



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad De Ingeniería En Ciencias De La Tierra

“Hormigones Livianos”

TESINA DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

LUIS FERNANDO VALDEZ GUZMÁN

GABRIEL EDUARDO SUAREZ ALCIVAR

GUAYAQUIL- ECUADOR

AÑO-2010

AGRADECIMIENTO

A Dios ante todo, a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron con la elaboración de esta tesina, y especialmente a los miembros de mi familia que siempre me apoyaron y confiaron en mí.

Luis Fernando Valdez Guzmán

A Dios quien me dio salud y fuerzas para no claudicar, a mi familia que siempre confiaron en mi y pusieron sus esperanzas en mi, a las personas que colaboraron con su aporte, tales como profesores y amigos.

Gabriel Eduardo Suárez Alcívar

DEDICATORIA

A todos los miembros de mi familia siempre estuvieron alentándome a seguir adelante y nunca desfallecer, a todos los que me apoyaron en los buenos y malos momentos vividos en la universidad, a mis amigos y más allegados que de una u otra forma me ayudaron a progresar y madurar cada vez más.

Luis Fernando Valdez Guzmán

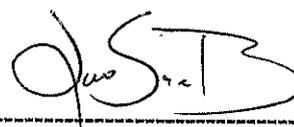
A mi familia que sin importar mil dificultades de por medio siempre me dieron su ayuda y apoyo de una u otra manera, a mi abuelita que en paz descanse a quien le prometí llegar un día, para ella en especial donde Dios la guarde esto es fruto de su constante entrega .

Gabriel Eduardo Suárez Alcívar

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Gastón Proaño
Presidente del Tribunal



Ing. Marco Suarez
Director de Trabajo de Grado

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, corresponden exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



LUIS FERNANDO VALDEZ GUZMÁN



GABRIEL EDUARDO SUAREZ ALCIVAR

RESUMEN

El trabajo presentado a continuación presenta información sobre los diferentes elementos que se pueden utilizar como agregados para la elaboración de hormigones livianos o ligeros. Los distintos agregados que se pueden utilizar son la piedra pómez, ceniza de cascarilla de arroz, poliestireno expandido, lava volcánica, arcilla expandida, entre otras las cuales le brindan al hormigón características físicas las cuales lo diferencian del hormigón convencional.

Así como también se da a conocer la clasificación del mismo, el tipo de uso y aplicaciones en el campo de la construcción, se proporciona también información sobre ensayos realizados con algunos de los agregados livianos

La variedad de agregados resulta en diversos beneficios como el aumento de rendimiento debido a la reducción de peso en el hormigón, específicamente en la disminución de la carga muerta en la estructura, además de una disminución en el transporte de materiales, mejor aislación acústica así como una mejor resistencia al fuego y al aislamiento térmico que la brindada por el hormigón convencional,

INDICE GENERAL

Agradecimiento.....	2
Dedicatoria.....	4
Resumen.....	8
Índice General.....	9
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
Abreviaturas.....	14
1. Capitulo 1.- Introducción.....	15
1.1. Antecedentes (origen, historia).....	16
1.2. Hormigones Livianos.- definición y clasificación.....	19
1.2.1. Hormigón de Relleno.....	19
1.2.2. Hormigón Aislante.....	19
1.2.3. Hormigón Estructural o de Alto Desempeño.....	20
1.3. Tipos de HL de acuerdo a su tipo de producción.....	21
1.4. Características Físicas y químicas (ventajas y desventajas).....	22

2. Capitulo 2.- Uso y Aplicaciones.....	25
2.1. Hormigón Estructural.....	26
2.2. Aislante Térmico.....	29
2.3. Estructura resistente al fuego.....	30
2.4. Prefabricados (bloques).....	32
3. Capitulo 3- Obras civiles donde se empleo Hormigones Livianos.....	35
4. Capitulo 4.- Materiales	43
4.1. Cemento.....	44
4.2. Piedra Pómez.....	46
4.3. Poliestireno.....	47
4.4. Virutas de madera.....	49
4.5. Ceniza de cascaras de arroz.....	50
4.6. Incorporación de Aire.....	52
4.7. Arcilla Expandida.....	53
5. Capitulo 5.- Diseño y ensayo del hormigón.....	55
5.1. Dosificación.....	55
5.2. Resultados.....	57
5.2.1. Resistencia: Compresión tracción y flexión.....	57
5.2.2. Modulo de elasticidad.....	63

5.2.3. Resistencia al fuego.....	64
5.2.4. Contracción por secado.....	65
5.2.5. Módulo de Elasticidad.....	66
5.2.6. Resumen de Resultados.....	67
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Propiedades Físicas de la ceniza de cascarilla de arroz.....	51
Tabla 2.-Composición Química de la cascarilla de arroz.....	52
Tabla 3.- Dosificación para ensayo de hormigones livianos.....	56
Tabla 4.- Hormigón con agregados de Galápagos.....	57
Tabla 5.- Hormigón con agregados de Galápagos.....	58
Tabla 6.- Hormigón con Piedra Pómez.....	59
Tabla 7.- Hormigón con Piedra Pómez.....	59
Tabla 8.- Hormigón con Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	60
Tabla 9.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	61
Tabla 10.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	61
Tabla 11.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	62
Tabla 12.- Tracción por Compresión Diametral.....	63
Tabla 13.- Módulo de Rotura en Vigas.....	64
Tabla 14.-Módulo de Elasticidad.....	66
Tabla 15.- Resumen de Resultados.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.- Ubicación del Puente de Raftsundet.....	36
Figura 3.2.- Fotomontaje del Puente Raftsundet.....	36
Figura 3.3.- Fotografía del Puente de Raftsundet Completo.....	37
Figura 3.4.- Representación artística de la plataforma Hibernia.....	38
Figura 3.5.- Base estructural de la Plataforma Hibernia parcialmente sumergida.....	39
Figura 3.6.- Plataforma Hibernia.....	40
Figura 3.7.- Vista de los condominios Sand Key Fase II.....	41
Figura 5.1.- Hormigón con agregados de Galápagos.....	58
Figura 5.2.- Hormigón con agregados de Galápagos.....	58
Figura 5.3.- Hormigón con Piedra Pómez.....	59
Figura 5.4.- Hormigón con Piedra Pómez.....	60
Figura 5.5.- Hormigón con Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	60
Figura 5.6.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	61
Figura 5.7.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	62
Figura 5.8.- Hormigón con Poliestireno Expandido.....	62

ABREVIATURAS

a.C: Antes de Cristo

d.C: Después de Cristo

Kg/m³: Kilogramos por metros cúbicos

mm: Milímetros

m: Metros

MPa: Mega Pascales

°C: Grados Centígrados

J/ms°C: Joule por metro por segundo por grado centígrado

%: Porcentaje

HL: Hormigón Liviano

m/s: metro por segundo

Km: Kilometro

FL: Florida

Rev: Revenimiento

No.: Número

M.R.V: Módulo de Rotura en Vigas

T.C.D.: Tracción por Compresión Diametral

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que poseen características propias, que mediante métodos en el proceso de su elaboración se ha hecho mas ligero que el hormigón convencional de cemento, grava y arena, el cual durante muchos años ha sido empleado como el material principal en el área de la construcción.

El hormigón liviano fue clasificado e identificado durante mucho tiempo por la densidad que este presenta, debido a que esta es inferior a 2400 kg/m^3 que es la densidad con la que fluctúa el hormigón normal. La característica mas evidente del Hormigón Liviano es, por su puesto su densidad, la cual es considerablemente menor que la del hormigón normal y con frecuencia es una fracción de la misma.

Se presentan muchas ventajas al tener materiales de baja densidad, como por ejemplo se reduce la carga muerta, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte. Se ha demostrado que utilizando hormigón liviano en la construcción se logra menos tiempo de ejecución en la obra, que si se utilizaran materiales tradicionales.

Una de las características de los Hormigones livianos es que posee una conductividad térmica relativamente baja, la cual se mejora mientras se reduce su densidad, como por ejemplo la necesidad de reducir el consumo de energía de los acondicionadores de aire de edificios, el hormigón liviano por su baja conductividad térmica mejora el ambiente y mantienen una temperatura confortable dentro de ellos.

Por otro lado los hormigones livianos generan una alternativa de salida para ciertos desechos agrícolas como la ceniza de cascara de arroz, ceniza de materiales combustibles utilizados para calderos, ceniza volcánica, etc.

1.1. Antecedentes (origen, historia)

Los primeros hormigones livianos utilizados para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en los años 20 a.C. Estos primeros hormigones eran resultado de la mezcla de materiales

cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es piedra pómez.

Entre las obras realizadas con este tipo de hormigón destacan: La cúpula del Panteón de Agripa (25 a.C), los arcos del Coliseo Romano (70 d.C), con luces mayores a 25 metros.

Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y fue este el primer edificio construido con hormigón liviano estructural en la historia. El suelo donde se cimentó este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar un hormigón liviano y poder así aligerar el peso que se descargaba al suelo.

Para el año 1928 se realizó un estudio para incrementar el número de pisos del edificio de oficinas de la compañía de teléfono Southwestern Bell en la ciudad de Kansas. Originalmente el edificio constaba con 14 pisos, se realizaron estudios en la cimentación y se determinó que a la estructura se le podía adicionar 8 pisos más utilizando hormigón convencional. Pero debido a que se utilizó hormigón liviano fabricado

con arcillas expandidas se pudo aumentar la estructura hasta 14 pisos más.

Con los avances en la tecnología se experimentaron con nuevos tipos de agregados livianos como las arcillas, pizarras y escorias expandidas procedentes de plantas industriales, también se ha experimentado con agregados artificiales plásticos como el poliestireno, y agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz.

Para la década del 50 y del 60, se instalaban en el mundo plantas de agregados livianos. En Latinoamérica, Venezuela, para el año de 1969 se instala también una planta sobre un yacimiento de 50 Has de arcilla que aun constituyen su materia prima.

Ecuador posee actualmente en su mercado poliestireno expandido, mas conocido comercialmente como Perlita, además otro de los productos que encontramos en el mercado ecuatoriano es la Piedra Pómez, además de poder contar con los desechos vegetales que son de fácil obtención en el país como la cascarilla de arroz para la fabricación de los Hormigones livianos que poco a poco se ha convertido en una alternativa al momento de la construcción de una obra.

1.2. Hormigones Livianos.- definición y clasificación

Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que producen una densidad que fluctúa entre 300kg/m^3 y 1900 kg/m^3 , ya que los normales presentan una densidad normal de 2400 kg/m^3 .

Por su tipo de aplicación el hormigón liviano se clasifica en:

1.2.1. Hormigón de Relleno.-

Es aquel cuya densidad esta comprendida entre los 300kg/m^3 y los 1000kg/m^3 . Estos hormigones son buenos aislantes térmicos, pero poseen bajas resistencias por lo cual no son utilizados en elementos estructurales. El hormigón de relleno es una mezcla fluida que tiene la finalidad de solidarizar las armaduras con la mampostería, llenando los huecos donde se encuentra. El tamaño máximo del agregado debe ser de 25 mm a fin de evitar que queden oquedades en la estructura, y el hormigón de relleno deberá tener la fluidez necesaria para obtener un llenado íntegro.

1.2.2. Hormigón Aislante.-

Es aquel cuya densidad es menor a los 800 kg/m^3 , su resistencia a la compresión esta comprendida entre los 0.7 MPa

y 7 MPa, además se clasifica en función de su coeficiente de conductividad térmica que debe estar por debajo de los 0.3 J/ms°C y su densidad es mas baja que para los hormigones livianos estructurales. Además centra sus características en la incorporación como componente fundamental del poliestireno expandido, el cual le confiere al hormigón sus prestaciones desde el punto de vista de aislamiento y acústico.

1.2.3. Hormigón Estructural o de alto desempeño.-

El hormigón estructural liviano comparado con el hormigón estructural tradicional es de 25% a un 35% más liviano. Se clasifica en función de una resistencia mínima, una densidad en estado seco que generalmente no excede los 1840 kg/m³.

Se lo obtiene a partir de:

- Agregados livianos y cuyo peso unitario seco esta entre los 1600 kg/m³ y 1760 kg/m³ y su esfuerzo mínimo a la compresión a los 28 días es de 17 MPa.
- Arena natural y agregado grueso liviano cuyo peso unitario seco esta entre los 1680 kg/m³ y los 1840 kg/m³ y su esfuerzo mínimo a la compresión a los 28 días es de 17 MPa.

Se lo emplea en edificios de estructura de acero, hormigón de edificios y estructuras de estacionamientos. Elementos prefabricados de hormigón como la vigas doble T, paneles de planchas de hormigón y bóvedas entre otros. Estructuras marinas, muelles flotantes, puentes, buques y plataformas de extracción de petróleo.

1.3. Tipos de HL de acuerdo a su tipo de producción

Para la construcción de Hormigón Liviano básicamente se da por la inclusión de aire en su estructura, por lo cual podemos clasificar al hormigón por su tipo de producción en tres maneras:

A. Hormigón de Agregado Ligero: Uso de agregados livianos porosos de baja gravedad específica aparente, es decir sustituyendo los agregados naturales que tiene una densidad promedio de 2600 kg/m³ por agregados de baja densidad aparente que pueden llegar a valores de 10 kg/m³ como en el caso del poliestireno expandido, o de 1250 kg/m³, como por ejemplo la escoria del horno.

B. Hormigón Aireado, celular, espumoso o gaseoso: Se logra introduciendo vacíos dentro del Hormigón que se distinguen de los huecos producidos por el arrastre de aire, es decir produciendo

burbujas de aire en gran cantidad dentro de un mortero de hormigón, de manera que al fraguar quede con una estructura celular esponjosa.

C. Hormigón sin finos: Se omite el agregado de finos, por lo que gran número de vacíos intersticiales están presentes, los agregados gruesos son de peso específico normal.

1.4. Características Físicas y químicas (ventajas y desventajas)

Las características físicas y químicas que se generan por los agregados o el tipo de mezcla para la elaboración del hormigón liviano presentan ciertas ventajas las cuales se ponen a consideración del ingeniero para el tipo de proyecto que se tenga en mente.

Las ventajas que presenta este tipo de hormigón son:

- Permite disminuir el peso en estructuras y cargas a la cimentación.
- Por sus características termo-acústicas.-
Ofrece un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica, en particular en sitios con clima extremo.
- No requiere compactación; Su colocación y acabado son más económicos.
- Fraguado uniforme y controlado.
- Baja densidad.-

Los hormigones livianos presentan densidades que varían desde los 300kg/m^3 , dando facilidad para realizar obras que a igual volumen de hormigón normal produzcan menor peso.

- Buena aislación térmica.-

El coeficiente de conductividad térmica, decrece al disminuir la densidad del hormigón, esto se debe por la utilización de agregados de baja densidad o por la generación de burbujas de aire que se incorporan durante el proceso de mezclado.

- Buena aislación acústica.-

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.

- Mayor resistencia al fuego que el Concreto Convencional.-

Este tipo de hormigones tienen una gran resistencia al fuego debido a que posee un bajo coeficiente de dilatación y una elevada aislación térmica.

- Excelente trabajabilidad. .-

Debido al bajo peso que presentan los hormigones livianos contribuyen en las condiciones de trabajo, logrando mayor rapidez y mejor desempeño del trabajador.

- Bajo modulo de elasticidad-

Ayuda a resistir mejor las cargas de impacto.

- Absorción.-

Regulan la humedad del ambiente e impiden la condensación superficial.

Las desventajas que presenta este tipo de hormigón son:

- Los agregados livianos podrían ser mas caros que la grava común, pero esta diferencia podrá ser compensada con un menor costo en el transporte e incluso puede influir en el tipo de cimentación favorablemente.
- Debido a que el modulo de elasticidad es bajo se pueden producir mayores deformaciones a las de un hormigón convencional.
- No se puede determinar el grado de incidencia en la relación de agua-cemento debido a su gran absorción.
- La contracción por secado es mayor ala del hormigón convencional y por lo tanto debe tenerse en consideración en el dimensionamiento de los elementos constructivos.
- La falta de experiencia en el uso del hormigón liviano lo cual genera inconvenientes en su uso y elaboración.
- Debido a su gran absorción se presentan problemas de corrosión del hierro, pero este problema se reduce al aumentar el recubrimiento del hierro.

CAPITULO 2

2. USOS Y APLICACIONES

Las aplicaciones que se le pueden dar al hormigón liviano se basa exclusivamente en el diseño que se le de además de los agregados escogidos para la elaboración del mismo.

El hormigón liviano es ideal para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren de ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales; para la construcción de vivienda con características de aislamiento térmico.

Entre las aplicaciones y usos más importantes para el hormigón liviano podemos resaltar las siguientes:

- Hormigón estructural: Losas y muros para casas.
- Construcción de bloques de mampostería.
- Ductos de ventilación.
- Vigas y paneles prefabricados.
- Edificios en zonas sísmicas.
- Puentes.
- Muros divisorios.
- Capas de nivelación de losas y pisos.
- Rellenos para nivelar y como aislante.

2.1. Hormigón Estructural

El uso fundamental del hormigón liviano busca reducir la carga muerta de una estructura de hormigón, lo que permite a su vez que el diseñador estructural reduzca el tamaño de columnas, zapatas y otros elementos de cargas en la cimentación particularmente.

Este sería un beneficio financiero directo capaz de cuantificarse con bastante aproximación al reducirse el consumo de acero y el peso de la estructura en sí, debido a un ahorro en el diseño de la cimentación

y de la estructura de soporte, ofreciendo al arquitecto o ingeniero una mayor libertad de planeación debido a un mayor espaciamiento entre columnas y mayores luces.

Se encuentran además otros beneficios como por ejemplo la reducción en peso produce un ahorro en el transporte de los materiales con respecto al volumen, además se facilitan las operaciones en el sitio de la construcción debido a que hay menos fatiga humana y al mismo tiempo esto ayuda a que se aumente el rendimiento de cada trabajador, dando lugar a una edificación mas rápida y así a una reducción en el costo.

El hormigón estructural liviano posee una densidad en el orden de 1440 kg/m^3 a 1840 kg/m^3 , en comparación con el concreto de peso normal que presenta una densidad en el rango de 2240 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 . Para aplicaciones estructurales la resistencia del hormigón deberá ser superior a 17 MPa.

En edificios, el hormigón estructural liviano proporciona una estructura de concreto con mayor calificación de resistencia al fuego, además la porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del hormigón que permite el aumento continuo de la resistencia y durabilidad del hormigón.

Las mezclas de hormigón liviano se pueden diseñar para lograr resistencias similares a las que ofrece el hormigón de peso normal, como por ejemplo podemos citar los siguientes materiales y su aporte al hormigón estructural liviano:

La piedra pómez.- se la utiliza para losas reforzadas de azotea, principalmente para techados industriales en Alemania, la piedra pómez no es apropiada para trabajos colados in situ a causa de que tienden a flotar hacia la superficie produciendo la segregación de la mezcla. La principal dificultad que se ha encontrado son este tipo de material es su origen salino.

La escoria espumosa.- fue el primer agregado liviano que se utilizó en el Reino Unido para el hormigón armado.

Los esquistos y arcilla expandida.- producen hormigón de alta calidad, capaz de obtener una resistencia lo suficientemente alta hasta como para usarse en hormigón preesforzado.

La pizarra.- este material al ser sometido al calor se expande y forma un agregado inerte químicamente y su resistencia es apropiada para hormigón armado, se lo ha usado en Estados Unidos y Alemania.

El hormigón estructural liviano se ha utilizado para cubierta de puentes, pilares y vigas, losas y elementos de muros en edificios de

acero y de estructura de acero, estructuras de parque, losas de cubierta y losas compuestas en cubiertas metálicas.

2.2. Aislante Térmico

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura.

El mejor aislante térmico es el vacío, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío, éste se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza aire, que gracias a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación, constituye un elemento muy resistente al paso de calor. Sin embargo, el fenómeno de convección que se origina en las cámaras de aire aumenta sensiblemente su capacidad de transferencia térmica. Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancas. Aunque en la mayoría de los casos el gas encerrado es aire común, en aislantes de celda cerrada (formados por burbujas no comunicadas entre sí, como en el caso del poliuretano proyectado),

el gas utilizado como agente espumante es el que queda finalmente encerrado.

Una de las características del hormigón liviano es el valor alto de aislamiento térmico, el cual aumenta o disminuye en relación inversa con la densidad del material.

La conductividad es la característica por la cual el calor pasa de un material sólido a otro cuando están en contacto entre sí, sabemos que el aire es un mal conductor de calor, por lo tanto los hormigones livianos, que son porosos por excelencia lo cual indica que encierran cantidades considerables de aire, los convierte en buenos aislantes térmicos.

2.3. Estructura resistente al fuego

Con el propósito de salvaguardar la vida y la protección de la propiedad, los códigos de la construcción requieren que sea considerado en el diseño de cualquier edificio la resistencia al fuego

La resistencia al fuego se define como el tiempo durante el cual el muro de hormigón es capaz de constituir una pantalla contra las llamas y los humos, sin sobrepasar la temperatura superficial de la cara no expuesta, de 150°C.

El grado de resistencia al fuego depende directamente del tipo de material a emplear para la elaboración del elemento hormigón, tipo de ocupación, tamaño del edificio.

El hormigón liviano tiene la característica de resistir mucho mejor y de conservar sus cualidades en presencia del fuego comparado con el hormigón convencional.

Esta característica del hormigón liviano se debe a los siguientes factores:

- Durante el proceso de fabricación de los agregados livianos como la piedra pómez, escoria volcánica, arcilla expandida, entre otras, estas pasan por altas temperaturas lo cual comparado con un incendio es supremamente mayor, esto lo convierte en un material mas estable comparado con la mayoría de agregados.
- El agregado liviano tiene un bajo coeficiente de expansión y un bajo modulo de elasticidad comparado con el hormigón convencional

Hoy en día existen una gran variedad de tipos de recubrimiento de hormigón ligero, los cuales por sus buenas propiedades de aislamiento térmico proporcionan una protección eficiente. Tal es el caso de los bloques y losas de hormigón que emplean agregados como la escoria espumosa, las arcillas expandidas, las cenizas

sintetizadas de combustible en polvo o bien losas de hormigón aireado.

2.4. Prefabricados (bloques).

Los prefabricados de hormigón son elementos compuestos de hormigón, realizados en una fábrica o complejo industrial sobre el terreno y, posteriormente, instalados, en su posición final. Los Productos prefabricados de hormigón son ampliamente conocidos y utilizados, vienen en todo tipo de diseños para utilizar.

Esto tuvo gran éxito al eliminar de la obra gran parte de las complejas operaciones de construcción, ya que en la obra las condiciones de trabajo no son siempre fáciles de controlar, mientras que en la fabrica se pueden evitar serios problemas como condiciones climáticas y mano de obra especializada, además de verificar un correcto control de calidad del hormigón y su método de elaboración.

El uso mas común de prefabricados del hormigón con agregados de peso ligero y del hormigón aireado es en forma de de bloques de mampostería utilizados para la construcción de muros de carga y sin carga o muros divisorios.

En muchos países estos bloques son utilizados desde hace mucho tiempo, en áreas donde los materiales como ladrillos de arcilla y madera no son fáciles de conseguir, esto no quiere decir que estos bloques sean sustitutos de estos materiales. Tienen sus propias cualidades importantes, principalmente porque combinan la ligereza y la baja conductividad térmica con propiedades funcionales normales.

Con el fin de aligerar más el peso de los bloques en la construcción se permite extraer parte de su núcleo.

Viviendas en hormigón prefabricado La caja que compone una casa puede estar fabricada completamente con elementos de hormigón prefabricado, con los diferentes bloques se puede armar el espacio, este tipo de viviendas fue muy utilizado en Alemania y otros muchos países europeos, ya que es una forma rápida, segura y barata de construir.

En la situación actual de la vivienda, tales componentes prefabricados especialmente los elementos del sistema de pared (hormigón celular), el techo y las placas para divisiones en las viviendas y las escaleras se utilizan bastante.

Comercio e Industria En la construcción de edificios comerciales, especialmente en edificios industriales, bodegas, polígonos, y

también los edificios de oficinas, el uso de componentes prefabricados es muy utilizado.

Puentes El hormigón prefabricado ofrece múltiples alternativas para la construcción de puentes desde los pequeños puentes para peatones y ciclistas que a menudo se instalan completamente terminadas las piezas. Hasta puentes más complejos donde se van instalando piezas prefabricadas con las cuales se arma el puente.

CAPITULO 3

3. Obras civiles donde se empleo Hormigones Livianos

Proyecto del Puente de Raftsundet

El puente Raftsundet se encuentra localizado en el norte de Noruega al norte del círculo polar Ártico, el puente cruza una de las principales rutas de transporte marítimo entre dos islas de Lofoten, este tiene una longitud total de 711 m con un tramo principal de 298 m.

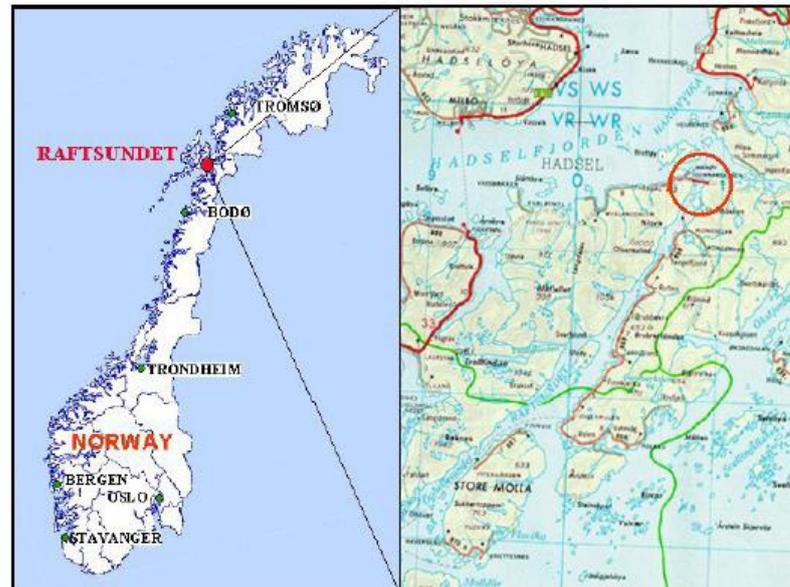


Fig. 3.1 Ubicación del Puente de Raftsundet

Fue el tramo de hormigón tipo cantiléver más largo del mundo cuando éstos fueron unidos en Junio 24 de 1998. El puente fue abierto al tráfico el 6 de Noviembre de ese mismo año.

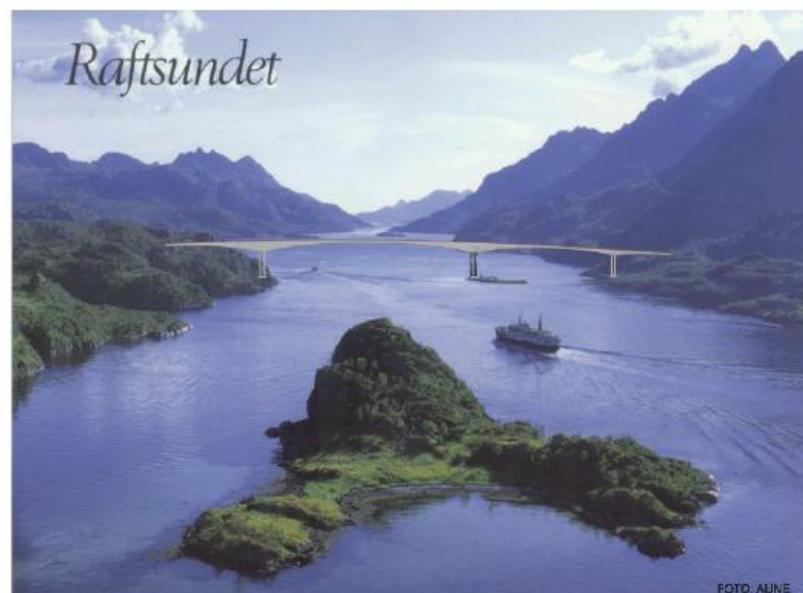


Fig. 3.2 Fotomontaje del Puente de Raftsundet

La estructura se encuentra expuesta a ráfagas de viento de casi 60 m/s. Además le rodea una topografía de altas montañas superando los 1000 m sobre el nivel del mar y las fluctuaciones de viento crea fuerzas de gran magnitud en el puente, afectando sobre todo a las columnas y vigas. Por tal motivo se utilizó hormigón liviano con alto desempeño en el tramo principal el cual poseía una densidad endurecida de 1975 kg/m^3 y resistencia a la compresión a los 28 días de 60 MPa. El resto de la superestructura y columnas fueron construidas con hormigón de densidad de 2400 kg/m^3 y resistencia a los 28 días superior a 65 MPa.



Fig. 3.3 Fotografía del Puente de Raftsundet completo

El puente fue construido con elementos post-tensados, los cuales fueron colados en sitio. La sección del cajón está apoyada en tres filas de columnas rectangulares que proporcionan una altura libre de 46 m. Los cuatro tramos tienen 86, 202, 298 y 125 m de longitud, respectivamente.

Todo hormigón para el proyecto fue elaborado en plantas situadas en una pequeña aldea a unos 20 km al oeste del puente, y fueron transportados en camiones mezcladores al sitio.

Plataforma de petróleo Hibernia



Fig. 3.4 Representación artística de la Plataforma Hibernia

El campo petrolero de Hibernia se encuentra a unos 315 km al sureste de St. John's, Terranova, Canadá. Una plataforma mar adentro se consideró necesario para aprovechar el recurso petrolero.

La base estructural de la plataforma tenía que soportar el hielo y deshielo, la abrasión, la acción del viento y las olas, y al ataque químico. Además, la gigantesca estructura estaba obligada a flotar, ser remolcado al sitio, y

después de ser colocado, debía resistir el impacto de 5,5 millones de toneladas de témpano de hielo. Pesando más de 1,2 millones de toneladas, Hibernia Offshore Platform es la estructura flotante más grande que se ha construido en Norteamérica.



Fig. 3.5 Base estructural de la Plataforma Hibernia parcialmente sumergida

Para satisfacer los requisitos de construcción, producción y colocación del hormigón, durabilidad, una densidad normal fue originalmente especificado para este proyecto, además de las características listadas a continuación:

- Alta resistencia.
- Alto módulo de elasticidad.
- Alta resistencia a la tracción.
- Alta resistencia a la congelación y descongelación.
- Alta trabajabilidad y revenimiento sin segregación.

- Baja permeabilidad.

Para mejorar la capacidad de flotar de la estructura, posteriormente se determinó que una reducción de aproximadamente el 10% en la densidad del hormigón sería una ventaja. Se buscaba reducir el peso sin afectar la resistencia, durabilidad y procesos constructivos del diseño original. Para lograr estos objetivos, se vio necesario sustituir aproximadamente el 50% en volumen de los agregados de densidad normal por agregados livianos de alta calidad.



Fig. 3.6 Plataforma Hibernia

Condominios Sand Key Fase II



Fig. 3.7 Vista de los condominios Sand Key Fase II

El hormigón liviano de alto desempeño es utilizado cada vez más en edificios para oficinas y residenciales para así lograr luces mayores. Los Condominios Sand Key se encuentran cerca de Tampa, Florida, USA. Este proyecto de 14 niveles de altura está construido en un marco de concreto postensado.

Las especificaciones del proyecto piden resistencias a compresión a los 28 días de 62 MPa con un peso unitario de 1760 kg/m^3 para las losas. Los resultados en los ensayos arrojan resistencias promedio mayores a 82,75 MPa.

Todo el hormigón liviano de alto desempeño fue colocado mediante bombeo con un tubo de 5 pulgadas (125 mm).

Sebastien Inlet Bridge

El puente de entrada Sebastián es un gran puente de arco de hormigón. Se extiende por la desembocadura del río indio que también se conoce como la ensenada de Sebastián. Se conecta la carretera estatal A1A en el Condado de Indian River, Florida, a la carretera estatal A1A en Brevard County, Florida.

El puente fue construido por los Hermanos Cleary Construction Company, W. Palm Beach, FL y fue terminado en 1965. El puente tiene una longitud total de 1548 metros con un vano principal de 180 pies. El gálibo vertical es de 37 pies. El tramo intermedio fue construido con hormigón liviano el cual se lo examino luego de 30 años y esencialmente estaba igual que como cuando fue construido cosa que no pasaba con los tramos adyacentes que fueron contruidos con hormigón normal

CAPITULO 4

4. MATERIALES

Los agregados livianos usados en la elaboración de hormigones, han sido adoptados en consideración a su estructura celular, que ofrece una de las principales ventajas, que es la baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico, a la par de ciertas propiedades acústicas, pues amortiguan las vibraciones. La estructura del interior, se produce generalmente con altas temperaturas, originando gases que causan expansión. La capacidad de absorción de agua y el grado de aislamiento térmico no vienen fijados solamente por el porcentaje de burbujas, sino también por la naturaleza de estas y por su cantidad tamaño y distribución.

4.1. Cemento

El cemento es un material de construcción formado por la mezcla de varios elementos adhesivos. Este resistente material debe su nombre a lo que los romanos denominabas “opus caementitium”, que del latín al español es traducible como obra cementicia. Los romanos llamaban así a una mezcla de grava y otros materiales similares al hormigón que utilizaban para fabricar los morteros.

Ya en nuestros días, el cemento, sigue comportándose como un adhesivo, sin embargo, su mayor uso se encuentra en la construcción de grandes edificios y todo tipo de construcciones relacionadas a las obras de la ingeniería civil.

El cemento se conoce también por el nombre de cemento hidráulico, nombre que incluye a todas aquellas sustancias aglomerantes que hacen fraguar y endurecer la mezcla con agua, lo que puede suceder incluso, bajo el agua.

El cemento se clasifica en:

Tipo, nombre y aplicación

I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

IA: Normal. Uso general, con inductor de aire.

II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

IIA: Moderado. Igual que el tipo II, pero con inclusor de aire.

III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

IIIA: Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

El cemento se fabrica a partir de un proceso en el que existen varias etapas, en donde se integran sus componentes, el aglutinante en base al agua y los agregados como la grava, el árido fino, el grueso, y la arena. La primera de ellas guarda relación con la acción de triturar y moler la materia prima. En segundo lugar, es necesario mezclar los distintos elementos de la mezcla, teniendo en consideración las proporciones adecuadas para la obtención del polvo crudo base. Posteriormente, el polvo crudo debe ser calcinado, para luego, junto a determinado monto de yeso, ser molido nuevamente. A este producto se le llama clínker.

Debido a sus características, el cemento es utilizado para construcciones que requieren de gran firmeza y resistencia, usándose para la construcción de cimientos y muros de grandes edificios y hogares. Además es posible encontrarlo en la fabricación de monumentos y estatuas que adornan nuestra ciudad, sin embargo, para este uso, el cemento utilizado es uno de color blanco, ya que el clásico de color gris le da un acabado poco estético. De este modo, podemos notar que el cemento se encuentra presente en casi cada rincón de nuestras ciudades y hogares.

4.2. Piedra Pómez

La piedra pómez o 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.

La piedra pómez químicamente es un silicato volcánico de aluminio. Su estructura está compuesta por partículas vítreas con un alto contenido de sílice superior al 50%, y por una gran cantidad de poros diminutos que le proporcionan un bajo peso unitario, a pesar de tener

una gravedad específica alta entre 2.3 a 2.5. Su peso unitario varía de 350 Kg/ m³ hasta 800 Kg/ m³. y puede flotar en el agua.

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.

4.3. Poliestireno expandido

La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de poliestireno en forma de perlititas que contienen un agente expansor habitualmente pentano. Después de una pre-expansión, las perlititas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo. Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlititas se caliente y éstas aumenten su volumen, a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen, posee una densidad aparente entre 10 kg/m³ y 30 kg/m³.

En construcción lo habitual es comercializarlo en planchas de distintos grosores y densidades. También es habitual el uso de bovedillas de poliestireno expandido para la realización de forjados con mayor grado de aislamiento térmico. El poliestireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa ampliamente en la

construcción de edificios ahorradores de energía. Un edificio aislado adecuadamente con espuma de poliestireno puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta un 40%.

En el hormigón liviano, se utilizan las perlas de poliestireno expandido, las cuales pueden reemplazar totalmente el agregado grueso, y parcialmente el agregado fino, debido a que son áridos que no absorben agua, no tienen impurezas, no reaccionan con el cemento y además tiene buena adherencia con el mismo.

En el proceso de mezclado mecánico, se coloca el poliestireno previamente mojado para aumentar su peso, luego se vierte el agregado fino que se va a adherir a la superficie del poliestireno, luego de la mezcla se coloca el cemento y al final el agua de mezclado. El material obtenido forma una masa consistente, que se coloca en el sitio por vibrado o apisonamiento manual.

Para la elaboración del hormigón liviano con poliestireno expandido se debe tener en cuentas la exacta dosificación del agua, debido a que un exceso de agua puede ocasionar una mezcla no cohesiva y segregación del material en la superficie, caso contrario si la dosificación es correcta la mezcla será homogénea.

Se puede utilizar este tipo de hormigón en rellenos de pisos y tabiques, en paneles y bloques para mampostería, morteros aislantes, capas estabilizadoras en carreteras, etc.

4.4. Virutas de madera

La viruta es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído mediante un cepillo u otras herramientas, tales como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación, sobre madera o metales. Se suele considerar un residuo de las industrias madereras o del metal; no obstante tiene variadas aplicaciones.

Las virutas de madera, o serrín, se emplean para:

- elaboración de tablas de madera aglomerada
- embalaje y protección de paquetes
- material de aislamiento
- lecho para mascotas o ganado

El aserrín algunas veces tienen un efecto determinado sobre el endurecimiento del cemento y sobre el fraguado, en el mejor de los casos esto conduce a una incertidumbre sobre las propiedades del producto, pero en el peor de los casos se pueden obtener propiedades tan pobres como para ser virtualmente irreversibles,

La mayoría de los aserrines de maderas suaves se vuelven compatibles con el cemento, si se usa como aglutinante una mezcla de cemento y cal.

4.5. Ceniza de cascarillas de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras de muchos países y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Entre sus principales propiedades físico-químicas tenemos que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y su principal costo es el transporte.

Para mejorar la retención de Humedad de la cascarilla, se ha recurrido a la quema parcial de la misma. Esta práctica aunque mejora notablemente la humectabilidad, es en realidad muy poco lo que aumenta la capilaridad ascensional y la retención de humedad.

Antes de 1970, la cascarilla de arroz era quemada en forma incontrolada y generalmente la ceniza producida era muy pobre en puzolanas. En hornos industriales se obtiene del 90% al 95% de sílice.

Si la combustión es a campo abierto se obtiene sílice cristalina no reactiva en gran cantidad, la misma que debe ser llevada a tamaño pequeño para que así logren desarrollar actividad puzolánica.

Para 1973 aparecieron técnicas para controlar la combustión de este desecho agrícola, logrando como resultado una ceniza altamente reactiva, la misma que puede ser producida por combustión controlada cuidando que la sílice, sea producida de forma cristalina y en estructura celular, para lograr esto se necesita una incineración controlada de 500°C a 700°C con el fin de obtener una ceniza altamente puzolánica.

Se presenta a continuación valores en los que fluctúan las propiedades físicas y químicas de la ceniza de cascara de arroz

Tabla 1
Propiedades Físicas de la ceniza de cascara de arroz

Propiedades	Valores
Masa Unitaria Compacta	452 Kg/m ³
Masa Unitaria Suelta	181 Kg/m ³
Densidad	2265 Kg/m ³
Superficie Específica Blaine	2000 m ² /Kg
Tamaño promedio de partículas (5)	7µm

Tabla 2
Composición Química de la Cascarilla de Arroz

Cloro	0.05%
TiO ₂	0.05%
P ₂ O ₅	0.41%
SiO ₂	94.10%
Al ₂ O ₃	0.12%
F ₂ O ₃	0.30%
CaO	0.55%
MgO	0.95%
K ₂ O	2.10%
Na ₂ O	0.11%
SO ₃	0.06%
P.P. Cal.	1.10%

4.6. Incorporación de Aire

La incorporación de aire en el proceso de elaboración del hormigón en el interior de la lechada se lo puede definir por varios métodos de los cuales se pueden describir a continuación:

- Por medio de la introducción de aire, ya sea agregando a la lechada en la mezcladora una espuma estable preformada semejante a la usada para combatir el fuego o incorporando aire por medio de batido, con la ayuda de un agente incluso de aire.
- El polvo de aluminio se lo utiliza para la incorporación de aire en el hormigón ya que este sirve para generar gas y es de suma importancia en la fabricación de unidades precoladas o bloques.

- Por la formación de gas por medio de una reacción química dentro de la masa durante su estado líquido o plástico.

4.7. Arcilla expandida

Es un material aislante de origen cerámico, producido industrialmente. Se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en naves cerradas para su homogeneización y secado. Una vez seca, la arcilla se muele hasta obtener un polvo impalpable denominado crudo.

Aglomerado con agua en los platos granuladores, el crudo forma por efecto de la rotación unas esferas de barro de tamaño controlado. Estas pequeñas esferas, con una granulometría de 0 a 4 mm, son el germen de la arcilla expandida. La expansión de la arcilla se produce en hornos rotativos gracias a un choque térmico a 1.200 °C. A esta temperatura, la arcilla comienza a fundir al tiempo que se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla. Los gases de combustión expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original.

Características del agregado:

- Presenta una alta porosidad.
- Material duro.
- Color marrón claro.
- Forma redondeada.
- El peso específico puede variar aproximadamente entre 270 Kg/m³ a 600 Kg/m³.
- Superficie rugosa.
- Granulometrías variables (en mm):- (0 – 3)- (3 – 10)- (10 – 20)- (20 – 40).
- No es corrosivo ni se pudre.
- Es un material aislante continuo, sin puentes térmicos.
- Es resistente al fuego.
- Soporta la exposición al sol sin fundirse ni deteriorarse.
- Envejece.
- No produce gases.

CAPITULO 5

5. Diseño y ensayo del hormigón

5.1. Dosificación

Debido a que es una tecnología prácticamente nueva, no se encontraron códigos ni disposiciones para la dosificación del hormigón liviano por lo que se utilizaron cantidades especificadas en el cuadro siguiente.

TABLA 3
Dosificación para ensayos de Hormigones livianos

PIEDRA PÓMEZ - ARENA 40:60 Rel. Aprox. Por vol.				
MUESTRA	CEMENTO	AGUA	PIEDRA PÓMEZ	ARENA
1	505	355	245	820
2	290	385	260	885
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ - ARENA 50:50 Rel. Aprox. Por vol.				
MUESTRA	CEMENTO	AGUA	CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	ARENA
3	495	510	230	425
POLIESTIRENO EXPANDIDO - ARENA 80:20 Rel. Aprox. Por vol.				
MUESTRA	CEMENTO	AGUA	POLIESTIRENO EXPANDIDO	ARENA
4	525	250	9795	330
5	350	280	11225	380
POLIESTIRENO EXPANDIDO - ARENA 60:40 Rel. Aprox. Por vol.				
MUESTRA	CEMENTO	AGUA	POLIESTIRENO EXPANDIDO	ARENA
6	350	200	8535	770

5.2. Resultados

5.2.1. Resistencia: Compresión tracción y flexión

En los ensayos siguientes se cumplieron con las normas tales como:

- Normas ASTM C 33 e INEN 1573 en el ensayo a compresión simple.
- Normas ASTM C 496 – 90 en el ensayo de tensión por compresión diametral.
- Normas ASTM C 78 - 84 en el ensayo a flexión.
- Normas ASTM C 143 – 90a. en el ensayo de revenimiento.
- A continuación se presentan las tablas y los gráficos de los resultados obtenidos.

Tabla 4

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
7	10	14	2026	19,5
		28	2031	22,3
DENSIDAD PROMEDIO			2029	
HORMIGON CON AGREGADOS DE GALAPAGOS				

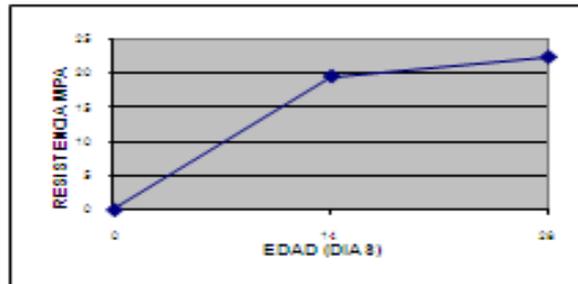


Fig. 5.1 Hormigón con agregados de Galápagos

Tabla 5

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
8	10	7	1977	4,7
		14	2001	9,1
		28	1988	10,5
DENSIDAD PROMEDIO			1989	
HORMIGON CON AGREGADOS DE GALAPAGOS				

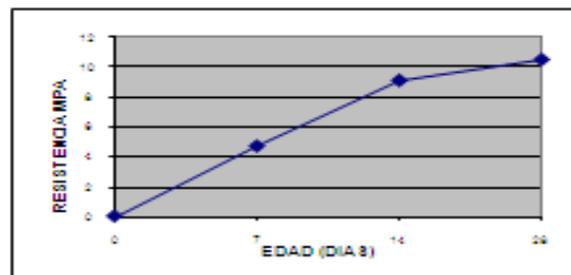


Fig. 5.2 Hormigón con agregados de Galápagos

Tabla 6

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
1	10	0		0
		7	2007	16,6
		14	1974	20,2
		28	2005	24,5
		DENSIDAD PROMEDIO		
HORMIGON CON PIEDRA POMEZ				

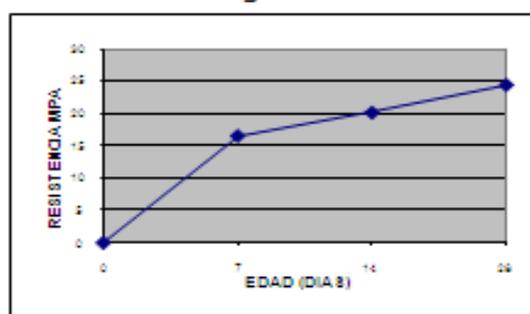


Fig. 5.3 Hormigón con Piedra Pómez

Tabla 7

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
2	10	0		0
		7	1868	4,7
		14	1918	6,7
		28	1864	8,0
DENSIDAD PROMEDIO			1883	
HORMIGON CON PIEDRA POMEZ				

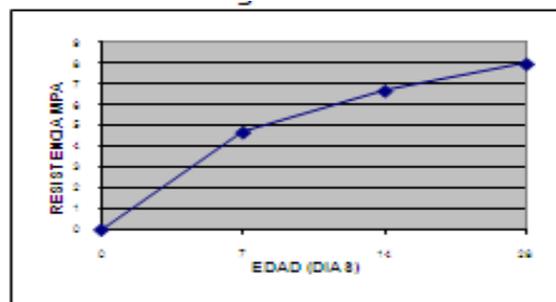


Fig. 5.4 Hormigón con Piedra Pómez

Tabla 8

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
3	3	0		0
		7	1700	5,7
		14	1711	7,9
		28	1717	10,0
DENSIDAD PROMEDIO			1709	

HORMIGON CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

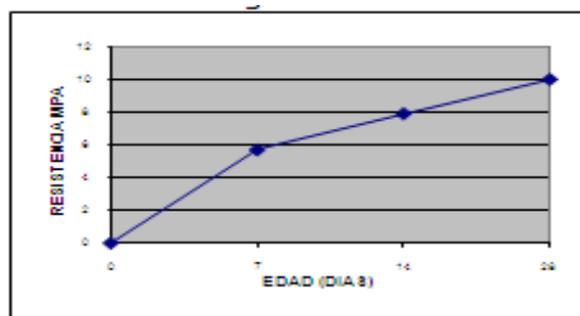


Fig. 5.5 Hormigón con ceniza de cascarilla de arroz

Tabla 9

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
4	10	0		0
		7	1152	4,5
		14	1159	5,7
		28	1164	6,6
DENSIDAD PROMEDIO			1158	

HORMIGON CON POLIESTIRENO
EXPANDIDO

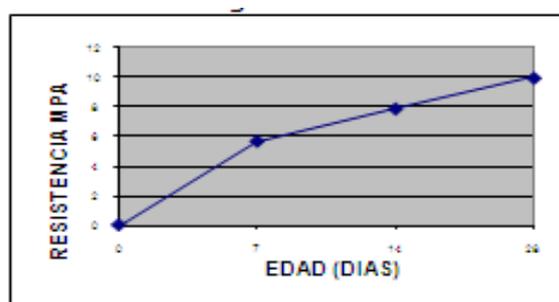


Fig. 5.6 Hormigón con Poliestireno Expandido

Tabla 10

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
5	10	0		0
		7	1152	4,5
		14	1159	5,7
		28	1164	6,6
DENSIDAD PROMEDIO			1158	

HORMIGON CON POLIESTIRENO
EXPANDIDO

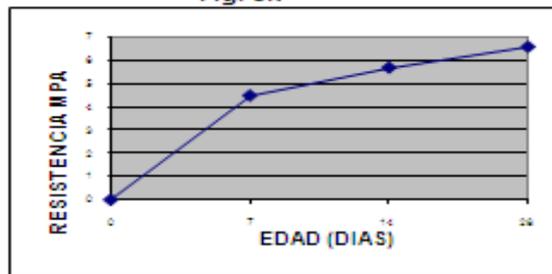


Fig. 5.7 Hormigón con Poliestireno Expandido

Tabla 11

MUESTRA No.	REV cm	EDAD DIAS	DENSIDAD kg/m ³	f'c Mpa
6	3	0		0
		7	1310	3,6
		14	1312	5,3
		28	1372	6,7
DENSIDAD PROMEDIO			1331	

HORMIGON CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

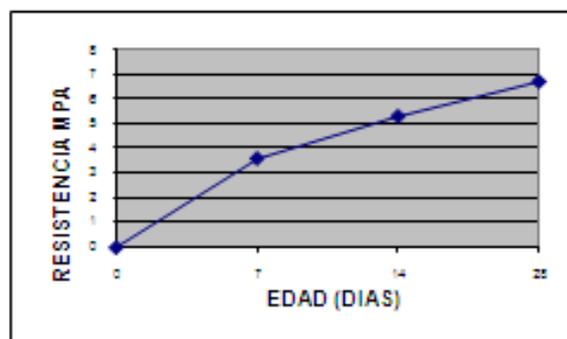


Fig. 5.8 Hormigón con Poliestireno Expandido

5.2.2. Modulo de elasticidad

Tabla 12

TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL					
MUESTRA No.	DIA (mm)	LONG (mm)	FUER (KN)	T (Mpa)	PROM (Mpa)
1	149	295	154	2,23	2,11
	151	295	139	1,98	
2	152	304	51	0,7	0,67
	152	301	46	0,63	
3	150	295	65	0,93	0,89
	150	296	59	0,84	
4	152	306	46	0,63	0,62
	151	306	45	0,61	
5	151	300	35	0,49	0,53
	151	302	40	0,56	
6	149	302	37	0,52	0,53
	151	301	38	0,54	
7	150	300	183	2,58	2,48
	150	301	168	2,37	
8	153	304	105	1,44	1,40
	150	305	98	1,36	

TABLA 13

MODULO DE ROTURA EN VIGAS						
MUESTRA No.	ANCHO (mm)	PROF (mm)	FUER(kN)	LONG (mm)	FLEX (Mpa)	PROM (Mpa)
1	154	154	28	436	3,32	3,32
2	157	155	14	456	1,66	1,66
3	152	152	18	456	2,28	2,28
4	154	156	12	457	1,43	1,43
5	158	154	9	458	1,09	1,09
6	155	154	10	457	1,21	1,21
7	157	157	27	456	3,13	
	156	156	26	456	3,12	3,12
8	156	155	14	435	1,57	
	154	154	15	437	1,83	1,7

5.2.3. Resistencia al fuego

En este ensayo se sometieron las muestras a dos tipos de generadores de calor como lo son, una estufa a gas y un horno eléctrico. Al tener contacto directo las muestras de hormigón con el calor se obtuvieron resultados tales como los siguientes:

- Las muestras que contienen piedra pómez desprenden azufre desde los 100 °C. pero no presentan alteraciones físicas apreciables.

- Las muestras que contienen ceniza de cascarilla de arroz no muestran ningún tipo de alteración.
- Las muestras con poliestireno expandido, no presenta alteración en su mortero, lo contrario al poliestireno el cual se desintegra desde los 90°C.
- Las muestras con agregados de Galápagos no presentan ningún tipo de alteración.

5.2.4. Contracción por secado

Durante el fraguado se observó contracción por secado en nuestro hormigón de una forma despreciable, a diferencia de la muestra 3, cuya mezcla se hizo con cascarilla de arroz, a continuación los resultados:

- Piedra pómez, muestra 1. Su contracción fue despreciable a la vista.
- Piedra pómez, muestra 2. Su contracción fue despreciable a la vista.
- Ceniza de cascarilla de arroz, muestra 3. Se dio una contracción de 1.5%
- Poliestireno expandido, muestra 4. Su contracción fue despreciable.

- Poliestireno expandido, muestra 5. Su contracción fue despreciable.
- Poliestireno expandido, muestra 6. Su contracción fue despreciable.
- Agregados de Galápagos, muestra 7. Su contracción fue despreciable.
- Agregados de Galápagos, muestra 8. Su contracción fue despreciable

6.1.1. Modulo de Elasticidad

En este ensayo se siguió las normas ASTM C 469 – 87a.

TABLA 14

MODULO DE ELASTICIDAD	
PIEDRA POMEZ Muestra 1	12,4 Gpa
PIEDRA POMEZ Muestra 2	10,8 Gpa
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ Muestra 3	7,4 Gpa
POLIESTIRENO EXPANDIDO Muestra 4	5,4 Gpa
POLIESTIRENO EXPANDIDO Muestra 5	3,6 Gpa
POLIESTIRENO EXPANDIDO Muestra 6	8,1 Gpa
POLIESTIRENO EXPANDIDO Muestra 7	16,6 Gpa

6.1.2. Resumen de Resultados

TABLA 15

RESUMEN DE RESULTADOS						
MUESTRA No.	DENSIDAD kg/m ³	f'c MPa	T.C.D. MPa	M.R.V. MPa	MOD. ELAS. EST. GPa	J/(s m °c)
1	1925	24,5	3,32	2,1	12,4	0,7
2	1820	8	1,66	0,67	10,8	0,44
3	1660	10	2,28	0,88	7,4	0,66
4	1115	6,6	1,43	0,62	5,4	0,45
5	1020	3,5	1,09	0,52	3,6	0,37
6	1330	6,7	1,21	0,53	8,1	0,44
7	1965	22,3	3,12	2,48	16,6	0,74
8	1930	9,3	1,70	1,40	-	0,5

CAPITULO 6

6. –CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El modulo de elasticidad de los hormigones livianos esta por debajo de la mitad de los hormigones tradicionales.
- Los hormigones livianos no presentan contracción por retracción significativa, la máxima contracción se da en el hormigón mezclado con cascarilla de arroz y es del 1.5%.
- La causa de que estos hormigones sean livianos se debe a su baja densidad lograda por la incorporación de aire por medio de agregados cuya relación de vacios es alta.
- Los hormigones livianos son muy buenos aislantes de temperatura.
- Estos hormigones no alcanzan resistencias iguales a las de un hormigón tradicional.

- Este tipo de hormigones esta recomendado para construcciones en las cuales no se posee suelos de gran resistencia,
- Se recomienda para lugares en los que se necesite mantener la temperatura y la acústica.
- En muchos casos este tipo de hormigones se utilizaran en embarcaciones marinas.
- El hormigón liviano por su baja conductividad térmica mejora el ambiente.
- Mantiene una temperatura confortable dentro de ellos.
- Sirve como alternativa de salida para ciertos desechos agrícolas como la ceniza de cascara de arroz, ceniza de materiales combustibles utilizados para calderos, cenizas volcánicas, etc.
- Este tipo de hormigones tiene una gran resistencia al fuego debido a que poseen un bajo coeficiente de dilatación y una elevada aislación térmica.

Bibliografía

1. Arce Pezo Xavier. Hormigones livianos .Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior del Litoral, 1997. Pág. 1-3, 5-7, 10-13.
2. Peña Sterling Cecilia y Zambrano García Fulton. Hormigón celular con la utilización de materiales locales. Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior del Litoral, 2001. Pág. 32-47.
3. Javier Eduardo Molina Salinas. Adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz en Hormigón Compactado con Rodillo. Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior del Litoral, 2002. Pág. 19-21. Pág. 42-43.
4. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi Diseño y Control de Muestras de Concreto, Capítulo 8 Pág. 161-181, Capítulo 18 Pág.375-383
5. <http://www.offshore-technology.com/projects/hibernia/>
6. http://www.stalite.com/projects_HiberniaPlatform.html
7. http://www.stalite.com/stalite_projects.html#StructuralBuilding