Tesis
IC 2009
P6

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADO LIVIANO.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR — ***Simón José Porras Martin***

PROFESOR GUIA — **Ing. Guillermo Bonilla**

FECHA — ***Caracas, 20 de Febrero de 2009***

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADO LIVIANO.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR *Simón José Porras Martin*

PROFESOR GUIA **Ing. Guillermo Bonilla**

FECHA *Caracas, 20 de Febrero de 2009*

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADO LIVIANO.

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Dieciocho Puntos (18)

J U R A D O E X A M I N A D O R

Firma:
Nombre: Maria Barreiro

Firma:
Nombre:

Firma:
Nombre:

REALIZADO POR *Simón José Porras Martin*

PROFESOR GUIA **Ing. Guillermo Bonilla**

FECHA *Caracas, 20 de Febrero de 2009*

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADO LIVIANO.

Porras Martin, Simón José.

Sjpm16@gmail.com

En el presente proyecto se determinan las Leyes de comportamiento mecánico de concretos elaborados con base a la sustitución del agregado grueso por material liviano, mediante la ejecución de diseños de mezclas para distintas dosis de cemento; determinándose los coeficientes correspondientes a la Ley de Abrams y Relación Triangular para una arena determinada de río y cemento tipo I.

Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Católica Andrés Bello.

Palabras claves: Resistencia, Trabajabilidad, Relación agua/ Cemento, Agregado liviano.

DEDICATORIA

Este Trabajo Especial de Grado está dedicado a mis padres Ing. Carmen Martin e Ing. Simón Porras Cardozo por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, por apoyarme y por enseñarme que las cosas más importantes de la vida se logra con esfuerzo, perseverancia y dedicación. Además por brindarme su amor incondicional en todo momento a lo largo de esta etapa de la vida.

Así mismo a mis Abuelos y con especial cariño a la Negra.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos las personas que me apoyaron en la realización de este Trabajo Especial de Grado:

A mi tutor y amigo, Profesor Guillermo Bonilla por guiarme y ayudarme en el desarrollo de este proyecto y de mi crecimiento personal, con su mejor actitud y disposición, dándome sus consejos e importantes sugerencias en todo momento.

A mi Hermana, Aura Virginia Porras Martin por servir de apoyo fundamental en todo momento.

A todo el cuerpo de técnicos y personal obrero del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad Católica Andrés Bello.

A Gladys Marcano Mago por ser compañera buena amiga y apoyarme en todo momento.

A mis amigos y compañeros de estudios, especialmente Andreina Romero, Antonio Agostinelli y Nurman Bordones, que con el apoyo mutuo finalizamos todo con éxito.

Y Como siempre a Dios y la Virgen por darme luz día a día, haciendo ver toda oscuridad como brillo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

ÍNDICE GENERAL iv

ÍNDICE DE FIGURAS vii

ÍNDICE DE TABLAS viii

INTRODUCCIÓN ix

I Planteamiento del proyecto 1

I.1 Planteamiento del problema 1

I.2 Justificacion 1

I.3 Objetivo General 2

I.4 Objetivos Específicos 2

I.5 Variables y parámetros 2

I.6 Alcance y limitaciones 3

I.7 Antecedentes de la investigación 3

II Marco teórico 5

II.1 Cemento portland 5

II.2 Agregado 7

II.3.1. Agregado Fino 9

II.3.2. Agregado liviano 9

II.3.1. Relación Beta 10

II.3.2. Características y propiedades de los agregados 10

II.3.3.1 Peso Unitario 10

II.3.3.2 Peso Especifico 11

II.3.3.3 Porcentaje de Vacíos 11

II.3.3.4 Absorción y Humedad 11

II.3.3.5 Granulometría 13

II.3.3.6 Tamaño Máximo del agregado Grueso 13

II.3.3.7 Módulo de Finura 13

II.3 Agua 14

II.4 Diseño de Mezcla 14

II.5.1 Ley de Abrams 15

II.5.2 Relación Triangular 16

III Metodologia 17

III.1 Ensayos realizados 17

III.1.1. Caracterización del Agregado Liviano 17

III.1.2. Caracterización del Agregado Fino 18

III.2 Diseño de Experimento 19

IV Resultados 21

IV.1 Caracterización agregados 21

IV.1.1 Agregado Liviano 21

IV.1.2 Agregado Fino 25

IV.2 Consecuencias de las Características de los Agregados Aligerados..... 26

IV.2.1 Comportamiento de mezcla ante compactación 26

IV.2.1.1 *Barra Normalizada* 27

IV.2.1.2 *Vibrado* 28

IV.2.2 Comportamiento de Capilaridad 29

IV.3 Relación de Agregados (Beta) 30

IV.4 Resultados de los ensayos a compresión obtenidos 31

IV.5 Ley de Abrams 33

IV.6 Relación Triangular 36

V Analisis de Resultados 37

V.1 Propiedades de los Agregados Livianos 37

V.1.1 Peso Unitario Suelto y compacto 37

V.1.2 Peso Especifico y Absorción 37

V.1.3 Granulometría 38

V.2 Efectos de las propiedades 38

V.2.1 Comportamiento de mezcla ante compactación 38

V.2.2 Comportamiento de Capilaridad 38

V.3 Ley de Abrams 39

V.4 Relación Triangular 44

V.5 Relación Dosis de Cemento Vs Resistencia 45

VI Conclusiones 46

VII Recomendaciones 48

VIII Bibliografia 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ensayos de Absorción del Agregado Liviano 21

Figura 2 Ensayos de Peso Especifico del Agregado Liviano 22

Figura 3 Ensayos de Peso Unitario Suelto del Agregado Liviano 22

Figura 5 Comparación de Granulometría del Agregado Liviano con Granulometría N° 0 de la norma "Concreto. Agregados FONDONORMA 277: 2007" 24

Figura 6 Grafica de Granulometría de Agregado Fino, según bandas granulométricas de la norma" Concreto. Agregado 277:2007" 25

Figura 8 Cilindro compactado con Barra Normalizada, Observe comportamiento en recuadros. 27

Figura 10 Cilindro compactado con Vibrador, observe comportamiento en recuadros. 28

Figura 11 Efecto de la Capilar 29

Figura 12 Grafica De Beta 70% 30

Figura 13 Grafica De Beta 40% 30

Figura 14 Curva de Ley de Abrams a los 7 días 33

Figura 15 Curva de Ley de Abrams a los 14 días 34

Figura 16 Curva de Ley de Abrams a los 28 días 35

Figura 17 Grafico de la Relación Triangular 36

Figura 18 Grafico de Correlación de Ley de Abrams para los 7 Días 39

Figura 19 Grafico de Correlación de Ley de Abrams para los 14 días 40

Figura 20 Grafico de Correlación de Ley de Abrams para los 28 días 41
Figura 21 Conjunto de Curvas de la Ley de Abrams para los 7, 14 y 28 42
Figura 22 Grafica de comparación de resistencias a los 28 días del Manual y el agregado Liviano 43
Figura 23 Grafico de relación triangular 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Química del Cemento Portland 5
Tabla 2 Composiciones de Diferentes Tipos de Cementos portland 6
Tabla 3 Diseño de Experimento 19
Tabla 4 Valores utilizados para diseño de Mezcla 20
Tabla 5 Cuadro de Características del Agregado Liviano 23
Tabla 6 Granulometría del Agregado Liviano 24
Tabla 7 Cuadro de Características del Agregado Fino 25
Tabla 8 Granulometría Agregado Fino 25
Tabla 9 Resultados de Cilindros a los 7 días 31
Tabla 10 Resultados de Cilindros a los 14 Días 31
Tabla 11 Resultados de Cilindros a los 28 Días 32
Tabla 12 Datos de la Ley de Abrams 7 días 33
Tabla 13 Datos de ley de Abrams 14 días 34
Tabla 14 Datos Ley de Abrams 28 días 35
Tabla 15 Datos de la Relación Triangular 36

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de las estructuras de concreto, el uso de agregados livianos ha permitido desarrollar elementos de menor peso volumétrico, con los que han podido construirse estructuras más esbeltas y de mayor altura.

En este sentido, durante la década de los setenta fueron impulsados en el País, varios proyectos de ingeniería que requirieron de concretos livianos ejecutados a base de material aligerado; siendo el caso más representativo: Las Torres de Parque Central con 64 pisos y 225 metros de altura cada una.

Sin embargo, por distintas razones, el uso de este tipo de material como parte de componentes estructurales en edificaciones de relativa importancia, fue restando mercado, hasta prácticamente desaparecer.

Ahora bien, el hecho que se haya perdido interés en el material, no necesariamente indica que no pueda ser considerado en edificaciones, conforme indicaba (Santana, 2001), "*El concreto aligerado cuenta con muchas bondades que han sido desaprovechadas, pero esto no significa que deba ser abandonado. Si el mercado lo exige los fabricantes responderán a los retos*"

Dentro de este contexto, establecer los parámetros que determinan la Ley de Abrams y la Relación Triangular, para concretos elaborados con agregado liviano; conforma un aporte sustancial a la Ingeniería Civil, debido a la falta de información específica al respecto.

I PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

I.1 Planteamiento del problema

El peso del concreto representa la carga muerta de mayor incidencia en el cálculo de proyectos estructurales; en este sentido, esta masa, conformada por piedra, arena, cemento y agua, puede pasar a ser un factor determinante en el cálculo de solicitaciones y en las dimensiones propias de columnas y vigas, cuando las edificaciones tienden a ser más altas o cuenta con mayores luces entre apoyos.

Dentro de este contexto, y referido a los edificios altos, el concreto aligerado pasa a tomar importancia, debido a que su uso en determinados elementos de la estructura, permite disminuir la magnitud de las cargas, que aumenta a medida que se incrementa el número de niveles.

En consecuencia, lo que se plantea a continuación es una manera de conocer aún más cuáles son las características y bondades de este material, de tal modo que permita la manipulación del mismo bajo experiencias realizadas.

I.2 Justificacion

Aunque existen distintos métodos para efectuar diseños de mezclas de concreto, pocos son referidos al uso de agregados livianos, debido a las dificultades inherentes al manejo del material y su comportamiento dentro de una masa. En este sentido, los concretos elaborados a base de agregados aligerados se diseñan mediante aplicaciones válidas, pero empíricas; por lo tanto, establecer parámetros de diseño sustentados en las leyes mecánicas y de comportamiento del concreto, mejorará el nivel de conocimiento de este material.

I.3 Objetivo General

Evaluación experimental de las leyes de comportamiento mecánico de concretos elaborados con agregados livianos.

I.4 Objetivos Específicos

- Caracterización de las propiedades físicas de Agregado Aligerado.
- Determinación de efectos de propiedades del material aligerado, sobre la compactación y absorción del Concreto elaborado con base a sustitución del agregado grueso por aligerado.
- Determinar coeficientes de La Ley de Abrams para siete (7), catorce (14), veintiocho (28) días; de concretos con agregado aligerado en sustitución del agregado grueso.
- Determinar coeficientes de La Relación Triangular, para concretos con agregado aligerado en sustitución del agregado grueso.
- Comparación de Ley de Abrams para concretos con agregado grueso aligerado y concreto convencional, para 28 días.

I.5 Variables y parámetros

Variables independientes:

- Granulometría Agregado Fino.
- Dosis de Cemento.

Variables Dependientes:

- Resistencia a los 7, 14, 28 días.
- Consistencia.

Parámetros a Mantener Constante:

- Relación Beta *.
- Marca y tipo de Cemento.
- Propiedades del agregado fino.
- Humedad *.

*Siguiendo con parámetros de estudio de los datos del laboratorio se fijo el Beta como 0.70 y la Humedad como cero (0).

I.6 Alcance y limitaciones

Este estudio comprende la determinación de coeficientes para el diseño de mezclas de concreto con agregado liviano existente en el mercado venezolano marca Aliven, en sustitución del agregado grueso, con un tipo de arena y una marca de cemento específica, Holcim tipo I.

I.7 Antecedentes de la investigación

Gilberto Velazco 1974, en su Proyecto Especial de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil: "PROBLEMAS TECNOLOGICOS EN CONCRETOS LIVIANOS". Realizado en la Universidad Central De Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela, Se centró en estudiar la influencia que tienen, las propiedades de los concretos livianos, la sustitución de la fracción final del agregado liviano por arena natural, con el propósito de desarrollar un método práctico para combinar distintos agregados. Llegando a la conclusión que el concreto elaborado con agregados aligerados, disminuyen la capacidad de deformación al agregar más confinamiento al mismo, además que la capacidad resistente del concreto se encontraba entre 67 % y 86% de la resistencia de los cilindros de control.

Jose Hernesto Hernandez Gil en el 2004. En su proyecto titulado "VALORACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN CONCRETO LIVIANO UTILIZANDO COMO ARIDO ORGANICO POROSO, EL RESIDUO AGROINDUSTRIAL CASCARILLA DE ARROZ ENTERA, realizado en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas Venezuela; utilizó la cascarilla de arroz para la elaboración de concreto liviano como medida de contribuir con una alternativa de construcción. El estudio presenta una técnica estadística-matemática de superficie de respuesta para valorar T y R del concreto Liviano, utilizando como aglomerante cemento PORTLAND tipo 1 y como árido poroso el residuo agroindustrial, cascarilla de arroz. Con el cual concluyó que este tipo de agregados utilizados a pesar de no llegar a resistencias elevadas puede ser un sustituto adecuado para la construcción.

Según Amelia Duarte y Graciela Báez en el año 1971, Con su proyecto titulado "ESTUDIO DE MEZCLAS PARA CONCRETO LIVIANO", con el fin de obtener su titulo de ingenieros civil en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). Caracterizaron el agregado liviano en base al módulo de finura y la relación agua cemento utilizando probetas de 2" de diámetro por 4" de altura, siendo estas menores a las estandarizadas por las normas COVENIN y ASTM. Esto fue debido a tener escaso material disponible para la elaboración de los ensayos. Así mismo, utilizaron como agregado fino arcillas expansivas molidas.

Walter Castillo y Gracemary Valero en el año 1991. En la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas Venezuela. Realizaron "ESTUDIO DE LA VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO ELABORADO CON CORAL COMO AGREGADO FINO Y GRUESO". Tomaron muestras de coral adyacentes a las costas venezolanas y lo procesaron generando diversos tamaños de partículas con el fin de elaborar concretos. En el estudio concluyó que los pesos unitarios medios obtenidos en las probetas cilíndricas de concreto corresponden al comportamiento del concreto liviano, además que el concreto resultante de la utilización de coral como agregado fino y grueso presenta buen aspecto, sin segregación y rápido fraguado. Los concretos elaborados a base de coral muerto pueden ser usados siempre y cuando no prevalezcan otros materiales que puedan ser explotados.

II MARCO TEÓRICO

II.1 Cemento portland

El cemento es el componente activo del concreto y constituye aproximadamente entre 10% y el 20% del peso total del concreto, se considera también como una cal con propiedades hidráulicas. Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera que al molerse se obtiene un polvo muy fino y en presencia de agua endurece, adquiriendo propiedades de resistencia, durabilidad y adherencia.

La composicion quimica del cemento portland es muy compleja pero existen cuatro (4) componentes principales. Estos se representan en la tabla 1:

COMPUESTO	FORMULA QUIMICA	ABREVIATURA
Silicato Tricalcico	3CaO* SiO2	C3S
Silicato dicalcico	2CaO* SiO2	C2S
Aluminato tricalcico	3CaO*Al2O3	C3A
Aluminoferrito tetracalcico	4CaO*Al2O3*Fe2O3	C4AF

Fuente: (Smith, 2004)

Tabla 1 Composición Química del Cemento Portland

Partiendo de estos componentes, se obtienen varios tipos de cemento portland al variar sus cantidades, en general, existen cinco tipos cuyas composiciones quimicas base se encuentran en la tabla 2 (Smith, 2004).

Tipo de Cemento	Designación	Composiciones (% peso)			
		C3S	C2S	C3A	C4AF
Ordinario	I	55	20	12	9
Moderado Calor de Hidratación y Resistencias al sulfato	III	45	30	7	12
Endurecimiento rápido	III	65	10	12	8
Bajo calor de Hidratación	IV	25	50	5	13
Resistente al Sulfato	V	40	35	3	14

Fuente: (Smith, 2004)

Tabla 2 Composiciones de Diferentes Tipos de Cementos portland

El cemento portland endurece al reaccionar con agua, a traves de las denominadas "Reacciones de Hidratación". Estas Reacciones son complejas y no del todo conocidas, el silicato tricálcico constituye aproximadamenteun 75% del peso del cemento PORTLAND, y cuando estos componentes reaccionan con agua durante el proceso de endurecimiento producen como principal producto de hidratación el "silicato tricálcico hidratado". Este producto esta formado por partículas extremadamente pequeñas (de menos de 1μm) y es un gel coloidal. Por hidratación del silicato tricálcico y silicato dicálcico se produce tambien hidróxido cálcico que es un material cristalino (Smith, 2004).

II.2 Agregado

Los agregados, son fragmentos o granos, usualmente duros, entre cuyas finalidades específicas se encuentra el hecho de abaratar costo de la mezcla y además dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción del fraguado o retracción plástica.

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, y representan entre el 70% y el 80% de su masa, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla. (Joaquin Porrero S., 2004).

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregados gruesos y agregados finos, fijando un valor en tamaño de 0.075 mm y 4.76 mm para el fino o arena y de 4.76 mm en adelante para el grueso. Frecuentemente la fracción de agregado grueso es subdividida dentro de rangos, tales como, 4.76 mm a 19 mm para la gravilla y de 19 mm a 51 mm para la grava. La sección del tamaño de agregado grueso para un concreto reforzado está en función del tipo de estructura y separación de la armadura.

Así mismo los agregados se pueden clasificar:

1. *Según su procedencia*

   Pueden ser naturales o artificiales. Los agregados naturales se obtienen de la explotación de depósitos, de arrastre fluviales (arenas y gravas de rio), o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Los agregados artificiales, son los que se obtienen a partir de procesos industriales, tales como, arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, y limaduras de hierro, entre otros (Instituto del Concreto, 2000).

2. *Según su tamaño*

La forma más empleada para clasificar los agregados naturales es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. La distribución de tamaños se conoce con el nombre de granulometría. El contenido de arcilla y limo en una mezcla de concreto, es un factor que se debe limitar porque cuando hay un exceso de las mismas, produce que sean mayores los requerimientos de agua y resten adherencia entre el agregado grueso y la pasta de cemento (Instituto del Concreto, 2000).

3. *Según su densidad.*

La densidad, propiedad que relaciona la cantidad de masa con el volumen que ocupa, se puede clasificar tanto los agregados naturales como los artificiales y se hace en tres diferentes categorías;

- Liviano, cuya masa unitaria aproximada se encuentra entre 480-1300 kilogramos por metros cúbicos.
- Normal, su masa unitaria se encuentra entre 1300 -2000 kilogramos por metros cúbicos.
- Pesado, el cual posee una masa unitaria aproximada entre 200-5600 kilogramos por metro cubico.

EL agregado dentro del concreto tiene una función de relleno, generando un esqueleto rígido estable, adecuado para la pasta (cemento y agua). Además, proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de abrasión y erosión severa, que pueden actuar sobre el concreto. Así mismo, reduce los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta ayudando así a la óptima calidad de los concretos. (Instituto del Concreto, 2000).

II.3.1. *Agregado Fino*

Se refiere a los agregados finos, como aquellos que pasan por el tamiz # 8 y son retenidos en el tamiz # 200, esta clasificación de los agregados se determina mediante el ensayo normativo de la composición granulométrica.

El agregado fino consiste principalmente en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente, la forma de las partículas debe ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas.

En general, el agregado fino o arena no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales ya que estas pueden afectar directamente la adherencia entre la pasta de cemento y los materiales que conforman el concreto. (Guzman, 2001)

II.3.2. *Agregado liviano*

El agregado liviano es un material elaborado con pizarras, arcillas expandidas entre otros, que puede ser utilizado como sustituto del material fino o grueso, formando parte de una estructura de concreto, el cual permite que éste sea de menor peso unitario que el concreto normal o convencional, encontrándose en el orden entre 1500 y 1850 kgf/m^3 y con igual rango de resistencia. Puede ser de origen natural aunque con más frecuencia, se tratan de agregados obtenidos artificialmente.

Los agregados ligeros estructurales provienen del procesamiento de otros tipos de material, como la piedra pómez y la escoria volcánica que se encuentran de manera natural.

II.3.1. *Relación Beta*

Es una relación de combinación, en peso, entre el agregado fino y el agregado total (suma del grueso y el fino). Se simboliza como β y se expresa en tanto por uno o en porcentaje.

$$\beta = \frac{A}{A + B} X\ 100$$

Donde A y B son los pesos de los agregados finos y gruesos.

II.3.2. *Caracteristicas y propiedades de los agregados*

II.3.3.1 Peso Unitario

Es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado, por lo tanto depende del tamaño, forma y arreglo de las partículas.

De acuerdo a que tan denso se coloque el material, el peso unitario puede ser suelto o compacto. Se considera suelto cuando el material se deja caer dentro del recipiente desde una cierta altura y compacto cuando el material se compacta haciendo uso de una barra de punta redonda normalizada.

El peso unitario suelto es importante en el manejo de los agregados, el transporte se hace por volumen y en estado suelto. Mientras el peso unitario compacto es importante, ya que con él se determinan los volúmenes absolutos de agregados en el diseño de mezclas por cuanto las partículas de los mismos quedaran confinadas dentro de la masa de concreto. (COVENIN 263-98).

Los agregados Livianos tienen densidades menores a los agregados de masa normal, variando de 560 a 1120 Kg/m^3 que representa el 47% de los de agregado normal, que oscila entre 1200 a 1760 Kg/m^3.

II.3.3.2 Peso Específico

Es la relación que existe entre el peso del material y el volumen ocupado (Volumen desplazado o Volumen de las partículas solidas) por éste, sin considerar el volumen de Vacíos.

La determinación del peso especifico de los agregados es de suma importancia puesto que este se usa para establecer la condición del volumen en el diseño de mezclas de concreto (Joaquin Porrero S., 2004). El ensayo a utilizar es: "El método de ensayo para determinar el peso especifico del agregado. (COVENIN 269-75)".

II.3.3.3 Porcentaje de Vacios

Se hace referencia a la totalidad del volumen de espacios que existen entre las partículas relacionados directamente al volumen total ocupado por el agregado dentro de un mismo volumen total.

II.3.3.4 Absorción y Humedad

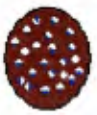
Se conoce como absorción a la cantidad de agua que puede almacenar el material; esta capacidad que tiene cualquier agregado, va directamente relacionada con la porosidad del mismo, ya que este último se refiere a la cantidad de espacios vacios dentro de las partículas individuales del agregado.

Por otra parte, el término humedad se refiere a la cantidad de agua que está presente en el material, es por ello que hay que tenerla en cuenta a la hora de la utilización del agregado, debido a que esta influye directamente en el diseño de mezcla.

A continuación se presentan las condiciones de humedad:

- Seco al horno, todos los vacios del material se encuentran totalmente secos.

- Seco al aire, en este caso puede que el material se encuentre parcialmente con agua entre sus espacios vacios, a esta condición también se le denomina humedad natural.



- Saturado con Superficie Seca, en esta situación el material se encuentra con todos los vacios internos saturados a pesar de que la superficie exterior se encuentre seca.

- Condición Húmeda, se refiere al material completamente saturado de agua tanto en su interior como en su superficie externa.

II.3.3.5 Granulometría

La granulometría es una forma de evaluar la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide, de forma significativa, la calidad del material para su uso como componente del concreto.

El tamaño de los agregados se mide en forma indirecta mediante cedazos de diferentes aberturas calibradas (Norma COVENIN 254, "Cedazos de ensayos"), los cuales colocados uno sobre otro, con el de mayor abertura arriba, en forma decreciente, hasta disponer el de menor abertura en la parte inferior. Al tamizar el material, mediante agitación, a través de esta serie (Norma COVENIN 255, "Agregados. Determinación de la composición granulométrica"), los granos pasaran a través de las distintas aberturas, quedando retenido los granos en los tamices de tamaño menor al de cada partícula.

La granulometría se puede expresar de varias formas, retenidos parciales en cada cedazo, (expresados en pesos o porcentajes) y retenidos acumulados o pasantes (principalmente en porcentajes) y diferentes escalas. (Joaquin Porrero S., 2004).

II.3.3.6 Tamaño Máximo del agregado Grueso

Se denomina tamaño máximo de un agregado, al tamaño de sus partículas más gruesas medidas como abertura del cedazo de menor tamaño que permita el paso del 95% o más del material. Desde el punto de vista técnico su relación con las características de la mezcla es decisiva para la calidad y economía de esta.

II.3.3.7 Módulo de Finura

Se utiliza como el parámetro del grado de finura del agregado fino. Este equivale al número de un tamiz sobre el cual quedaría retenido teóricamente el 50% del material. También se podría definir como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de las series estandarizadas, dividido entre cien (100).

II.3 Agua

El agua es un componente del concreto, en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. (Guzman, 2001).

Generalmente, se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, a pesar de no ser solamente su cantidad lo importante, sino también su calidad química y física.

Los términos relativos al agua tomados en cuenta frecuentemente son la acidez, alcalinidad, análisis de control, sedimentos, sólidos en suspensión, PH, entre otros.

II.4 Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla es el conjunto de cálculos y estimaciones pertinentes para la determinación o proporción que debe existir entre los componentes de una mezcla de concreto, con el fin de lograr las características y propiedades esperadas en las mismas.

Una dosificación apropiada deben cumplir con:

- Economía
- Manejabilidad en estado fresco
- Resistencia
- Durabilidad en estado endurecido

Dentro de este contexto, existen muchos métodos para diseñar mezclas, que pueden asemejarse, de acuerdo con las variables que manejen y las relaciones que se establezcan; esto indica que, por las características propias de los componentes ninguno de ellos es el más adecuado. De acuerdo con las condiciones reales de los materiales y de la tecnología del concreto, puedan ser preferidos según sea el caso.

II.5.1 *Ley de Abrams*

Establece la relación entre la resistencia del concreto y la relación agua cemento, en peso. Cuya expresión matemática se denota de la forma siguiente:

Donde:

$$R = \frac{M}{N^{\alpha}}$$

R= Resistencia media esperada (Kgf/cm²)

α= a/c (relación agua cemento o relación alfa)

M y N son constantes que dependen de las características de los agregados y las condiciones del ensayo.

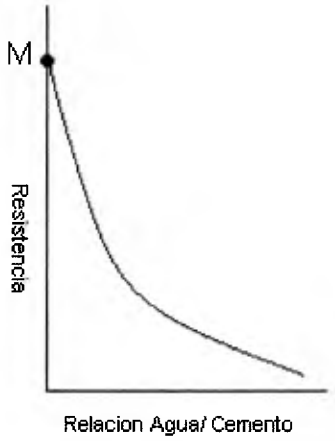
Otra forma de expresar la ecuación es tomando logaritmo a ambos lados de la igualdad

$$\text{Log } R = \text{Log } M - \alpha \text{ Log } N$$

La cual va a corresponder a una ecuación de familia de rectas donde:

- Log R y α son constantes
- Log N pendiente
- Log M corte con el eje vertical

Y se presenta de la forma siguiente:



II.5.2 *Relación Triangular*

La Ley de Relación Triangular relaciona tres parámetros en la realización del diseño de mezcla, como son: Dosis del Cemento, Relación de Agua Cemento (α) y el Asentamiento en el Cono de Abrams.

Estas tres variables se pueden Relacionar en la siguiente expresión, según el Manual de Concreto Estructural:

$$C = \frac{K.T^{n}}{\alpha^{m}}$$

Donde:

C= Dosis de Cemento (Kgf/m³).

α= a/c (relación alfa, α)

a= Agua (Lts)

T= asentamiento en el cono de Abrams (cm)

K, m, n son constantes que dependen de las características especificas de los agregados y condiciones del ensayo.

Esta expresión se grafica en un par de ejes logaritmo- logaritmo y su grafica es una línea recta. Al tomar logaritmo a ambos lados de la igualdad la expresión queda:

$$\text{Log}C = \text{Log}K + n\text{Log}\,T - m\,\text{Log}\alpha$$

Es una familia de rectas paralelas, con pendiente igual a "m" separadas entre sí una distancia equivalente a "n log T".

III METODOLOGIA

El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro de la modalidad de proyecto factible sustentado en una investigación de campo de carácter exploratorio, descriptivo, basado en un diseño experimental.

En este sentido, para evaluar los coeficientes de la Ley de Abrams, se realizaron probetas cilíndricas con distintas dosificaciones de cemento y cantidades de agua teniendo así diferentes diseños de mezcla que al ser ensayados a los siete (7), catorce (14) y veintiocho (28) días permitieron obtener gráficas representativas. Así mismo con la realización de cada probeta y midiendo los asentamientos correspondientes a cada una se pudo obtener los datos correspondientes para la elaboración de la gráfica representativa de la relación triangular.

III.1 Ensayos realizados

Entre las actividades de laboratorio que se llevaron a cabo se pueden numerar los siguientes ensayos según sea el tipo de agregado al cual nos referimos:

III.1.1. Caracterización del Agregado Liviano

- Determinación de la composición granulométrica del agregado (COVENIN 255-2006)
- Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción (COVENIN 269-2006)
- Concreto. Agregado (COVENIN 277-2007).

III.1.2. Caracterización del Agregado Fino

- Método de ensayo para determinar la humedad superficial en agregados finos. (COVENIN 272-78).
- Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto (ensayo de colorímetro) (COVENIN 256 -77).
- Determinar la densidad y absorción del agregado fino (COVENIN 268-98)
- Determinación de la composición granulométrica del agregado (COVENIN 255-98/ASTM C128-93).
- Concreto. Agregado (COVENIN 277-2007)

Así mismo, durante el proceso de elaboración de las probetas se llevaron a cabo otros ensayos los cuales se presentan a continuación:

- Método para el Mezclado en el laboratorio. (COVENIN 354:2001)
- Concreto método para la elaboración y ensayo a compresión de cilindros, (COVENNIN 338-2002)

III.2 Diseño de Experimento

Para el desarrollo general de los diseños de mezcla se utilizó el procedimiento que se muestra a continuación: (Ver Tabla 3)

	VARIABLES							RESULTADOS		
CODIGO	Edad (días)	AGUA (Lts)	Aliven (kg)	Arena (Kg)	Cemento (Kg)	HUMEDAD	BETA	S (Cm)		Esfuerzo (Kgf/cm²)
P1	√	√	√	√	√	CTE	CTE	P11		
									P12	
										P13	R1
P2	√	√	√	√	√	CTE	CTE	P11		
									P12	
										P13	R1
P3	√	√	√	√	√	CTE	CTE	P11		
									P12	
										P13	R1

Tabla 3 Diseño de Experimento

Se realizaron distintas mezclas con volumen equivalente a dos probetas, para una dosis de cemento específica, a las cuales se le añadía parcialmente agua. Con cada adición, se determinaba el asentamiento. Con la última medición del asentamiento, se elaboraron los cilindros, que fueron almacenados para ser ensayados a siete (7), catorce (14) y veintiocho (28) días. Esta actividad fue realizada en períodos diferentes.

En total, se elaboraron treinta y tres (33) probetas cilíndricas, utilizando el agregado liviano en sustitución del agregado grueso, fueron almacenadas en cámaras de curado un total de diez (10) cilindros para ser ensayados a los siete (7) días, trece (13) a los catorce (14) días y diez (10) a los veintiocho (28) días.

Siguiendo el procedimiento se tomaron asentamientos para cada una de los diseños de mezcla, previo a todo el proceso, como se mencionó y como se refiere en la tabla 3, se fijó el valor de beta (β) constante con una relación de 70% y se llevó a cero la humedad (cabe destacar que algunos textos sugieren que debe ser trabajado saturado), el mismo era dejado en el horno a una temperatura de 100°C durante cuarenta y ocho (48) horas previas a la realización de los diseños de mezcla.

El método, utilizado en este Trabajo Especial de Grado presenta las siguientes características:

- Evalúa la relación triangular y la ley de Abrams, leyes básicas que permiten relacionar las cuatro variables que constituyen el esqueleto fundamental de este método: dosis de cemento, asentamiento, relación agua Cemento y resistencia
- Asentamientos en el cono de Abrams entre 2.5 cm y 15 cm con resistencias medias a los 28 días entre 180 y 430 Kgf/cm².

En la Tabla 4 Valores utilizados por cilindros:

	VARIABLES				
CODIGO	Edad (días)	AGUA (lts)	Aliven (kg)	Arena (Kg)	Cemento (Kg)
P1	7	v	v	v	v
P2	7	v	v	v	v
P3	7	v	v	v	v
P4	7	v	v	v	v
P5	7	v	v	v	v
P6	7	v	v	v	v
P7	7	v	v	v	v
P8	7	v	v	v	v
P9	7	v	v	v	v
P10	7	v	v	v	v
P11	14	v	v	v	v
P12	14	v	v	v	v
P13	14	v	v	v	v
P14	14	v	v	v	v
P15	14	v	v	v	v
P16	14	v	v	v	v
P17	14	v	v	v	v
P18	14	v	v	v	v
P19	14	v	v	v	v
P20	14	v	v	v	v
P21	14	v	v	v	v
P22	14	v	v	v	v
P23	14	v	v	v	v

	VARIABLES				
CODIGO	Edad (días)	AGUA (lts)	Aliven (kg)	Arena (Kg)	Cemento (Kg)
P24	28	v	v	v	v
P25	28	v	v	v	v
P26	28	v	v	v	v
P27	28	v	v	v	v
P28	28	v	v	v	v
P29	28	v	v	v	v
P30	28	v	v	v	v
P31	28	v	v	v	v
P32	28	v	v	v	v
P33	28	v	v	v	v

Tabla 4 Valores utilizados para diseño de Mezcla

IV RESULTADOS

IV.1 Caracterización agregados

IV.1.1 Agregado Liviano

Absorción:

De los 6 ensayos realizados el promedio se encontró en 12 % donde el valor máximo obtenido fue de 14 % y mínimo de 11%, los mismos se encuentran representados en la Figura 1.

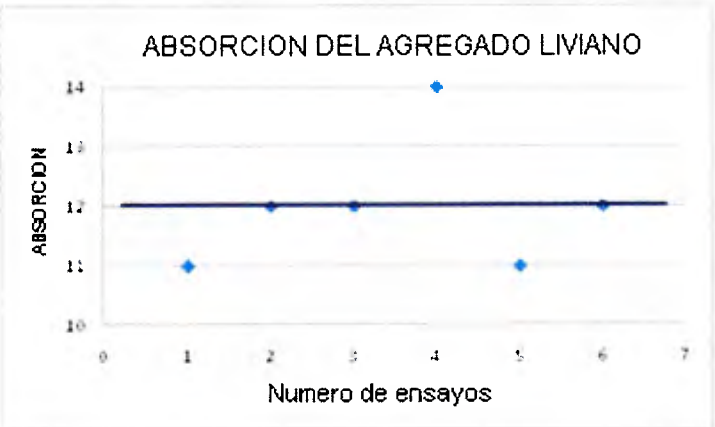


Figura 1 Ensayos de Absorción del Agregado Liviano

Peso Específico:

Se realizaron tres (3) ensayos cuyos valores se encontraban entre 1.05 gr/cm³ y 1.13 gr/cm³, cuyo promedio fue de 1.09 gr/cm³.

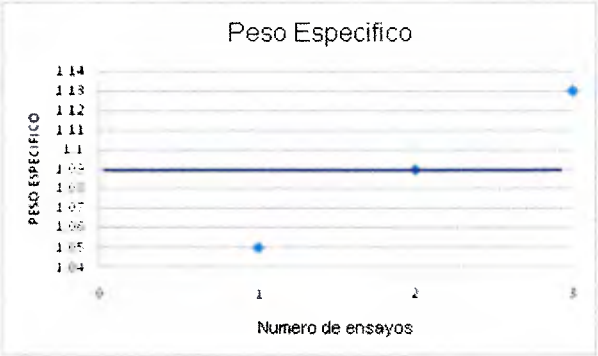


Figura 2 Ensayos de Peso Especifico del Agregado Liviano

Peso Unitario Suelto:

De los seis (6) ensayos realizados se observa como el resultado de los dos primeros son los que generan los parámetros máximos y mínimos de dicha característica en el material, siendo estos 501 Kg/m³ para el máximo y 404 Kg/m³, encontrándose el promedio en 451 Kg/m³.

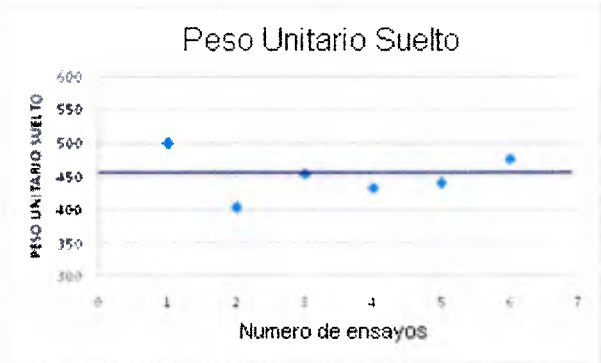
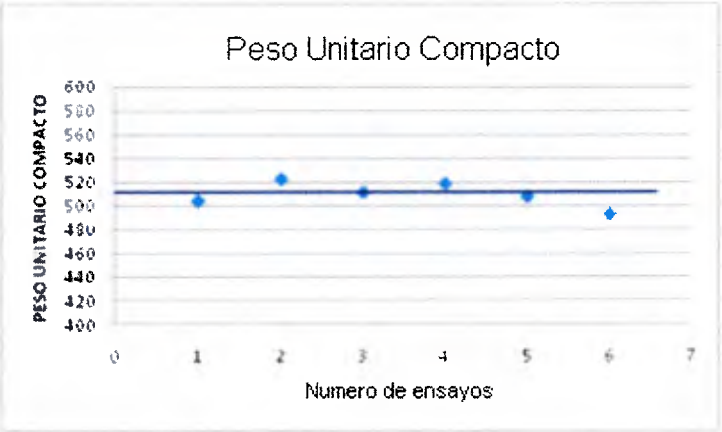


Figura 3 Ensayos de Peso Unitario Suelto del Agregado Liviano

Peso Unitario Compacto:

En los seis (6) ensayos realizados se observa cierta equidad en los resultados de los ensayos encontrándose entre 494 kg/m³ y 519 kg/m³ dando lugar a una media de 510 494 kg/m³.



En resumen se puede expresar todos los resultados de la siguiente manera:

ENSAYOS	N° de Ensayos	Mínimo	Máximo	Media
ABSORCION (%)	6	11	14	12
PESO ESPECIFICO (gr/cm³)	3	1.05	1.13	1.09
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m³)	6	404	501	451
PESO UNITARIO COMPACTO (Kg/m³)	6	494	519	510

Tabla 5 Cuadro de Características del Agregado Liviano

PESO TOTAL MUESTRA = 535.4 Gramos

MUESTRA LIVIANO

TAMIZ N°	PESO RETENIDO Gramos	RETENIDO TAMIZ (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
1/2"	24.4	4.55	4.55	95.45
3/8"	125.4	23.38	27.93	72.07
1/4"	200.95	37.46	65.39	34.61
#4	45.65	8.51	73.90	26.10
#8	49.4	9.21	83.11	16.89
#16	28.95	5.40	88.51	11.49
#30	23.7	4.42	92.93	7.07
#50	12.75	2.38	95.30	4.70
#100	5.87	1.09	96.40	3.60
#200	7.7	1.44	97.83	2.17
PASA 200	11.35	2.12	99.95	0.05

Tabla 6 Granulometría del Agregado Liviano

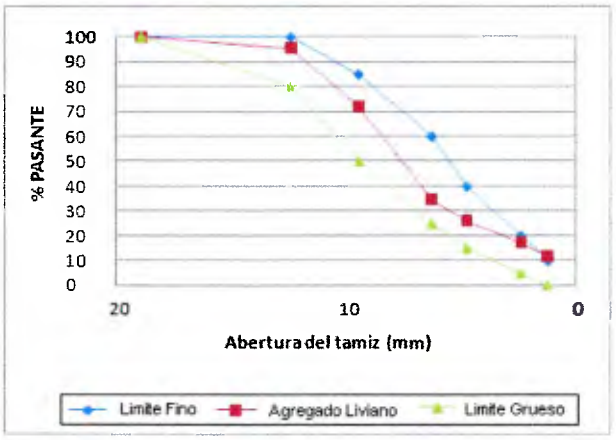


Figura 4 Comparación de Granulometría del Agregado Liviano con Granulometría N° 0 de la norma "Concreto. Agregados FONDONORMA 277: 2007"

IV.1.2 Agregado Fino

ENSAYOS	N° de Ensayos	Mínimo	Máximo	Media
ABSORCION (%)	2	1.4	1.7	1.6
PESO ESPECIFICO	2	2.6	2.64	2.62
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m³)	6	1007	1349	1172
PESO UNITARIO COMPACTO (Kg/m³)	6	1553	1613	1624
MODULO DE FINURA	1	5.22	5.22	5.22
COLORIMETRIA	1	0	0	1

Tabla 7 Cuadro de Características del Agregado Fino

PESO TOTAL MUESTRA = 600.15 Gramos

MUESTRA FINO

TAMIZ N°	PESO RETENIDO gramos	RETENIDO TAMIZ (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
1/2"	5.5	0.92	0.92	99.08
3/8"	7.25	1.21	2.12	97.88
1/4"	53.55	8.92	11.05	88.95
#4	51.7	8.61	19.66	80.34
#8	161.55	26.92	46.58	53.42
#16	154.7	25.78	72.36	27.64
#30	84.7	14.11	86.47	13.53
#50	33.85	5.64	92.11	7.89
#100	13.8	2.30	94.41	5.59
#200	13.25	2.21	96.62	3.38
PASA 200	18.8	3.13	99.75	0.25

Tabla 8 Granulometría Agregado Fino

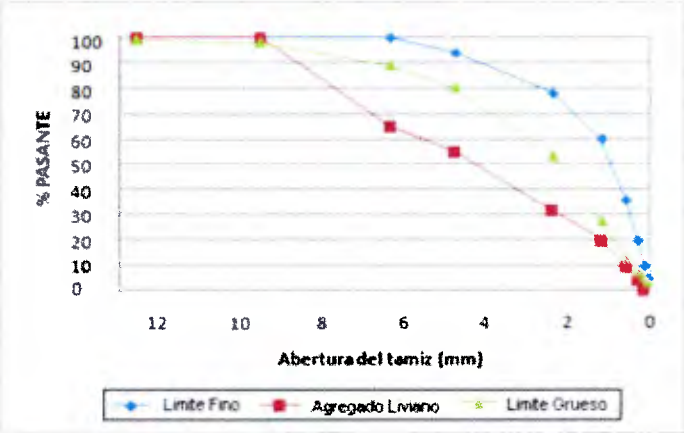


Figura 5 Grafica de Granulometría de Agregado Fino, según bandas granulométricas de la norma" Concreto. Agregado 277:2007"

IV.2 Consecuencias de las Características de los Agregados Aligerados.

Las propiedades y características del agregado liviano, derivadas básicamente de su origen y procesamiento industrial, afectan el comportamiento de las mezclas de concreto realizadas con este material.

Dentro de este contexto, el comportamiento de la mezcla en estado fresco y en estado endurecido, presenta dos aspectos que deben ser evaluados debido a que, por una parte, se relacionan con el cuidado que debe mantenerse al momento de hacer, colocar y compactar la mezcla, estado fresco, que representa una debilidad y, la repuesta, en estado endurecido, a la absorción por capilaridad, que pasar a ser una fortaleza del concreto aligerado.

Como quedó indicado, por ser consecuencia directa de las propiedades y características, se efectuaron dos estudios previos al desarrollo de mezclas, son:

2.1 Comportamiento de mezcla ante compactación

2.2 Comportamiento de capilaridad

IV.2.1 Comportamiento de mezcla ante compactación

Se efectuaron pruebas mediante ensayo realizando dos probetas de 60 cm cada una, utilizando como método de compactación el vibrado y otro caso utilizando la barra normalizada se pudo apreciar:

IV.2.1.1 *Barra Normalizada*

Realizando el procedimiento de compactado, utilizando una barra normalizada, generando veinticinco (25) golpes a cada un tercio (1/3) de la altura total del cilindro.

Observe la distribución del agregado se mantiene uniforme a lo largo de toda la probeta cilíndrica, en los recuadros rojos se puede apreciar con detalle secciones del cilindro donde muestran de forma amplificada los granos del material aligerado.

En donde en la sección superior se encuentran los agregados separados a una distancia semejante a la sección inferior y esto mismo ocurre a lo largo de toda la probeta.

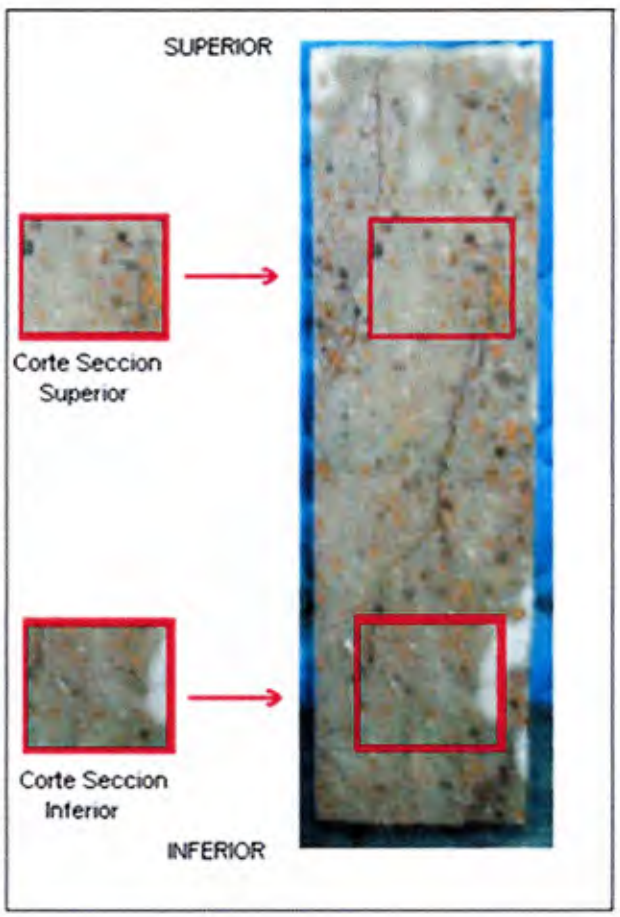


Figura 6 Cilindro compactado con Barra Normalizada, Observe comportamiento en recuadros.

IV.2.1.2 *Vibrado*:

Al ser vibrada la probeta por un tiempo de 56 segundos a todo lo largo, se pudo observar como la distribución del material aligerado no era uniforme en todo el cilindro.

Note como la distancia entre los granos del material aligerado están más unidos en la zona superior que en la zona inferior, esto se puede deber a que al tener un peso especifico alrededor de 1gr/cm³ y dada las vibraciones laterales producidas en la mezcla del concreto la tendencia del mismo es a flotar.

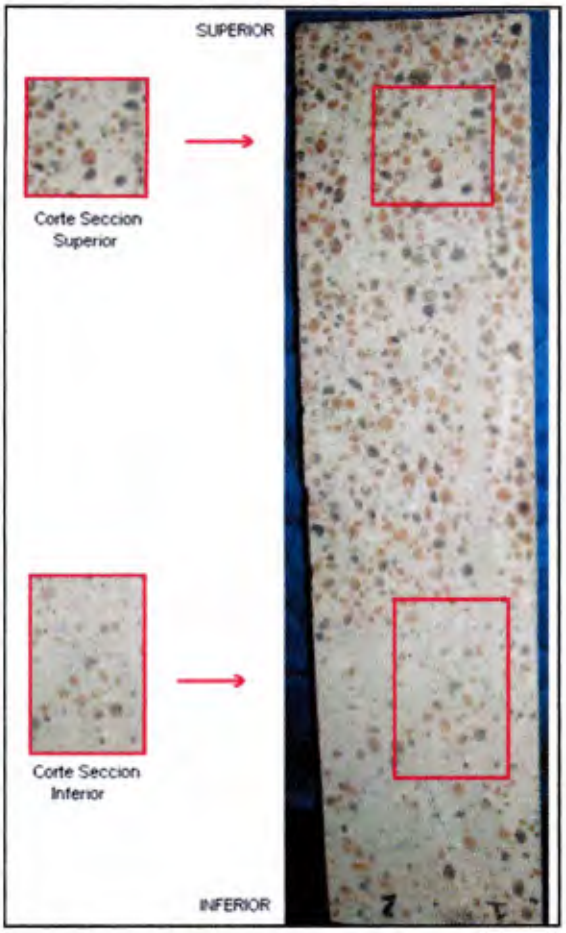


Figura 7 Cilindro compactado con Vibrador, observe comportamiento en recuadros.

IV.2.2 Comportamiento de Capilaridad

El estudio de la capilaridad se llevó a cabo mediante dos probetas cilíndricas, una con agregado convencional y otra con agregado liviano, ambas fueron realizadas con el mismo agregado fino y el mismo tipo de cemento. Luego de elaboradas se colocaron al horno a una temperatura de 100°C durante 48 horas para llevarlas a estado seco, una vez transcurrido el tiempo fueron dispuestas en una bandeja con una altura de agua de un centímetro (1 cm).

A las 24 horas se pudo observar que en la probeta realizada con agregado convencional la altura de era de 6 cm, mientras que en la probeta con agregado liviano era 1 cm, habiendo entre ellos una diferencia de 84 %.

Figura 8 Efecto de la Capilar

IV.3 Relación de Agregados (Beta)

Como quedo indicado en ***I.5***.- *Variables y parámetros*, la proporción β quedo definido un 0.7 con la finalidad de que los resultados de este proyecto puedan compararse con otros estudios del laboratorio

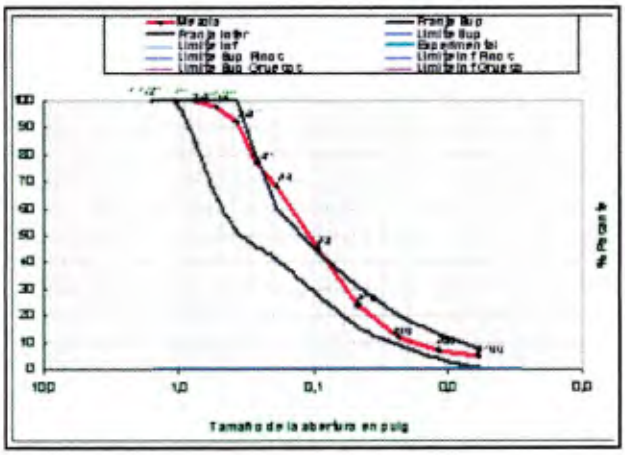


Figura 9 Grafica De Beta 70%

Sin embargo se obtuvo que el valor de beta óptimo para el diseño de mezcla se encontrara alrededor del 40 %, la grafica de distribución también se plantea a continuación.

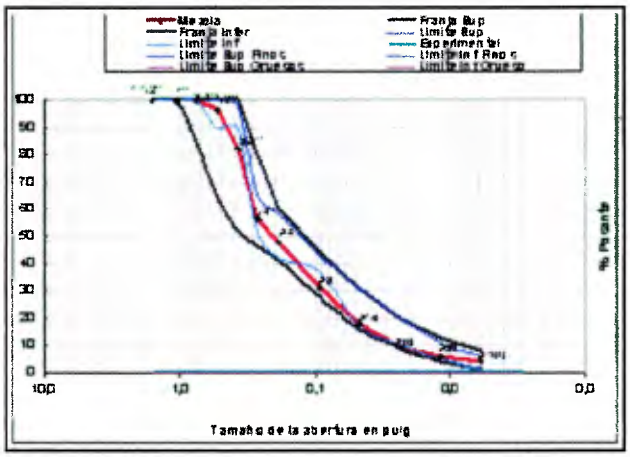


Figura 10 Grafica De Beta 40%

IV.4 Resultados de los ensayos a compresión obtenidos

Código	Edad (días)	Peso (Kg)	Diam (Cm)	Altura (Cm)	Volumen (m^3)	Área (cm^2)	P. Unit (Kg/m^3)	Carga Ruptura (Kgf)	Esfuerzo (Kgf/cm^2)
P1	7	9.5	15.0	30.0	0.0286	177	1793	22400	127
P2	7	9.3	15.0	30.0	0.0245	177	1755	14200	80
P3	7	8.3	15.0	30.0	0.0274	177	1566	12900	73
P4	7	10.0	15.0	30.2	0.0062	177	1875	35600	202
P5	7	9.0	15.0	30.0	0.0089	177	1699	31793	180
P6	7	9.4	15.0	30.2	0.0053	177	1762	23800	135
P7	7	9.6	15.0	30.2	0.0057	177	1800	28800	163
P8	7	10.2	15.3	30.6	0.0064	184	1814	36017	196
P9	7	9.0	15.0	30.0	0.0078	177	1699	25611	145
P10	7	9.0	15.0	30.0	0.0078	177	1699	25525	145
Min	7	8	15	30	0.0053	177	1566	12900	73
Max	7	10	15	31	0.0286	184	1875	36017	202
Media	7	9	15	30	0.0129	177	1746	25664	145

Tabla 9 Resultados de Cilindros a los 7 días

Código	Edad (días)	Peso (Kg)	Diam (Cm)	Altura (Cm)	Volumen (m^3)	Área (cm^2)	P. Unit (Kg/m^3)	Carga Ruptura (Kgf)	Esfuerzo (Kgf/cm^2)
P11	14	9.7	15.1	30.2	0.0191	178	1809	15300	86
P12	14	10.2	15.0	30.3	0.0072	177	1906	39000	221
P13	14	9.6	15.0	30.1	0.0068	177	1806	37200	211
P14	14	10.0	15.0	30.4	0.0062	177	1862	37800	214
P15	14	9.8	15.1	30.4	0.0059	179	1801	35000	196
P16	14	10.0	15.1	30.0	0.0062	179	1862	35798	200
P17	14	9.0	15.0	30.0	0.0078	177	1699	30026	170
P18	14	9.0	15.0	30.0	0.0089	177	1699	35325	200
P19	14	9.0	15.0	30.1	0.0053	177	1693	24728	140
P20	14	8.0	15.0	30.4	0.0062	177	1490	21195	120
P21	14	9.0	15.1	30.2	0.0053	179	1665	19689	110
P22	14	9.5	14.9	29.0	0.0062	174	1880	24399	140
P23	14	9.0	15.0	30.0	0.0053	177	1699	30026	170
Min	14	8	15	29	0.0053	174	1490	15300	86
Max	14	10	15	30	0.0191	179	1906	39000	221
Media	14	9	15	30	0.0074	177	1759	29653	167

Tabla 10 Resultados de Cilindros a los 14 Días

Código	Edad (días)	Peso (Kg)	Diam (Cm)	Altura (Cm)	Volumen (m^3)	Área (cm^2)	P. Unit (Kg/m^3)	Carga Ruptura (Kgf)	Esfuerzo (Kgf/cm^2)
P24	28	9.6	15.1	30.1	0.0188	178	1794	28400	160
P25	28	9.0	15.1	30.0	0.0163	178	1687	19500	110
P26	28	9.0	14.9	30.2	0.0155	174	1710	26142	150
P27	28	8.0	15.0	30.1	0.0087	177	1505	41800	237
P28	28	8.0	15.1	30.2	0.0066	179	1480	32400	181
P29	28	9.0	15.0	30.0	0.0084	177	1699	29570	167
P30	28	9.0	15.0	30.0	0.0088	177	1699	33912	192
P31	28	8.0	15.0	30.1	0.0155	177	1505	43273	245
P32	28	10.0	15.1	30.0	0.0155	179	1862	23268	130
P33	28	9.5	15.0	30.0	0.0053	177	1793	29143	165
Min	28	8	15	30	0.0053	174	1480	19500	110
Max	28	10	15	30	0.0188	179	1862	43273	245
Media	28	9	15	30	0.0119	177	1673	30741	174

Tabla 11 Resultados de Cilindros a los 28 Días

IV.5 Ley de Abrams

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	MINIMO	MAXIMO	MEDIA
(α)	0.60	0.71	0.74	0.32	0.31	0.33	0.27	0.26	0.45	0.44			
F'c	127	80	73	202	180	135	163	196	145	145	73	202	145

Tabla 12 Datos de la Ley de Abrams 7 días.

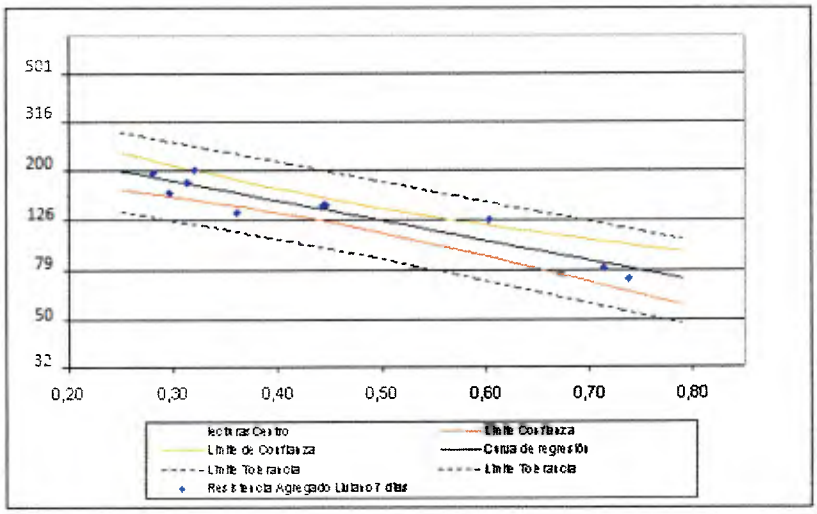


Figura 11 Curva de Ley de Abrams a los 7 días

Donde:

M= 319.7

N= 6.46

R= 0.94

R^2= 0.88

	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	MINIMO	MAXIMO	MEDIA
(a)	0.75	0.37	0.32	0.34	0.3	0.3	0.14	0.21	0.5	0.6	0.7	0.55	0.4			
F'c		221	211	214	196	200	170	200	140	120	110	140	170	86	221	168

Tabla 13 Datos de ley de Abrams 14 días

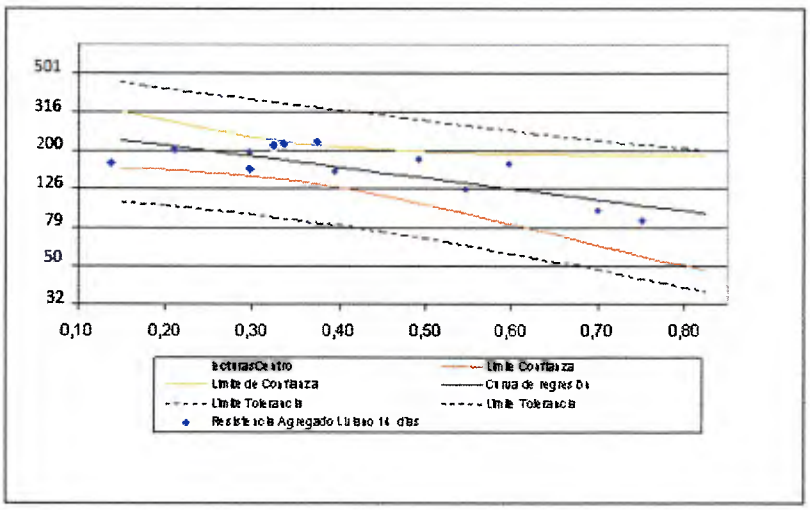


Figura 12 Curva de Ley de Abrams a los 14 días

Donde:

M= 374.0

N=4.995

R=0.973

R^2= 0.78

	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	MINIMO	MAXIMO	MEDIA
(α)	0.62	0.79	0.76	0.31	0.37	0.37	0.3	0.28	0.65	0.5			
F'c	160	110	150	237	181	167	192	245	130	165	110	245	174

Tabla 14 Datos Ley de Abrams 28 días

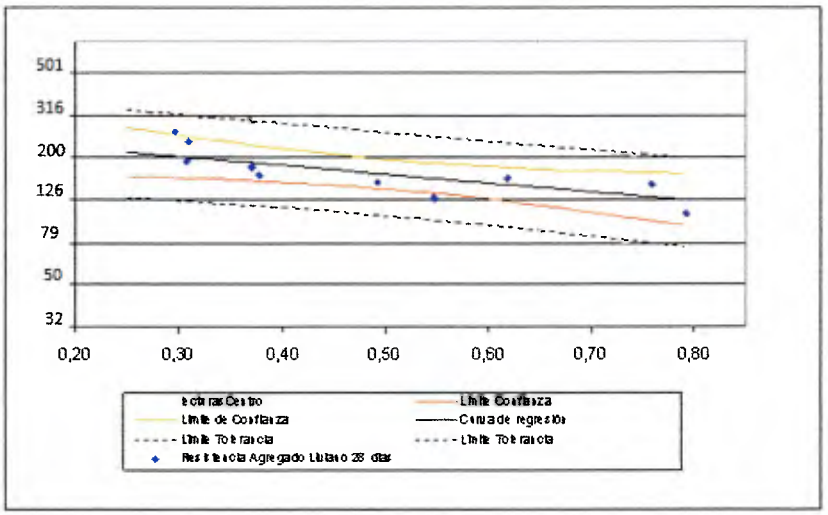


Figura 13 Curva de Ley de Abrams a los 28 días

Donde:

M= 297.9

N= 2.865

R = 0.944

R^2=0.81

En resumen:

	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
M	319.7	374	297.9
N	6.46	4.995	2.865
R^2	0.88	0.78	0.81

IV.6 Relación Triangular

CODIGO	AGUA CEMENTO	S (cm)	DOSIS
P20	0.60	14	804
P21	0.70	14	758
P25	0.79	14	245
P26	0.76	14	258
P32	0.65	12	322
P22	0.55	12	804
P2	0.71	12	204
P23	0.40	10	758
P3	0.74	10	146
P9	0.45	10	515
P33	0.50	10	758
P10	0.44	8	515
P12	0.37	8	835
P19	0.50	8	758
P1	0.60	8	210
P29	0.37	8	598

CODIGO	AGUA CEMENTO	S (cm)	DOSIS
P4	0.32	7	643
P13	0.32	7	740
P14	0.34	7	803
P15	0.30	7	845
P24	0.62	7	319
P27	0.31	7	686
P5	0.31	4	671
P6	0.33	4	569
P7	0.27	4	700
P8	0.26	4	779
P16	0.30	4	643
P17	0.14	4	644
P9	0.45	4	515
P18	0.21	4	671
P27	0.31	2.5	686
P28	0.37	2.5	606
P30	0.30	2.5	680
P31	0.28	2.5	386
P11	0.75	2.5	209

Tabla 15 Datos de la Relación Triangular

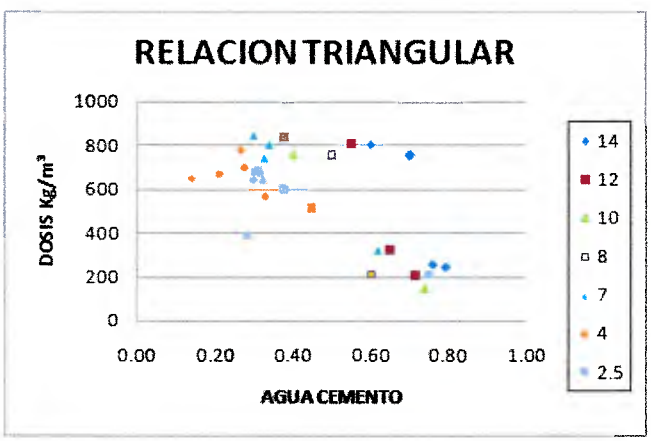


Figura 14 Gráfico de la Relación Triangular

V ANALISIS DE RESULTADOS

V.1 Propiedades de los Agregados Livianos

V.1.1 Peso Unitario Suelto y compacto

Luego de realizar seis (6) ensayos al material en estudio, para la obtención del Peso Unitario Suelto se observó que estos se encuentran entre 404 kg/m³ y 501 kg/m³ para una media de 451 kg/m³.

El peso unitario compacto para la misma cantidad de ensayos, se ubicó entre 494 kg/m³ y 519 kg/m³, con valor medio de 510 kg/m³.

En este sentido, se puede decir que compactando el material, se obtuvo un aumento del peso por unidad de volumen de un 13 %, que al comparar con el agregado convencional se aprecian que tienen valores cercanos.

V.1.2 Peso Especifico y Absorción

El Peso Específico del agregado liviano estuvo comprendido entre 1.05 gr/cm³ y 1.13 gr/cm³ con un valor medio de 1.09 gr/cm³, lo que resulta ser un valor cercano al del agua, lo que puede deberse a la gran porosidad del material.

Además se puede mencionar que dicho peso específico es menor al del agregado fino que se encuentra alrededor de 2.5 gr/cm³ y el agregado grueso que pudiera llegar a ser cercano a 3 gr/cm³

La absorción se encontró entre el 11% y el 14 % para una media del 12% mientras que para agregados finos esta pudiera llegar a estar alrededor de 1.5 % y agregados gruesos cercana al 0.5 %.

V.1.3 Granulometría

En cuanto a los resultados obtenidos con la distribución granulométrica, se observa que el agregado liviano, se sitúa hacia el límite de los agregados gruesos, el 80% del material retenido acumulado se encuentra entre el tamiz ½" y el tamiz # 8.

De hecho evaluada la granulometría con la norma venezolana "Concreto. Agregados, Fondonorma 277:2007" en la Figura 4, se aprecia que la distribución granulométrica se encuentra dentro de las bandas de tamaño N° 0.

V.2 Efectos de las propiedades

V.2.1 Comportamiento de mezcla ante compactación

Se pudo observar como el comportamiento del material no tiende a ser uniforme en toda la probeta cuando ésta es compactada con un vibrador, se nota que en la zona superior se encuentra aglomerado una gran parte del material aligerado, esto se puede deber a que al tener un peso específico bajo con este sistema tienda a suspender las partículas, como se puede apreciar en la figura 7.

Sin embargo en el caso cuando fue compactado con la barra, el comportamiento que se muestra parece ser uniforme a lo largo de toda la probeta.

V.2.2 Comportamiento de Capilaridad

El comportamiento de la mezcla utilizando agregado liviano ante la capilaridad se pudiera considerar una ventaja ante los concretos normales, ya que en el hecho de que la absorción sea menor podría ser de gran utilidad a la hora de ser utilizado en losas de fundación o cualquier elemento que tenga contacto con superficies húmedas.

La capacidad de absorción con respecto a concretos convencionales se encuentra disminuida en aproximadamente un 80%

V.3 Ley de Abrams

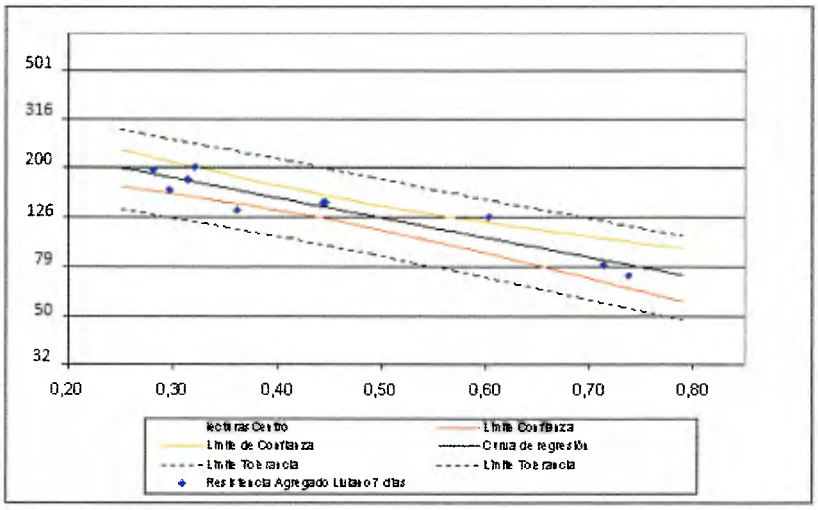


Figura 15 Gráfico de Correlación de Ley de Abrams para los 7 Días

Haber alcanzado un coeficiente de determinación de 88 %, puede deberse a distintos motivos que incluyen; los asociados a las propiedades intrínsecas del material que obligo a utilizar un mejor control de calidad en la realización de las probetas. Sin embargo, también pudiera estar motivado a comportamientos de madurez distintos entre los cilindros de concreto a esa edad.

De hecho, sólo una muestra la P6 sale de las trazas del 95% de confiabilidad evaluado mediante la "***t de student***".

Según lo expuesto, en el experimento se obtuvo una resistencia máxima de 200 kg/cm² para una relación agua cemento de 0,30; por otra parte, con relaciones agua/cemento cercanas a 0,70 las resistencias llegaron al orden de 80 kg/cm².

Con base a La Ley de Abrams, se determina que para cada 10 decimas de unidades de disminución de agua / cemento, se presenta un 10.5 % de aumento en la resistencia esperada.

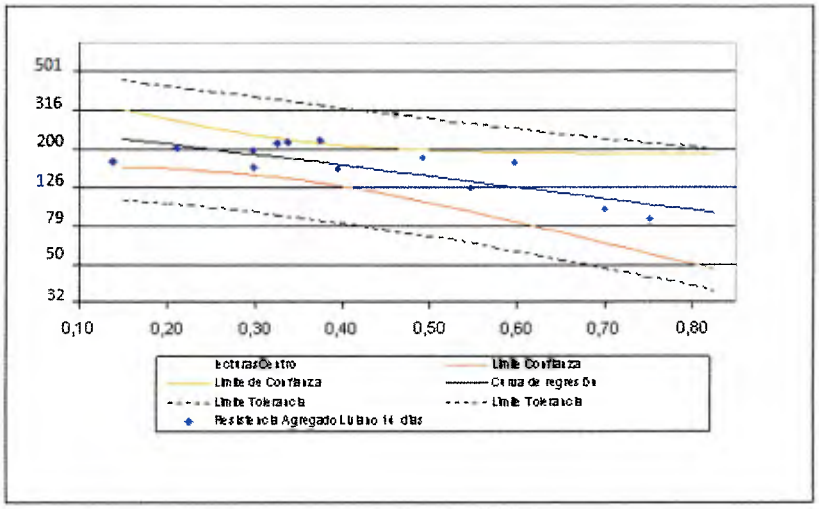


Figura 16 Gráfico de Correlación de Ley de Abrams para los 14 días

Mediante la realización de los experimentos se logra obtener resistencias máximas de 220 kgf/cm², para probetas cilíndricas ensayadas a los 14 días; con relación agua cemento alrededor de 0.70 se obtienen resistencias en el orden de los 100 kgf/cm².

En el gráfico presentado en la figura 10, se observa, como a medida que aumenta la relación agua cemento, cada 10 decimas de unidades disminuye la resistencia en un 5%.

Además, se alcanzó un coeficiente de determinación de 78 %, a pesar de ser consideradas las muestras P17 y P12 dentro de los limites de confiabilidad del 95 %, estos podrían ser valores discordantes en el grafico, ya que el P17 se encuentra en el borde de los limites y el P12 tiene una relación agua cemento lo suficientemente baja como para no ser tomada en cuenta.

El hecho de que el coeficiente de determinación sea de 78% podría ser debido a la calidad de ejecución de las probetas o, a las propiedades intrínsecas que el material presenta en su comportamiento.

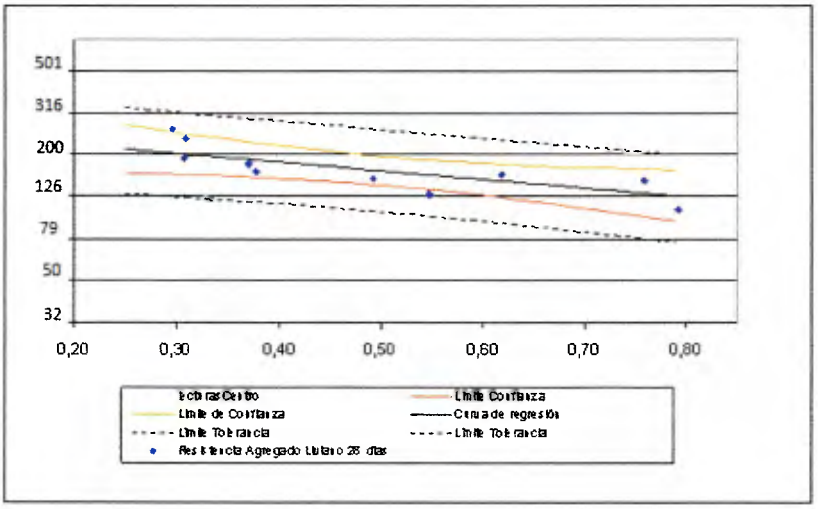


Figura 17 Gráfico de Correlación de Ley de Abrams para los 28 días

El gráfico de la Figura 11, muestra la pendiente que relaciona la Resistencia Vs Relación Agua Cemento e indica que a medida que la relación agua cemento disminuye en diez (10) decimas de unidades aumenta la resistencia en aproximadamente 2%.

Se alcanzó un coeficiente de determinación de 81 %, y esto puede ser debido a distintos motivos tales como, los asociados a la calidad de ejecución o, a dificultad que el material presenta en su comportamiento.

Según lo expuesto, en el experimento se obtuvo una resistencia máxima de 245 kg/cm² para una relación agua cemento de 0,28; por otra parte, con relaciones agua/cemento cercanas a 0,70 las resistencias llegan a ser menores de 150 kg/cm².

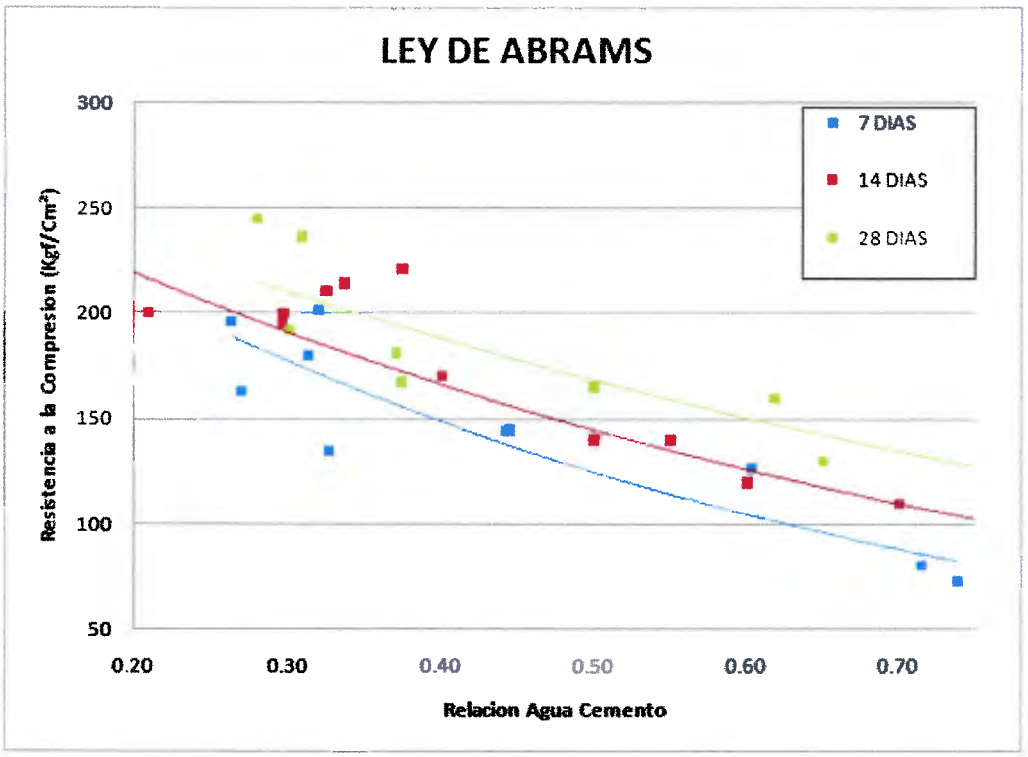


Figura 18 Conjunto de Curvas de la Ley de Abrams para los 7, 14 y 28

Comparando las distintas curvas dadas por los ensayos, para una misma relación agua /cemento, con una relación agua cemento de 0.50 a los 7 días, el concreto aligerado alcanza hasta un 80 % de la resistencia que este podría alcanzar a los 28 días y a los 14 días un 85%. De hecho podríamos decir, para una relación agua cemento de 0.30 el concreto aligerado puede alcanzar resistencias hasta de 250 kgf/cm² y a su vez mientras aumenta la relación agua cemento disminuye la resistencia.

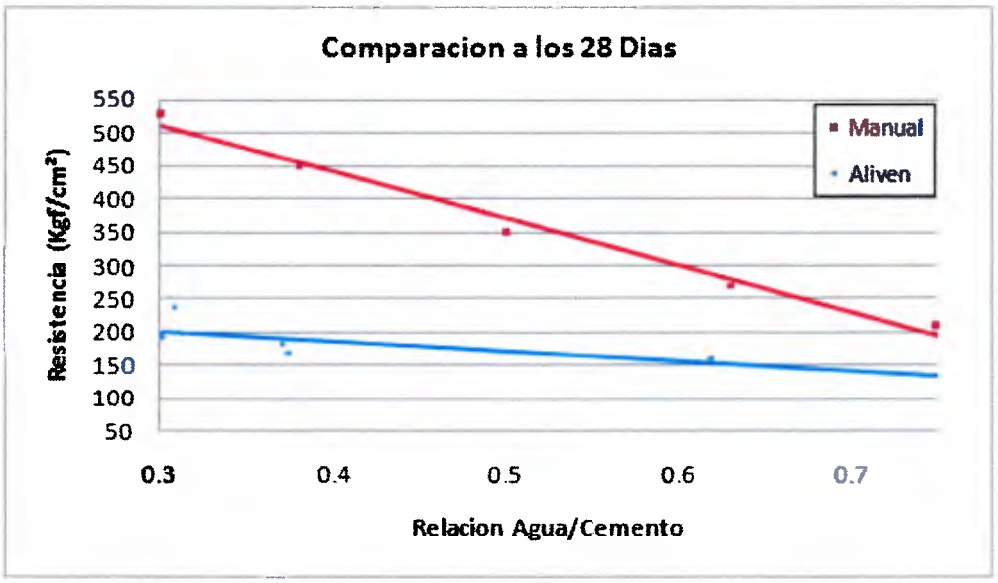


Figura 19 Gráfica de comparación de resistencias a los 28 días del Manual y el agregado Liviano

En la gráfica de la figura 19, que representa la variación de la resistencia con respecto a la relación agua cemento, en la cual se puede comparar el comportamiento de La Ley de Abrams, para concreto aligerado con la correspondiente al concreto convencional obtenido del manual del concreto estructural (Joaquin Porrero S., 2004), se observa que la curva del concreto convencional se ubica en promedio (alfa 0,45) a 200 kg/cm² por encima del concreto aligerado y presenta mayor pendiente, por lo que a medida que disminuye la relación Agua/Cemento, se incrementa en mayor grado la resistencia para el concreto convencional.

V.4 Relación Triangular

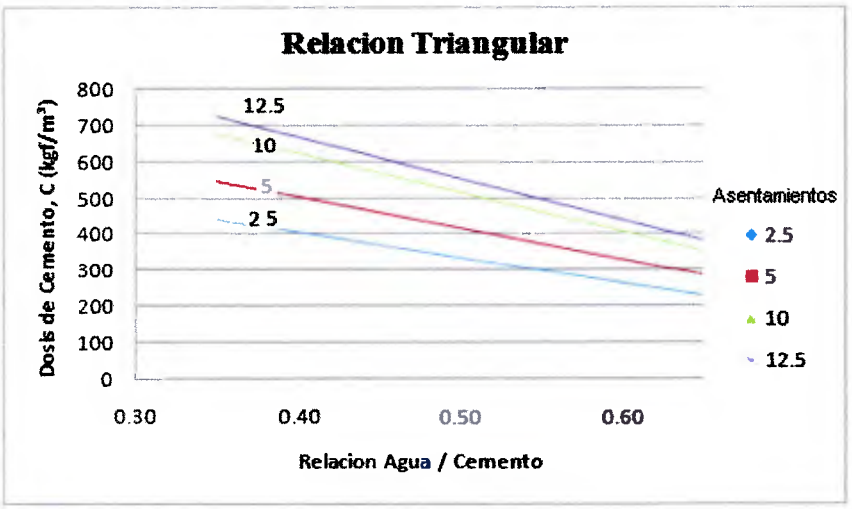


Figura 20 Grafico de relación triangular

Con un rango comprendido entre 5 cm y 12,5 cm de asentamiento, valores de resistencia a los 28 días de 200 kgf/cm² se obtiene:

Resistencia	T (cm)	Estudio	Alfa	C (Kg/m³)
200 kgf/cm²	5	Aligerado	0.35	580
		M.C.E	0.57	355
	12.5	Aligerado	0.35	720
		M.C.E	0.57	420

C= Dosis de Cemento (kgf/m³)

M.C.E= Manual de Concreto Estructural

Para poder obtener un asentamiento de 2.5 veces más con concretos utilizando el agregado liviano, requerirá de 1.34 veces más de dosis de cemento. Mientras que en la misma condición para un concreto convencional utilizando el M.C.E requiere 1.18.

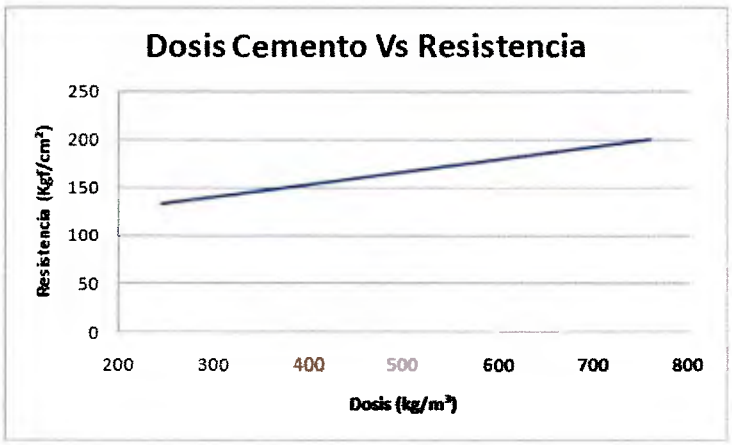
En General, se puede decir que para alcanzar mayores asentamientos se necesitará de más cemento, lo cual influye notablemente en los costos de la mezcla. Si se quisiera disminuir la cantidad de cemento y mantener la misma resistencia se debe disminuir el asentamiento de la mezcla, lo cual se traduce en una menor trabajabilidad dificultando las labores de colocación del concreto.

De hecho, el comportamiento intrínseco del material lo hace un agregado un poco delicado a la hora de trabajar, debido a los rigurosos controles de calidad que deben ser aplicados para realizar elementos estructurales.

V.5 Relación Dosis de Cemento Vs Resistencia

Al realizar una comparación entre la dosis de los diferentes diseños de mezcla con relación a la resistencia obtenida de las probetas ensayadas, se pudo observar que a medida que la dosis de cemento era incrementada de igual forma se incrementaba la resistencia.

En tal sentido, si se desea incrementar valores de resistencia 2.2 veces, se debe aumentar de igual modo la dosis de cemento en 2.8 veces.



VI CONCLUSIONES

- En los ensayos realizados al agregado liviano, se obtuvo una absorción alrededor del 12 %, mientras que el peso específico del material oscila entre 1.05 y 1.13 gr/cm³, con una media de 1.09 gr/cm³.
- Dadas las propiedades del agregado liviano, su utilización en obra exige de un mayor control de calidad, entre las cuales se pueden mencionar el exceso de vibrado y la realización de elementos con secciones de gran altura.
- La distribución del agregado en una masa de concreto pudiera llegar a variar significativamente dependiendo del método de compactación que se utilice, teniendo que ser tomada en cuenta esta característica para su utilización en campo.
- El concreto aligerado presenta hasta un 80 % menos de absorción de agua que concretos convencionales, llegando a ser esta una ventaja en cuanto a la utilización de elementos estructurales en contacto con humedad.
- La distribución granulométrica del agregado liviano utilizado se pudiera considerar como agregado grueso, ya que este se encuentra dentro de las bandas granulométricas N°0 de la norma Fondonorma "Concreto. Agregado 277:2007".
- A pesar que para la evaluación de las distintas leyes se utilizo un beta superior al beta optimo este no afecta significativamente las resistencias obtenidas.
- El concreto aligerado presenta a los 7 días, aproximadamente un 85 % de la resistencia esperada a 28 días y a los 14 días representa 90% de la misma.
- El concreto aligerado puede ser utilizado en elementos estructurales secundarios como por ejemplo losas o paredes, debido a que una de sus grandes ventajas es disminuir significativamente el peso propio de un elemento de concreto en un 25%, y además este puede alcanzar a los 28 días resistencias en el orden de los 250 kgf/cm².

- La expresión de la ley de Abrams para el agregado estudiado tiende a tener una pendiente menor con respecto a la del manual del concreto estructural y para una misma relación agua/ cemento el concreto presenta una menor resistencia.
- La forma y la capacidad de absorción del agregado tiene gran incidencia en la relación triangular, ya que esta tiende a variar bruscamente los asentamientos utilizando la misma dosis de cemento.

VII RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de durabilidad del concreto elaborado con agregados aligerados utilizándolo en sustitución del agregado fino o el grueso.
- Realizar estudios similares a la presente tesis aumentando el tamaño máximo del agregado, logrando disminuir la cantidad de cemento de la muestra.
- Realizar estudios elaborando probetas cilíndricas de diferentes alturas y de esta manera evaluar cómo se comporta el agregado liviano en el concreto utilizando diferentes tipos de compactación.
- Realizar estudios de Capilaridad de la masa de concreto aligerado y su comparación con respecto a concretos convencionales, con la cual se puede determinar con más exactitud la influencia del material.
- Realizar estudios con ensayos de vigas, de losas ó elementos de baja altura.

VIII BIBLIOGRAFIA

Castillo, R. B. (2001). *Reglas del juego para los informes y trabajos de grado.* Caracas: Texto,C.A.

Duarte, A. C. (1971). *ESTUDIO DE MEZCLAS PARA EL CONCRETO.* Caracas: TESIS UCAB.

Frederik, L. (1988). *The Chemistry of Cement and Concrete.* London: Edward Arnold.

Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* España: Bhandar Editores Ltda.

Instituto del Concreto. (2000). *Tecnologia y Propiedades del Concreto.* Colombia: Asocreto.

Joaquin Porrero S., C. R. (2004). *Manual del Concreto Estructural.* Caracas: SIDETUR.

Jose, H. G. (2004). *Valoracion de la resistencia a la compresión de un concreto liviano utilizando como arido organico poroso, el residuo agroindustrial cascarilla de arroz entera.* Caracas.

Santana, M. (2001). *Conferencia Sidetur.* Caracas: Sidetur.

Smith, W. (2004). *Ciencia e ingenieria de los Materiales.* Madrid, España: Mc Graw Hill.

W., R. C. (1983). *Inspeccion y Control de Obras.* Caracas: Vega s.r.l.

Anexos

Cuarteo del Agregado

Pesado del Agregado

Granulometría de los Agregados

Seco al horno

Sumergido

Saturado Con Superficie Seca

Absorción de Los Agregados

Peso Unitario

Materiales con cero Humedad

Peso Especifico Agregado fino

Peso Específico Agregado Fino

Colorimetría del Agregado Fino

Mezclado de los Materiales

Diseño de Mezcla

Asentamientos con el Cono De Abrams

Cilindros Vaciados

Cámara de Curado

Capiado de Cilindros para el Ensayo

Ensayo a compresión del Cilindro

Ensayado