superficiales de los agregados, las partículas angulares y las superficies ásperas requieren una mayor cantidad de pasta que la necesaria para partículas lisas y bien redondeadas, y también

requieren mayor cantidad de agua para la misma trabajabilidad que las lisas y bien redondeadas. (Enriquez, 2012)

Para determinar este parámetro se realizara mediante el ensayo del cono de Abrams según la norma (ASTM C-143).

**Ensayo del cono de Abrams:** es importante ya que se revisa en cada muestra a tomar la consistencia. El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del hormigón, un hormigón de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos esbeltos de hormigón y los elementos del hormigón fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, para tener facilidad en su colocación.

Es decir se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Para lograr este tipo de trabajabilidad actualmente se usa aditivos súper fluidificantes para adicionar fluidez al hormigón. (Vargas, 2012).

Procedimiento para la determinación del Asentamiento en hormigón:

1. Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida, húmeda y no absorbente.
2. El operador debe sostener firmemente el molde en su lugar durante el llenado y la limpieza del perímetro, parándose sobre los dos estribos del cono.
3. Inmediatamente después de colado el hormigón llenar el molde en tres capas, cada capa debe ocupar aproximadamente un tercio del volumen del molde. Mover el cucharón siguiendo el perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón con una mínima segregación.
4. Compactar cada capa con 25 golpes utilizando la varilla de compactación. Distribuir de manera uniforme los golpes sobre la sección transversal de cada capa. Para la capa inferior, es

necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y luego continuar con golpes verticales en espiral hacia el centro. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. Compactar la segunda capa y la capa superior, cada una en toda su profundidad, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa anterior es decir de aproximadamente 1 pulgada.

- Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.

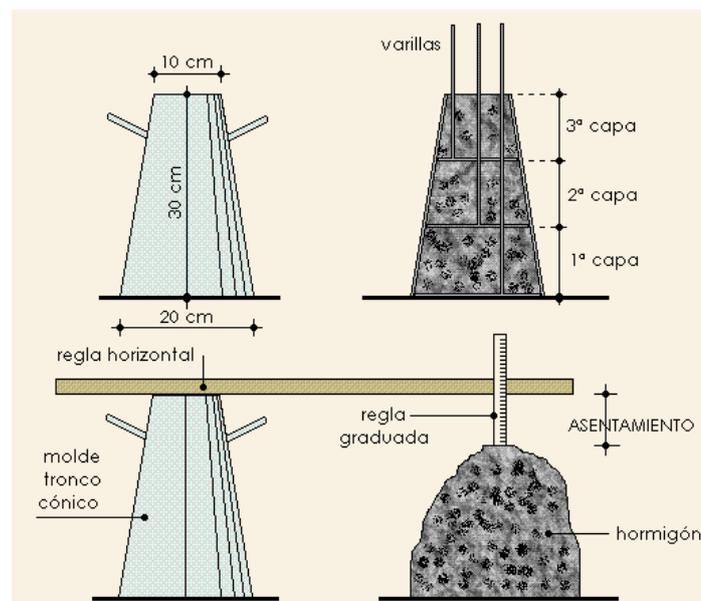


Figura 28: Medidas del asentamiento.

Fuente: (lorenzoservidor, 2006)

- Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde para evitar interferencias con el movimiento de asentamiento del hormigón. De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde en su altura de 300 mm en  $5s \pm 2s$  con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión. Completar todo

el ensayo desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde sin interrupción dentro de un periodo de 2 ½ minutos.

7. El descenso, denominado “asiento” permite clasificar la consistencia de acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 18.

**Tabla 18.**

**Consistencia Asentamiento y trabajabilidad del Cono de Abrams.**

Consistencia	Asentamiento en el cono de Abrams (cm.)	Trabajabilidad
Seca	0 a 2	Muy baja
Plástica	3 a 5	Baja
Blanda	6 a 9	Media
Fluida	10 a 15	Alta
Líquida	> 16	Muy Alta

Fuente: (ingenieriacivil21, 2011)

8. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.



Figura 29: Fotografía del Ensayo cono de Abram.

**Cantidad de agua de amasado:** El agua necesaria en una mezcla de hormigón liviano se compone de dos partes: el agua eficaz y el agua de los poros de los granos. El agua eficaz, es el agua que se encuentra en la pasta

de cemento o en el mortero. Influye esencialmente en la docilidad y en la resistencia del hormigón. Su cantidad depende principalmente del diámetro máximo de los granos, de la composición granulométrica del árido, de la forma de los granos y de las condiciones de superficie de los áridos, y, en menor medida, del contenido de cemento. Son válidas las mismas relaciones y reglas que rigen en el hormigón normal con áridos compactos. Oclusiones de aire, cuando se encuentran finamente distribuidas, mejoran la docilidad, pero disminuyen la resistencia en un valor similar al valor en que lo reduciría una misma cantidad de agua. Contrariamente a la mayoría de los áridos normales, los áridos livianos absorben una notable cantidad de agua. Esta parte se denomina agua de los poros de los granos. La absorción de agua depende, además de la permeabilidad de la superficie de los granos del árido y del tipo y cantidad de poros de los granos, y también del contenido de humedad de los áridos antes de su empleo, de la viscosidad de la pasta de cemento y del tiempo que dura el amasado y vertido. No puede decirse exactamente cuánta agua se encuentra realmente en el interior de los granos del árido cuando empieza a notarse el fraguado del hormigón. La cantidad de agua de los poros de los granos puede averiguarse con cierta aproximación si se conocen las proporciones de la mezcla y la densidad aparente del hormigón antes del fraguado, mediante un cálculo basado en un supuesto volumen de oclusiones.

También es posible una determinación aproximada con ayuda del valor de la absorción de agua por parte de los áridos durante media hora.

Manteniéndose idénticas las restantes condiciones (tipo, resistencia, rigidez y composición granulométrica del árido), la resistencia del hormigón y muchas otras propiedades del mismo quedan determinadas por la calidad de la pasta de cemento. (CIATH CÓRDOBA)

**Almacenamiento en el tanque de curado:** Las probetas, una vez desencofradas, deberán pasar por un proceso de curado correcto, debido a que este factor influye notablemente en los resultados finales de resistencia a compresión simple.

Para un buen curado se necesitan dos condiciones: humedad y temperatura adecuada, la durabilidad, resistencia mecánica, impermeabilidad y demás propiedades del hormigón dependen de que estas condiciones sean las óptimas para permitir un proceso adecuado de hidratación en el hormigón durante el proceso de fraguado. El curado influye notablemente en resistencias a tempranas edades y decae su eficiencia mientras mayor es el tiempo que transcurre desde el momento de fabricación.

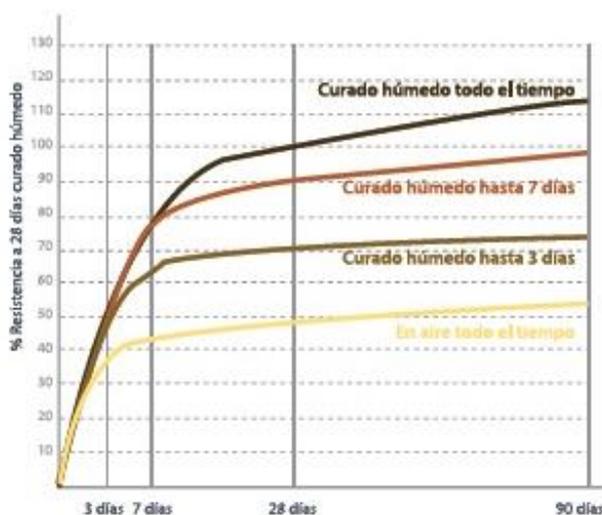


Figura 30: Influencia del tiempo de curado húmedo en la resistencia.

Fuente: (ingenierocivilinfo, 2011)

Como se puede apreciar en la Ilustración 30 cuando se interrumpe el curado, la resistencia de la mezcla prosigue su aumento pero de una manera corta y luego se detiene, si el curado se interrumpe y se reinicia se consigue nuevamente un aumento de la resistencia pero no el máximo, por lo tanto los mejores resultados se obtienen mediante un curado continuo.

Este proceso también nos ayuda a saber si tubo la suficiente humedad durante el proceso de fraguado, de presentarse este problema se producirán en el hormigón agrietamientos, debido a la retracción a causa de falta de hidratación continua, para este caso se tendrá también resistencias bajas.

Las temperaturas bajas tampoco favorecen al hormigón, debido a que el fraguado es un proceso exotérmico, si el agua de hidratación interna se encuentra congelada el proceso se desarrollara de manera inadecuada, por lo que el aumento de resistencia a edades tempranas se retrasa considerablemente si la temperatura se encuentran por debajo de los 10°C.

Una vez obtenido el asentamiento procedemos a realizar el moldeo de cilindros aplicando la norma NTE INEN (1576, 2011):

1. Los moldes deben ser previamente ajustados y cubiertos por una fina capa de aceite mineral o material desmoldante no reactivo.



Figura 31: Moldes cilíndricos.

2. La norma indica que se debe verter el hormigón en los moldes cilíndricos en 3 capas iguales, se compacta cada capa con 25 golpes distribuyendo de manera uniforme sobre la sección transversal, para este efecto se usa la varilla de compactación. Pero en nuestro caso aplicamos 35 golpes ya que la compactación es muy importante.
3. Luego que cada capa ha sido compactada, se golpea el exterior de 10 a 15 veces con un mazo (cabeza de caucho con una masa de 0.6 Kg  $\pm$  0.2Kg). El propósito de estos golpes es cerrar los agujeros dejados por la varilla y eliminar el aire atrapado.
4. Se engrasan los cilindros procurando que su terminado no presente depresiones mayores a 3 mm. Se los coloca en el lugar destinado para el curado y al día siguiente se desencofra e instala en la cámara de curado.



Figura 32: Fotografía de la toma de cilindros.



Figura 33: Fotografía de los cilindros para ser desencofrados.

### 3.5.2 Ensayo de resistencia a la compresión



Figura 34: Fotografía de probetas de hormigón para compresión.

Fuente: (Romo Proaño)

Para determinar las propiedades mecánicas del hormigón, se aplicara la resistencia a la compresión simple; se ensayaron probetas cilíndricas normalizadas de 15cm de diámetro por 30 cm de altura, bajo una velocidad de carga rápida, hasta la rotura. El procedimiento se describe en detalle en las normas (ASTM-C192 M-95) y (C-39 -96).

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de hormigón. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días.



Figura 35: Fotografía de probetas a ensayar.



Figura 36: Fotografía del valor de la carga registrada.



Figura 37: Fotografía de la máquina Universal con probeta.



Figura 38: Fotografía de probeta ensayada.

### **3.5.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión**

A continuación se muestra los resultados de la resistencia a la compresión, obtenidos:



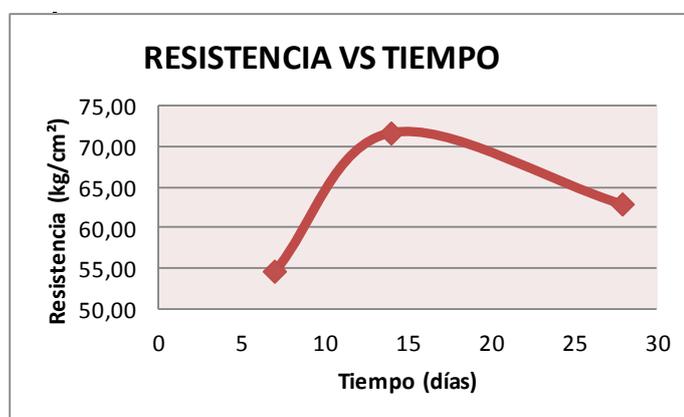
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **17/07/2014** ENSAYO No: **1**  
 ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE**  
*TEMPERATURA: 20,5 °C*

RELACIÓN CEMENTO: 350Kg

<i>PESO EN kg PARA 1 CILINDRO</i>			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	A/C
Kg	Kg	Kg	Litros
2,04	2,43	2,12	1,8

Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
1814,5	9620	53,02	1,46
1800,27	1010,2	56,11	1,53
1781,28	12923	73,13	1,53
1790,78	12568	70,18	1,51
1762,39	12213	69,11	1.54
1781,28	9987	56,51	1,5



**OBSERACIONES:** Para realizar este ensayo tuvimos que aplicar las consideraciones de la Tabla 14. La novedad al ensayar esta probetas es que a los 28 días hubo un descenso en su resistencia la cual se dio por una mala compactación al momento de tomar las muestras, por lo que se decide verificar la granulometría del agregado.



### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **21/07/2014** ENSAYO No: **2**

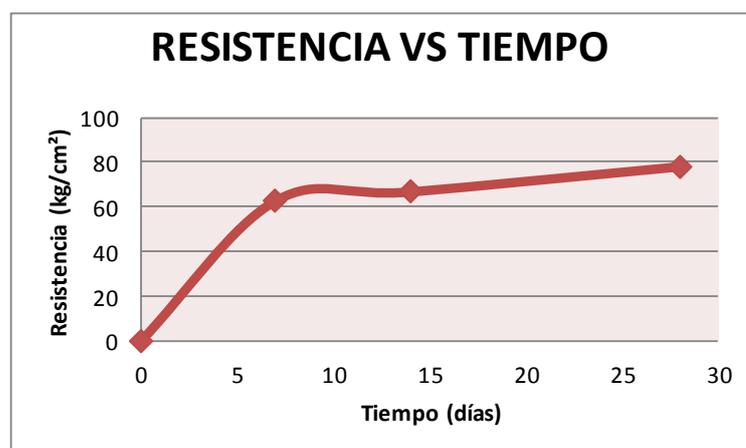
ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE**

**ASENTAMIENTO: 3cm** **TEMPERATURA: 20 °C**

**RELACIÓN CEMENTO: 424Kg**

<b>PESO EN kg PARA 1 CILINDRO</b>			
<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>A/C</b>
<b>Kg</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg</b>	<b>Litros</b>
2,42	2,52	2,88	2,5

<b>Días</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>peso volumétrico (g/cm<sup>3</sup>)</b>
7	1771,48	10434	60,65	1,54
7	1771,86	11433	64,70	1,56
14	1771,86	11559	65,41	1,53
14	1824,12	12475	67,85	1,5
28	1795,53	11601	67,85	1,48
28	1767,14	15540	87,94	1,55



**OBSERVACIONES:** En este ensayo se varió un poco las proporciones de pómez y arena de peso normal, con respecto al ensayo inicial, con lo cual tuvimos un incremento en el agua. Sus resistencia tuvieron un incremento pero no se alcanza la resistencia requerida.



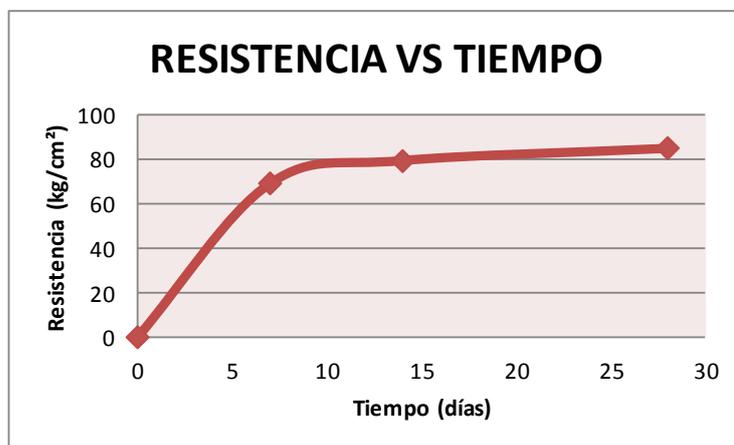
## ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **22/07/2014** ENSAYO No: **3**  
 ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
 ASENTAMIENTO: **4,5cm**

RELACIÓN CEMENTO: 420Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	A/C
Kg	Kg	Kg	Litros
2,67	3,18	2,78	2,2

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1792,21	12436	69,45	1,48
7	1831,81	12551	68,27	1,53
14	1805	14485	79,55	1,55
14	1814,5	14470	78,70	1,53
28	1805	10999	80,62	1,53
28	1809,81	16073	88,57	1,54



**OBSERVACIONES:** Se vuelve a realizar las muestras variando la proporción de cemento pero los resultados se mantienen parecidos y no se alcanza la resistencia deseada.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

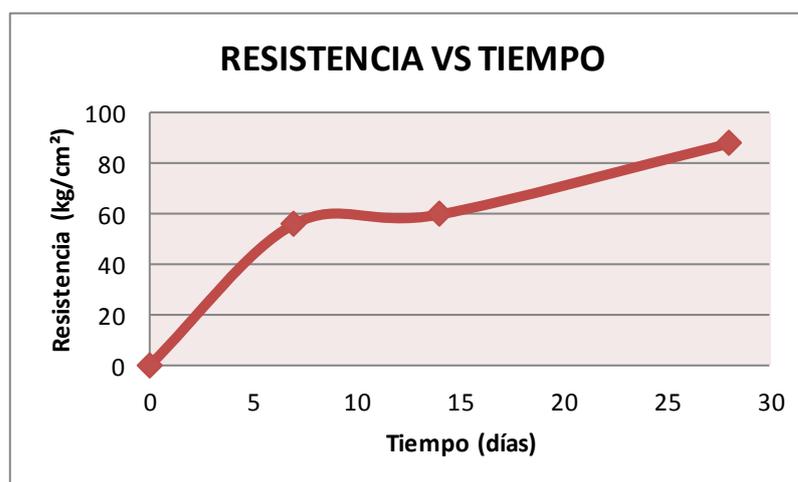
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **23/07/2014** ENSAYO No: **4**  
ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
ASENTAMIENTO: **5cm**

RELACIÓN CEMENTO: 400Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	A/C
Kg	Kg	Kg	Litros
2,54	3,02	2,64	1,55

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1790,79	9951	55,57	1,46
7	1786,04	10071	56,20	1,53
14	1781,29	12561	59,34	1,53
14	1800,26	10574	59,84	1,51
28	1762,39	16632	91,66	1.54
28	1786,04	14908	83,65	1,5



**OBSERVACIONES:** En este ensayo no se tuvo problemas en la elaboración de las muestras, se aplicó la teoría recomendada para hormigones livianos. Se realizó un mejoramiento de granulometría por lo cual se tiene incremento en la resistencia pero no alcanza el requerido.



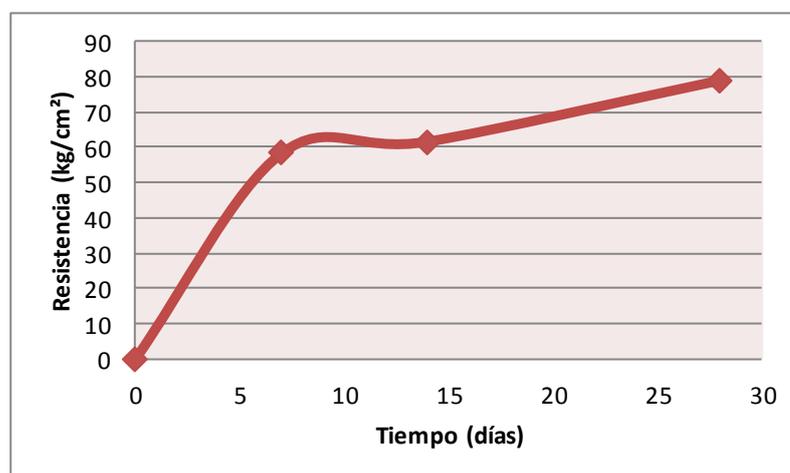
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **22/07/2014** ENSAYO No: **5**  
 ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
 ASENTAMIENTO: **4cm**

RELACIÓN CEMENTO: 410Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	A/C
Kg	Kg	Kg	Litros
2,61	3,11	2,71	1,8

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1805,03	10559	58,73	1,52
7	1824,12	10637	57,86	1,56
14	1771,86	10565	59,78	1,54
14	1790,79	11364	63,46	1,55
28	1800,26	13303	77,23	1,54
28	1781,3	14455	80,72	1,57



**OBSERVACIONES:** En este ensayo se mejoró la granulometría de la piedra pómez, se lavó el agregado para eliminar impurezas, se secó el material al horno. La resistencia si se incrementa desde los 7 hasta los 28 días pero no es alcanza la requerida.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

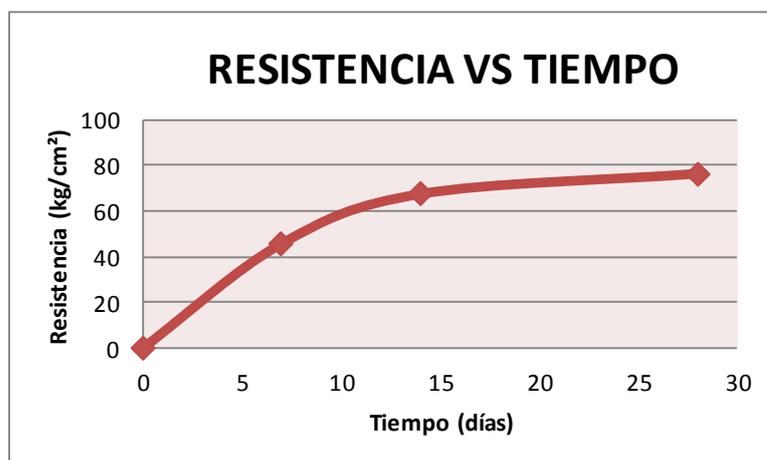
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **22/07/2014** ENSAYO No: **6**  
ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
ASENTAMIENTO: **3,5cm**

RELACIÓN CEMENTO: 450Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	A/C
Kg	Kg	Kg	Litros
2,75	3,27	2,86	1,9

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1805,03	8746	48,20	1,47
7	1819,31	8735	43,08	1,42
14	1795,53	13161	73,5	1,48
14	1805,03	11097	61,16	1,47
28	1790,79	14423	80,54	1,53
28	1786,04	12880	71,92	1,57



**OBSERVACIONES:** Para esta muestra se aumentó la proporción de cemento, se sigue mejorando la granulometría, se saturó la piedra pómez lo que provocó una alteración en la relación agua cemento, el crecimiento de la resistencia entre los 7 y 28 días sí se dio pero no se logró la resistencia requerida para este proyecto.



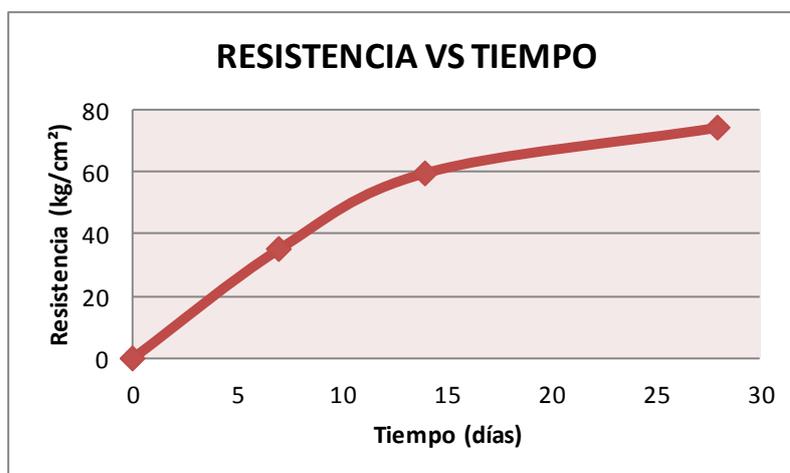
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **22/07/2014** ENSAYO No: **7**  
ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
ASENTAMIENTO: **5cm**

RELACIÓN CEMENTO: 450Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO				
CEMENTO	FINO	PÓMEZ	GRAVA	A/C
kg	Kg	Kg	Kg	litros
2,67	4	2,22	2,48	1,75

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1790,79	6289	35,12	1,7
14	1767,1	10538	59,63	1,7
28	1814,6	13298	74,26	1,7



**OBSERVACIONES:** Para esta muestra se incrementó grava lo que provoca un incremento en el peso del hormigón pero como no se tomó en cuenta la relación agua cemento no se logró una buena resistencia.



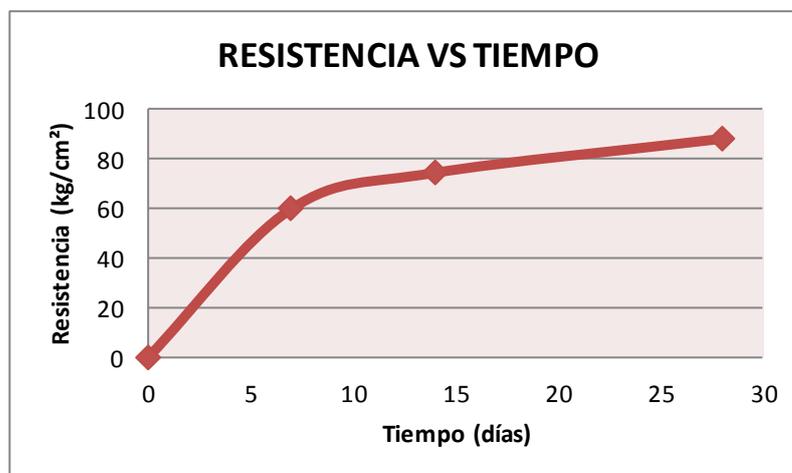
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **22/07/2014** ENSAYO No: **8**  
 ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
 ASENTAMIENTO: **4,5cm**

RELACIÓN CEMENTO: 450Kg

PESO EN kg PARA 1 CILINDRO				
CEMENTO	FINO	PÓMEZ	GRAVA	A/C
kg	Kg	Kg	Kg	litros
2,63	4,73	1,84	2	1,75

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1795,53	10712	59,82	1,67
14	1781,3	13298	74,26	1,69
28	1781,28	15540	87,94	1,73



**OBSERVACIONES:** Para esta muestra se incrementó grava y se mantiene una buena granulometría, lo que provoca un incremento en el peso del hormigón pero como no se tomó en cuenta la relación agua cemento no se logró una buena resistencia.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

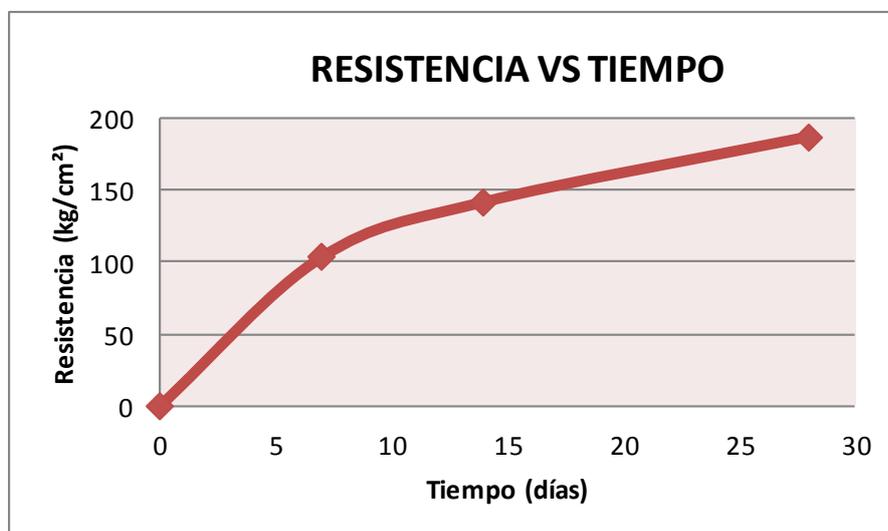
### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

FECHA: **13/11/2014** ENSAYO No **9**  
ORIGEN: **LATACUNGA, SECTOR SAN FELIPE** TEMPERATURA: **20 °C**  
ASENTAMIENTO: **3,5cm**

RELACION CEMENTO: 395Kg

<b>PESO EN kg PARA 1 CILINDRO</b>			
CEMENTO	FINO	GRUESO	A/C
Kg	kg	kg	Litros
3,8	4,67	4,18	1,9

Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
7	1805,03	18560	103,59	1,79
14	1790,79	25420	141,87	1,86
28	1771,86	33170	187,20	1,89



**OBSERVACIONES:** Al realizar las nuevas probetas con la piedra pómez del sector d Lasso se logra la resistencia deseada. Para este ensayo se saturo la roca y se realizó con una buena granulometría.

### 3.5.4 Corrección por humedad.

Esta corrección, se la realiza en el momento que se va a elaborar las mezclas en el laboratorio, con el contenido de humedad que tienen los agregados en ese momento. Para lo cual se debe dejar con un día de anticipación a la realización de las mezclas, los agregados tomando el peso y poniendo en el horno para obtener el contenido de humedad ideal para la corrección.

## 3.6 Módulo de elasticidad

### 3.6.1 Introducción

¿El concreto podría ser elástico? La verdad es que si, puede ser tan elástico hasta que alcanza su punto de deformación si el esfuerzo que se imprime sobre el material alcanza su máximo nivel de cohesión y adherencia, a partir de este punto de equilibrio inicio su fisura microscópica hasta terminar por fracturarse.

Esta verdad encierra una propiedad mecánica que tienen los materiales y la deformación es la variación de forma y tamaño de un cuerpo la misma que termina cuando la fuerza que se ejerce sobre un material, esta propiedad desaparece.

Pueden existir materiales que son o pueden ser elásticos de manera completa, pese a ello siempre tienen un límite de elasticidad el mismo que permite una deformación permanente del material y un cambio de sus propiedades mecánicas y químicas cuando se excede el límite que el material tiene para esta propiedad, hasta llegar a un punto de ruptura.

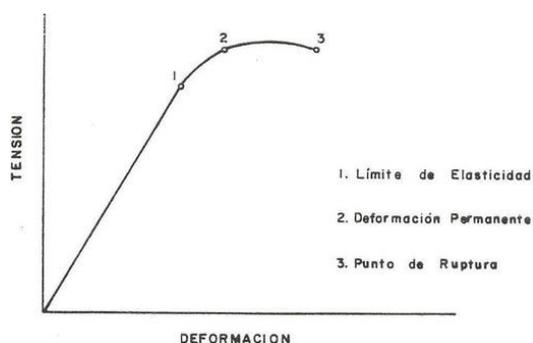


Figura 39: Demanda Vs tensión del hormigón.

Fuente: (Osorio, 2011)

Se podría definir que el módulo de elasticidad de un material comprende la relación entre el esfuerzo que se ejerce sobre el material hasta su deformación límite, es cuando cambia su nivel de rigidez ante una carga determinada; esta relación entre su esfuerzo frente a su deformación y el material tiene un comportamiento elástico se puede decir que se cumple la Ley de HOOKE que originalmente fue aplicada a estiramientos longitudinales en donde el alargamiento unitario que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo  $F$  (Ley de Hooke).

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{F}{AE}$$

### 3.6.2 Importancia de su conocimiento

1. Uno de los valores más importantes en el diseño de concreto reforzado es el módulo de elasticidad, puesto que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.
2. El módulo de elasticidad del concreto está determinado por una estrecha relación que existe entre el esfuerzo de un material y su deformación unitaria. Es un valor muy importante para el análisis estructural.
3. Tener un buen conocimiento del módulo de elasticidad del concreto bajo condiciones de carga lenta podría para conocer el comportamiento real del concreto bajo la acción de un sismo.
4. Con el dato del módulo de elasticidad podemos conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural.
5. El uso masivo de concreto como principal material de construcción hacen indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para tener unos diseños acertados de los proyectos de construcción.

**Elasticidad del Hormigón** (*"360 grados en concreto", 2011*)

#### **Manejo del Hormigón**

En lo que se refiere al concreto es una propiedad asociada a la habilidad de deformarse elásticamente en el desarrollo de la rigidez de

las estructuras; en donde sus propiedades están directamente relacionadas a las propiedades de los componentes o agregados del concreto por ello y en concordancia con lo expuesto y debido a que los agregados gruesos constituyen la fracción más representativa en una mezcla de concreto, se puede asegurar que la rigidez de estos agregados tiene una influencia importante sobre los niveles de módulo elástico que puede llegar a desarrollar un determinado concreto, (Vidaud, 2012).

### Características

La característica del agregado grueso que influye de manera más importante en la magnitud del módulo elástico del concreto es la porosidad, debido a que es precisamente esta propiedad, la que determina la rigidez del agregado, controlando además la capacidad de éste para restringir las deformaciones de la matriz de cemento. Por lo tanto, los agregados con densidades altas, también tendrán elevados niveles de módulo de elasticidad, (Vidaud, 2012).

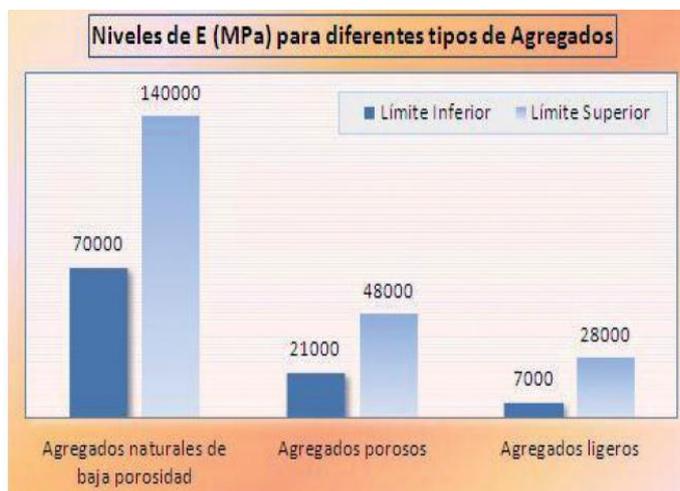


Figura 40: Niveles aproximados en el módulo elástico de diferentes tipos de agregados.

Fuente: Mehta P.K., 1998.

## Características en Hormigón

En el hormigón normal los granos del árido, muy rígidos, están incrustados en la masa de mortero, comparativamente blanda. Debido a ello, cuando está bajo carga, las tensiones se concentran en los áridos, en cambio en el hormigón liviano, los áridos representan la parte más flexible. Por consiguiente, el mortero sufre, de por sí, mayor carga.

En el caso del hormigón liviano los componentes rígidos (en este caso, el mortero) y los flexibles (áridos) actúan paralelamente. Cuando el conjunto se ve solicitado por un esfuerzo, ambos componentes experimentan los mismos cambios de longitud, repartiéndose la carga soportada en proporción a su rigidez, (CIATH, 2009).

El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la Norma técnica Colombiana 4025 que tiene como antecedente la ASTM C 469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión.

Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una micro fisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en el agregado y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto. El procedimiento de ejecución y cálculo, se describe así:

### 3.6.3 Equipo

- Máquina de ensayo a compresión, debe tener la capacidad suficiente de reunir las condiciones de velocidad de cargas establecidas.
- Anillos giratorios.
- Compresómetro A =  $\pm 0,001$  mm.
- Deformímetro.
- Balanza.
- Pie de rey.

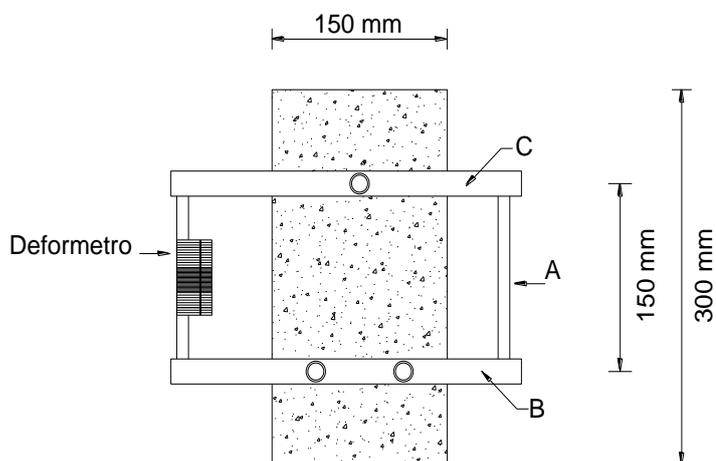


Figura 41: Molde de Cilindro de hormigón con el Compresómetro.

Fuente: (proetisa, 2011)

### 3.6.4 Procedimiento

Los procedimientos para la determinación del módulo de elasticidad se establecieron conforme a la norma ASTM (C469-02, 2010), y se describen a continuación:

1. Colocar el espécimen en una superficie horizontal plana y firme, donde se le monte el dispositivo de medición. Debe tenerse la precaución de que, al colocar el dispositivo en el espécimen, éste quede exactamente al centro de los anillos, fijándolos firmemente mediante los anillos de punta, para evitar que existan deslizamientos.



Figura 42: Fotografía del cilindro con el deformímetro.

2. Una vez ajustados los micrómetros, retirar cuidadosamente las barras que separan los anillos, observando que los andadores de los micrómetros no registran movimientos importantes.
3. Colocar el espécimen con el deformímetro sobre la platina de la prensa, centrándola adecuadamente antes de proceder a aplicar la carga.
4. Colocar la caratula de los micrómetros en cero. Iniciar el proceso de carga.
5. Aplicar la primera carga de 10% al 15% del promedio de resistencia de ruptura. Seguidamente aplicar una segunda precarga hasta el mismo nivel de la anterior.
6. Tomar las lecturas de deformación y carga cada tonelada o el incremento seleccionado de carga.
7. Una vez alcanzada la carga que representa el 60 % de la máxima obtenida en el ensaye a compresión, es importante reducir la velocidad de aplicación de la carga para permitir que se aflojen los tornillos que fijan los anillos y de ser posible, para evitar deterioro se retiran los micrómetros, después de lo cual se proseguirá con la

aplicación de la carga hasta llegar a la carga máxima o falla del espécimen.

### 3.6.5 Cálculos

Para calcular el módulo de elasticidad se procede de la forma siguiente:

- ✚ Con el área del espécimen, las cargas, las lecturas de deformación y la longitud de medición, deben calcularse los esfuerzos y las deformaciones unitarias correspondientes a cada carga, así como el esfuerzo máximo.
- ✚ Se debe trazar la curva de esfuerzo-deformación unitaria. Determinar el esfuerzo "S1" en kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la deformación unitaria (e1) de 0.000 050.
- ✚ Determinar el esfuerzo "S2" correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.
- ✚ Determinar la deformación unitaria "e2" correspondiente al esfuerzo "S2".
- ✚ Calcular el módulo de elasticidad empleando la fórmula siguiente:

$$E = \frac{S2 - S1}{e2 - 0.000050}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm<sup>2</sup>.

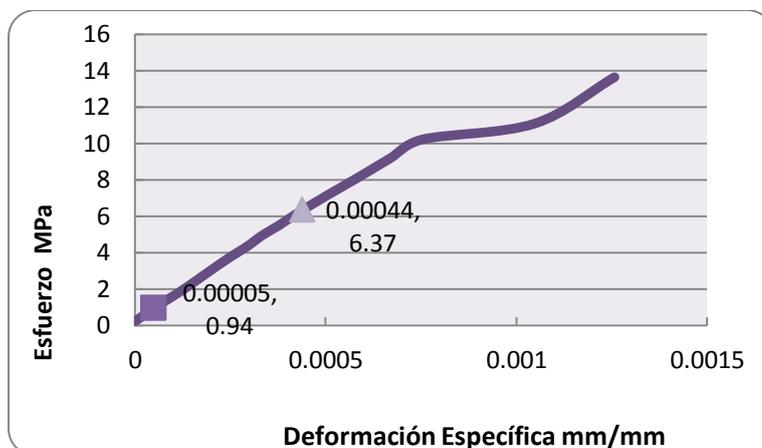
**RESULTADOS:**

Figura 43: Curva Esfuerzo Vs Deformación unitaria.

Tabla 19.

Calculo del Módulo de elasticidad de Hormigón liviano.

peso =	10513,7	Gr
Altura (H) =	30,30	Cm
Diámetro (D)=	15,00	Cm
Área =	176,71	cm <sup>2</sup>

DEFORMACIÓN 1X10 <sup>-4</sup> "	Carga KG	Esfuerzo Mpa	Deformaciones Mm	ε mm / mm
0	425,00	0,24	0	0,00000
5	1.470,00	0,83	0,01270	0,00004
10	2.500,00	1,41	0,02540	0,00008
15	3.480,00	1,97	0,03810	0,00013
20	4.560,00	2,58	0,05080	0,00017
25	5.650,00	3,20	0,06350	0,00021
30	6.710,00	3,80	0,07620	0,00025
35	7.680,00	4,35	0,08890	0,00029
40	8.810,00	4,99	0,10160	0,00034
45	9.730,00	5,51	0,11430	0,00038
50	10.760,00	6,09	0,12700	0,00042
60	12.640,00	7,15	0,15240	0,00050
70	14.430,00	8,17	0,17780	0,00059
80	16.290,00	9,22	0,20320	0,00067
90	18.100,00	10,24	0,22860	0,00075
125	19.630,00	11,11	0,31750	0,00105
150	24.140,00	13,66	0,38100	0,00126
<b>Ruptura</b>	<b>28160</b>	15,94		

Tabla 20.  
Cálculos del Módulo de elasticidad.

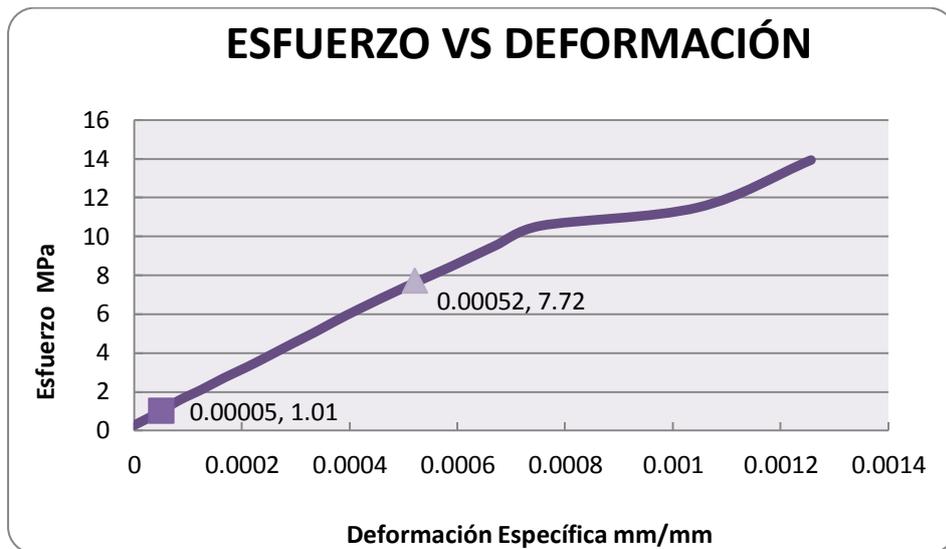
CALCULOS		
s1=	9,6258051	kg/cm <sup>2</sup>
e1=	0,00005	
S2=	64,97574	kg/cm <sup>2</sup>
e2=	0,00044	
E=	13935,094	Mpa
E=	142049,887	kg/cm <sup>2</sup>
E=	1420498,87	T/m <sup>2</sup>

Tabla 21.  
Calculo del Módulo de elasticidad de Hormigón liviano.

### CILINDRO 2

peso =	10016,6	Gr
Altura (H) =	30,32	Cm
Diámetro (D)=	15,00	Cm
Área =	176,71	cm <sup>2</sup>

DEFORMACIÓN 1X10 <sup>-4</sup> "	Carga KG	Esfuerzo Mpa	Deformaciones mm	ε mm / mm
0	496,00	0,28	0	0,00000
5	1.555,00	0,88	0,01270	0,00004
10	2.769,00	1,57	0,02540	0,00008
15	3.750,00	2,12	0,03810	0,00013
20	4.820,00	2,73	0,05080	0,00017
25	5.790,00	3,28	0,06350	0,00021
30	6.840,00	3,87	0,07620	0,00025
35	7.910,00	4,48	0,08890	0,00029
40	8.950,00	5,06	0,10160	0,00034
45	10.060,00	5,69	0,11430	0,00038
50	11.100,00	6,28	0,12700	0,00042
60	13.060,00	7,39	0,15240	0,00050
70	14.890,00	8,43	0,17780	0,00059
80	16.830,00	9,52	0,20320	0,00067
90	18.640,00	10,55	0,22860	0,00075
125	20.320,00	11,50	0,31750	0,00105
150	24.630,00	13,94	0,38100	0,00126
<b>Rotura</b>	<b>34113</b>	19,30		



Figuran 44: Curva Esfuerzo Vs Deformación unitaria.

**Tabla 22.**

**Calculo del Módulo de elasticidad.**

<b>CALCULOS</b>		
<b>s1=</b>	10,326394	kg/cm <sup>2</sup>
<b>e1=</b>	0,00005	
<b>S2=</b>	78,711556	kg/cm <sup>2</sup>
<b>e2=</b>	0,00052	
<b>E=</b>	14231,957	Mpa
<b>E=</b>	145076,015	kg/cm <sup>2</sup>
<b>E=</b>	1450760,15	T/m <sup>2</sup>

## **CAPÍTULO IV**

### **PANELES NO ESTRUCTURALES**

#### **4.1 Introducción**

La investigación de nuevos materiales de construcción representa uno de los principales campos de aplicación en la ingeniería civil, por lo que el Ecuador debe incrementar este tipo de investigaciones y promover nuevas tecnologías.

El presente capítulo, hace referencia a una breve historia sobre paneles prefabricados de hormigón liviano, en la que se hace una pequeña reseña. También hablamos sobre la fabricación de los mismos, damos a conocer algunas ventajas y desventajas que nos presta la construcción de edificaciones con paneles prefabricados.

En este capítulo también calcularemos el módulo de elasticidad de paneles de prueba que se elaboraron durante la ejecución del proyecto.

Los paneles de hormigón alivianado son unidades de obra que contribuyen la piel de la estructura.

##### **4.1.1 Reseña histórica sobre paneles prefabricados**

Para los años 60 la prefabricación toma un papel muy importante en la construcción y se empieza a desarrollar edificios totalmente prefabricados. Los elementos que se prefabricaban eran pilares, vigas, correas y paneles de cerramiento.

Este desarrollo permitió la realización de magnificas estructuras y fue necesaria para el desarrollo del Imperio por la rapidez de “colonización” que permitió el uso de este tipo de elementos. (PREINCO S.A.)

Durante los años 70 hay un importante avance en la producción de elementos prefabricados. Se inicia la industrialización de paneles, se empieza a realizar losas aligeradas con la creación de casetones.

En este tiempo se van desarrollando sistemas de paneles de cerramiento, tanto lisos como nervados. Los paneles lisos se fabrican con el aislamiento incorporado dentro de una sección tipo sandwich.

El hormigón es uno de los materiales más antiguos, que posee muchas cualidades y usos por lo que se lo considera como moderno y versátil. Todos sabemos que los componentes del hormigón deben estar dentro de parámetros específicos y con altos índices de calidad porque esto genera buenos resultados.

El tener mayor cuidado y mejorar la dosificación, mezcla, colocación, curado y acabado ha permitido que las características del hormigón permitan un incremento en la resistencia. (Sánchez)

Como se puede leer en la reseña la necesidad de crear elementos prefabricados es lo que hace que sea importante el estudio de este proyecto y le da la importancia a generar piezas prefabricadas.

#### **4.2 Definición**

Elemento o pieza de hormigón fabricada anteriormente con un material resultante de la mezcla de cemento u otro conglomerante con un árido como piedra, grava, gravilla y arena más agua, fabricado en serie, que permite el montaje en un lugar diferente al de fabricación. La mezcla de hormigón permite el relleno de un molde o encofrado común de forma predefinida y con anclajes que permiten su armaje o construcción en serie.

#### **4.3 Tipos de paneles**

Podemos decir que tenemos varias clasificaciones, pero para esta investigación lo realizamos dependiendo de su función dentro de la estructura, el panel de hormigón alivianado, puede ser diseñado como portante o no portante, ya sea simple o doble.

### 4.3.1 Paneles portantes

Son elementos de fachada que, aparte de cubrir el edificio, actúan como elementos estructurales que ayudan técnicamente al edificio y mejoran las operaciones de fabricación, transporte y montaje en la obra al ser elementos que actúan como un conjunto de pilares.

Las características de los materiales y grosores varían y son flexibles para poder responder a las necesidades de aislamiento, obteniendo unos resultados muy por encima de la construcción tradicional. (<http://www.hormipresa.com>, 2011).

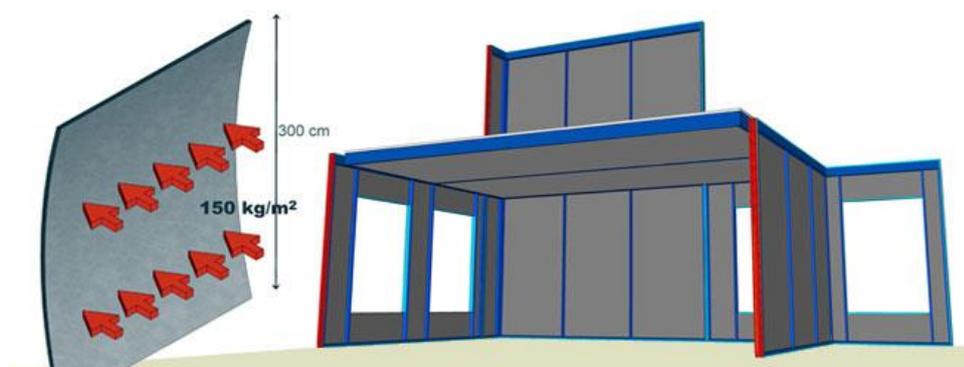


Figura 45: Paneles portantes.

Fuente: imat tecnologías de la construcción.

### 4.3.2 Paneles no portantes

Son elementos de fachada que solamente soportan las cargas del viento, la estabilidad horizontal. También puede recibir carga de elementos de carpintería que puedan soportar y las acciones exteriores sobre los mismos.

Estos pueden suprimirse sin afectar a la estabilidad del conjunto ni a la estructura. Este tipo de paneles prefabricados solo cumplen la función de envolvente, y se limitan a una función de cerramiento en cuyo caso soportan solo su peso propio. (Sanchez Hurtado, 2010).



Figura 46: Paneles no portantes.

Fuente: ideoarquitectura

#### **4.4 Fabricación del panel liviano**

El control de calidad en la fabricación de los paneles de hormigón liviano empieza por contar con excelentes materiales, el proceso de dosificación es, muy importante y habiéndolo obtenido en el capítulo III podemos continuar con el objeto del proyecto.

##### **4.4.1 Dimensiones**

Una de las propiedades más importantes del hormigón es su plasticidad, por lo que podemos tener infinidad de formas.

Por motivo y razones obvias de economía y peso, los paneles no deben ser fabricados con más espesor del necesario. Tampoco deberán ser demasiado delgados ya que no podrían cumplir con las funciones necesarias.

Para determinar las dimensiones optimas del panel uno de los factores que se está tomando en cuenta es el peso ya que el objetivo es la manipulación del obrero principal es que el panel sea de un peso manejable para una persona.

Otro factor que se tomó en cuenta es que se pueda cortar sin tanto desperdicio cuando sea necesario y que al tener que hacerlo sus cortes nos generen partes iguales y se puedan empatar en obra.

Las medidas propuestas del panel de 0,60m x 1,20 m, es decir el panel cubre un área de 0,72 m<sup>2</sup>. Y necesita un volumen de hormigón de 0,065m<sup>3</sup>.

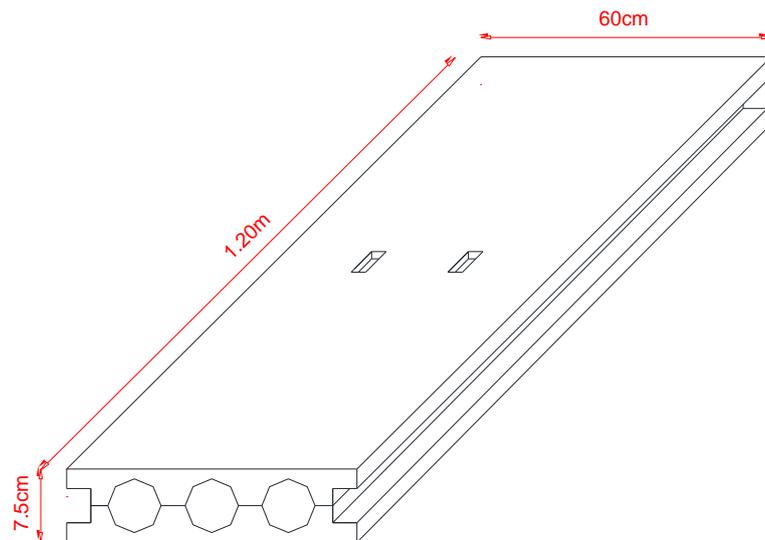


Figura 47: Diseño del panel.

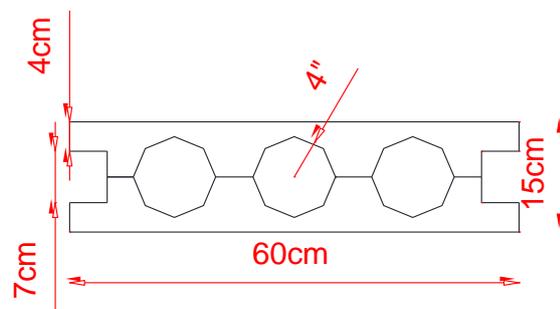


Figura 48: Vista lateral frontal del panel.

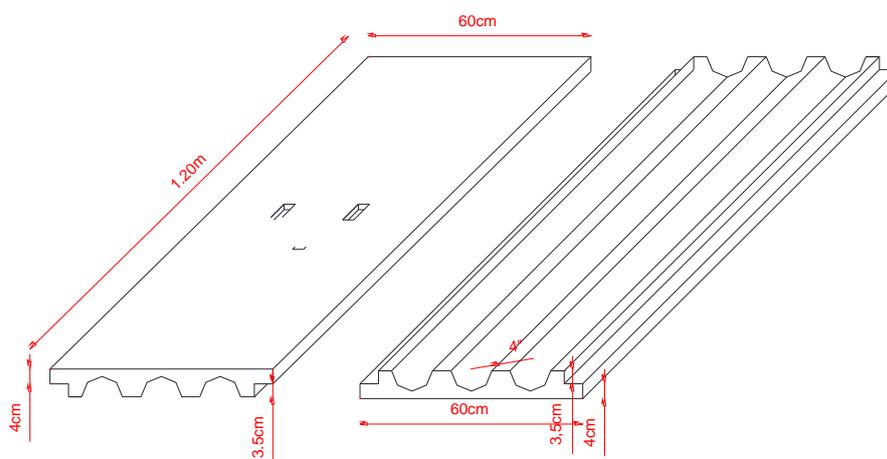


Figura 49: Vista de las dos tapas del panel alivianado.

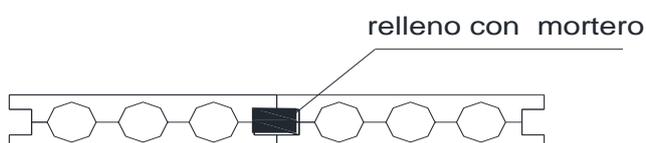


Figura 50: Unión de dos paneles.

#### 4.4.2 Molde

Al tener las dimensiones definidas el siguiente paso a definir de que material se hará el molde, para el caso de este proyecto se decidió hacer de madera el mismo que se elaboró en una carpintería. El molde debe ser lo más liso posible para obtener un buen acabado. Como ya se mencionó el objeto principal de este panel es mejorar el peso y mejorar su manipulación, para lo cual el panel se realiza en dos partes, es decir dos tapas (ver fotografía).



Figura 51: Fotografía del molde de madera.



Figura 52: Fotografía del molde de madera parte frontal.

#### **4.4.3 Amasado, hormigonado y compactación del hormigón**

Luego de haber trabajado en Laboratorio, caracterizando el material para obtener la dosificación requerida, la misma que cumple la resistencia determinada.

La mezcla debe ser lo más homogénea posible para obtener un buen hormigón y evitar la segregación, al momento de aplicar en el molde la mezcla se debe varillar correctamente para obtener una buena compactación.

El hormigón se extenderá de forma manual, este debe hacerse antes del tiempo de fraguado para evitar el endurecimiento prematuro, ya que este factor influye en la calidad del mismo. En este paso también tomamos testigos (cilindros) para verificar la resistencia de la mezcla, también hemos realizado la prueba del cono de Abram para verificar que la mezclas es la adecuada la que nos dio un asentamiento de 4,2 cm.

La cantidad que se utilizó para realizar los paneles es la siguiente:

Tabla 23.  
Calculo de parámetros para la Inercia.

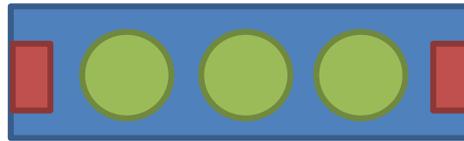


FIG	Ai (cm <sup>2</sup> )	Xi (cm)	Yi (cm)	AiXi (cm <sup>3</sup> )	AiYi (cm <sup>3</sup> )	Ixi (cm <sup>4</sup> )	Iyi (cm <sup>4</sup> )	Ixii (cm <sup>4</sup> )	AiXi <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	AiYi <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	AiXiYi (cm <sup>4</sup> )
1	900	30	7,5	27000	6750	16875	270000	0	810000	13500	202500
2	-35	2,5	7,5	-87,5	-263	-142,92	-72,92	0	-218,75	-525	-656,25
3	-95	14,8	7,5	-1401	-713	-718,69	-718,69	0	-20668,44	-1425	-10509
4	-95	30	7,5	-2850	-713	-718,69	-718,69	0	-85500	-1425	-21375
5	-95	45,3	7,5	-4299	-713	-718,69	-718,69	0	-194518,4	-1425	-32241
6	-35	57,5	7,5	-2013	-263	-142,92	-72,92	0	-115718,8	-525	-15094
Σ=	545			16350	4088	14433,10	267698,10	0	393375,63	8175	122625

Centro de gravedad:

$$X_G = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i}$$

$$X_G = 30 \text{ cm}$$

$$Y_G = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i}$$

$$Y_G = 7,5 \text{ cm}$$

Inercia:

$$I_x = \sum I_{x_i} + \sum A_i Y_i^2$$

$$I_y = \sum I_{y_i} + \sum A_i X_i^2$$

$$I_x = 14433,1 + 8175$$

$$I_y = 267698,1 + 393375,63$$

$$I_x = 407808,73 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 661073,73 \text{ cm}^4$$

$$I_{xy} = \sum I_{xy_i} + \sum A_i X_i Y_i$$

$$I_{xy} = 122625 \text{ cm}^4$$

$$\text{Área} = 0,0545\text{m}^2$$

$$\text{Volumen} = 0,0545 \times 1,2$$

$$\text{Volumen} = 0,0654\text{m}^3$$

Colocaremos un 20% más para cualquier inconveniente que se pueda presentar:

$$\text{Volumen} = 0,0654 + (20\%)$$

$$\text{Volumen} = 0,078\text{m}^3$$

**Tabla 24.**  
**Dosificación utilizada para realizar 1 panel.**

<i>1 PANEL</i>		
<b>CEMENTO</b>	31,39Kg	69,06Lb
<b>ARENA</b>	38,22Kg	84,08Lb
<b>CHASQUI</b>	34,14Kg	75,11Lb
<b>AGUA</b>	15 Litros	

#### 4.4.3.1 Procedimiento

1 Se pesa según la dosificación obtenida de la tabla 4.1, cada uno de los materiales.



Figura 53: Fotografía pesando material.



Figura 54: Dosificación en volumen aplicada para la elaboración del panel.



Figura 55: Fotografía de dosificación de Cemento.

2.- Al tener la dosificación lista procedemos a mezclar los agregados en la concretera, como a continuación describo:

- + Colocamos un 25% de agua del total de la misma.
- + Añadimos el Chasqui y dejamos 1 minuto con el agua.
- + Luego colocamos el cemento.
- + Colocamos un poco de agua según sea la necesidad.
- + Agregamos la arena y colocamos el resto del agua.
- + Finalmente dejamos que se mezcle entre 8 y 10 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 56: Fotografía de la colocación del cemento en la concretera.

**3.-** Mientras dejamos la mezcla en la concretera preparamos los moldes con los respectivos canales que son una manera de alivianar los paneles.



Figura 57: Fotografía de la colocación de los canales.

**4.-** Cuando ya tenemos lista la mezcla procedemos al tendido de la misma.



Figura 58: Fotografía de la colocación de la mezcla en los paneles.

**5.-** Algo que es muy importante es la compactación del hormigón tendido.



Figura 59: Fotografía de la colocación de la mezcla en los paneles.

Este proceso se lo repite el número de paneles a elaborar, y para su verificación se realizó el ensayo de Cono de Abrams para establecer que asentamiento tiene la mezcla y se tomó cilindros para verificar su resistencia a los 7, 14, 28 días.

Algo adicional que se va determinar es el módulo de elasticidad a pesar de que el proyecto no contemplaba este parámetro.



Figura 60: Fotografía del asentamiento de hormigón.



Figura 61: Fotografía de la Toma de testigos.

#### 4.4.4 Acabados

Para fines constructivos las superficies del panel deben ser lisas, uniformes según los fines de construcción para los que serán requeridos.



Figura 62: Fotografía paleteando el panel.



Figura 63: Fotografía de paneles terminados.

#### 4.4.5 Curado

El curado es uno de los principales pasos en la elaboración de paneles alivianados, este debe ser controlado y establecido. Ayuda a identificar imperfecciones como falta de uniformidad, grietas superficiales entre otros, mismas que se presentan por la falta de hidratación.

El curado exige la retención adecuada de humedad para permitir una buena hidratación del cemento logrando impedir la formación de fisuras superficiales debido a la pérdida rápida de agua, durante el hormigón en estado plástico.

Para almacenar los paneles se recomienda colocarlos de forma horizontal. En el caso de este proyecto colocamos entre un plástico y lo mojamos para mantenerlos húmedos y lograr un buen curado. Esto se hará durante los 28 días.



Figura 64: Fotografía de paneles húmedos.



Figura 65: Fotografía de paneles cubiertos con plástico.

#### 4.3.6 Desmolde

El inicio de la elaboración del panel empieza aplicando un desencofrante en el molde. Este molde debe tener un volumen estable, ser de fácil manipulación, de fácil limpieza y utilizable para varios paneles.

Los moldes deben estar cubiertos de una fina capa de aceite o algún aditivo desmoldante.



Figura 66: Fotografía del panel desencofrando.

## 4.4.7 Costos

DETALLE Panel de hormigón liviano					UNIDAD:	m3
<b>EQUIPOS</b>						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
CONCRETERA 1 SACO	1,00	15,50	15,50	0,50	7,75	
Herramientas menores % M/O	0,05	36,53	1,83	1,00	1,83	
			<b>SUBTOTAL M</b>		<b>9,58</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	1,00	2,56	2,56	0,75	1,92	
Albañil	1,00	2,58	2,58	0,75	1,94	
Carpintero	1,00	2,58	2,58	0,75	1,94	
			<b>SUBTOTAL N</b>		<b>5,79</b>	
<b>MATERIALES</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
ARENA	M3	0,03	12,00	0,36		
AGUA	M3	0,08	9,00	0,72		
CEMENTO	sacó	0,63	8,00	5,04		
POMEZ	M3	0,05	15,00	0,74		
TORNILLOS	UNIDAD	2,00	0,50	1,00		
tubo de 4"	UNIDAD	0,75	6,20	4,65		
			<b>SUBTOTAL O</b>		<b>6,12</b>	
<b>TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
			<b>SUBTOTAL P</b>		<b>-</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>21,49</b>	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 22,0%</b>					<b>4,73</b>	
<b>OTROS INDIRECTOS %</b>					<b>-</b>	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>26,21</b>	
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>26,21</b>	

#### 4.5 Ventajas y Desventajas

Los paneles de hormigón liviano buscan aliviar el peso y agilizar los procesos constructivos. A continuación se presenta algunas ventajas que presenta este sistema.

**SISTEMA CONSTRUCTIVO:** En un solo elemento se reúne muchas funciones necesarias para realizar una obra civil, desde una vivienda familiar hasta un edificio de gran altura, con máxima eficiencia.

**SISTEMA LIVIANO:** nos proporciona la facilidad de manipular los paneles, esto conlleva a tener ahorros en mano de obra y transporte, se puede decir que también existe disminución de cargas verticales.

**SISTEMA RÁPIDO:** se puede lograr un ahorro de tiempo en obra de hasta del 50%, lo que ayuda en tiempos de entrega óptimos y que en el sistema tradicional no se lograría alcanzar, lo que permite un beneficio económico.

**SISTEMA VERSÁTIL:** adaptable a muchas de las necesidades de los usuarios, ya que en otros sistemas son de difícil ejecución o en algunas circunstancias constructiva y estructuralmente imposible. Existen algunas aplicaciones por ejemplo muros divisorios, fachadas, etc. (Tesis, 2009 universidad nacional de Colombia. Facultad d minas)

- Menor espacio para almacenamiento.
- Menor producción de escombros.
- Menor cantidad de mortero para la pega y revertido de las paredes.

## 4.6 Resultados

### 4.6.1 Ensayo de compresión de cilindros

Tabla 25.

Resultado del ensayo de compresión de cilindros de paneles.

Muestra No	Fecha vaciado	Fecha Rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (gr)	Dimensiones		Área probeta (cm <sup>2</sup> )	Volumen de la probeta (cm <sup>3</sup> )	Peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )	carga (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
					Altura	Diámetro					
					(cm)	(cm)					
1	15/03/2015	23/03/2015	8	10415,6	30,1	15	1771,86	5319,11	1,96	30990	174,90
2	15/03/2015	23/03/2015	8	10394,5	30	15	1767,15	5301,44	1,96	31840	180,18
3	15/03/2015	30/03/2015	15	10797,3	30,4	15,1	1800,27	5443,99	1,98	30912,4	171,71
4	15/03/2015	30/03/2015	15	11215,9	30,2	15,2	1805,03	5480,04	2,05	37450	207,48
5	15/03/2015	13/04/2015	29	10710,4	30,2	15	1776,57	5336,78	2,01	41218	232,01
6	15/03/2015	13/04/2015	29	11167	30,3	15,1	1795,53	5426,08	2,06	44244	246,41

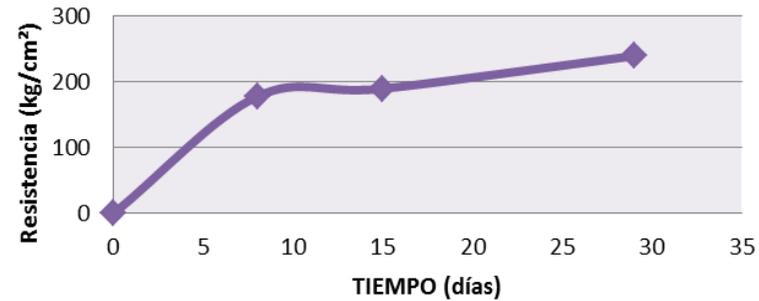


Figura 67: Curva de resistencia Vs tiempo.

#### 4.6.2 Módulo de elasticidad

Tabla 26

Calculo del Módulo de elasticidad de Hormigón liviano.

##### MUESTRA DE PANEL CILINDRO 1

peso =	105166	gr
Altura (H) =	30,00	cm
Diámetro (D)=	15,00	cm
Área =	176,71	cm <sup>2</sup>

DEFORMACIÓN 1X10 <sup>-4</sup> "	Carga KG	Esfuerzo Mpa	Deformaciones Mm	ε mm / mm
0	420,00	0,24	0	0,00000
5	3.530,00	2,00	0,01270	0,00004
10	4.740,00	2,68	0,02540	0,00008
15	5.980,00	3,38	0,03810	0,00013
20	7.180,00	4,06	0,05080	0,00017
25	8.160,00	4,62	0,06350	0,00021
30	9.090,00	5,14	0,07620	0,00025
35	10.090,00	5,71	0,08890	0,00030
40	11.040,00	6,25	0,10160	0,00034
45	12.060,00	6,82	0,11430	0,00038
50	13.040,00	7,38	0,12700	0,00042
60	15.010,00	8,49	0,15240	0,00051
70	17.190,00	9,73	0,17780	0,00059
80	19.230,00	10,88	0,20320	0,00068
90	21.140,00	11,96	0,22860	0,00076
100	22.980,00	13,00	0,25400	0,00085
125	27.390,00	15,50	0,31750	0,00106
150	30.510,00	17,27	0,38100	0,00127
<b>Rotura</b>	<b>35312</b>	19,98		

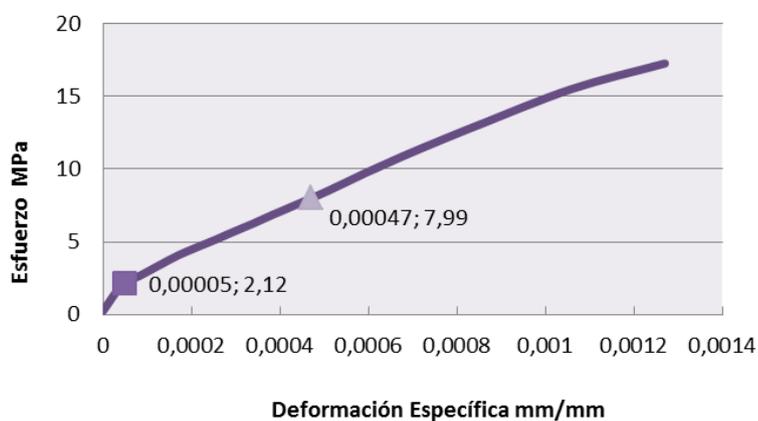


Figura 68: Curva Esfuerzo Vs Deformación unitaria.

Tabla 27.  
Calculo del Módulo de elasticidad.

CALCULOS		
s1=	21,626664	kg/cm <sup>2</sup>
e1=	0,00005	
S2=	81,478101	kg/cm <sup>2</sup>
e2=	0,00047	
E=	13973,14	Mpa
E=	142437,716	kg/cm <sup>2</sup>
E=	1424377,16	T/m <sup>2</sup>

Tabla 28.  
Calculo del Módulo de elasticidad de Hormigón liviano.

MUESTRA DE PANEL CILINDRO 2

peso =	107104	gr
Altura (H) =	30,20	cm
Diámetro (D)=	15,00	cm
Área =	176,71	cm <sup>2</sup>

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	$\epsilon$
1X10 <sup>-4</sup> "	KG	Mpa	mm	mm / mm
0	480,00	0,27	0	0,00000
5	2.170,00	1,23	0,01270	0,00004
10	3.450,00	1,95	0,02540	0,00008
15	4.900,00	2,77	0,03810	0,00013
20	6.190,00	3,50	0,05080	0,00017
25	7.650,00	4,33	0,06350	0,00021
30	8.860,00	5,01	0,07620	0,00025
35	10.120,00	5,73	0,08890	0,00029
40	11.450,00	6,48	0,10160	0,00034
45	12.760,00	7,22	0,11430	0,00038
50	13.850,00	7,84	0,12700	0,00042
60	16.010,00	9,06	0,15240	0,00050
70	18.320,00	10,37	0,17780	0,00059
80	20.460,00	11,58	0,20320	0,00067
90	22.490,00	12,73	0,22860	0,00076
100	24.460,00	13,84	0,25400	0,00084
125	29.330,00	16,60	0,31750	0,00105
150	33.900,00	19,18	0,38100	0,00126
<b>Rotura</b>	<b>34900</b>	19,75		

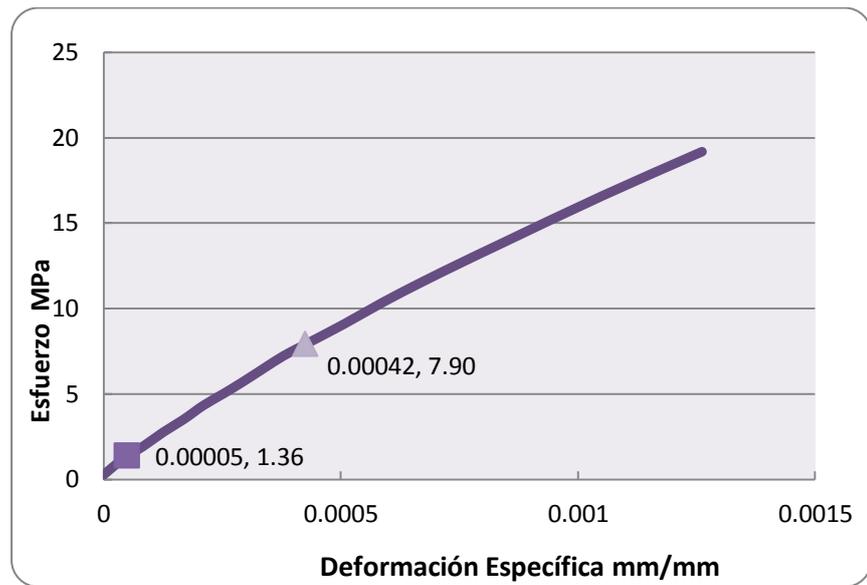


Figura 69: Curva Esfuerzo Vs Deformación unitaria.

**Tabla 29.**  
**Calculo del Módulo de elasticidad.**

<b>CALCULOS</b>		
<b>s1=</b>	13,912848	kg/cm <sup>2</sup>
<b>e1=</b>	0,00005	
<b>S2=</b>	80,527462	kg/cm <sup>2</sup>
<b>e2=</b>	0,00042	
<b>E=</b>	17436,906	Mpa
<b>E=</b>	177746,243	kg/cm <sup>2</sup>
<b>E=</b>	1777462,43	T/m <sup>2</sup>

#### 4.7 Carga puntual



Figura 70: Carga puntual aplicada al panel.

Para realizar el ensayo a flexión en los paneles se aplicó el modelo matemático de una viga simplemente apoyada.

**CARGAS:** Las cargas estructurales son definidas como la acción directa de una fuerza.

**CARGAS PUNTUALES O CONCENTRADAS:** Son aquellas cargas que actúan en una superficie muy reducida (5% máximo) con respecto al área total.

Ejemplo: una columna, un nervio sobre una viga de carga, el anclaje de un tensor, un puente grúa sobre una vía, entre otros concentrada o distribuida actuando sobre el elemento estructural y la cual produce estados tensionales sobre la estructura.

**Análisis Estructural:** consiste en encontrar los efectos de las cargas en una estructura en particular, en la forma de **Fuerza Cortante (FC)** y **Momento Flector (MF)**. Depende de la geometría de la estructura (forma y tamaño generales), de los tipos y localización de los apoyos y de los tipos y localización de las cargas actuantes. Se obtienen funciones que

representan las variaciones de las magnitudes (a lo largo del elemento) de **Fuerza Cortante** y de **Momento Flector**.

**Análisis del Miembro:** relaciona las magnitudes de la **Fuerza Cortante (FC)** y el **Momento Flector (MF)** con los **esfuerzos** producidos en los diferentes planos transversales (**secciones transversales**) del miembro estructural. Se obtienen esfuerzos variables dentro de las secciones transversales que deben ser resistidos por el material que conforma el miembro estructural (viga/vigueta).

**Fuerza Cortante:** es la suma algebraica de las componentes que actúan transversalmente al eje de la viga, de todas las cargas y reacciones aplicadas a la parte de la viga de uno u otro lado de esta sección transversal. (Norris y Wilbur, 1969).

**Momento Flector:** es la suma algebraica de los momentos, tomados respecto a un eje por el centro de la sección, de todas las cargas y reacciones aplicadas a la parte de la viga de uno u otro lado de esta sección transversal. (Norris y Wilbur, 1969).

**Sección Transversal:** es una sección perpendicular al eje del elemento, con un espesor infinitesimal.

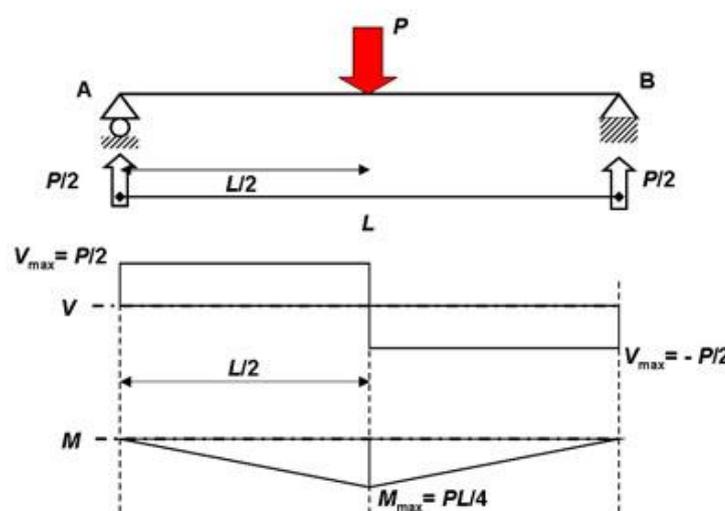


Figura 71: Diagramas de una carga puntual.

Fuente: Norris y Wilbur.

Las reacciones son idénticas, debido a la posición simétrica de la carga respecto de los apoyos (que además actúan de igual manera, es decir, absorbiendo cargas verticales), recibiendo cada una de ellas la mitad de la carga puntual.

Nótese como los diagramas son lineales en ambos casos (**FC** y **MF**), esto es debido al tipo de carga (puntual).

El diagrama de **FC** es una función lineal constante, con expresión:

$$V(x) = P/2 = 0,5P$$

Hasta la mitad de la luz; de ahí en adelante y debido a la posición y magnitud de la carga **P**, se produce una discontinuidad de la función de **FC**, que seguirá siendo constante pero con signo negativo, según la expresión:

$$V(x) = - P/2 = -0,5P$$

El diagrama de **MF**, es una función lineal discontinua por tramos, con discontinuidad en  $x = L/2$ , donde hay un cambio de signo de la pendiente (de 0,5 a -0,5). La pendiente de la recta será positiva en la mitad izquierda de la viga y negativa en la derecha, con las expresiones:

$$M(x) = Px/2 = 0,5Px \text{ (mitad izquierda)}$$

$$M(x) = - Px/2 = - 0,5Px \text{ (mitad derecha)}$$

En el punto de cambio de signo de la pendiente se produce un máximo valor de la variable **MF**, que será el mayor en toda la longitud de la viga **AB**, y tiene el valor:

$$M_{\max} = PL/4 = 0,25PL \text{ (Castillo)}$$

#### 4.7.1 Ensayo a flexión

El ensayo consiste en someter a flexión. El panel de hormigón, cargando el panel con una carga puntual en el centro de la luz, en los extremos los apoyos, de forma que el tramo central del mismo quede sometido a flexión pura, logrando así la sollicitación buscada.

Los paneles se confeccionaron en base a la dosificación encontrada en el capítulo 3.

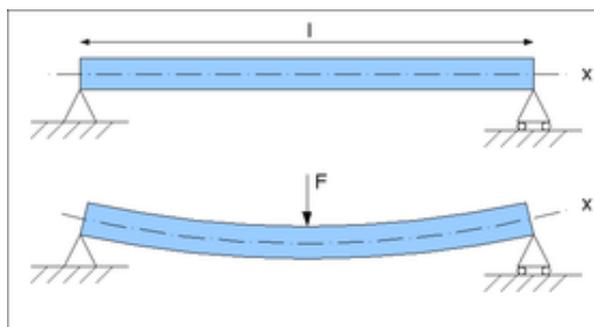


Figura 72: Flexión teórica de una viga apoyada-articulada sometida a una carga puntual centrada  $F$ .

Fuente: (wikipedia)

La probeta de flexión se coloca en el sistema de apoyos y recibe la onda de compresión generada por el impacto de la carga puntual. Parte de esta onda se propaga por el sistema de apoyos y parte se refleja viajando por la barra incidente como una onda de tracción.

#### **Procedimiento:**

1. Se debe utilizar un dispositivo capaz de aplicar la carga en el centro del claro de prueba de tal modo que la fuerza sea perpendicular a la cara horizontal de la viga y se distribuya, aplique uniformemente en todo lo ancho.
2. El panel de prueba se pone en contacto con los apoyos. Se debe tener contacto total entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie del espécimen. Se debe centrar para que la carga este lo mejor distribuida posible, ya que puede cambiar los resultados.
3. Aplicación de la carga: La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme.

Cálculo y expresión de resultados:

**Tabla 30**  
**Cálculo de las reacciones para una carga puntual.**

Muestra No	Fecha vaciado	Longitud (m)	Carga (kg)	Reacciones		Momento flector			EFUERZO	
				Izq.	Der.	Izq.	Centro	Der.	Teorico	Calculado
				P/2	P/2	0	PL/4	0	$0,61\sqrt{f_c}$	$\sigma = \frac{Mc}{I}$
				(kg)	(kg)	(kg.m)	(kg.m)	(kg.m)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	15/03/2015	1,2	480	240	-240	0	144	0	25,88	8,81
2	15/03/2015	1,2	520	260	-260	0	156	0	25,88	9,54
3	15/03/2015	1,2	690	345	-345	0	207	0	25,88	12,66
4=5	15/03/2015	1,2	800	400	-400	0	240	0	25,88	14,68

El esfuerzo de ruptura calculado es mayor ya que el panel está conformado de dos partes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- ✚ Se debe intentar lograr la más baja proporción de agua - cemento (a/c) en la pasta para obtener mayores resistencias significa que se necesitan contenidos de cemento altos para hormigones livianos en comparación con hormigones de peso normal de la misma resistencia.
- ✚ La resistencia no se estima a partir de la relación agua – cemento (a/c), ya que la cantidad no está determinada. Se añade suficiente agua para proporcionar trabajabilidad, una adecuada colocación, consolidación, acabado sin segregación y consistente con los requisitos de resistencia requeridos
- ✚ Un propósito de esta investigación es la de utilizar material volcánico existente con base en lo escrito en párrafos anteriores, en el proceso de construcción es vital el análisis de las reacciones álcali-sílice, ya que podrían en determinado momento generar fracturas en el hormigón y los incrementos del riesgo y de costos en la construcción.
- ✚ Debido a la necesidad creciente de nuevas viviendas y al costo de una vivienda construida por métodos tradicionales el coste de la misma cada vez es mayor, por lo que la construcción debe buscar nuevas formas de construcción a menor costo por lo que proponernos este tipo de elemento alternativo como son los paneles.
- ✚ Al disminuir el peso de la mampostería lograremos reducir las dimensiones de los elementos estructurales vigas, columnas, por lo que disminuye el peso de la estructura y por ende las cargas de cimentación.
- ✚ Una característica importante de los materiales es la absorción ya que de esta nos indica que tan poroso es el agregado.
- ✚ La densidad, es una propiedad de los agregados que es de vital importancia en la elaboración de hormigones, ya que está

directamente relacionada con la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del hormigón, por lo que se puede decir a mayor densidad, mayor resistencia a la compresión.

- ✚ No es posible establecer, de una manera general, una curva granulométrica óptima única, debido a que en cada caso hay que tener en cuenta diversos factores: las resistencias y propiedades exigidas al hormigón; los medios de transporte, la puesta en obra y compactación del hormigón; las propiedades y forma de los granos; el tipo y dimensiones del elemento estructural, etc.
- ✚ El ensayo de granulometría es muy importante ya que si es adecuada para el hormigón se obtiene una combinación adecuada de tamaño de los granos, debiendo cumplir con el postulado de que el agregado debe ocupar el mayor volumen posible dentro del hormigón, entonces la distribución de partículas o granos, debe ser tal, que deje el menor porcentaje de “vacíos” (espacios llenos de aire) entre partículas.
- ✚ La valoración y manejo técnico de los elementos constituyentes agregados al cemento es determinante para evitar la fractura o minimizar el riesgo.
- ✚ Una de las más importante características es la absorción de los áridos ya que generan la mayor influencia en la trabajabilidad en la mezcla, debido a esto, se torna necesario un control exhaustivo de cantidad de agua que estará presente en la fabricación e hidratación de la mezcla, pues tiene una influencia en el hormigón para que alcance las resistencias de diseño.
- ✚ En los hormigones normales los agregados y la pasta de cemento son casi iguales en resistencia, mientras que en los hormigones más débiles, la resistencia de la pasta puede superar a la del agregado.
- ✚ Es importante mencionar que el módulo de elasticidad, cambiará en su deformación máxima o en su límite de quiebre, dependiendo de los agregados y sus especificidades mecánicas y químicas.
- ✚ El propósito de construir los paneles livianos no estructurales es de ahorrar tiempo en la construcción y mano de obra.

- ✚ El módulo de elasticidad y la resistencia de los áridos afectan directamente a la resistencia del hormigón, al igual que las otras propiedades como la absorción hace variar la pasta de mortero lo que influye directamente sobre la resistencia final.
- ✚ La cantidad de agua por metro cúbico de hormigón para producir la mezcla de diseño deseada, depende de varios factores: entre los cuales se puede mencionar el tamaño máximo de las partículas, su forma y textura, graduación de los dos agregados, de la cantidad de cemento y del aire atrapado accidentalmente o incluido a propósito.
- ✚ La presencia de agregados ligeros en el hormigón liviano hace que la absorción sea alta lo que hace que el cálculo de la relación agua-cemento se dificulte y se pueda encontrar la proporción exacta para el mortero.
- ✚ El asentamiento de nuestra mezcla no debe ser mayor 50 mm, ya que si tenemos asentamientos mayores puede existir segregación de las partículas de agregado grueso liviano y una reducción de resistencia, ya que si el hormigón es muy fluido significa que hay una relación de agua-cementos alta.
- ✚ El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. Según Jiménez Montoya no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad
- ✚ Los ensayos de flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimientos de curado de los elementos a ensayar.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Debido a la dificultad de encontrar la proporción exacta de agua-cemento, lo que se recomienda según los ensayos realizados en el laboratorio de Mecánica de suelos es obtener una mezcla con asentamiento no mayor a los 5cm.

- ✚ Se recomienda mantener una buena granulometría y que el agregado tenga una forma angular, preferiblemente se encuentre en el tamaño de  $\frac{3}{4}$  ya que esto favorece la compacidad del concreto endurecido y ayuda a eliminar los vacíos.
- ✚ Se recomienda mejorar los procesos de compactación ya que está directamente relacionado con los agregados livianos.
- ✚ Se recomienda que los procesos de los ensayos y elaboración de probetas sean lo más parecidos a la norma, pues al ser un hormigón con características diferentes al de peso normal, su comportamiento difiere, por lo que el curado debe ser bueno.
- ✚ Se recomienda aplicar la dosificación obtenida en el laboratorio de la manera más cuidadosa posible ya que en campo no siempre se logra condiciones ideales, por lo que se debe controlar los asentamientos, manipulación de manera que se pueda garantizar el trabajo.
- ✚ Se recomienda que este proyecto de tesis sea el inicio para posteriores investigaciones, en los que se pueda analizar el comportamiento experimental en estructuras reales, así como su funcionamiento en paredes reales u otros campos de la ingeniería civil.
- ✚ El módulo elástico del hormigón liviano será más bajo que el del hormigón de peso normal. Generalmente se encuentra en el rango de aproximadamente de un tercio a dos tercios del hormigón de peso normal.
- ✚ Las viviendas tradicionales con las que contamos en el país son usualmente estructuras con muros de albañilería confinada y techos aligerados, por lo que por su gran peso generan mayor fuerza de inercia en caso de un sismo, por lo que se recomienda el uso de este tipo de paneles.
- ✚ Se recomienda hacer este tipo de proyecto entre dos personas ya que el realizar ensayos en laboratorio requiere de ayuda.

- ✚ Se recomienda realizar una investigación donde se sustituya el agregado grueso por agregado liviano, y también que la arena de peso normal sea sustituida por arena de tipo pómez.
- ✚ Se recomienda colocar placas metálicas entre paneles para evitar colocar tornillos como elementos de sujeción.

**BIBLIOGRAFÍA**

ASTM C-143. (s.f.).

ASTM-C192 M-95. (s.f.).

C-39 -96. (s.f.).

Castillo, A. (s.f.). *Univerdidad de los Andes Venezuela*. Recuperado el 24 de 05 de 2015, de [http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/C LASE\\_VIGAS.html](http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/C LASE_VIGAS.html)

CIATH CÓRDOBA. (s.f.). *Centro de Investigaciones avanzadas en tecnología de hormigón*. Recuperado el diez de enero de 2015, de hormilivi: <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>

Enriquez, S. (2012). *Comportamiento del hormigon sometido a sulfato de sodio*.

GEOMIMET. (1992). *GEOMIMET*. MEXICO.

<http://www.hormipresa.com>. (2011). *HORMIPRESA*. Recuperado el 25 de Junio de 2014, de <http://www.hormipresa.com/prefabricados-de-hormigon/paneles-portantes/>

<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>. (s.f.). Recuperado el 20 de 03 de 2015, de <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

L, S. (2006). *Laboratorio de Geología General*.

Maitre, L. (2002). *Igneous rocks: A Classification and glosary*.

Mindes, S. (s.f.). *Special concretes*.

NTE INEN 690. (s.f.).

NTE INEN 696 (ASTM - C136). (s.f.).

NTE INEN 696 (ASTM-C136). (s.f.).

NTE INEN 856 (ASTM-C127-04). (s.f.).

NTE INEN 856:2010. (s.f.).

NTE INEN 857. (s.f.).

NTE INEN 858: 2010. (s.f.).

NTE INEN 860 (ASTM-C131). (s.f.).

NTE INEN 860 (ASTM-C131). (s.f.).

PREINCO S.A. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2014, de  
<http://www.promateriales.com/pdf/pm1305.pdf>

Sanchez Hurtado, J. F. (2010). *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. España, España.

Sánchez, H. J. (2010). *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. Madrid.

Seggiaro, R. (1987). *Las Ignimbritas del complejo volcanocoranzuli (Puna Argentina - Andes Centrales)*. Argentina.

Sherrow. (2001). *the historical encyclopedia of good looks*. .

Sterling, C. P. (2001). *Hormigón celular con la utilización de* . Guayaquil.

Valdez Suárez, L. G. (s.f.). *Hormigones Livianos*. Guayaquil.

Vargas, A. C. (2012). Módulo estático d elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple. Quito.

Videla C., C. P. (2000). Dosificación de Hormigones estructurales con aridos livianos. *Revista Bit*, 45.