

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Hormigón Liviano con Agregado de Origen Volcánico y Aditivo
Incorporador de Aire”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Darwin Iván Iza Manobanda

GUAYAQUIL – ECUADOR

2009

AGRADECIMIENTO

A mi Director de tesis, Ing. Hugo Egeuz Álava, por guiar este trabajo investigativo hasta su culminación. Al personal del Centro Técnico del Hormigón (HOLCIM) por toda su valiosa colaboración. Además mi gratitud para todos mis compañeros de aula y profesores, quienes directamente o indirectamente me brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria.

DEDICATORIA

A Dios por haberme inspirado durante el desarrollo de este proyecto. A mi madre, mis hermanas, mi novia y demás familias por su apoyo incondicional.

A mis sobrinas por la alegría renovada que nos brindan.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Hugo Egeuz A.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Xavier Arce P.
VOCAL

Ing. José Camposano L.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Darwin Iván Iza Manobanda

RESUMEN

Este trabajo presenta la información de la investigación realizada en la fabricación de paneles alivianados con la utilización de materiales locales como: el cemento puzolánico INEN IP, árido liviano en este caso se utilizo agregado de origen volcánico denominado Lapilli (comúnmente llamado chasqui) obtenido en las canteras de Latacunga (Provincia de Cotopaxi), arena de río, adicionalmente se planteo la adición de fibras de polipropileno, agua en las proporciones indicadas según su diseño, y finalmente aditivo elaborado con el objetivo de incorporar aire.

El curado en todos los ensayos se los hizo en las piscinas del laboratorio, con temperaturas desde los 20°C hasta los 30°C. Se obtuvieron bajas densidades en el hormigón liviano de hasta 1200kg/m³, debido en gran parte al uso de incorporadores de aire en la mezcla. En cuanto a la resistencia, fluctuaban entre los 60kg/cm² hasta un máximo de 150kg/cm².

Este hormigón debido a sus bajas densidades presenta propiedades físicas tales como aislamiento térmico, acústico, y resistencia al fuego. Permitiendo obtener mayores beneficios que con las de un hormigón convencional, además utiliza materiales locales abundantes en el medio. Reduciendo así el tiempo de construcción e invirtiendo un capital mínimo.

INDICE GENERAL

I	Introducción	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Hormigón Liviano. Definición y Composición	4
II	Características Físicas	7
2.1	Resistencia Mecánica	8
2.2	Conductividad Térmica	8
2.3	Aislamiento Acústico	10
2.4	Resistencia al Fuego	11
2.5	Durabilidad	12
III	Materiales Componentes	14
3.1	Cemento Pozolánico INEN IP	16
3.2	Agregado Grueso (Chasqui)	18
3.3	Agregado Fino (Arena de río)	19
3.4	Filler Calizo (Polvo mineral)	20
3.5	Agua como materia prima	21
3.6	Fibras de Polipropileno	22
3.7	Aditivo incorporador de aire	23

IV Diseño y Ensayos en el Hormigón	24
4.1 Diseño de mezclas. Generalidades	24
4.2 Procedimiento en el Laboratorio para el Mezclado del Hormigón	29
4.3 Toma de Muestras para la Elaboración de los Distintos Ensayos	33
4.4 Curado de las Muestras de Hormigón	35
4.5 Resultados	36
4.5.1 Resistencia: Compresión, Tracción y Flexión pura	36
4.5.2 Modulo Elástico	40
4.5.3 Conductividad Térmica	42
4.5.4 Contracción por Secado	46
V Aplicaciones Comerciales	47
5.1 Hormigón Estructural Premezclado	48
5.2 Paneles Prefabricados	52
5.2.1 Dosificación de Paneles “Ensayo Patrón”	52
5.2.2 Procedimiento de Mezclado de Paneles en el Laboratorio	52
5.2.3 Paneles Fabricados en Planta	58
5.2.4 Curado	65
Conclusiones y Recomendaciones	
Anexos	
Bibliografía	

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la construcción en general para la elaboración de la mampostería se utilizan ladrillos huecos o bloques alivianados elaborados con áridos livianos, como es el caso del uso del Lapilli o Pómez volcánica.

El costo elevado hoy en día en la construcción tanto en la mano de obra como los materiales han hecho que se busquen otras alternativas para la elaboración de viviendas tratando de abaratar precios y acortando el menos tiempo posible la construcción.

Por esta razón como una alternativa se ha creado un sistema constructivo para la elaboración de viviendas por medio de paneles prefabricados, hechas de hormigón liviano que gracias a su bajo peso volumétrico pueden ser puestos "In Situ" tanto de manera manual o mediante maquinaria para su colocación.

Como una de las ventajas de los paneles es de poseer bajo peso esto a su vez reduce la carga muerta, ya que todo peso gravita sobre la cimentación. Entre las características más notables del hormigón liviano de origen volcánico presenta una baja conductividad permitiendo un buen aislante térmico, además da muy buenas prestaciones en lo que respecta a su comportamiento al fuego.

1.1 Antecedentes

Los hormigones livianos son el producto de una moderna tendencia destinada a lograr materiales de construcción que reúnan las características de ligereza, aislamiento y economía, conservando las propiedades de un hormigón ordinario.

Los hormigones livianos vienen siendo usados desde hace muchísimo tiempo, conjuntamente con el hormigón convencional cuando inicia el "boom" de las construcciones con concreto en todo el mundo, pero a partir de la segunda mitad del siglo XX tienen su mayor utilización y desarrollo. Cabe destacar que a lo largo del continente americano hasta en el mismo EE.UU., los hormigones livianos han tenido poca

utilización, a diferencia de Europa especialmente y Asia, donde su uso es bastante importante en la mayoría de construcciones.

Existe una innumerable gama de hormigones livianos, que por lo general, se diferencian entre sí solamente por los materiales utilizados en su elaboración, teniendo solamente en común la utilización de cemento y agua.

Para cualquier agregado liviano, la investigación de sus características físicas, la adición de aditivos químicos dosificación en el laboratorio, la metodología para efectuar la mezcla y el tipo de curado, es primordial. Además se debe tener suficiente y apropiados resultados de las cualidades del hormigón resultante, es importante considerar que también va a influir los diferentes procesos que intervinieron en la fabricación del agregado y la temperatura a la que se le sometió esto es en el caso exclusivo para los agregados livianos artificiales. (7)

1.2 Hormigón Liviano de Agregado de Origen Volcánico (Chasqui) con Aditivo Incorporador de Aire. Definición y Composición

Se llama hormigón liviano de agregado de origen volcánico con aditivo incorporador de aire a una mezcla de cemento, agregado grueso (chasqui), arena de río, filler, fibras, aditivo y agua en las proporciones aproximadas indicadas en la tabla I.

TABLA I

MATERIALES UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO DE AGREGADO DE ORIGEN VOLCÁNICO CON ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE.

Materiales	% en peso
Cemento Puzolánico IP	26
Filler	3
Agregado grueso chasqui	29
Agregado fino chasqui	14,5
Arena de río boliche	14,5
Agua	13

Este tipo de hormigón produce una densidad inferior a 1800Kg/m^3 , y su amplio uso de obtener aislamiento térmico, acústico y también para rebajar el peso muerto actuante sobre los elementos estructurales resistentes. Teniendo en cuenta como principal limitación su baja resistencia y su alta retracción hidráulica pudiendo señalar que su valor es aproximadamente del orden del doble de los hormigones convencionales, aspectos que deben ser debidamente considerados al momento de contemplar su uso.

Como su nombre lo indica, se caracterizan por tener un reducido peso en relación a los hormigones normales o convencionales; gozan de extraordinarias capacidades para disminuir su densidad o peso específico, pudiendo llegar a alcanzar densidades tan bajas del orden de los 300Kg/m^3 .

Como ocurre en los hormigones en general, las resistencias mecánicas son casi proporcionales a su peso, conservando la regla de que a menor peso menor resistencia; por lo que en función a la resistencia los Hormigones Livianos, comparándolos con un hormigón convencional, presenta ligeras desventajas pero disponiendo de mayores ventajas si se los compara en función del peso propio. (7)

Los hormigones livianos son usados en obras en donde se requiera aminorar el peso propio del concreto, relegando en un segundo plano la importancia de su resistencia (aunque existen hormigones livianos de gran resistencia); algunas veces importa tanto la reducción del peso unitario del concreto, que no interesa la resistencia que este alcance, por ejemplo cuando se requiere gran aislamiento térmico.

En resumen se trata de un hormigón que, a diferencia de los hormigones convencionales, solo tiene aplicación en construcción en forma de elementos prefabricados (paneles). (7)

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La presente tesis pretende una investigación de las propiedades físicas de los paneles de hormigón liviano con agregado de origen volcánico tales como: el comportamiento mecánico del elemento, aislación térmica, resistencia al fuego, resistencia acústica aceptable y durabilidad. Mediante el uso de herramientas teóricas y experimentales.

2.1 Resistencia Mecánica

Este hormigón por su bajo modulo de elasticidad y densidad desarrolla una resistencia mecánica tanto a compresión como a flexotracción, menor a la de los hormigones convencionales. Esta variación de resistencia en este tipo de hormigón se debe a la utilización del agregado liviano que posee su propia resistencia.

Actualmente se acepta que el mejor índice de la calidad del hormigón es su resistencia a la compresión a 28 días, medidas en probetas preparadas, curadas y ensayadas bajo condiciones estrictamente normalizadas. Su resistencia a la compresión en este tipo de hormigón, en función de la densidad está comprendida entre los 7 y 10 MPa.

En la elaboración de los paneles la condición fundamental a cumplir es la resistencia del material, tomando en cuenta los problemas de protección y adherencia de la armadura, lo que podrá exigir un aumento del contenido de cemento y de compacidad.

2.2 Conductividad Térmica

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.

El agregado de origen volcánico (Chasqui) es un material que presenta 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.

El aislamiento térmico puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión del calor. Esta capacidad se llama Conductividad Térmica, cuando menor sea la conductividad térmica de un material mejor será su capacidad de aislamiento.

La conductividad es la característica por el cual el calor pasa a través de un material sólido o fluye de un material a otro cuando se encuentra, en contacto íntimo con él. El aire es un mal conductor de calor, de suerte para los hormigones ligeros, porosos por excelencia y que por consiguiente encierran cantidades considerables de aire, convirtiéndolos en buenos aislantes térmicos.

Conductividad térmica (k) es la cantidad de calor expresada en J(joule) que pasa a través de un metro cuadrado de material homogéneo, de un metro de espesor, en un segundo cuando la diferencia de temperatura entre cara y cara es de un grado centígrado.

Corriente calorífica (H) es la cantidad de calor que fluye a través de una sección por unidad de tiempo, su unidad es el vatio (W). (1)

Si definimos los siguientes parámetros:

1 H Corriente calorífica, W

2 k Conductividad térmica, J/(s m °C)

3 A Área transversal al flujo de calor, m²

4 T₂ – T₁ Diferencia de temperatura en °C, y

5 L Longitud en metros, en la que se produce la diferencia de temperatura,

podremos relacionarlos en la siguiente ecuación:

$$H = -kA (T_2 - T_1) / L$$

2.3 Aislamiento acústico

Con el progreso tecnológico, el entorno se ha poblado de ruidos que nos impiden escuchar adecuadamente, concentrarnos o incluso descansar. En la actualidad, el uso de estructuras alivianadas ayuda a controlar los ruidos ambientales absorbiendo y aislándolos al mismo tiempo.

Los paneles contruidos de hormigón liviano estructural, de calidad controlada y fabricado a base de agregado de origen volcánico (Chasqui o arcilla expandida), compuesta de perfiles tipo C en sus bordes y su doble

malla de acero electrosoldada, permiten obtener un muro monolítico, uniforme y resistente.

Capaz de brindar un ambiente satisfactorio en donde los sonidos deseados son escuchados con claridad por los oyentes y que los sonidos no deseados (ruido) sean apartados o absorbidos por dicha estructura. Dicha absorción de sonido se debe a la existencia de cámaras de aire en la textura de los hormigones de agregados livianos que hace que estos ofrezcan resistencia al paso del sonido. (4)

Estos paneles contruidos de 15cms de espesor garantizan un índice de comportamiento acústico, que reducen eficazmente los ruidos externos y/o los que se generan dentro de la vivienda hacia el exterior. Además esta estructura en conjunto absorbe las ondas sonoras, eliminando el eco de la habitación, lo que facilita la nitidez de los sonidos.

2.4 Resistencia al Fuego

El hormigón liviano de agregado de origen volcánico tiene la característica de resistir mucho mejor y de conservar sus cualidades en presencia del fuego, lo que facilita la protección de estructuras metálicas en comparación al hormigón convencional. Su excelente respuesta al fuego se debe a que este tipo de hormigón está construido con materiales incombustibles, que poseen principalmente baja conductividad térmica y un elevado punto de fusión.

Gracias a esto el avance del daño al hormigón liviano con refuerzo expuesto al fuego se produce más lentamente, conservando el hormigón sus propiedades mecánicas durante mucho más tiempo que una estructura de acero. La dificultad que tiene el calor de traspasar el hormigón provoca que siempre el interior del elemento este a menor temperatura que la desarrollada por el incendio.

Aunque un material de construcción sea incombustible, podría sufrir un cambio tal en presencia del fuego que lo hiciera inadecuado para desarrollar la función principalmente para la cual fue diseñado. Esto generalmente significa pérdida en su resistencia a la compresión como consecuencia de cambios físicos o químicos bajo temperaturas elevadas. (7)

2.5 Durabilidad

La durabilidad del hormigón liviano elaborado con agregado de origen volcánico es un material muy durable que no se degrada bajo condiciones climáticas extremas. El uso de los paneles brinda muros muy sólidos, entregando una obra gruesa de alta durabilidad en el tiempo.

Hormigón liviano de agregado de origen volcánico con fibras (7):

- Posee cualidades de madera: puede ser cortado, atornillado y clavado
- Inorgánico: no moho, hongos y tampoco es atacado por polillas o termitas
- Inversión de capital mínima

El empleo del hormigón liviano con agregado de origen volcánico puede utilizarse en la construcción como (7):

- Uso ideal en paneles para piso, techo y paredes
- Mejor producto para sistemas de edificación
- Se puede hacer modificaciones de última hora en la obra
- Compatible con todos los acabados
- Desperdicio mínimo en obra
- Fácil transporte, montaje de elementos y estructuras
- Reducción de costos de transportación, pesa la mitad del hormigón regular

CAPITULO III

MATERIALES

Sobre este tema en particular, es necesario poder identificar plenamente al agregado por su procedencia, es decir por el lugar donde fue captado.

Entre las materias primas tenemos: El cemento puzolánico INEN IP, agregado grueso (chasqui), arena de río, filler, agua, fibras de polipropileno y aditivo inclusor de aire.

Los agregados son sumamente importantes ya que de ellos depende la calidad del hormigón que vamos a obtener, no debemos olvidar que si hablamos en porcentajes, los agregados forman la mayor parte de la masa del concreto.

La arena y agregado grueso pueden ser obtenidas de diferentes canteras de nuestro medio. Para obtener un hormigón de alta calidad, es decir que los agregados pasen ciertas pruebas, así como también vamos a analizar sus características, de este modo nos aseguraremos que se encuentren dentro de los límites requeridos.

La granulometría, limpieza, forma, etc, son algunos de estos factores. Otro factor muy importante a ser considerado es la absorción, ya que esta incide directamente en el porcentaje requerido de agua y por lo tanto es otro factor a ser tomado en cuenta.

Para la caracterización de los agregados tanto fino como grueso se adoptó el uso de normas internacionales como las propuestas por el **ASTM** (*American Society for Testing and Materials*).

3.1 Cemento Puzolánico INEN IP

El cemento Pórtland Puzolánico es el producto de mezclar el cemento Pórtland y la puzolana, siendo esta un material silíceo en estado amorfo.

El tipo IP (**INEN 230 e INEN 490**) se lo puede usar para la construcción en general. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del clínter de cemento Pórtland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento Pórtland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento.

Los materiales puzolánicos que comúnmente se encuentran son: ceniza volcánica, ceniza volantes, tobas, esquistos de opalina.

La puzolana adherida al cemento en el proceso de hidratación liga químicamente el hidróxido de calcio que es soluble en el agua y que se desprende durante el endurecimiento del cemento Pórtland.

En la tabla II se muestran las Propiedades Físicas y Químicas del Cemento Portland IP ⁽¹⁾.

TABLA II A
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PÓRTLAND IP ⁽¹⁾

SiO ₂	27,9%
Al ₂ O ₃	5,8%
Fe ₂ O ₃	2,6%
CaO	52,7%
MgO	1,2%
SO ₃	2,8%
Perdida por calcinación	2,5%
Residuo Insoluble	13,1%

TABLA II B
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PÓRTLAND IP ⁽¹⁾

Resistencias	1 día	12.3MPa
	3 días	23.4MPa
	7 días	31.4MPa
	28 días	43.3MPa
Blaine		431m ² /kg
Retenido en 45µm (Nº.325)		6.4%
Fraguado Inicial		142min
Fraguado Final		260min
Contenido de aire en el mortero		1.7%
Contracción en Autoclave		-0.017%

¹Fuente : CTH

3.2 Agregado Grueso (Chasqui)

Lapilli o comúnmente llamado chasqui es un agregado liviano de origen volcánico, que existe al momento en la BLOQCIM S.A empresa fabricante de Bloques y adoquines Rocafuerte, pero este árido es originario o su procedencia está ubicada en las canteras de Latacunga.

Son flujos piroplásticos de composición acida, concretamente son vidrios riolíticos. Se les encuentra en fragmentos de todos los tamaños, tanto en depósitos de proyección aérea como de flujo turbulento o laminar. Son de color claro y muy porosos, debido a la intensa vesiculacion, lo que les confiere una bajo peso esto se debe al hecho por ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por los gases que escapaban cuando el material estaba fundido. Densidad inferior a 1gr/cm^3 , que les hace flotar en agua.

El chasqui de las minas esta a menudo contaminado con polvo volcánico, arcillas y esquistos, de modo que después de triturarse hay la necesidad de lavarlos para remover esas partículas extrañas. (7)

Al final se obtiene un material fuerte y ligero que puede ser utilizado como agregado de bajo peso para la elaboración de hormigón liviano. Su alta porosidad determina bajo peso unitario, bajo peso específico y elevada absorción.

Para nuestra dosificación el árido volcánico se separo en dos granulometrías. A continuación nombraremos algunas características del agregado grueso (Chasqui):

- El tamaño de las partículas están en un rango de 19.0 – 4.8mm y 4.8mm – fondo.
- Presenta una alta porosidad
- Material duro de superficie rugosa
- No es corrosivo ni se pudre
- Soporta a la exposición al sol sin fundirse ni deteriorarse
- No produce gases
- Densidad(SSS) de 1450kg/m^3
- Absorción de 62 %
- Masa unitaria suelta 430kg/m^3
- Masa unitaria compactada 470kg/m^3

3.3 Agregado Fino (Arena de Río)

Para realizar nuestros diseños se utilizo arena natural procedente del Río Boliche como agregado fino.

A continuación nombraremos algunas de las propiedades físicas de la Arena Natural del Río Boliche como son:

- El tamaño de las partículas esta en un rango de 0,075 – 4,8mm
- Un modulo de finura de 2,5
- Densidad(SSS) de 2600kg/m³
- Absorción de 2,2 %
- Masa unitaria suelta 1570kg/m³
- Masa unitaria compacta 1680kg/m³

3.4 Filler Calizo (Polvo mineral)

Los filler calizo como su nombre lo indica son provenientes de materiales minerales como la caliza, son áridos cuya mayor parte pasa por el tamiz 0.063mm(Nº200) y que se obtienen por molienda de la caliza. Debido a su granulometría que poseen, mejoran las propiedades físicas del cemento, como la trabajabilidad y la retención del agua.

Se prescribe que el filler calizo tenga un contenido de carbonato de calcio (CO₃Ca) superior al 75% en masa y estar libre de materia orgánica o arcilla.

De acuerdo con la norma ASTM C136 la granulometría del filler debe estar comprendida entre los límites especificados en la tabla III (1).

TABLA III (1)

REQUISITOS GRANULOMETRICOS PARA EL FILLER ASTM C136

Tamaño del tamiz mm	Porcentaje que pasa en masa	
	Intervalo general para resultados individuales	Intervalo máximo declarado por el fabricante(*)
2	100	-
0.125	85 a 100	10
0.063	70 a 100	10

* Intervalo granulométrico declarado a partir de los últimos valores. El 90% de los resultados debe quedar comprendido en este intervalo, y todos los resultados deberán quedar comprendidos en el intervalo granulométrico general (columna central).

3.5 Agua como materia prima

El agua que se emplea en la mezcla debe ser limpia, libre de impurezas y carecerá de aceites, álcalis, ácidos, sales, azúcar y materia orgánica. Se puede utilizar agua potable.

La calidad del agua desempeña una función importante, las impurezas que contenga pueden intervenir en el fraguado del cemento y esto a su vez, puede afectar la resistencia del concreto o producir manchas en las superficies, así como causar corrosión en el acero de refuerzo.

¹Fuente: CTH

3.6 Fibras de Polipropileno

En las ultimas tres décadas habido un crecimiento en el uso de fibras sintéticas en concreto premezclado y concreto prefabricado. En nuestro caso las fibras de polipropileno añadidas a nuestra mezcla son las mas populares porque son químicamente inertes, hidrofòbicas, ligeras (livianas) y lo mas importante no se oxidan ni absorben agua. Se producen como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular. Están disponibles en longitudes típicas de 6mm y 18 mm y espesor variado de 0,005mm a 0,75mm. (3)

La dosificación habitual es de 0.6 a 1 kg de fibra por m^3 de concreto a fundir, las fibras de polipropileno reducen la fisuración (agrietamiento) por contracción y retracción plástica a la par aumentan la resistencia al fuego. También disminuyen el agrietamiento (fisuración) sobre la armadura de acero si son empleados en cantidades adecuadas. Además la presencia de la fibra de polipropileno en el concreto puede reducir el revenimiento (asentamiento) o la sedimentación de las partículas de agregado. Además las fibras reducen el descascaramiento del concreto.

En la tabla IV ⁽¹⁾ se muestran las propiedades de las fibras de polipropileno.

TABLA IV

PROPIEDADES DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO (1)

Tipo de Fibra	Masa específica relativa	Diámetro, µm	Resistencia a la tracción, MPa	Modulo de elasticidad, MPa	Deformación en la rotura, %
Polipropileno	0,90	20 - 200	450 - 700	3500-5200	6 - 15

3.7 Aditivo incorporador de aire

Los aditivos inclusores de aire (incorporadores de aire) se usan para introducir y estabilizar, de propósito, burbujas microscópicas de aire distribuidas uniformemente por toda la mezcla en el concreto. La eficiencia de un aditivo depende de los factores como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría, y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto. (3)

El aire incorporado mejora la trabajabilidad del concreto fresco y se reducen o eliminan tanto la segregación como el sangrado (exudación). La razón principal de este aditivo inductor de aire es la reducción del costo de la construcción de hormigón liviano. Buena calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y acabado.

¹ Fuente: Kosmatka, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Impreso México 1992. Pagina 155.

CAPITULO IV

DISEÑO Y ENSAYOS EN EL HORMIGÓN

4.1 Diseño de mezclas. Generalidades

El diseño de hormigón liviano con agregado de origen volcánico no tiene normas específicas para realizar su dosificación, por lo tanto como un método de diseño empleada es realizar algunas mezclas, para determinar las cantidades bases de cada material, de manera que se obtengan las propiedades objetivo buscadas en el hormigón (densidad, trabajabilidad y resistencia). Para luego realizar un ensayo patrón el que será utilizado en la construcción de los paneles.

El hormigón que vamos a obtener es una mezcla de Cemento Pórtland IP(cuyo contenido unitario no será menor de 300 kg/m^3 ni excederá de 500 kg/m^3), agregado liviano grueso y árido fino(se utilizo la mezcla de árido grueso liviano y arena fina natural), filler, fibras de polipropileno, agua y aditivo incorporador de aire. Las propiedades principales que interesan controlar para definir un método de dosificación son: densidad, trabajabilidad y resistencia a la compresión. La primera influye propiedades como: módulo de elasticidad, conductividad térmica, etc. La segunda queda determinada por los requisitos de construcción y la última es una propiedad de diseño. La trabajabilidad depende principalmente de la dosis de agua y granulometría de los áridos, y la resistencia de la razón agua / cemento.

Debido a la indeterminación exacta de la absorción de los agregados livianos, la utilización de la relación agua / cemento para cálculos precisos de dosificación resulta imposible. Por tal razón para la elaboración de nuestro diseño se estableció resistencias mínimas características, al contrario que con el hormigón normal que se establecen relaciones agua / cemento bajas por ende resistencias altas.

Para la elaboración de muestras y ensayos se adoptó el uso de normas internacionales como las propuestas por el **ASTM** (*American Society for Testing and Materials*).

Cemento + Agua + Árido Grueso (chasqui) + Aditivo incorporador de aire

TABLA V

DOSIFICACION Nº1

Dosificación		
Cementantes	Cemento (Tipo IP)	394 kg/m ³
	Filler	99 kg/m ³
Agregados	A. Grueso(Chasqui#67)	410 kg/m ³
	A. Fino(Chasqui)	0 kg/m ³
	Arena de río	410 kg/m ³
Agua	Agua	197 kg/m ³
Fibras	ConcFibers	1.0 kg/m ³
Aditivos	Millenium	0.7 kg/m ³
	Lightcrete	1.0 kg/m ³

Relación agua / cemento: 0.50

Peso de hormigón fresco: 10.585kg

Volumen: 7 dm³

Densidad del hormigón fresco: 1510kg/m³

**Cemento + Agua + Árido Grueso (chasqui) + Árido Fino (chasqui) +
Aditivo incorporador de aire**

TABLA VI

DOSIFICACION Nº2

Dosificación		
Cementantes	Cemento (Tipo IP)	320 kg/m ³
	Filler	41 kg/m ³
Agregados	A. Grueso(Chasqui#67)	356 kg/m ³
	A. Fino(Chasqui)	177 kg/m ³
	Arena de río	177 kg/m ³
Agua	Agua	191 kg/m ³
Fibras	ConcFibers	1.0 kg/m ³
Aditivos	Millenium	- kg/m ³
	Lightcrete	2.0 kg/m ³

Relación agua / cemento: 0.60

Peso de hormigón fresco: 8.835kg

Volumen: 7 dm³

Densidad del hormigón fresco: 1262kg/m³

ENSAYO PATRON

Para la realización de los paneles utilizaremos este diseño que a diferencia de los ensayos anteriores, nos brinda unas mejores características como las que nombraremos a continuación:

Relación agua / cemento: 0.49

Peso de hormigón fresco: 8.805kg

Volumen: 7 dm³

Densidad del hormigón fresco: 1260kg/m³

TABLA VII

Dosificación		
Cementantes	Cemento (Tipo IP)	328 kg/m ³
	Filler	42 kg/m ³
Agregados	A. Grueso(Chasqui#67)	365 kg/m ³
	A. Fino(Chasqui)	182 kg/m ³
	Arena de río	182 kg/m ³
Agua	Agua	160 kg/m ³
Fibras	ConcFibers	1.0 kg/m ³
Aditivos	Millenium	1.8 kg/m ³
	Lightcrete	1.0 kg/m ³

4.2 Procedimiento en el Laboratorio para el Mezclado del Hormigón

- Los agregados, cemento y filler deberán ser previamente pesados en balanzas de precisión en las cantidades especificadas en la tabla VII, y serán colocadas en bandejas metálicas. De igual forma el agua de mezclado es colocada en un recipiente.



FIGURA 4.1 Cemento, Agregados, Filler y Agua para la mezcla

- La fibra de polipropileno es pesada y colocada en una bandeja, ya que posteriormente se utilizara directamente sobre la mezcla.



FIGURA 4.2 Pesaje de la Fibra de Polipropileno

- El aditivo incorporador de aire es pesado y colocado en un vaso de precipitación o una probeta, ya que posteriormente es utilizado con el agua de mezclado.



FIGURA 4.3 Pesaje del Aditivo incorporador de aire

- La mezcladora de tipo artesana fue la que generalmente se utilizo para mezclar el hormigón liviano, estas mezcladoras tienen una capacidad de 40 litros, tiene la posibilidad de observar el hormigón en ella, y por lo tanto ajustar la mezcla en algunos casos. Antes de la dosificación las paredes y fondo de la mezcladora deberán ser humedecidas con un paño previo a la colocación de los materiales, evitando dejar agua libre en su interior.



FIGURA 4.4 Mezcladora de Artesa

- Antes de empezar la rotación de la mezcladora primero se coloca el agregado grueso (chasqui). Se pone en funcionamiento la mezcladora al cabo de un tiempo se coloca el arena de río posteriormente se coloca en la mezcla el cemento y filler se dan unas revoluciones mas hasta llegar a obtener una mezcla homogénea de estos materiales, luego se agrega el agua las dos terceras partes de lo pesado. Mientras tanto la mezcladora sigue en movimiento para que todos los materiales se combinen.



FIGURA 4.5 Colocación de los materiales y las 2/3 partes de Agua a la mezcla

- Pasado un tiempo prudencial a la mezcla después que se puso las dos terceras partes de agua a la dosificación se añade la fibra de polipropileno.



FIGURA 4.6 Colocación de la Fibra de Polipropileno en la mezcla

- Finalmente el aditivo incorporador de aire es añadido a la mezcla simultáneamente con la última parte de agua de mezclado, nunca se añade el aditivo directamente al cemento o a los agregados.



FIGURA 4.7 Colocación del Aditivo incorporador de aire en la mezcla

En general los tiempos de mezclado son mayores que los del hormigón normal. El mezclado se completara hasta obtener el grado de uniformidad deseado. Hay que tener precaución de que no ocurra la segregación que se da por la flotación de los agregados gruesos, al contrario del hormigón convencional que las partículas tienden irse hacia el fondo.



FIGURA 4.8 Mezcla de Hormigón Liviano con Agregado volcánico

4.3 Toma de Muestras para la Elaboración de los Distintos Ensayos

Producto de la dosificación mostrada anteriormente se moldearon cilindros y vigas distribuidos de la siguiente manera: 6 cilindros de hormigón de 200mm. De altura por 100mm de diámetro, que serán utilizados para realizar los ensayos de Compresión Simple y Diametral (método brasilero). Cilindros que serán ensayados a los 3, 7, 14 y 28 días.



FIGURA 4.9 Moldes metálicos cilindros de 100x200mm

Se realizaron también 2 cilindros de hormigón de 300mm de altura por 150mm de diámetro, que servirán para realizar el ensayo de Modulo Elástico a los 28 días de edad.



FIGURA 4.10 Moldes metálicos cilindros de 150x300mm

En ambos casos estos cilindros al estar en contacto con hormigón su material debe ser de acero, para que no absorba el agua del amasado. Además estos cilindros deberán ser rígidos y con los planos de sus bases normales a sus ejes.

Se elaboraron 2 vigas para el ensayo de resistencia a la Flexión pura, esto se lo realiza en moldes rectangulares de acero de dimensión de 150x150mm con una longitud de 500mm. Cuya rotura se realizaran a los 28 días.



FIGURA 4.11 Moldes metálicos vigas de 150x150x500mm

Finalmente para medir y controlar la Contracción por Secado, se tomaron viguetas pequeñas de dimensión 100x100mm con una longitud de 285mm.



FIGURA 4.12 Moldes metálicos viguetas de 100x100x285mm

4.4 Curado de las Muestras de Hormigón

El agua en exceso mejora la manejabilidad, dañando su resistencia. Pero es buena en exceso para el curado del hormigón.

Los cilindros y vigas una vez fundidos se colocaron durante 24 horas en una superficie horizontal, rígida, libre de vibración. Pasada las 24 horas se procedió a desencofrar.

Una vez desencofrados permanecieron saturados durante 3, 7, 14 y 28 días. Los cilindros después de ser curado a los distintos días se procedió a llevarlos a la rotura en la maquina a Compresión.



FIGURA 4.13 Curado de las muestras

4.5 Resultados

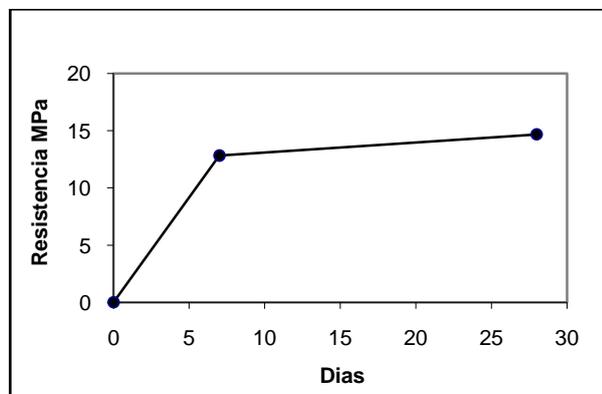
4.5.1 Resistencia: Compresión, Tracción y Flexión pura

Para el ensayo a compresión se cumplió con la norma ASTM C39 e INEN 1573. En el ensayo de Tracción por compresión diametral se cumplió con las normas ASTM C496. Para el ensayo a flexión se cumplió con la norma ASTM C78. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

RESULTADOS A LA COMPRESION SIMPLE (ASTM C39) DE LA DOSIFICACION N° 1

Muestra N°	Edad días	Densidad kg/m ³	Resistencia MPa
1	7	1591	13.31
2	7	1548	12.34
3	28	1556	14.35
4	28	1579	15.00
Densidad promedio		1569	

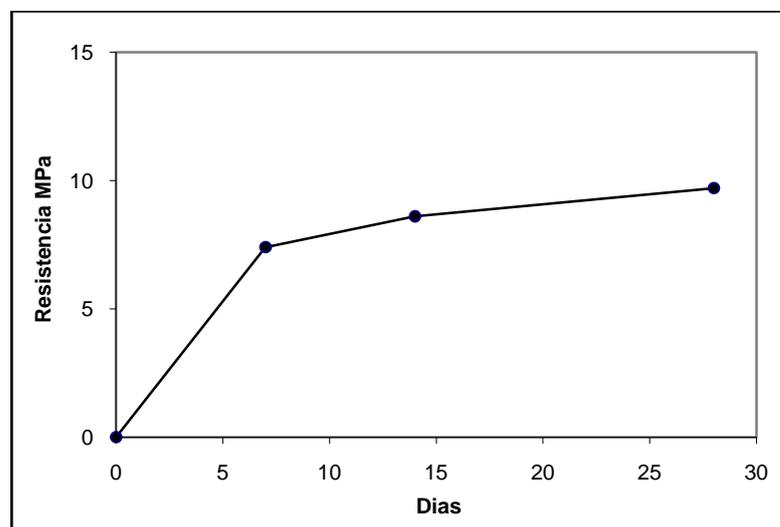
Curva Resistencia vs. Tiempo



**RESULTADOS A LA COMPRESION SIMPLE (ASTM C39) DE LA
DOSIFICACION N° 2**

Muestra N°	Edad días	Densidad kg/m ³	Resistencia MPa
1	7	1353	7.21
2	7	1364	7.60
3	14	1389	9.01
4	14	1365	8.09
5	28	1377	9.60
6	28	1401	9.69
Densidad promedio		1375	

Curva Resistencia vs. Tiempo

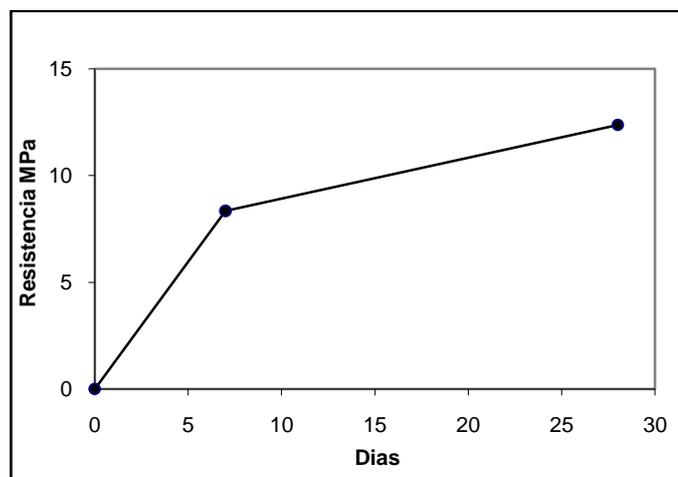


RESULTADOS A LA COMPRESION SIMPLE (ASTM C39) DEL ENSAYO

PATRON

Muestra N°	Edad días	Densidad kg/m ³	Resistencia MPa
1	7	1418	8.29
2	7	1362	8.48
3	28	1450	12.77
4	28	1457	11.96
5	28	1389	9.48
Densidad promedio		1415	

Curva Resistencia vs. Tiempo



4.5.2 Módulo de Elasticidad

TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL ASTM C496					
Muestra N°	Diámetro mm	Altura mm	Carga kN	Tracción MPa	Promedio MPa
Dos.1-1	101	203	32.93	1.02	1.11
Dos.1-2	101	203	38.96	1.20	
Dos.1-3	101	203	37.7	1.17	
Dos.1-4	101	203	38.6	1.19	
Dos.2-1	101	203	24.7	0.76	0.75
Dos.2-2	101	203	24.3	0.75	
Dos.2-3	101	203	44.40	1.37	1.33
Dos.2-4	101	203	41.80	1.29	
E.P 1	100	203	26.60	0.83	0.84
E.P 2	100	203	27.30	0.85	
E.P 3	101	204	26.90	0.83	0.88
E.P 4	101	204	29.60	0.92	

MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS ASTM C78						
Muestra N°	Ancho mm	Profundidad mm	Longitud mm	Carga kN	Flexión MPa	Promedio MPa
1	155	155	450	14.78	1.78	1.78
2	155	155	450	12.81	1.54	1.52
3	155	155	450	12.39	1.49	

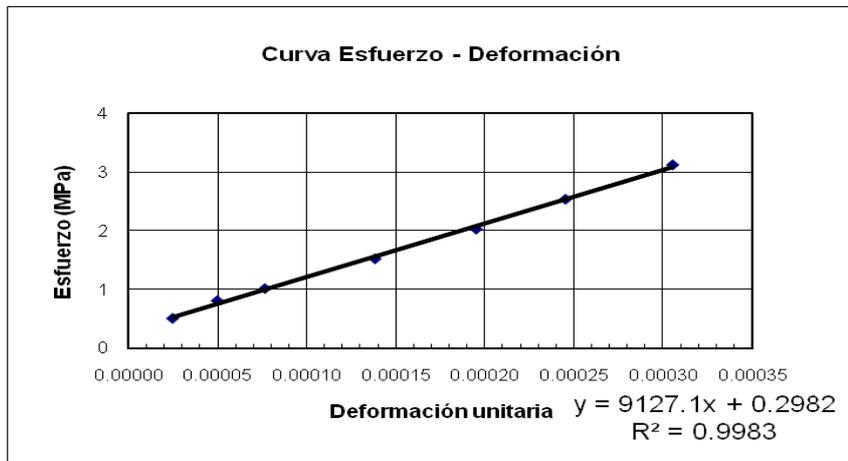
Para este ensayo se cumplió con la norma ASTM C469 los resultados fueron los siguientes:

**Determinación del Módulo de Elasticidad Estático
del Hormigón a Compresión
ASTM C 469**

	PRUEBAS CTH
Fecha moldeo:	10/30/2007
Fecha ensayo:	12/3/2007
Elemento :	HORMIGON LIVIANO
Muestra Nº :	Dosificación № 1
Edad:	28 días
Condición:	Muestra húmeda *
Diámetro:	149.5 mm
Longitud:	300 mm
Resistencia máx:	9.7 MPa

Esfuerzo (MPa)	Deformación Unitaria
0.8	0.00005
0.5	0.00003
1.0	0.00008
1.5	0.00014
2.0	0.00020
2.5	0.00025
3.1	0.00031

* Sumergido en piscina de curado 24 horas después del moldeo



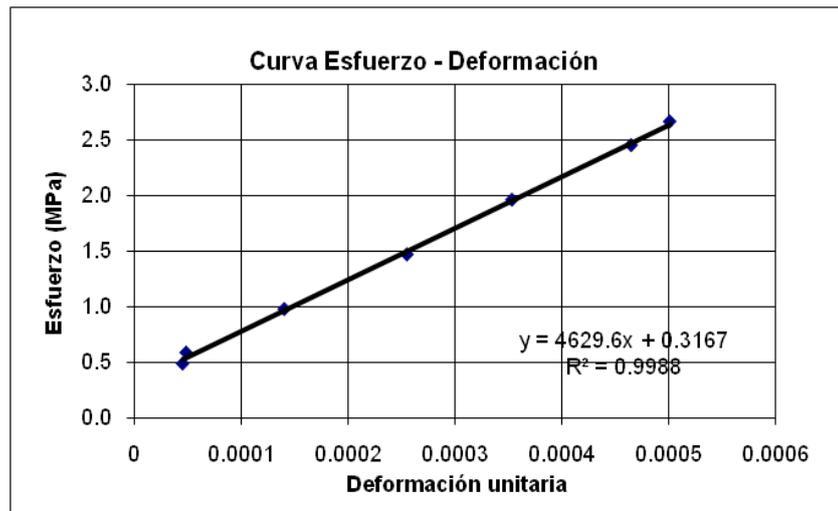
E= 9.1 GPa

**Determinación del Módulo de Elasticidad Estático
del Hormigón a Compresión
ASTM C 469**

	PRUEBAS CTH
Fecha moldeo:	10/30/2007
Fecha ensayo:	12/3/2007
Elemento:	HORMIGON LIVIANO
Muestra N° :	Dosificación № 2
Edad:	28 días
Condición:	Muestra húmeda *
Diámetro:	152 mm
Longitud:	305 mm
Resistencia máx:	6.7 kN

Esfuerzo(MPa)	Deformación Unitaria
0.6	0.00005
0.5	0.00005
1.0	0.00014
1.5	0.00026
2.0	0.00035
2.5	0.00047
2.7	0.00050

* Sumergido en piscina de curado 24 horas después del moldeo



E= 4.5 GPa

4.5.3 Conductividad Térmica

Para determinar la conductividad térmica de las muestras de hormigón liviano con agregado de origen volcánico se utilizaron los siguientes equipos:

- Fuente - Termocupla (buque superior)
- Receptor (buque inferior)
- Termopares (alambres de cobre y constantan)
- Galvanómetro
- Calentador de Agua por inmersión
- Cronometro
- Tapón (5 kg de peso)



FIGURA 4.14 Equipos y Materiales para realizar el Ensayo

Para obtener el valor de la conductividad térmica las muestras de hormigón liviano poseen forma cilíndrica diámetro de 100 mm y un espesor de 40 mm. El material que se prueba se coloca debajo de la fuente de buques. La fuente o termocupla está llena de vasos de agua caliente, para mantener el agua a una temperatura constante se coloca un calentador de inmersión en ella. El receptor debe estar aproximadamente a temperatura ambiente, los buques son de cobre de capacidad térmica conocida. La muestra da información cada minuto a través de unos termopares (alambres de cobre y constantan) que van conectados a un galvanómetro, mismas lecturas que son rastreadas por este.

Se utiliza un galvanómetro con escala lineal, dependiendo del tipo de galvanómetro se utiliza una serie y derivación de resistencias que sean necesarias para mantener la aguja en la escala Termopares y galvanómetro se utilizan para indicar las diferencias de temperatura. De la tasa a la cual el calor se realiza a través del material, y la superficie, espesor y diferencia de temperatura de las caras de la muestra del material.

Los datos que nos interesan son los que después de 15 minutos ya no presentan variaciones, ya que el flujo de calor es en estado estacionario y en un solo sentido. Para mantener la muestra en íntimo contacto entre la fuente y el receptor se utilizó un peso de 5 Kg.

$$m = - KA / 2.303 IMc$$

En donde:

m= Pendiente del grafico tiempo Vs. log i (segundos).

A= Área de la muestra (m).

l= Espesor de la muestra (m).

M= Masa de la muestra (g).

c= Calor especifico del cobre (cal/g °C).

K= Conductividad Térmica, expresada en J / (seg. m °C).

Se debe tomar entonces un conjunto de 10 lecturas, estos datos obtenidos son utilizados para graficar la función tiempo Vs log i. Finalmente utilizando la pendiente m ($t / \log i$) del grafico que debe ser una recta mas la masa M , la zona A y espesor l de la muestra, a más del calor especifico c del cobre calculamos la conductividad térmica K de la muestra. (5)

Los datos de conductividad térmica encontrados para los siguientes materiales fueron:

CONSTANTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA	
AGREGADO DE ORIGEN VOLCANICO (Dosificación № 1)	0.62 J/sm°C
AGREGADO DE ORIGEN VOLCANICO (Dosificación № 2)	0.58 J/sm°C
AGREGADO DE ORIGEN VOLCANICO (Ensayo Patrón)	0.56 J/sm°C
POLIESTIRENO EXPANDIDO (Densidad=1300 Kg/m3)	0.32 J/sm°C

4.5.4 Contracción por Secado (ASTM C157/C157M)

Grafico Contracción de Dosificación № 1



Grafico Contracción de Dosificación № 2



Grafico Contracción de Ensayo Patrón



CAPITULO V

APLICACIONES COMERCIALES

Este capítulo trata sobre el uso comercial del hormigón liviano, tanto en concreto premezclado es decir aquel que en vez de dosificarse y mezclarse en obra es suministrado en una Planta de Control listo para colocarse o también en la aplicación comercial directa de los paneles ya fabricados. Una vez hecho los ensayos en el laboratorio teniendo en cuenta ciertas consideraciones como un bajo peso total del panel, obteniendo un bajo coeficiente de conductividad térmica y logrando condiciones de habitabilidad con solo 0.15m de espesor, se ajusto la dosificación de un hormigón liviano que mejore la calidad sin incrementar el costo.

5.1 Hormigón Estructural Premezclado

Se conoce como hormigón premezclado, aquel que en vez de dosificarse y mezclarse en obra es suministrado en una planta de control listo para colocarse. Hoy en día se emplea más este método ya que ofrece numerosas ventajas en comparación con el método ortodoxo de elaboración (In Situ).

Para la realización de hormigón liviano con agregado de origen volcánico y aditivo incorporador de aire hay que tener ciertas consideraciones, ya que para el proceso de dosificación no es el mismo que se aplica al del hormigón convencional. Es fundamental saber que el Ecuador no cuenta con normas específicas para la elaboración de este tipo de hormigón.

Fabricar hormigón puede parecer a muchos una tarea elemental fácil y sencilla y de hecho lo es. Lo verdaderamente complejo es obtener de este material las prestaciones que se esperan de él: propiedades físicas y mecánicas que le permitan soportar las sollicitaciones impuestas a la estructura, garantizando una prudente durabilidad y en las mejores condiciones económicas posibles.

El fabricante o productor es el responsable de la calidad del hormigón fresco de todos y cada uno de sus componentes, entonces nombraremos aspectos que no se debe descuidar al momento de realizar este tipo de hormigón liviano premezclado:

- Los áridos, en la mayoría de los casos, puede satisfacer fácilmente los requerimientos de resistencias mecánicas pero es necesario tomar precauciones. El más común y uno de los más peligrosos es la presencia de materia orgánica sobre el material fino (arena natural de río). Hay que señalar que no toda la materia orgánica proviene de las aguas negras o desechos industriales.
- Controlar periódicamente la granulometría y el modulo de finura, especialmente de la arena y realizar los reajustes de las dosificaciones si aquellos han cambiado, ya que no es adecuado tener “dosificaciones patrón” durante largo tiempo. Hay que recordar que los materiales no son uniformes y pueden cambiar repentinamente, incluyendo el cemento.

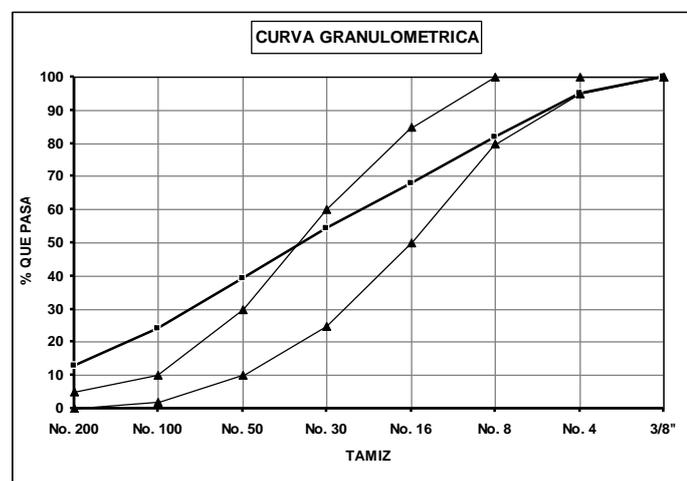


GRAFICO 5.1 La granulometría puede cambiar, afectando las dosificaciones

- La resistencia a la compresión del hormigón no es la única ni la más importante de sus propiedades mecánicas. La rigidez del hormigón, medida por su modulo de elasticidad también lo es.

- El agua de mezclado, si no es potable, puede contener sustancias químicas que ataquen al cemento o a los otros componentes del hormigón. Su acción podría ser retardada y hacerse visible después de algún tiempo o bajo condiciones particulares. El análisis químico del agua debería ser una precaución saludable, a menos que sea potable.

- De manera general, el fabricante debe certificar que los materiales que esta empleando para fabricar el hormigón, cumplan con las normas ecuatorianas del INEN o de la ASTM como: la C33 para los agregados, C595 para el cemento y la C494 para el uso de aditivos.

- Debe implementarse procedimientos automáticos o mecanizados de dosificación que impidan el error humano, especialmente cuidar la relación agua / cemento con mediciones precisas del contenido de humedad de los agregados.

- La relación agua / cemento debe mantenerse constante, aunque para este tipo de hormigón no se puede obtener un calculo preciso, debido a la indeterminación de absorción de sus agregados.

- El asentamiento será máximo de 10 cm, ya que de exceder este valor puede presentarse la segregación, fenómeno que sucede por flotación de las partículas gruesas, al contrario que el hormigón normal en que las partículas gruesas precipitan al comenzar la segregación.

- En lo que tiene que ver con la Producción y Transporte, la diferencia con respecto del hormigón normal en este proceso se refiere al cuidado de la humedad del agregado, a la secuencia del ingreso de cada material a la hormigonera y al tiempo de mezclado. Como los agregados absorben más del 2% de agua en peso, se procederá a la prehumectación de todos los agregados, sin exceso de humedad superficial, luego todo el cemento; a la hormigonera se ingresará el 80% del agua de mezclado y a continuación se mezclará más de 90 segundos. Después se ingresará el resto del agua a la mezcla conteniendo eventualmente todo el aditivo. La dosificación se completará con 60 segundos adicionales de mezclado. Se incrementarán los tiempos de mezclado hasta obtener el grado de uniformidad deseado. En general, los tiempos de mezclado son mayores que del hormigón normal.

5.2 Paneles Prefabricados

Este producto desarrollado por agregado liviano de origen volcánico representa una alternativa viable en la construcción de proyectos habitacionales. El concepto inicial de este proyecto radica en la fabricación de un panel de bajo peso para la construcción de viviendas de bajo costo.

El país cuenta con canteras de agregado de origen volcánico artificial, la principal característica de este es que se presenta de forma granular, su baja densidad alcanza un término medio cercana a 1200kg/m^3 , la mitad de la que se obtiene con un hormigón fabricado con agregados pétreos normales.

5.2.1 Dosificación de Paneles “Ensayo Patrón”

Las proporciones de los materiales utilizados para la fabricación de los paneles realizados tanto en el laboratorio como los elaborados en planta, se construyeron a partir del diseño patrón que se encuentran en la tabla VII.

TABLA VII

Dosificación		
Cementantes	Cemento (Tipo IP)	328 kg/m ³
	Filler	42 kg/m ³
Agregados	A. Grueso(Chasqui#67)	365 kg/m ³
	A. Fino(Chasqui)	182 kg/m ³
	Arena de río	182 kg/m ³
Agua	Agua	160 kg/m ³
Fibras	ConcFibers	1.0 kg/m ³
Aditivos	Millennium	1.8 kg/m ³
	Lightcrete	1.0 kg/m ³

Se escogió este diseño ya que brinda las siguientes características:

Densidad hormigón fresco: 1260kg/m³

Resistencia a la Compresión a los 28 días: 11.40 MPa

Reducción en costos

5.2.2 Procedimiento de Mezclado de Paneles en el Laboratorio

La muestra de referencia del diseño tiene un área de 80 x 50 cm y 4cm de espesor. El propósito principal de los paneles de muestra realizados en el laboratorio es comparar resistencia, trabajabilidad, densidad, peso y también para fines de cotización. Para luego ser llevado a un modelo a escala real que será construido en planta.

Además el modelo a escala nos puede servir para ver las variaciones que se puedan dar en su acabado, por ende realizar sus respectivas correcciones a futuro. También a la vez este modelo servirá para ver si afectara o no a la colocación definitiva del hormigón liviano en la posición que se encuentre el panel.

El procedimiento aplicado para su mezclado es el que se utilizo en el numeral 4.2 paso a paso. Una vez determinada su dosificación se utilizaron los siguientes equipos y moldes adecuados para su realización:

- Para la elaboración de los paneles se utilizo un molde metálico con la capacidad para 10 paneles de dimensión 80x50x4cm.



FIGURA 5.1 Molde para la elaboración de paneles

Antes de la puesta de hormigón en el molde se coloca una capa de aceite para que al momento de desmoldar los paneles no se adhiera a las paredes.

- Con la ayuda de una cuchara metálica empezamos a llenar uniformemente, es decir colocación y compactación de la primera capa después la segunda capa etc. El molde se lleno mediante 3 o 4 capas con hormigón liviano siguiendo los pasos ya mencionados.



FIGURA 5.2 Colocación del hormigón liviano en el molde

- La compactación se realizo mediante el uso de la varilla metálica del cono de Abrams ($l=60\text{cm}$, $\Phi=16\text{mm}$ y con un extremo de forma semiesférica) se procedió apisonar cada capa con 25 golpes aproximadamente, este apisonado se lo realiza para eliminar la cantidad de aire que se encuentra atrapado en el hormigón fresco.



FIGURA 5.3 Compactación de paneles

- Finalizada la compactación de cada capa se golpeo ligeramente el molde de 10 a 15 golpes con un martillo de goma para eliminar los huecos dejados por el varillado y las burbujas de aire.



FIGURA 5.4 Golpe del molde con el martillo de goma

- Después de la compactación se procedió a retirar el hormigón sobrante con un vailejo, aislando su superficie de tal forma que cumpla las tolerancias de acabado.



FIGURA 5.5 Retirada de hormigón sobrante

Los paneles se dejaron sin tocarlos al menos 24 horas después de su moldeo, hasta que se hayan endurecido lo suficiente para resistir el manejo. La parte superior del molde se cubrió con un lienzo húmedo para que no haya pérdida de humedad.

- Pasada las 24 horas luego de su elaboración se desmoldaron los paneles y se colocaron en las piscinas del laboratorio que contienen agua saturada con cal a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.



FIGURA 5.6 Desmolde de paneles

Después del proceso de curado pasado los 28 días los paneles fueron sacados de la piscina, para realizar su correspondiente ensayo referente a la conductividad térmica cuyos resultados se encuentran en el Capítulo IV numeral 4.5.3.

5.2.3 Paneles Fabricados en Planta

El panel está confeccionado de hormigón liviano con agregado de origen volcánico, la densidad aparente es de 1300kg/m^3 aproximadamente. Los paneles empleados en la construcción de viviendas son fáciles de transportar y montar en obra, debido a su bajo peso.

Para la construcción del panel elaborado en planta se conto con la ayuda de "MAVISA S.A "empresa Ecuatoriana dedicada a la fabricación de productos Prefabricados y Pretensados, esta empresa cuenta con el equipo y espacio necesario para su realización. Las proporciones de los materiales utilizados en Fábrica se encuentran en la tabla VII dada anteriormente.

- El sistema constructivo de fabricación de los paneles está basado en la unión de perfiles metálicos tipo C por medio de soldadura, cuya función estructural es asegurada por dos mallas de acero galvanizado electrosoldadas unidas entre sí a través de conectores de acero también galvanizado formando una estructura espacial, además cada malla es soldada espaciada una cierta distancia entre sí al canal.



FIG. 5.7 Unión de perfiles C



FIG. 5.8 Soldadura de mallas al perfil

- Sobre una plancha metálica se coloca una capa delgada de diesel, donde se colocara el panel de manera horizontal listo para su fundición. La capa de diesel ayuda a que el panel no se quede adherido a la plancha al momento de desmoldar.



FIGURA 5.9 Colocación de diesel a la plancha metálica



FIG. 5.10 Colocación del panel de manera horizontal sobre la plancha

- Las canalizaciones para las instalaciones eléctricas o sanitarias se las puede realizar antes o después de fundir el panel, ya que la ventaja que posee el panel de hormigón liviano es que se puede clavar, cortar y aserrar para realizar cualquier modificación en obra.

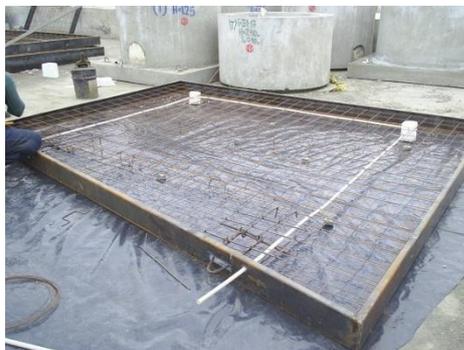


FIGURA 5.11 Instalación de tubo PVC eléctrica al panel

-Para el transporte y montaje de los paneles que se los realiza mediante grúas, se adapta un sistema de sujeción a la base del panel, esta sujeción se realiza mediante dos pasadores de acero galvanizado los mismos que

está anclados y amarrados a la malla metálica. Después del traslado y montaje de los paneles a la obra los sujetadores son cortados.



FIGURA 5.12 Sujeción de pasadores al panel

- Antes de realizar la fundición al panel de hormigón liviano, se fija unos soportes mediante soldadura a las bases del panel, esto se lo hace para evitar cualquier movilidad que pueda haber al momento de su fundición sin que afecte al diseño del panel.



FIGURA 5.13 Soldadura de soportes a las bases del panel

- Para la dosificación en planta los componentes del hormigón liviano tanto agregados como cemento están ubicados en estos dos silos los cuales son agregados a la mezcladora, para esto se conto con el instrumento y equipo adecuado para medir los materiales que son controlados mecánicamente.



FIGURA 5.14 Dosificación en planta del hormigón liviano

- El agua de mezclado se descarga a la dosificación en un 80% con el equipo adecuado mecánicamente por el operador, el mismo que se encarga de añadir luego a la mezcla la fibra de polipropileno.



FIGURA 5.15 Colocación de agua y fibra de polipropileno

- Por último el operador añade el aditivo previamente ya medido a la mezcla con la porción restante de agua, el tiempo de mezclado se realiza hasta obtener una consistencia fluida, si la mezcla aparenta estar seca o muy solida es porque este tiempo no fue lo suficiente. Mediante este equipo sencillo de utilizar se puede realizar cualquier corrección a la mezcla.



FIGURA 5.16 Colocación del aditivo

- El transporte del hormigón fresco hasta el lugar de colocación de la fundición se lo realiza mediante un bobcat.



FIGURA 5.17 Transporte del Hormigón Liviano mediante el bobcat

- La compactación del hormigón se realiza mediante un vibrador interno accionado por un motor con manguera flexible (trenza de acero en vaina espiralada). La utilización del vibrado brinda una mayor homogeneidad del hormigón, evitando o reduciendo a un mínimo la formación de huecos o “nidos de abeja “. La duración del vibrado es lo más importante, ya que exceder este periodo puede producir segregación a la mezcla.



FIGURA 5.18 Compactación del Hormigón Liviano

- Después de la compactación se procede a enrasar o quitar el hormigón sobrante, esto se realiza mediante una regla de longitud apropiada. La regla se apoya sobre los perfiles laterales que se encuentran a la misma altura del revestimiento. Luego del enrasamiento se procede al alisado final con una llana metálica, todo este proceso es hecho mediante obreros experimentados para asegurar un acabado perfecto.



FIGURA 5.19 Enrasa-miento y alisado final del panel

Finalmente los paneles prefabricados son ideales en la construcción de viviendas o edificaciones, presentan un gran ahorro en comparación con otros materiales que puedan dar aspectos semejantes exteriormente, su poco peso y espesor hacen fácil su transportación e instalación, menor coste de obra ya que no necesitan encofrado disminuyendo así el tiempo de trabajo, mejora el rendimiento del personal contratado en obra y existe una reducción de mano de obra especializado etc. Además, reduce considerablemente el desalajo de desperdicios y basura generados, volviéndola una obra más limpia.

5.2.4 Curado

Después del alisado final del panel, se realiza su curado el cual consiste en cubrir todo el hormigón con un plástico. Este tipo de curado es aplicado para evitar la humedad del hormigón ya que de no ser así habría un mal desarrollo en su resistencia provocando que la superficie del panel se fisure.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los ensayos realizados y sus resultados, se puede concluir y resumir lo siguiente:

1. La dosificación № 1 utilizada para la mezcla de cemento con agregado de origen volcánico se obtuvo 14.7 MPa, aunque para ello se utilizó 394 kg de cemento por m^3 de hormigón. La densidad estuvo en 1569 kg/m^3 .
2. La dosificación № 2 utilizada para la mezcla de cemento con agregado de origen volcánico se obtuvo 9.6 MPa, aunque para ello se utilizó 320 kg de cemento por m^3 de hormigón. La densidad estuvo en 1375 kg/m^3 . Este diseño tiene la ventaja que para su dosificación se utilizó un solo tipo de aditivo inclusor de aire.
3. El diseño efectuado para nuestro ensayo patrón para la mezcla de cemento con agregado de origen volcánico se obtuvo 11.4 MPa, aunque para ello se utilizó 328 kg de cemento por m^3 de hormigón. La densidad estuvo en 1415 kg/m^3 . Tiene similitud con la resistencia del diseño con la dosificación № 2 con 320 kg de cemento por m^3 de hormigón.

4. En la dosificación № 1 no se utilizó agregado volcánico de granulometría tamiz pasante № 4 - fondo, mientras que en los demás diseños se utilizó las 2 granulometrías de áridos chasqui. Las variables que se conjugaron para la dosificación fueron: peso específico, relación agua/cemento y aditivo incorporador de aire.

5. El Módulo de Elasticidad de nuestro hormigón liviano con agregado de origen volcánico está por debajo de la mitad comparado con el hormigón convencional.

6. La constante de la Conductividad Térmica del hormigón liviano con agregado de origen volcánico está por la mitad de su valor en comparación con el hormigón convencional.

7. Los gráficos de Deformación Vs Tiempo de cada una de las dosificaciones muestran una contracción apreciable, para esto se recomienda realizar un buen curado para no tener futuras fisuraciones en los paneles, de ser así estas fisuraciones provocarían el debilitamiento del material o puede afectar la capacidad para soportar las cargas de diseño, además de dañar su apariencia.

8. La mejor trabajabilidad de la mezcla permitirá reducir los tiempos de colocación y compactación del hormigón en los paneles, lo que sin duda influirá en el costo final por panel.

9. Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes aditivos el LIGHTCRETE y MILLENIUM en una proporción de 1 kg por m³ de hormigón, obteniendo excelentes resultados en cuanto a la trabajabilidad se refiere. Se recomienda la utilización de estos aditivos en un porcentaje mayor, para ampliar los plazos de trabajabilidad del hormigón.

10. Se recomienda prehumedecer el agregado ligero para evitar la elevada absorción, esto se realiza introduciendo el árido y la mitad del agua de mezclado prevista, batiendo durante 30 segundos. Luego se deja en reposo unos 15 minutos. Caso contrario el agregado absorberá la pasta del cemento disminuyendo su resistencia.

11. La mezcla compactada en los paneles presenta vacíos importantes, los que contribuye aligerar el peso de los mismos. Pero a la vez esta deficiencia en la compactación ocasiona defectos en las características mecánicas del hormigón ocasionando una protección casi nula a la armadura por lo que es recomendable utilizar una armadura de refuerzo galvanizada.

12. Se recomienda tener sumo cuidado con la vibración de los paneles, ya que el exceso de este produciría segregación y exudación del árido volcánico en la mezcla, ya que el chasqui tiende a flotar yéndose a la superficie, y las partículas más pesadas tiende a descender.

ANEXOS

CARACTERIZACION DE AGREGADOS

AGREGADO	Ds.s.s (kg/m ³)	M.U.S (kg/m ³)	M.U.C (kg/m ³)	Po (%)
Agregado volcánico Fino	1727	716.7	766.7	17
Agregado volcánico Grueso	1450	433.3	470.8	62
Arena Natural	2600	1570	1680	2.2

Modulo de Finura del Agregado Fino (Arena Natural; M.F:2.5)

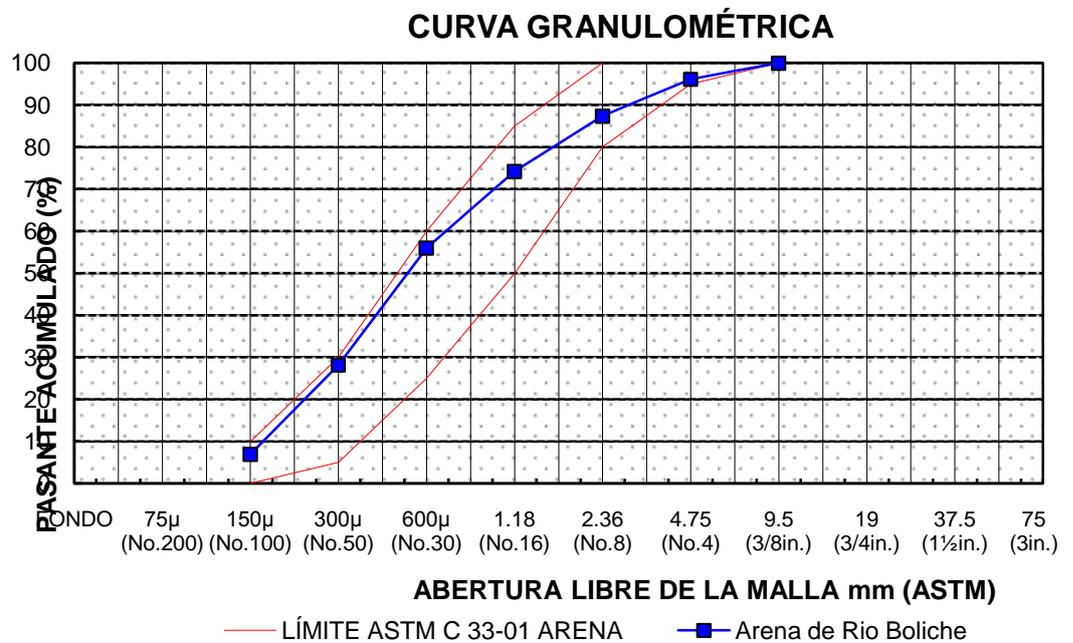




Figura № 1 Prensa para el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros



Figura № 2 Prensa para el ensayo de tracción por compresión de cilindros (Método Brasileño)



Figura № 3 Toma de lecturas de retracción en Deformímetro



Figura № 4 Prensa para realizar el ensayo Modulo de Elasticidad de los cilindros

BIBLIOGRAFIA

1. ARCE PEZO XAVIER. Hormigones Livianos. (Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1997).
2. NEVILLE ADAM, "Tecnología del Concreto ". Primera Edición 1999.
3. KOSMATKA,"Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Impreso en México 1992. Pág. 137, 157.
4. MIGUEL PAYA, "Aislamiento Térmico y Acústico". Ediciones CEMC S.A.10^{ma} Edición, Barcelona (España), Noviembre 1980. pág. 23, 24, 25.
5. C. J. Overbeck, R. R. Palmer, R. J. Stepheson, Marsh W. White. "Selective Experiments Physics". Ediciones Cenco, EE.UU 1990, Experiment № 2. pág. 1-5.
6. Manual ASTM 04.02 Concrete and Aggregates – 2007
7. Internet, páginas web:

[www.ing.puc.cl/ric/resúmenes de contenidos numeros.htm](http://www.ing.puc.cl/ric/resúmenes_de_contenidos_numeros.htm)

www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/LivianoT8.htm

<http://www.gobiernodecanarias.org/geotecnia/piroclastos.html>

www.easycrrete.us/wall_options.pdf