

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE BAJA
DENSIDAD PARA USO ESTRUCTURAL ELABORADO CON AGREGADO
GRUESO PROVENIENTE DE ARCILLAS EXPANDIDAS.

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Daniel Soto

ASESOR:

MSc. Ing. Guillermo Bonilla

28 de octubre de 2017

DEDICATORIA

Este trabajo especial de grado está dedicado en primer lugar a Dios y la Virgen del Valle, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y fuerza para lograr tan importante logro.

Así mismo está dedicado a mis padres y hermano, por ser parte fundamental y haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores inculcados, motivación constante y su amor, además de darme la oportunidad de estudiar esta carrera en tan prestigiosa universidad.

También quisiera dedicarle este logro a mis abuelas que siempre me apoyaron y dieron alguna palabra de ánimo, y a mis abuelos que desde el cielo sé que están orgullosos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que directa o indirectamente formaron parte y me ayudaron en la realización de este trabajo de grado:

A la UCAB por abrirme las puertas y brindarme una educación de categoría.

A mis padres por darme la oportunidad de ser parte de esta casa de estudio, además de siempre brindarme su apoyo incondicional.

A Vanessa Henriques, por siempre estar presente, siempre brindar una palabra de apoyo o un buen gesto, inclusive en algunos momentos difíciles, además de toda la ayuda al momento de la elaboración del trabajo de grado.

A mi tutor por brindarme esta oportunidad de realizar tan interesante investigación, así como a Yelitza Sirit por el apoyo brindado en la realización de ensayos.

A Ana Acevedo y Arcillas Livianas Venezolanas (ALIVEN) por el apoyo en cuanto a materiales e información suministrada. Así mismo al Ing. José Suriani, por la oportunidad y el apoyo mostrado.

A todo el cuerpo de técnicos y personal obrero, que de manera directa e indirecta formaron parte de este trabajo. Con especial énfasis en el Sr. Luis Espinoza y el Sr. Villegas.

A todos los compañeros que de alguna forma se interesaron o apoyaron a lo largo de esta investigación.

*A Todos...
¡Mil Gracias!*

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA	4
1.1.- Planteamiento del problema	4
1.2.- Objetivo General de la investigación	5
1.3.- Objetivos Específicos	6
1.4.- Justificación	6
1.5.- Alcance y Limitaciones	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO	8
2.1.- Antecedentes	8
2.2.- Bases Legales	10
2.3.- Bases Teóricas	12
2.3.1.- Concreto.....	12
2.3.1.1.- Cemento Portland tipo 1 y tipo CPCA1	12
2.3.1.2.- Agregados	15
2.3.1.2.2.- Características y Propiedades	15
2.3.1.3.- Agua de mezclado	18
2.3.1.4.- Relación de Agregados (Beta)	18
2.3.2.- Concreto Fresco y endurecido.....	19

2.3.2.1.- Características del concreto fresco -----	20
2.3.2.2.- Propiedades Mecánicas del concreto endurecido -----	21
2.3.3.- Concreto estructural de baja densidad -----	23
2.3.3.1.- Clasificación de los concretos de baja densidad -----	24
2.3.3.2.- Clasificación de los agregados livianos -----	26
2.3.3.3.- Propiedades de los agregados de densidad baja -----	26
2.3.3.4.- Propiedades endurecidas de los concretos de baja densidad -	27
2.3.3.5.- Rotura frágil del concreto de baja densidad -----	29
2.3.4.- Arcilla expandida -----	29
2.3.4.1.- Propiedades de la arcilla expandida -----	31
2.3.5.- Comparación de propiedades de concretos normales y concretos con agregado livianos -----	31
2.3.6.- Diseño de mezcla -----	32
2.3.7.- Glosario de términos -----	33
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO -----	36
3.1.- Tipo de la investigación -----	36
3.2.- Diseño de la investigación -----	36
3.3.- Fases de la investigación -----	37
3.3.1.- Recopilación de información -----	37
3.3.2.- Recolección de los materiales -----	38
3.3.3.- Ensayos a los agregados -----	38

3.3.4.- Diseño de mezcla -----	40
3.3.5.- Preparación de la mezcla y posterior curado -----	41
3.3.6.- Ensayos y recolección de datos -----	42
3.3.7.- Análisis. Conclusiones y recomendaciones -----	43
3.4.- Esquema experimental -----	43
3.5.- Diseño Experimental -----	44
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS -----	45
4.1.- Caracterización de los agregados -----	45
4.1.1.- Agregado Fino -----	45
4.1.1.1.- Arena Tipo 1 -----	45
4.1.1.2.- Arena Tipo 2 -----	48
4.1.1.2.- Arena Tipo 3 -----	50
4.1.2.- Agregado Grueso -----	53
4.2.- Resultados de las tandas experimentales -----	56
4.2.1.- Primera Tanda Experimental (F'c nominal Experimental 210 kgf/cm ²) -----	56
4.2.2.- Segunda Tanda Experimental (F'c nominal Experimental 210 kgf/cm ²) -----	57
4.2.3.- Tercera Tanda Experimental (F'c nominal Experimental 250 kgf/cm ²) -----	58
4.2.4.- Cuarta Tanda Experimental (F'c nominal Experimental 315 kgf/cm ²) -----	59

4.2.5.- Quinta Tanda Experimental (F'c nominal Experimental 315 kgf/cm ²) -----	60
4.3.- Influencia de la variación del contenido de agregado grueso liviano en la resistencia del concreto de baja densidad -----	63
4.4.- Relación entre la densidad del concreto endurecido y las tensiones a compresión -----	68
4.5.- Parámetros requeridos para una dosificación optima de un concreto estructural de baja densidad -----	70
4.5.1.- Primera tanda Experimental, Mezcla $\beta=80\%$ -----	71
4.5.2.- Segunda tanda Experimental, Mezcla A -----	71
4.5.3.- Tercera tanda Experimental, Mezcla 1 -----	72
4.5.4.- Tercera tanda Experimental, Mezcla 2 -----	72
4.5.5.- Quinta tanda Experimental, Mezcla M3 -----	72
4.5.5.- Quinta tanda Experimental, Mezcla M4 -----	72
CAPITULO V: CONCLUSIONES -----	74
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES -----	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	77

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. Componentes mineralógicos del cemento portland -----	13
TABLA 2.2. Tipos de cemento Portland, Según COVENIN 28:1993 y ASTM C150 14	
TABLA 2.3. Composición Química del ALIVEN -----	30
TABLA 3.1. Esquema experimental -----	43
TABLA 3.2. Diseño Experimental -----	44
TABLA 4.1 Granulometría Arena Tipo 1 -----	45
TABLA 4.2. Módulo de finura Arena Tipo 1 -----	46
TABLA 4.3. Absorción y peso específico de Arena Tipo 1 -----	47
TABLA 4.4. Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 1 -----	47
TABLA 4.5. Granulometría Arena Tipo 2 -----	48
TABLA 4.6. Módulo de finura Arena Tipo 2 -----	49
TABLA 4.7. Contenido de humedad Arena Tipo 2 -----	49
TABLA 4.8. Absorción y peso específico de Arena Tipo 2 -----	49
TABLA 4.9. Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 2 -----	50
TABLA 4.10. Granulometría Arena Tipo 3 -----	50
TABLA 4.11. Módulo de finura Arena Tipo 3 -----	51
TABLA 4.12. Absorción y peso específico de Arena Tipo 3 -----	52
TABLA 4.13. Contenido de humedad Arena Tipo 3 -----	52
TABLA 4.14 Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 3 -----	52
TABLA 4.15 Granulometría Aliven -----	53
TABLA 4.16. Módulo de finura del Aliven -----	54
TABLA 4.17. Contenido de humedad del Aliven -----	54
TABLA 4.18 Peso unitario suelto y compacto del Aliven -----	54
TABLA 4.19. Resumen de caracterización del agregado fino -----	55
TABLA 4.20. Resumen de caracterización del agregado grueso -----	55
TABLA 4.21. Resultados obtenidos primera tanda experimental -----	56
TABLA 4.22. Medidas, Pesos y densidades primera tanda experimental -----	56
TABLA 4.23. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida primera tanda experimental -----	57
TABLA 4.24. Resultados obtenidos segunda tanda experimental -----	57
TABLA 4.25. Medidas, Pesos y densidades segunda tanda experimental -----	57
TABLA 4.26. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida segunda tanda experimental -----	57
TABLA 4.27. Resultados obtenidos tercera tanda experimental -----	58

TABLA 4.28. Medidas, Pesos y densidades tercera tanda experimental -----	58
TABLA 4.29. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida tercera tanda experimental -----	59
TABLA 4.30. Resultados obtenidos cuarta tanda experimental -----	59
TABLA 4.31. Medidas, Pesos y densidades cuarta tanda experimental -----	59
TABLA 4.32. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida cuarta tanda experimental -----	60
TABLA 4.33. Resultados obtenidos quinta tanda experimental -----	60
TABLA 4.34. Medidas, Pesos y densidades quinta tanda experimental -----	60
TABLA 4.35. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida quinta tanda experimental -----	61
TABLA 4.36. Muestras que cumplen con la resistencia -----	71
TABLA 4.37. Primera dosificación -----	71
TABLA 4.38. Segunda dosificación -----	71
TABLA 4.39. Tercera dosificación -----	72
TABLA 4.40. Cuarta dosificación -----	72
TABLA 4.41. Quinta dosificación -----	72
TABLA 4.42. Sexta dosificación -----	72

INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA N°1. El Panteón Romano (Italia)</i>	1
<i>FIGURA N°2. Museo Parque Nacional Suizo</i>	2
<i>FIGURA 1.1. Obras emblemáticas realizadas con arcillas expandidas (ALIVEN)</i> ----	4
<i>FIGURA 2.1. Principales Estados por los que pasa el concreto en el Desarrollo de su Resistencia</i>	19
<i>FIGURA 2.2. Medición del asentamiento</i>	21
<i>FIGURA 2.3. Clasificación de los concretos livianos por densidad y resistencia</i> -25	
<i>FIGURA 2.4. Resistencia de los agregados, mortero y concreto para concreto normal y liviano</i>	29
<i>FIGURA 2.5. Arcilla Expandida</i>	30
<i>FIGURA 2.6. Comparación de propiedades de concretos normales y concretos con agregados livianos</i>	32
<i>FIGURA 3.1. Tamizadora del laboratorio de materiales UCAB</i>	38
<i>FIGURA 3.2. Realización del Ensayo de Granulometría</i>	38
<i>FIGURA 3.3. Secado superficial para ensayo de peso específico y porcentaje de absorción</i>	39
<i>FIGURA 3.4. Saturación de agregado fino, para ensayo de peso específico y porcentaje de absorción</i>	39
<i>FIGURA 3.5. Máquina mezcladora</i>	41
<i>FIGURA 3.6. Componentes de mezcla (Tercera tanda experimental)</i>	42
<i>FIGURA 3.7. Ensayo de probeta cilíndrica a compresión</i>	42

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 4.1. Curva granulométrica arena tipo 1 -----	46
GRAFICA 4.2. Curva granulométrica arena tipo 2 -----	48
GRAFICA 4.3. Curva granulométrica arena tipo 3 -----	51
GRAFICA 4.4. Curva granulométrica Aliven -----	53
GRAFICA 4.5. Relación Beta vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental -----	63
GRAFICA 4.6. Relación alfa vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental -----	64
GRAFICA 4.7. Relación Beta vs Relación Alfa primera tanda experimental -----	65
GRAFICA 4.8. Relación Beta vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental -----	66
GRAFICA 4.9. Relación alfa vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental -----	66
GRAFICA 4.10. Relación Beta vs Relación Alfa tercera tanda experimental -----	67
GRAFICA 4.11. Densidad vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental -----	68
GRAFICA 4.12. Relación Beta vs Densidad primera tanda experimental -----	69
GRAFICA 4.13. Densidad vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental -----	69
GRAFICA 4.14. Relación Beta vs Densidad tercera tanda experimental -----	70

INTRODUCCION

El concreto es uno de los elementos constructivos de mayor uso en obras civiles, además de ser un material considerablemente pesado. Es una mezcla de agua, cemento, agregados y aditivos; en consecuencia es un material no homogéneo, por lo que predecir su comportamiento mecánico con exactitud puede llegar a presentar cierto nivel de incertidumbre, con más razón cuando son aplicados conceptos para el diseño de mezcla del concreto estructural convencional, para determinar la cantidad de componentes requeridos en el concreto de baja densidad, en los que el agregado grueso cotidiano es sustituido por agregados de un peso por unidad de volumen menor a la grava, como puede ser la arcilla expandida. Los concretos ligeros son utilizados desde la época de los romanos, y entre las obras más representativas está: el panteón romano y su cúpula realizada con un concreto ligero con piedra pómez, la catedral de santa Sofía en Turquía.



FIGURA N°1. El Panteón Romano. Fuente: Scarre, C. recuperado de:
<http://legadohistoria.blogspot.com/2015/03/el-panteon-romano.html>

Actualmente a nivel mundial existen varias obras relevantes, entre las cuales destacan: Museo Parque Nacional Suizo, en el cual se usó en los elementos para aprovechar la característica de aislante de sonido del

Concreto de baja densidad a base de arcilla expandida; Otra obra es el Laufen Forum, un edificio de exposiciones en Suiza, en la cual se usaron muros de concreto liviano para aprovechar su cualidad de aislante térmico.



FIGURA N°2. Museo Parque Nacional Suizo. Fuente: Vicente Mas Llorens, “Hormigón Ligeró” (p.28)

Ahora bien, la densidad de un concreto con agregado grueso de grava o canto rodado, normalmente está cerca de los 2400 kg/m^3 , mientras que para un concreto de baja densidad, la relación masa a volumen debe ubicarse en el intervalo de $(1400 - 2000) \text{ kg/m}^3$, referencia que puede ser alcanzada de forma relativamente sencilla cuando el componente liviano de la mezcla está conformado por el agregado fino; sin embargo, cuando la fracción liviana corresponde al grueso, alcanzar la densidad que define el concreto de baja densidad, requiere la aplicación racional de un método de diseño de mezcla, que permita disminuir la dosis de fino combinando convenientemente el contenido de cemento, junto al agua y aditivos necesarios, para obtener un concreto de baja densidad y a su vez de carácter estructural y sin afectar de manera notable la resistencia y propiedades. Por otra parte, establecer las propiedades mecánicas de este material y su relación con la densidad de la mezcla, pasa a ser otro aspecto

necesario a ser estudiado. Para así lograr desarrollar elementos de menor peso volumétrico, aunque esto implique aumentar las secciones

Para el presente Trabajo de Grado, se determinó la influencia de la variación del agregado fino y grueso proveniente de la arcilla expandida en la densidad y la capacidad mecánica del concreto estructural de baja densidad; así como también las propiedades en estado fresco.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del Problema:

A pesar que el uso de agregados proveniente de arcilla expandida ha sido utilizado desde la década de los '50 del siglo pasado para obtener concreto de densidad baja, en Venezuela las primeras estructuras en este material fueron construidas hacia 1970; con este material fueron diseñados y construidos elementos de varios edificios representativos, tales como Urbanización Juan Pablo II, teatro Teresa Carreño, la Mezquita de Caracas y el más importante: en elementos de las Torres de Parque Central, sin embargo; no hubo continuidad en el uso de este material a nivel estructural, debido a que la baja producción hacía inconsistente su oferta; Aunque se continuo utilizando en obras de menor envergadura y elementos como techos sobre sofitos metálicos. No obstante, a nivel foráneo la ejecución de edificaciones de concreto de carácter estructural con densidad baja se ha mantenido en constante crecimiento, siendo utilizado tanto en miembros como en elementos.

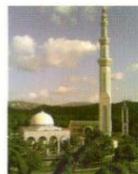
Estas son algunas de las obras emblemáticas que han usado aliven, a lo largo de estos años:



Comp. Hab. Juan Pablo II



Torres de Parque Central



Mezquita de Ccs



Complejo Cultural Teresa Carreño

Figura 1.1. Obras emblemáticas realizadas con arcillas expandidas (ALIVEN). Recuperado de: www.aliven.com.ve.

Por lo anterior resulta razonable pensar que en nuestro país este tipo de concreto volverá a recuperar de nuevo espacio dentro del ámbito de la construcción de edificios y estructuras en general; más teniendo en cuenta que este concreto disminuye la carga muerta de elementos, por lo que tiene relevancia a la hora de los cálculos estructurales; Además de las otras ventajas que posee, como aumentar el aislamiento acústico, mejorar el comportamiento ante el fuego y aislar térmicamente elementos.

Con las nuevas tecnologías y avances se evidenció la necesidad de concretos livianos que permitieran obtener sus ventajas, pero garantizando su correcto funcionamiento estructural y así plantear una alternativa innovadora y conveniente al concreto convencional.

Con el objeto de profundizar en la influencia de distintas variables sobre características y propiedades del concreto estructural de baja densidad se plantea un estudio preliminar con base a ensayos experimentales de muestra reducida para establecer las propiedades del concreto estructural de densidad baja con arcilla expandida, la cual en nuestro país es proporcionada por Arcillas Livianas Venezolanas

Por consiguiente, este es un Trabajo de grado que inicia una serie de estudios con el objeto de definir las propiedades y características generales de concretos estructurales de baja densidad, dosificados con arcilla expandida a manera de grueso.

1.2.- Objetivo General de la investigación

Establecer las propiedades mecánicas del concreto estructural de densidad baja, cuando el componente grueso de la mezcla está conformado por arcilla expandida.

1.3.- Objetivos Específicos:

- Caracterización de las propiedades físicas de los agregados finos y el agregado de densidad baja proveniente de arcilla expandida.
- Establecer la influencia de la variación del contenido de agregado de densidad baja, en sustitución del grueso, en la resistencia del concreto de densidad baja
- Determinar la relación entre la densidad del concreto endurecido y las tensiones a compresión
- Determinar los parámetros que definen la dosificación óptima para un concreto estructural de baja densidad, con contenido de fino no aligerado.

1.4.- Justificación

El concreto de baja densidad es un material poco estudiado en nuestro país y que está retomando importancia en el ámbito constructivo, luego de varios años en desuso. Es por eso, por el desarrollo y las nuevas tecnologías en la industria de la construcción que surge la necesidad de realizar esta investigación y ampliar los conocimientos de las propiedades en estado fresco y endurecido, así como los efectos que causa la baja densidad en la resistencia, para así apoyar el crecimiento de las construcciones en nuestro país con este material y aprovechar su gran cantidad de ventajas. Durante la investigación surgió la oportunidad de trabajar en conjunto con el fabricante del producto , Fábricas de Pre-mezclado y una obra en la cual se deseaba realizar una losa curva con este material; por lo que los resultados de esta investigación fueron parte del proyecto de la losa en concreto de baja densidad.

1.5.- Alcance y limitaciones:

La investigación está limitada a concreto estructural de densidad baja, desarrollado con base a agregado fino natural (arena de río) de tres (3) lugares distintos y agregado grueso constituido por material aligerado proveniente de arcilla expandida, dosificado con cemento tipo CPCA I y TIPO 1. Los ensayos se realizarán en probetas cilíndricas de tamaño estándar (15x30)

El estudio y ensayos serán realizados en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, sede Caracas. Dentro de las limitaciones se incluyen los problemas presentados en el mes de agosto del 2017 para permitir el ingreso a la Universidad.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1.- Antecedentes:

Simón J. Porras M. en el 2009, en su proyecto especial de grado para obtener el título de Ingeniero civil: “DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO (LEY DE ABRAMS Y RELACIÓN TRIANGULAR) DE CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADO LIVIANO”. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela; Realizo una evaluación experimental de las leyes del comportamiento mecánico de concretos elaborados con agregados livianos, haciendo especial énfasis en los coeficientes de la ley de Abrams y de la relación triangular, además de la caracterización de las propiedades físicas del Agregado liviano. Se obtuvo que el valor de la relación de agregados (Beta) optimo fue para un 40%, aunque se usó un beta de 70% esto no influyo significativamente en la resistencia. Además se obtuvo la caracterización del agregado fino con todas sus propiedades. Se realizó un estudio comparativo del conjunto de curvas de la Ley de Abrams para 7, 14 y 28 días, del cual se concluyó que el concreto de baja densidad presenta a los 7 días, aproximadamente un 85% de la resistencia esperada a 28 días y a los 14 un 90% de la misma. Se recomendó realizar la compactación de la mezcla con la barra compactadora y no mediante el vibrado para que el agregado quede de forma uniforme en la mezcla.

Angulo, Catherine y Malavé, Abrahan (2015), en su trabajo de grado, presentado ante la Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela, para optar al título de ingeniero civil y titulada: “EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECANICAS: RESISTENCIA, MODULO DE ELASTICIDAD Y ESFUERZOS DE ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE REFUERZO Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL”.

realizaron una investigación experimental y documental cuyo objetivo principal era conocer si el concreto de baja densidad era aceptable estructuralmente. En su investigación como primer paso obtuvieron la caracterización del agregado fino (arena Lavada) y el agregado grueso (Arcilla expandida) y luego del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. Realizaron ensayos de compresión uniaxial para tres (3) mezclas con distintos $f'c$ (210, 250 y 300) Kgf/cm², para obtener valores de resistencias a distintas edades del concreto (7, 14 y 28 días) y además desarrollaron una ecuación para el módulo de elasticidad y calcularon los esfuerzos de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto estructural de baja densidad. De los distintos estudios comparativos concluyeron que el concreto de baja densidad es aceptable en cuanto a la resistencia, sin embargo al momento de ser aplicado deben corroborarse otros parámetros como módulo de elasticidad, densidad y concluyeron además que el ALIVEN como agregado liviano estructural es aplicable a las construcciones civiles. También concluyeron que para resistencias altas (300 kg/cm²) aunque sus mezclas cumplieran con este parámetro, se excedían en cuanto a la densidad máxima para catalogarlos como concretos de baja densidad. En cuanto a la adherencia se concluyó que a mayor $f'c$ mayor va a ser el esfuerzo adherente y en cuanto al módulo de elasticidad está por debajo del concreto convencional. Se recomendó seguir realizando estudios a dicho material para evaluar diseños de mezclas más favorables, realizar estudios con valores reales del módulo de elasticidad incrementando la inercia de la sección para aumentar el control de las flechas.

Yagua, Diana y Villacís, Daniel (2015), para la obtención del título de Ingeniero Civil, ante la Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, presentaron un trabajo de grado titulado: "HORMIGON LIVIANO DE ALTO DESENPEÑO CON ARCILLA EXPANDIDA". Los objetivos de esta investigación experimental y descriptiva eran identificar las

propiedades mecánicas de los materiales que constituyen el concreto, establecer una dosificación apropiada para el concreto de baja densidad con arcilla expandida, además de realizar una comparación en costos con el concreto convencional. Se utilizaron probetas cilíndricas de 100mmx200mm y las dosificaciones usando proporciones entre 40% y 60% de agregado fino para una resistencia de diseño de 210 kg/cm². Se concluyó que para obtener resistencias de diseño mayores a 20 MPa, las dosificaciones adecuadas deben tener contenidos de cementos superiores a 400 Kg/m³ y obtuvieron un β óptimo de 60%, En cuanto a costos concluyeron que aunque la fabricación del concreto de baja densidad es más costoso, este aumento del costo global del proyecto puede verse compensado con la disminución de los costos en materia de transporte. Estructuralmente concluyeron que el uso de concreto liviano en una edificación de hasta cuatro pisos reduce hasta un 20% los desplazamientos laterales. Se recomienda en esta investigación no usar mezcla muy fluidas del concreto de baja densidad, utilizar arena triturada y no arena de río para obtener mayores resistencias.

2.2.- Bases Legales

Dentro de este contexto y, al no disponer de una normativa Venezolana exclusiva para agregados livianos, la Norma COVENIN 1753:2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural” en su Anexo H-3 “Requisitos constructivos” expresa respecto al uso de concretos con agregados livianos:

H-5.2.1 “El empleo de concretos con agregados livianos se limita a resistencias no mayores que 300 kgf/cm², esencialmente por la poca experiencia que hay en el país. Pueden aceptarse resistencias mayores, siempre que se presenten evidencias convincentes sobre su desempeño adecuado” (p.189).

H-5.2.3 “Para el caso de los concretos con agregados livianos, se establecen dos métodos alternativos para definir la resistencia. Uno de ellos se basa en ensayos de laboratorio para determinar la relación entre la resistencia indirecta f_{ct} (obtenida por compresión diametral de cilindros) y la resistencia a la compresión f'_c que se especifica para el concreto de agregado liviano. Se trata de obtener con anticipación al diseño, los valores apropiados de f_{ct} para un agregado liviano de un origen dado” (p.189).

A continuación se presenta la normativa nacional competente que servirán de apoyo para la presente investigación:

- COVENIN 1753:2006-1 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”, la cual será referida como 1753:06 para los fines de esta investigación.
- COVENIN 1975:1983 “Métodos de Ensayos Para Determinar El Peso Unitario De Concreto Estructural Liviano”.
- COVENIN 338-2002 (2^{DA} Revisión) “Concreto. Método Para La Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”
- COVENIN 277-2000 (3^{RA} Revisión) “Concreto. Agregados. Requisitos”.

2.3.- Bases Teóricas

2.3.1.- Concreto:

El concreto, según El Manual de Concreto Estructural, “es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento“, mientras que los trozos pétreos son agregados finos y gruesos de material granular inerte, los cuales representan aproximadamente el 80% del peso total del concreto y 65% del volumen total, por lo que las características del concreto se debe en gran parte a los agregados, cuya función principal es constituir el esqueleto adecuado para la pasta de cemento y proporcionar mayor fuerza. Además, normalmente se añade a la mezcla aditivos en cantidades controladas para mejorar ciertas propiedades del concreto. Por lo general, las propiedades del concreto dependen de las características y la dosificación de sus componentes y presenta una alta resistencia a la compresión. El concreto estructural es utilizado principalmente para infraestructuras con grandes sollicitaciones y posee mayores resistencias que el concreto convencional, además de requerir poco mantenimiento lo que hace que su uso sea conveniente.

2.3.1.1.- Cemento Portland tipo 1 y tipo CPCA1

El cemento es el componente activo del concreto, compuesto de una sustancia en polvo fino que al ser mezclada con agua inicia una reacción química (Fraguado) formando una pasta que mantiene por un tiempo una plasticidad constante; la pérdida de plasticidad de esta masa es lo que se conoce como atiesamiento y es un proceso gradual hasta su endurecimiento

total. El más usado como material de construcción y fines estructurales es el cemento tipo Portland el cual es un compuesto de una mezcla mayoritariamente de calcio, aunque posee arcilla y minerales de hierro, posee altas resistencias y que al fraguar forma un material de buenas propiedades aglutinantes y adherentes que solidifica en pocas horas y obtiene su resistencia característica progresivamente en varias semanas. Existen 5 tipos de cementos portland, el ordinario (TIPO I), el cual es el indicado para uso de construcciones cuando no se requieran las propiedades de los otros tipos, entre los cuales están: moderado calor de hidratación y resistencias al sulfato (TIPO II), endurecimiento rápido (TIPO III), bajo calor de hidratación (TIPO IV) y resistente al sulfato (TIPO V), además existen los llamados cementos compuestos o adicionados, uno de ellos el Tipo CPCA1, donde al cemento basado en Clinker de portland se le añade hasta un 15% de un material calcáreo.

Dichas adiciones confieren al cemento algunas características, entre las que destacan: reducir la cantidad de calor durante la hidratación, mejorar la capacidad resistente a la agresión química, Producen un desarrollo más lento de las resistencias mecánicas. (Fuente: Porrero y otros 2012)

Componente	Formula Química	Formula Abreviada
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}-\text{SiO}_2$	C3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}-\text{SiO}_2$	C2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3$	C4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4-2\text{H}_2\text{O}$	Y
Alcalis	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	N+K
Magnesia	MgO	M
Cal Libre	$\text{CaO}+\text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo Insoluble	$\text{SiO}_2+\text{R}_2\text{O}_3$	R.I.

TABLA 2.1. Componentes mineralógicos del cemento portland. Fuente:

“Manual del Concreto Estructural” (Porrero y otros 2012) (pág. 92)

Tipo	Límite de la composición usual promedio %			
	C3S	C2S	C3A	C4FA
I	40-55	25-30	8-15	5-10
II	40-50	25-35	8	10-15
III	50-63	15-20	3-15	8-12
IV	25-35	40-50	<7	10-15
V	32-42	38-48	<5	10

TABLA 2.2. Tipos de cemento Portland, Según COVENIN 28:1993 y ASTM C150. Fuente: “Manual del Concreto Estructural” (Porrero y otros 2012) (pág. 96)

2.3.1.2.- Agregados

También denominados áridos o inerte, son fragmentos o granos usualmente pétreos, cuya finalidad específica es abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica. Constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que representan entre el 75% y 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla (Fuente: Porrero y otros. “Manual del Concreto Estructural”, 2012)

Normalmente se dividen en dos fracciones granulares, las arenas o agregados finos y los agregados gruesos, los finos poseen un tamaño entre 0.075 mm y 4.76 mm y su función es darle trabajabilidad a la mezcla, ya que actúa como llenante y lubricante de los agregados gruesos; mientras que de los 4.76 mm en adelante se considera agregado grueso, esta distribución de tamaños se conoce como granulometría, es importante tener en cuenta que para una buena segregación de los agregados la granulometría de los gruesos debe tener una buena sucesión de tamaños.

Los agregados se pueden clasificar no solo según su tamaño, en finos y gruesos, también se pueden clasificar según su procedencia, es decir si son naturales (explotación de depósitos, arrastres fluviales, canteras de rocas, entre otros.) o artificiales (escorias de alto horno, arcillas expandida, entre otros.), teniendo en cuenta que no se pueden usar los agregados directamente de donde se obtiene sin un proceso de tratado. Así mismo se pueden clasificar según su densidad, es decir la relación entre masa y el volumen que ocupa, en livianos (densidades entre 480 y 1300 kg/m³), normales (masa unitaria entre 1300 y 2000 kg/m³) y pesados (densidades de 2000 Kg/m³ en adelante). Otra caracterización aceptada para los agregados es según su forma y textura superficial, ambas influyen de manera importante en la calidad del concreto.

Es importante conocer que el agregado puede estar cargado de impurezas perjudiciales, mayormente en las arenas, como lo pueden ser materia orgánica o sales naturales, los valores aceptables para estas impurezas se expresan en la norma COVENIN 277, “concreto. Agregados. Requisitos”.

2.3.1.2.1.- Características y Propiedades

Entre las propiedades de los agregados, según el manual del concreto estructural, tenemos:

- **Granulometría:** es la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran, es una característica muy importante para definir la calidad del material. Según lo estipulado en la Norma COVENIN 254, “cedazos de ensayos”, el tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante cedazo de diferentes aberturas, se suele expresar en

retenidos parciales, retenidos acumulados o pasante total en cada cedazo como porcentaje en peso, la cual es la forma más común de expresarlo. El análisis granulométrico permite el estudio de varios factores importantes en el comportamiento de la mezcla tanto en estado fresco como endurecido.

- **Tamaño máximo:** es el tamaño de las partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar el 95% o más del material, es importante desde el punto de vista económico y para la calidad de la mezcla.
- **Segregación:** la segregación del agregado genera concretos de calidad dudosa debido a su heterogeneidad y ocurre cuando el agregado posee granos de tamaños muy diferentes por lo que se genera separación entre ellos.
- **Módulo de finura:** es un parámetro es un valor representativo de las arenas que se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en los cedazos del #4 al #100 y dividiendo la suma entre cien (100), por lo tanto es un valor que deriva del análisis granulométrico. Es un valor que oscila entre 2.2 para arenas finas y 3.5 para arenas gruesas. Cantidades importantes de ultrafinos en las mezclas pueden producir, desde grandes trastornos hasta grandes beneficios. Son numerosas las variables involucradas en el problema de los ultrafinos, por lo que no resulta fácil dar reglas sencillas que permitan obtener beneficios de su presencia. (Fuente: “Manual del concreto Estructural”. Porrero y otros 2012)
- **Resistencia de los agregados:** La resistencia de los agregados usados en la mezcla, es un factor decisivo en la resistencia del concreto fabricado con dichos materiales, también debido a su alta proporción en la mezcla. Los concretos hechos con agregados de baja resistencia tienen poca resistencia al desgaste, siendo esta más crítica en

agregados gruesos. (Fuente: “Manual del concreto Estructural”. Porrero y otros 2012)

- Peso por unidad de volumen: El peso unitario se define como la relación entre el peso de una muestra conformado por varias partículas y el volumen que ocupa. Existen dos tipos de pesos unitarios el suelto y el compacto, el primero “se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable, con el agregado dejándolo caer libremente desde cierta altura. Después se pesa y se establece la relación peso volumen”, el compacto es aquel donde las partículas han sido sometidas a algún grado de acomodamiento y se realiza de igual manera pero compactando el material dentro del molde, según lo estipulado en la norma COVENIN 263, “Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado”; por lo tanto es lógico pensar que este valor será mayor al peso unitario suelto. Es un dato importante porque permite convertir pesos en volúmenes y viceversa, de los agregados.
- Peso específico: es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado (un grano) entre su volumen, sin incluir huecos entre granos.
- Humedad: Es considerado el porcentaje de la diferencia de peso entre el material húmedo y el mismo secado al horno. Los agregados están formados por partículas que poseen estructura interna constituida por material sólido y poros y microporos, es en ellos donde se almacena el agua en forma de humedad; aunque también es común que la humedad se presente de manera externa adherida a la superficie de la partícula. Es importante destacar que la humedad que poseen los poros internamente no pasa al concreto como agua de mezclado, mientras que la externa, adherida a la superficie si pasa a formar parte de la mezcla; es por eso que se considera como ideal el estado saturado con superficie seca (SSS), donde internamente está

completamente lleno de agua pero la superficie se encuentra libre de humedad.

2.3.1.3.- Agua de mezclado

El agua un componente fundamental del concreto, no solo en esta etapa, sino también en el curado; a través del agua el cemento experimenta reacciones químicas que le dan propiedades de fraguar y endurecer, por lo tanto es el componente esencial para que el cemento desarrolle su capacidad ligante y lograr la pasta para lubricar y sostener a los agregados. Comúnmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde a las necesidades de trabajabilidad y resistencia; teniendo en cuenta que una parte del agua es para hidratar el cemento mientras que el resto es para proporcionar fluidez a la pasta. Es importante tener en cuenta que el exceso de agua en una mezcla puede ocasionar porosidad, por lo que si es necesario una mezcla bastante fluida se deben usar aditivos plastificantes. El agua que se añade al cemento, debe ser apta para el consumo humano, algún tipo de agua que no cumpla con requisitos expuestos en la “Norma Venezolana 2385” de acidez, alcalinidad, Ph, sedimentos, sólidos disueltos, sulfato de sodio, entre otros, pueden afectar la resistencia final o esperada del concreto, trabajabilidad, tiempo de fraguado, durabilidad, entre otros. Por lo general ocupa entre el 15% y 20% del volumen del concreto.

2.3.1.4.- Relación de agregados (Beta)

La relación de agregado fino y agregado grueso, normalmente conocida como beta (β), es una relación de combinación en peso o volumen entre el agregado fino y el agregado total, se expresa en porcentajes. El

cálculo de la relación β se obtiene de dividir el agregado fino entre los agregados totales (suma de agregados finos y gruesos).

$$\beta = \frac{AF}{AF + AG} \times 100$$

2.3.2.- Concreto Fresco y endurecido

Se denomina fresco al concreto mientras permanece en estado fluido, es decir en el periodo plástico, obtener las características del material en este estados es de suma importancia, debido a que nos puede ayudar a inferir las propiedades que puede poseer el material al endurecer y así realizar las correcciones pertinentes en esta etapa. El concreto endurecido es aquel que tras pasar el proceso de fraguado e hidratación gana resistencia y pasa del estado plástico al estado rígido.

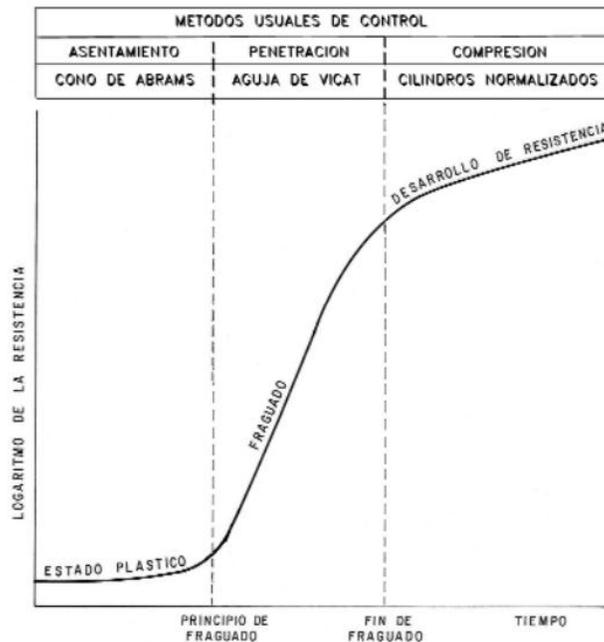


FIGURA 2.1. Principales Estados por los que pasa el concreto en el Desarrollo de su Resistencia. Fuente: “Manual del Concreto Estructural” (Porrero y otros 2012) (pág. 44)

2.3.2.1.- Características del concreto fresco:

Como se mencionó anteriormente, las características del estado fresco del concreto son de suma importancia a la hora de predecir el comportamiento del mismo en estado rígido; En estado plástico, las características más importantes que pueden definir el comportamiento mecánico del concreto son: (Según el manual de concreto estructural):

- **Reología:** es el conjunto de características que posibilitan su manejo y posterior compactación, dichas características depende de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla, estas son: fluidez, compactibilidad y estabilidad a la segregación. La fluidez indica el grado de movilidad de la mezcla, la compactibilidad es la propiedad que se conoce como tixotropía, es decir atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento, esto permite la adaptación al molde.
- **Trabajabilidad,** es el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, así como la facilidad de usar la mezcla, para su posterior compactación. Un ensayo representativo de estas cualidades del concreto es el método del Cono de Abrams, según la norma COVENIN 339 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”, debido a que da un valor representativo del asentamiento y aspectos de la reología del concreto, teniendo en cuenta el índice del contenido de agua y la relación agua/cemento. La trabajabilidad generalmente es asociada, además de al asentamiento, a movilidad, fluidez, compactibilidad y de manera negativa a la segregación y el sangrado; debido a que solo con el asentamiento no se puede determinar la trabajabilidad. Algunos de los factores que influyen en esta propiedad son la relación agua/cemento, contenido de aire presente en el concreto, gradación de los agregados, entre otros.

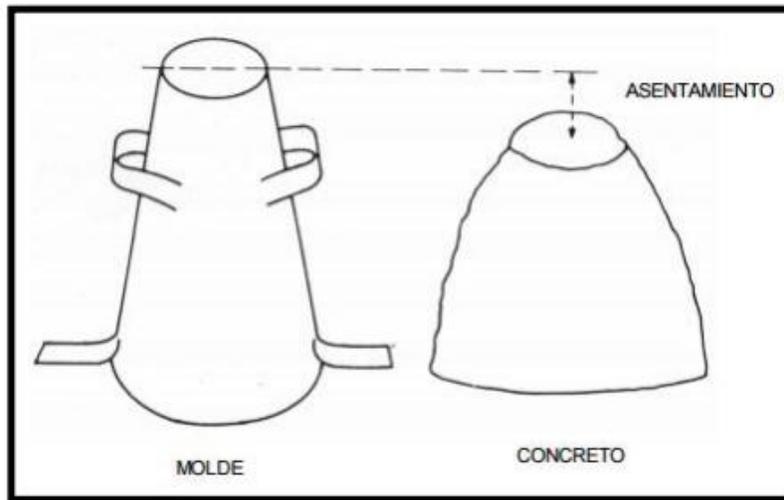


FIGURA 2.2. Medición del asentamiento. Fuente: Norma COVENIN

339

- La retracción es un fenómeno de disminución del volumen que sufre el material con el tiempo, debido a la pérdida parcial de agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas, se puede presentar en dos etapas de la vida del concreto, en los momentos iniciales del fraguado (retracción plástica) y en menor escala cuando el concreto está endurecido al cabo de semanas o meses (retracción hidráulica)

2.3.2.2.- Propiedades Mecánicas del concreto endurecido

Generalmente no dependen solo de la composición química del concreto, si no de la estructura física de los productos de hidratación; entre las más relevantes a la hora de conocer la calidad de un concreto tenemos:

- Resistencia mecánica: es la capacidad que posee el material de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento a compresión, aunque existen correlaciones empíricas para otros

estados de sollicitación ya que en raras ocasiones se esfuerza al concreto en una sola dirección; dicho ensayo se realiza en estado rígido, ya que no puede probarse en estado plástico. El desarrollo de la resistencia empieza desde el momento en el cual los granos del cemento inician su proceso de hidratación, dando comienzo a las reacciones de endurecimiento y continúan luego con una evidente ganancia de resistencia, al principio de forma rápida y a medida que pasa el tiempo disminuyendo su velocidad; Según lo estipulado en la norma se debe evaluar la resistencia a la compresión a los 28 días después del vaciado y realizado el curado correspondiente, día en el cual debe alcanzar $F'c$ de diseño, aunque también se puede analizar a los 7, 14 y 21, y existen relaciones para aproximar el valor a los 28 días. La velocidad de desarrollo de la resistencia depende de varios factores, entre los cuales destacan: la relación agua cemento, composición química del cemento y su finura, calidad intrínseca de los agregados, condiciones ambientales, efectividad del curado, entre otras. Para evaluar la resistencia al concreto se emplean cilindros de concreto cuya relación de altura a diámetro es igual a dos. La ley fundamental que relaciona la resistencia del concreto y la composición de la mezcla es la conocida como Ley de Abrams, la cual se basa en la siguiente fórmula siendo uno de los instrumentos gráficos más empleados en la tecnología del concreto:

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

Siendo R la resistencia media esperada (Kgf/cm²), y α la relación agua/cemento, además de M y N constantes estipuladas en la norma que dependen de la edad del concreto, tipo y calidad del cemento, características del agregado y los aditivos. Se puede representar

gráficamente, tomando logaritmo en ambos lados de la ecuación y graficando una familia de rectas. La velocidad de desarrollo de la resistencia depende de numerosas variables entre las cuales destacan, relación agua/cemento, composición y finura del cemento, calidad de los agregados y eficiencia del curado.

- Peso unitario o densidad del concreto: es el peso del material por unidad de volumen, dichos valores dependerán del tipo del concreto, proporción de los agregados, contenido de cemento y del volumen de vacíos, para un concreto normal el valor está cercano a los 2400 Kg/m³.

2.3.3.- Concreto estructural de baja densidad

Por lo general, los concretos estructurales livianos o de baja densidad, son aquellos cuyo agregado fino o grueso es liviano y su masa unitaria está entre (1400 y 2000 Kg/m³), comúnmente es usado para tabiquerías, losas, y elementos, no tanto en sistemas estructurales. Se usan armaduras no pretensadas o pretensadas ligeramente.

La reducción de la densidad, para lograr obtener concretos de baja densidad puede ser por tres procedimientos: eliminando de los concretos normales las fracciones más finas del agregado fino con lo que nos quedaría un hormigón poroso con una gran cantidad de huecos internos, otra opción es incorporando contenidos muy grandes de aire o espumantes al concreto y por ultimo utilizando agregados con un reducido peso unitario.

Para la fabricación es necesario disponer de áridos adecuados que manteniendo una ligereza adecuada sea suficientemente sólido y capaz de obtener valores de resistencia alta. Los agregados pueden ser artificiales o naturales, aunque estos últimos no tienen tanta aplicación en concretos de

baja densidad; entre los agregados naturales tenemos la piedra pómez, escoria de lava, entre otros, mientras que para los artificiales tenemos arcilla expandida, pizarra arcillosa expandida, entre otros. Las bajas densidades de los agregados se debe a su proceso de fabricación donde estos granos fraccionados en pequeños tamaños sufren de una expansión debido a que son sometidos a altas temperaturas, lo que origina gases en el interior de la masa de los granos; dichos gases son comprimidos por la superficie del grano debido a una condición piroplastica; además dicho granos deben presentar las siguientes propiedades exigidas en la “DIN 4226* Hoja 2”:
Forma de los granos compacta, redondeada, con la superficie bien cerrada;
ningún elemento nocivo para la pasta de cemento; Invariabilidad de volumen;
Resistencia a fenómenos climatológicos. (Fuente: “Hormigón ligeros armados”. Weigler-Karl)

Estos concretos de baja densidad se han usado principalmente por su bajo peso propio y además de por las características del agregado que le transfiere al concreto, como por ejemplo su estructura celular que lo hace aislante térmico y sónico. Según Weigler-Karl, en su publicación “hormigones ligeros armados, fabricación, propiedades y aplicaciones” no todos los agregados ligeros conocidos son aptos para la fabricación y elaboración del concreto de baja densidad, algunos como la piedra pómez y la perlita poseen una resistencia muy baja, y otros que si poseen resistencia adecuada como las escorias, posee una alta densidad neta; es por esto que los agregados que se utilizan como agregado grueso son raramente naturales.

2.3.3.1.-Clasificación de los concretos de densidad baja

Las clasificaciones comunes de los concretos de densidad baja se hacen en función de sus propiedades, pesos volumétricos, de los materiales que lo integran o de los métodos empleados en su fabricación, varía dependiendo

de la dosificación de sus componentes y de la función que se le quiera dar. Según su uso y peso volumétrico se clasifican en:

1. Concretos ligeros de resistencia casi nula y propiedades excepcionalmente buenas de aislamiento térmico, la masa unitaria varía entre (280 a 800 kg/m³). Son concretos de muy baja densidad, pueden ser espumados o aireados. Habitualmente se usa en rellenos y elementos decorativos.
2. Concretos ligeros de resistencia media y características adecuadas de aislamiento térmico, la masa unitaria varía entre 800 kg/m³ y 1400 kg/m³. Son concretos de baja densidad pero aun no llegan a ser concretos estructurales.
3. Concretos ligeros de resistencia estructural y limitadas características de aislamiento térmico, su masa unitaria se encuentra entre 1400 y 2000 kg/m³.

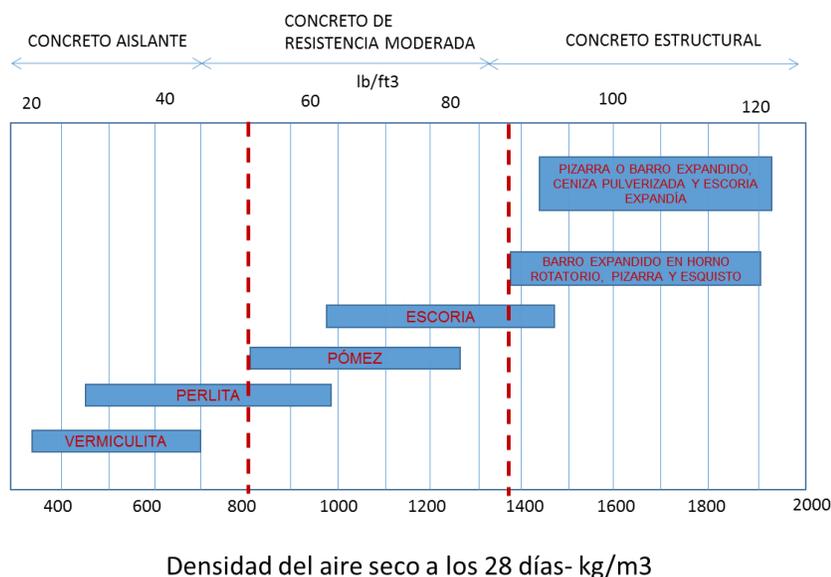


FIGURA 2.3. Clasificación de los concretos livianos por densidad y resistencia. Fuente: Neville y Brooks "Tecnología del concreto" (p.343)

En la Figura 2.3 se muestra, de acuerdo con esta clasificación, el rango de aplicación de los concretos con base a su grado de resistencia y peso unitario y de acuerdo con los distintos agregados que intervienen en su fabricación.

2.3.3.2.- Clasificación de los agregados livianos

Según el libro “Hormigón ligero, aspectos técnicos y estéticos”, los agregados se pueden dividir, según su origen en:

1. Naturales no elaborados: Puzolanas, Travertinos, Lapillo, Escorias, Tobas volcánicas, Diatomitas, Conchas machacadas, Piedra pómez.
2. Naturales elaborados: Arcilla expandida, Vidrio expandido, Esquisto expandido, Pizarra expandida, Vermiculita, Perlita expandida, Diatomita expandida, Obsidiana expandida, Arcilla sinterizada, Esquistos sinterizados.
3. Industriales no elaborados: Escoria de alto horno, Cenizas volantes.
4. Industriales elaborados: Escoria expandida, Espuma de escoria, Cenizas expandidas, Cenizas sinterizadas
5. Orgánicos: Partículas de plástico, Cáscara de cereales, Virutas celulósicas, porexpan.

2.3.3.3.- Propiedades de los agregados de densidad baja

Según el libro “hormigones ligeros armados, fabricación, propiedades y aplicaciones” de Weigler-Karl, las propiedades que influyen de manera considerable en las características del concreto estructural, tanto en la etapa fresca como endurecida, son las siguientes:

1. Forma y tamaño de los granos, condiciones de la superficie de los mismos: Al igual que en los concretos convencionales, la forma de los

granos influye de manera importante, principalmente en la trabajabilidad; otro factor que influye es la granulometría. Según esta fuente, en concretos de baja densidad conviene más agregados de cantos redondeados. La superficie de los granos es otra característica a tener en cuenta, donde se recomienda que no sea una superficie totalmente lisa, pero tampoco en exceso rugosa ya que esta influirá sobre la manipulación y la adherencia del agregado con la pasta de cemento.

2. Densidad aparente, densidad real y porosidad de los granos: La densidad aparente de los granos del agregado es la propiedad más importante, debido a que influye tanto en la densidad como en la resistencia de los concretos, es la relación masa del grano y el volumen encerrado dentro de la superficie que lo envuelve, es decir el volumen sólido y el de los poros. La densidad real del grano es la relación existente entre la masa y el volumen que ocupa la parte sólida; mientras que la porosidad es un valor numérico que relaciona el espacio ocupado por los poros y el volumen encerrado dentro de la superficie del grano.

2.3.3.4.- Propiedades de los concretos endurecidos de baja densidad

1. Densidad aparente: Es un valor que depende de la dosificación, con fines estructurales se usan concretos con una densidad mayor a los 1400 Kg/m^3 . La flexibilidad en la fabricación permite realizar concretos de distintas densidades dependiendo de cuál concreto se vaya a construir y su resistencia. Aproximadamente el 70% del volumen del concreto de baja densidad; es importante destacar que la composición granulométrica influye significativamente puesto que las densidades de los granos de distintos tamaños presenta grandes diferencias entre sí.

2. Fluencia: es un fenómeno de deformación que le ocurre al concreto después de su fraguado. Debido a que el módulo de elasticidad de los granos ligeros es menor que el de los agregados naturales las deformaciones por fluencia son mayores en los concretos de baja densidad; aunque esta propiedad se considera positiva debido a que reduce las tensiones internas.
3. Absorción de agua e impermeabilidad: Los concretos de baja densidad contienen más porosidad que los concretos cotidianos, debido a que sus agregados son más porosos; debido a esto absorben más humedad hasta llegar a la saturación. Los concretos de baja densidad son menos permeables, por la porosidad y el tamaño de los poros.
4. Resistencia a la compresión: Difiere levemente a la de los concretos normales, debido a la menor resistencia de los agregados livianos, como consecuencia de esto se observa que el concreto de baja densidad no falla por dislocación entre los elementos, si no al ceder los granos de agregado; aunque no existe una correlación fiable entre la resistencia del agregado y la resistencia del concreto, entre los factores que pueden afectar la resistencia se encuentran: contenido de cemento, edad y la resistencia y tipo de agregados a usar.
5. Módulo de Elasticidad: La norma Covenin 1753:06 para el concreto liviano define las unidades en kgf/cm^2 y la ecuación se presenta a continuación:

$$0,14 * Wc^{1,5} \sqrt{f'c}$$

Según Porrero (2009): “Según pruebas hechas en el IMME y con agregados livianos de producción nacional, se encontró que la fórmula propuesta por el ACI 318 resulta adecuada”. (p.303)

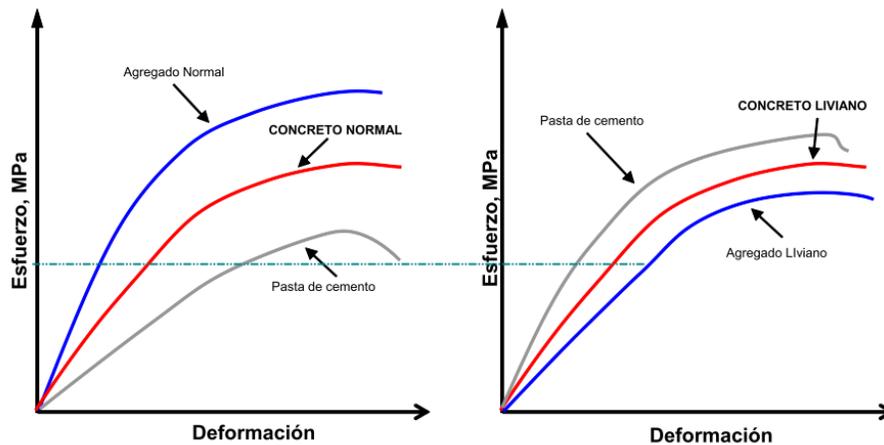


FIGURA 2.4. Resistencia de los agregados, mortero y concreto para concreto normal y liviano. Fuente: Comisión De Materiales Del Comité Español Del C.E.B

2.3.3.5.- Rotura frágil del concreto de baja densidad

Porrero (2009), "Los concretos con agregados livianos presentan una rotura de tipo frágil, que debe ser considerada en el proyecto. Esta es una de las razones por las cuales se limita su resistencia a 300 kgf/cm^2 ", a menos que se tenga experiencia y ensayos que compruebe que se puede usar un concreto de mayor resistencia con este tipo de agregados

2.3.4.- Arcilla expandida

Es un material aislante de origen cerámico, que se produce industrialmente, se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto y se caracteriza principalmente por sus esferas irregulares con una superficie externa cerrada, además de ser muy duro y de color marrón claro. El interior del grano es de un color negro carbón y posee gran cantidad de poros. En el proceso de fabricación esta se expande de forma natural debido a los gases de combustión internos a altas temperaturas, incrementando su tamaño entre un 20% y un 40%, gracias a los minerales como: esméctica y

vermiculita. En Venezuela la empresa encargada de la Fabricación y distribución de este material es ALIVEN. Las arcillas expandidas de densidades más bajas se utilizan con fines aislantes, mientras que las de densidades superiores ($500-700\text{kg/m}^3$) se emplean en la fabricación de concretos ligeros estructurales.



FIGURA 2.5. Arcilla Expandida. Fuente: Mar Llorens, Recuperado de: <http://www.dtfmagazine.com/blog/bioclimatismo-y-sostenibilidad-05/>

ALIVEN®, es un material de arcilla expandida en forma de pequeños esferoides livianos constituidos por una corteza de color pardo vitrificada, rígida y resistente que encierra una estructura alveolar porosa de color gris. (Recuperado de: www.aliven.com.ve)

Su composición es la siguiente:

Compuesto	Cantidad en porcentaje
Dióxido de Silicio	71.92%
Oxido de aluminio	8.42%
Óxido de hierro	4.96%
Oxido de Sodio	1.09%
Oxido de Potasio	1.63%
Oxido de Calcio	1.71%
Oxido de Magnesio	1.66%

TABLA 2.3. Composición Química del ALIVEN. (Recuperado de: www.aliven.com.ve)

2.3.4.1.- Propiedades de la arcilla expandida

Entre las propiedades más importantes de este agregado, así como las que le transfiere al concreto de baja densidad, tenemos:

1. Ligereza: Es la propiedad fundamental por la que se usan dichos agregados
2. Aislamiento térmico; es muy superior a los concretos convencionales y los de alta resistencia, debido al aire contenido en la estructura porosa del agregado, la cual reduce notablemente la conductividad.
3. Aislamiento acústico: Posee un importante comportamiento como aislante acústico, sobre todo a ruido de impacto que se propaga por vibraciones a baja frecuencia ya que el material absorbe la vibración.
4. Resistencia al fuego: Debido al proceso de fabricación de los agregados, y las altas temperaturas que estos experimentan, dichos concretos suelen ser más resistentes al fuego que los concretos normales, debido a que estos granos permanecen estables hasta sobrepasar la temperatura que alcanzan en el proceso, la baja conductividad térmica y su mayor elasticidad son otros factores que mejoran el comportamiento ante el fuego.
5. Durabilidad: Suelen ser más sensibles a los ataques de agentes químicos, debido a su alta capacidad y capacidad de absorción.

2.3.5.- Comparación de propiedades de concreto normales y concretos con agregados livianos

Uno de los aspectos a considerar para aplicación del concreto liviano como material resistente para desarrollar estructuras, son sus propiedades y la diferencia con relación al concreto convencional; en este sentido la Figura 2.8 se comparan algunas propiedades de interés propias de los concretos normales, con las de concretos elaborados con agregados livianos.

PROPIEDAD O CARACTERÍSTICA	CONCRETOS NORMALES	CONCRETOS LIVIANOS
PESO/UNIDAD DE VOLUMEN, W (kgf/m ³)		1.840 < W < 1.930 (1)
• Concreto	~ 2.300	1.550 < W < 1.620 (2)
• Agregados gruesos	1.350–1.450	550–900
• Agregados finos	1.500–1.600	750–1.200
RESISTENCIA ESPECIFICADA Fc (kgf/cm ²)		2,04 W–3.556 (1)
vs W (kgf/m ³)	-	1,61 W–2.281 (2)
MODULO DE ELASTICIDAD Ec (kgf/cm ²)		
• General	0,137 W ^{1,3} √Fc	0,137 W ^{1,3} √Fc
• Para W = 2.300 kgf/m ³	15.100 √Fc	
RESISTENCIA A LA TRACCION (kgf/cm ²)		
• Por flexión: Ft	0,74 Fc ^{0,7}	-
• Por tracción indirecta: Fct	0,46 Fc ^{0,7}	0,10 a 0,12 (3)

FIGURA 2.6. Comparación de propiedades de concretos normales y concretos con agregados livianos. Fuente: “Manual del Concreto Estructural” (Porrero y otros 2012) (pág. 304)

2.3.6.- Diseño de mezcla

Según Porrero y otros (2012), el diseño de mezcla es un procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades de cada uno de los componentes que intervienen en la mezcla del concreto, para así obtener el comportamiento deseado. Hay distintas maneras de producir Concreto Liviano, pero estas se resumen básicamente en tres (3), dependiendo de su constitución y componentes. El primero corresponde al concreto liviano con agregado liviano, el cual reemplaza en su totalidad al agregado grueso y está destinado para usos estructurales. El segundo hace referencia al concreto aireado, celular o espumoso, en el cual se le introducen grandes vacíos al hormigón, de tal manera que se produce un concreto poroso y liviano. Finalmente, se tiene el concreto sin finos, donde se mantienen los agregados gruesos de peso normal, se omiten los agregados finos y por lo tanto hay un gran número de vacíos intersticiales presentes. Además es importante tener en cuenta, al momento del diseño y la preparación de la mezcla, los

siguientes aspectos: Las mezclas muy fluidas y el bajo peso unitario del agregado hace que este tienda a flotar y que la capacidad de absorción hace que el peso del agregado sea muy variable, por este motivo se suele usar el agregado en estado saturado y que así no absorban parte del agua de la mezcla, mientras que si se usan en estado seco hay que tener información del porcentaje de absorción para así tener el cálculo real del agua de mezclado con las correcciones por humedad necesarias.

2.3.7.- Glosario de términos

Aditivo: Productos químicos que se añaden en pequeña proporción a los componentes principales de los morteros o de los concretos, durante su mezclado, con el propósito de modificar algunas de las propiedades de las mezclas en estado fresco o en estado endurecido.

Agregado: Material granular inerte, el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir concreto.

Arcilla: Las arcillas son materiales que están compuestos por una estructura cristalina que está formada principalmente por dos grupos: grupos de sílice tetraédricos y grupos de alúmina octaédricos.

Arcilla Expandida Térmicamente: Corresponden a una clase especial de arcilla en estado natural, ya que todas las arcillas comunes no expanden, extraída de canteras a cielo abierto que presentan una aptitud a la expansión de forma natural cuando se lleva el material granulado a elevadas temperaturas (entre 1100°C y 1300°C), caracterizándose porque expande, debido a los gases de combustión internos, entre un 20% y un 40% veces su tamaño inicial.

Asentamiento: Es la medida de la manejabilidad que tiene el concreto en estado fresco; esta permite observar si el concreto cuenta con buena consistencia para ser vaciado. Se mide mediante el cono de Abrams.

Clinker: Sustancia que se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosas preparadas artificialmente. El Clinker portland es el producto principal del cemento común.

Compacidad del concreto: Está relacionada con la capacidad de acomodamiento de los áridos que componen al concreto, y se define como la cantidad de sólidos, por unidad de volumen de concreto.

Concreto Estructural: Concretos usados para propósitos estructurales, incluyendo los concretos simples y los reforzados.

Concreto Estructural Liviano: Concreto que contiene agregado liviano cuya masa unitaria secada al aire, no exceda de 2000 kgf/m³.

DIN 4226: Norma alemana reguladora de los requisitos para morteros y morteros de concreto, en términos de contenido se divide las siguientes partes: La primera parte trata de granos normales (densidad de granos entre 2000 y 3000 kg/m³) y agregados pesados (mayores de 3000 kg / m³). La segunda parte trata de agregados livianos (menos de 2000 kg / m³). Los requisitos para los áridos reciclados se discuten en la última sección.

Durabilidad del Concreto: Capacidad del concreto en condiciones de servicio, de resistir la acción de los agentes meteorológicos, ataques químicos, lixiviación, abrasión y otras acciones similares

Diseño de mezcla: Es un procedimiento empírico, basado principalmente en lograr resistencias a compresión para una edad determinada así como la consistencia apropiada en un tiempo determinado.

.Granulometría: Distribución de tamaños que componen un agregado fino o un agregado grueso, dichos tamaños se deben ajustar dentro de los límites establecidos para una curva específica logrando así cumplir con la composición de los mismos en el agregado analizado.

Masa: Es la magnitud física que expresa la cantidad de materia que contiene un cuerpo.

Masa unitaria: Conocida también como peso unitario. Se define como la relación existente entre el peso de una muestra compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido.

Relación agua-cemento (a/c): Expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento. Influye en la resistencia final del concreto.

Resistencia: termino genérico que se le asigna a la capacidad de un material de resistir la deformación o rotura inducidas por fuerzas externas.

Tixotropía: es la propiedad de algunos fluidos que muestran un cambio de su viscosidad en el tiempo; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos, más disminuye su viscosidad. Guarda relación con la compacidad del concreto

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1.- Tipo de la Investigación

Según Valarino, Yáber y Ceborain (2012) una investigación donde se apliquen conocimientos científicos para generar propuestas que contribuyan a innovar en el diseño de políticas, crear novedosos productos, aportar soluciones a los retos de desarrollo, a problemas nacionales o de una región, es una investigación del tipo aplicada. La investigación aplicada se subdivide en tres tipologías que son: investigación y desarrollo, investigación evaluativa e investigación-acción.

La presente investigación surge de la necesidad de analizar la respuesta mecánica de miembros cortos de concreto estructural liviano a través de ensayos, en la cual se busca obtener resultados que sirvan de aporte y permitan contribuir con el uso adecuado del concreto estructural de baja densidad en el país. Con base a la definición de Valarino, Yáber y Ceborain, la presente entonces, es una investigación aplicada del tipo: investigación evaluativa.

Por otra parte, según el enfoque de Sampieri (2014), esta investigación también se considera del tipo exploratoria al proponer una investigación de un tema poco estudiado en Venezuela y dejando abierta la posibilidad a continuar desarrollando el tema a nuevos estudios.

3.2- Diseño de la Investigación

Según Sampieri (2014) “El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema.” (p. 128).

Miriam Balestrini (2006) recurre al uso de los términos diseños y tipos, donde señala los bibliográficos y los de campo. Dentro de ellos incluye una sub clasificación y esto a su vez ubica los tipos de investigación. En lo que corresponde al diseño de campo se le adjudica los experimentales y los no experimentales. En cuanto al primero se le circunscriben los tipos experimentales puros, los cuasiexperimentales, los correlacionales y los ex post facto. Mientras que en los segundos incorpora los tipos de estudios formulativos o exploratorios, los descriptivos, los evaluativos y los causales explicativos.

El diseño adoptado según Balestrini es de Campo experimental, coincidiendo con Valarino, Yáber y Ceborain (2012) concluyendo que pertenece al tipo evaluativa.

3.3.- Fases de la investigación

A continuación, se presentan los procedimientos realizados, necesarios para la elaboración de este trabajo de grado, así como las actividades, ensayos y otros que complementan dicha investigación:

3.3.1.- Recopilación de información

Se realizó una investigación bibliográfica, en normas venezolanos, libros y fuentes digitales, acerca del concreto de baja densidad, características y propiedades para así recolectar la información necesaria para la investigación. Además se buscaron trabajos de grado relacionados con el tema que aportaron información y sirvieron como antecedentes de la investigación.

3.3.2.- Recolección de los materiales

En esta etapa del proyecto, se buscaron los materiales necesarios para las mezclas, las arenas, el cemento y los aditivos fueron donados por fábricas de pre-mezclado y trasladados a la universidad por propios medios; mientras que el agregado grueso proveniente de arcilla expandida fue donado y trasladado a la universidad por ALIVEN®

3.3.3.- Ensayos a los agregados y cálculos para determinar propiedades

En esta fase, se realizaron ensayos de granulometría, módulo de finura, contenido de humedad, peso específico, porcentaje de absorción, peso unitario suelto y peso unitario compacto a los agregados finos y el agregado grueso proveniente de arcilla expandida, según lo estipulado en las Normas COVENIN para cada ensayo.



FIGURA 3.1. Tamizadora del Laboratorio de materiales UCAB



FIGURA 3.2. Realización del ensayo de Granulometría



FIGURA 3.3. Secado superficial para ensayo de Peso específico y porcentaje de absorción.



FIGURA 3.4. Saturación de agregado fino, para ensayos de peso específico y porcentaje de absorción.

3.3.4.- Diseños de mezcla

En esta etapa, se realizaron los diseños de mezclas para determinar la dosificación de cada una, lo que dio lugar a cinco (5) tandas experimentales, en la primera se varió la relación de agregados (β) manteniendo constante el peso total del agregado, en la segunda se mantuvo constante las dosis de arena, cemento, agua y agregado grueso, y se aumento la cantidad de aditivo uno respecto a la otra; para la tercera tanda experimental se varió la relación de agregados (β) pero solo variando la porción del fino y manteniendo constante el grueso; en la cuarta y quinta tanda experimental se fijó como $f'c$ de diseño 315 kgf/cm². Tomando en cuenta que no hay fórmulas para calcular cada componente en concretos de baja densidad, la primera tanda experimental se realizó con la dosificación que recomienda ALIVEN®, y a partir de ella se fue variando hasta conseguir la deseada.

3.3.5.- Preparación de las mezclas y posterior curado

En esta fase de la investigación se procedió a realizar el proceso de preparación de las mezclas, pesando cada componente según la dosificación de la etapa anterior, se realizaron cinco tandas experimentales, con arena (agregado fino de tres lugares distintos), Cemento, agua y ALIVEN saturado por 24 ± 4 horas como indica la norma (agregado grueso proveniente de arcillas expandidas), a cada mezcla se le añadía agua parcialmente en cantidades de 500 ml, para medir asentamientos, una vez obtenida la trabajabilidad necesario se vació la mezcla en probetas metálicas y cilíndricas, previamente aceitadas y limpias; y luego de cumplir 24 horas aproximadamente de fraguado, se introdujo cada probeta en el tanque de curado, hasta el día del ensayo.



FIGURA 3.5. Máquina mezcladora



FIGURA 3.6. Componentes de mezcla (Tercera Tanda Experimental)

3.3.6.- Ensayos y recolección de datos

Los ensayos fueron realizados a distintas edades para las distintas tandas experimentales, se realizaron ensayos a compresión de las probetas cilíndricas para el cálculo de resistencia con una velocidad de aplicación de la carga constante, obteniendo valores en MPa. Los datos experimentales reportados en la presente investigación fueron captados de forma audiovisual.



FIGURA 3.7. Ensayo de probeta cilíndrica a compresión.

3.3.7.- Análisis, Conclusiones y recomendaciones

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos, en función de tablas y gráficas, para posteriormente dar las conclusiones y recomendaciones para cada casa y así finalizar el trabajo de grado.

3.4.- Esquema Experimental

Tanda Experimental	Objetivo Asociado	N°	COD	Origen del Fino	MF	Humedad Arena	Origen del Grueso	MF	Humedad del Grueso	Cemento			
Primera	2,3 y 4	1	$\beta=80\%$	Natural Tipo 1	3.31	0%	Aliven	4.57	15.21%	CPCA1			
		2											
		3											
		1	$\beta=60\%$										
		2											
		3											
		1	$\beta=40\%$										
		2											
		3											
		1	$\beta=20\%$										
		2											
		3											
Segunda	2,3 y 4	1	A	Natural Tipo 1	3.31	0%	Aliven	4.57	15.21%	Tipo 1			
		2											
		1	B										
		2											
Tercera	2,3 y 4	1	1	Natural Tipo 1	3.31	0%	Aliven	4.57	15.21%	CPCA1			
		2											
		1	2										
		2											
		1	3										
		2											
		1	4										
		2											
Cuarta	2,3 y 4	1	M1	Natural tipo 2	3.19	5.37	Aliven	4.57	15.21%	Tipo 1			
		2											
		3											
		1	M2										
		2											
		3											
Quinta	2,3 y 4	1	M3	Natural tipo 2	3.19	5.37	Aliven	4.57	15.21%	Tipo 1			
		2											
		3											
		1	M4								Natural tipo 3	3.57	4.13
		2											
		3											

TABLA 3.1 Esquema Experimental

3.5.- Diseño Experimental:

Para el desarrollo general de los diseños de mezcla se utilizó el procedimiento que se muestra a continuación, se realizaron distintas mezclas con volumen equivalente a 2 y 3 probetas para una dosis de cemento, arena y agregado grueso a la cual se le añadía agua parcialmente en 500 ml y con cada una de las ultimas adiciones se medían asentamientos. En total se elaboraron 36 probetas como se muestra a continuación.

Tanda Experimental	N°	COD	Arena Colocada (kg)	Cemento Colocado (kg)	Agua Colocada (litros)	Alliven Colocado (kg)	Aditivo Colocado (ml)	Ad (Correccion por Hum)	Relacion Alfa			
Primera	1	β=80%	19.72	7.65	3.7	4.92	-	4.1	0.54			
	2											
	3											
	1	β=60%	14.28	7.65	3.7	9.52		4.78	0.62			
	2											
	3											
	1	β=40%	9.75	7.65	3.7	14.63		5.51	0.72			
	2											
	3											
	1	β=20%	4.88	8.8	4.35	19.51		6.86	0.78			
	2											
	3											
Segunda	1	A	8.4	6.12	2.75	4.2	29.57	3.19	0.52			
	2				2.5		42.2	2.94	0.48			
	1	B			10.2	9.18	3.7	6.4	-	4.42	0.48	
	2											
1	2	6.71	3.7	4.46								0.49
2												
1	3	4.9	3.5	4.28	0.46							
2												
1	4	3.98	3.5	4.29	0.47							
2												
Cuarta	1	M1	9.45	10.71	4	9.54	37	5.57	0.52			
	2											
	3											
	1	M2			10.86			3.75	5.36	0.5		
	2											
	3											
Quinta	1	M3	10.86	10.71	3.75	9.54	40	5.36	0.5			
	2											
	3											
	1	M4			10.86			3.75	5.29	0.49		
	2											
	3											

TABLA 3.2. Diseño Experimental

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1.- Caracterización de los agregados

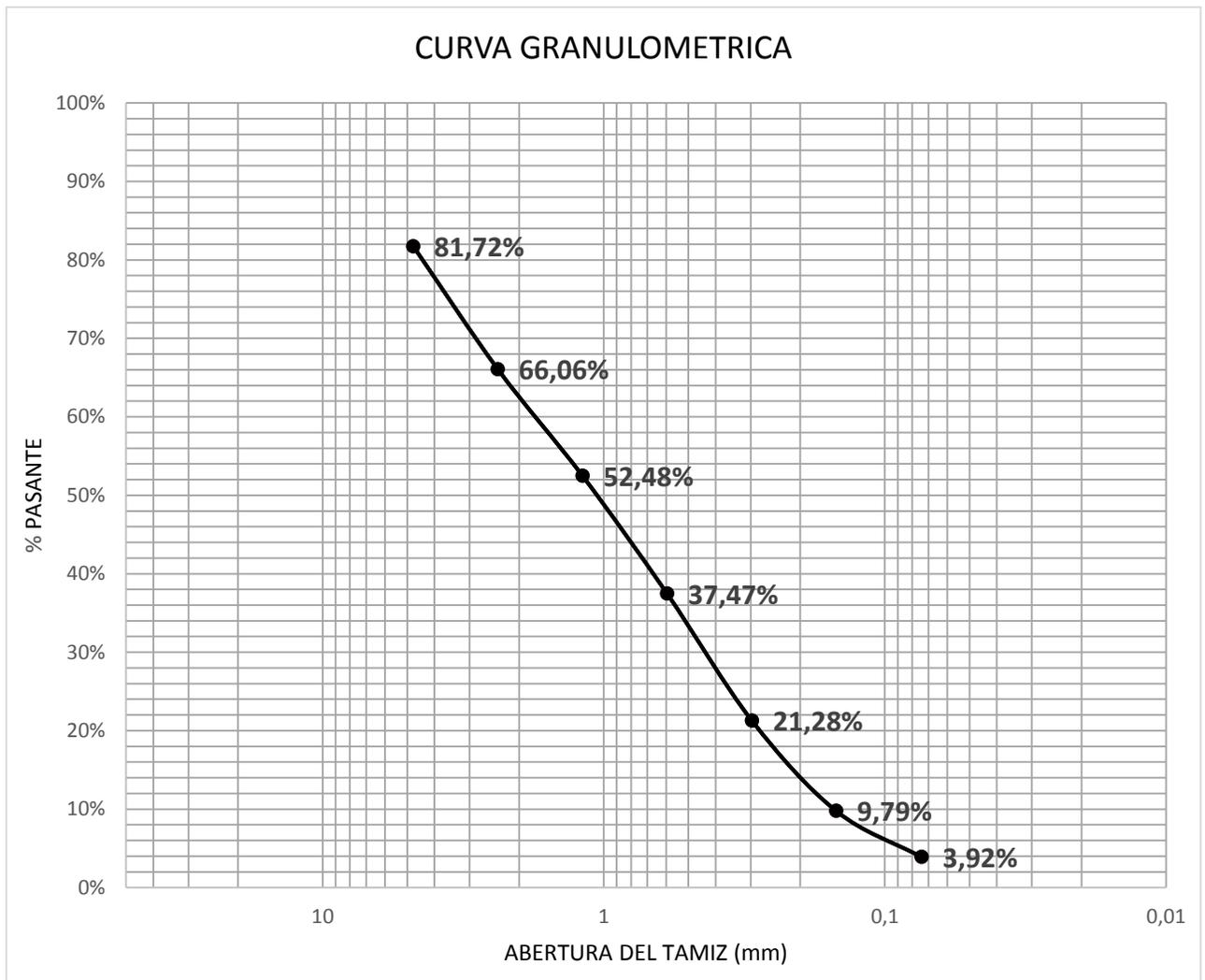
4.1.1.- Agregado Fino

4.1.1.1.- Arena Tipo 1

- Granulometría

Abertura tamiz (mm)	Abertura Tamiz	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
4.76	#4	140	18.28%	18.28%	81.72%
2.38	#8	120	15.67%	33.94%	66.06%
1.19	#16	104	13.58%	47.52%	52.48%
0.595	#30	115	15.01%	62.53%	37.47%
0.297	#50	124	16.19%	78.72%	21.28%
0.149	#100	88	11.49%	90.21%	9.79%
0.074	#200	45	5.87%	96.08%	3.92%
Pasa de 0.074	Pasante #200	27	3.52%	99.61%	0.39%
	Peso Total	763			

TABLA 4.1 Granulometría Arena Tipo 1



GRAFICA 4.1. Curva granulométrica arena tipo 1

- Módulo de finura

Retenido Acumulado (%)	Módulo de finura
18.28%	3.31
33.94%	
47.52%	
62.53%	
78.72%	
90.21%	

TABLA 4.2. Módulo de finura Arena Tipo 1

- Contenido de Humedad (%W): Este tipo de arena se usó en estado Seco (al Horno) por lo tanto su contenido de humedad es 0%
- % Absorción y Peso Especifico

Picnómetro vacío (gr)	94.30
Picnómetro + arena (gr)	187.00
Picnómetro + arena + agua (gr)	401.00
Arena seca + Tara	141.50
Picnómetro + Agua	342.30
Peso Tara	49.94
Peso Arena (SSS) (gr)	92.70
Peso Arena seca (gr)	91.56
Peso Especifico	2.69
Peso Especifico (SSS)	2.73
Peso Especifico Aparente	2.79
% Absorción	1.25

TABLA 4.3. Absorción y peso específico de Arena Tipo 1

- Masa Unitaria Suelta y Masa unitaria Compacta

Peso de la muestra Suelta (kg)	4,894
Peso de la muestra Compacta (kg)	5,323
Volumen del recipiente (m3)	0,002832
Peso Unitario Suelto	1728,11
Peso Unitario Compacto	1879,59

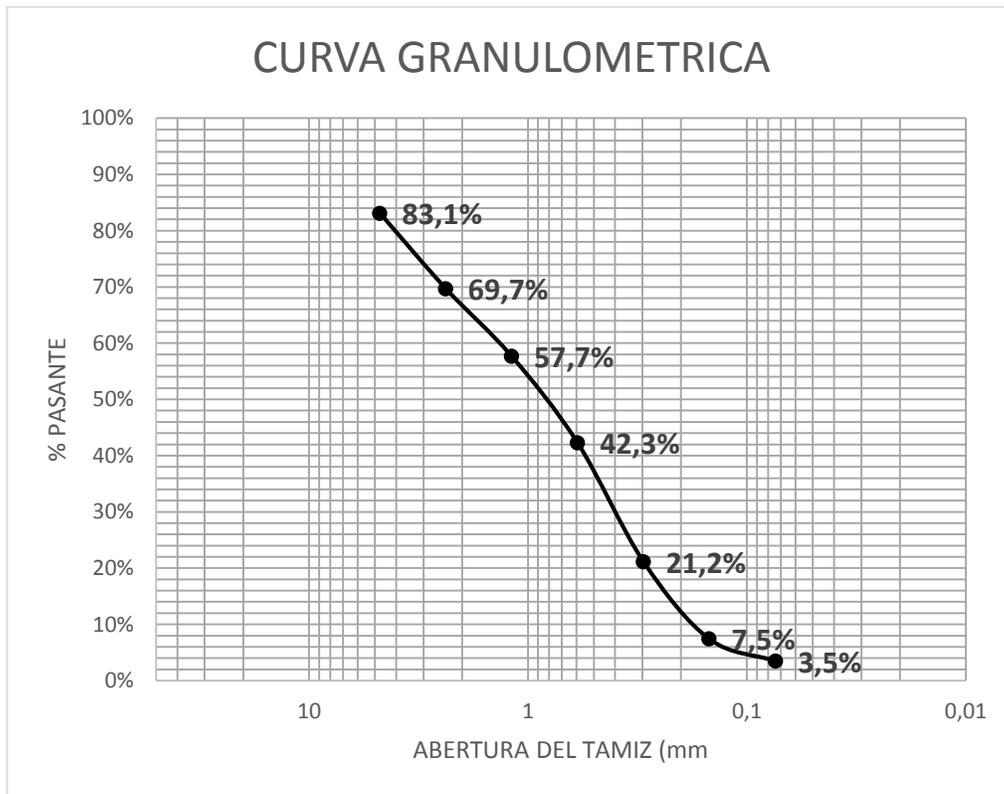
TABLA 4.4. Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 1

4.1.1.2.- Arena Tipo 2

- Granulometría

Abertura tamiz (mm)	Abertura Tamiz	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
4.76	#4	111	16.89%	16.89%	83.1%
2.38	#8	88	13.39%	30.29%	69.7%
1.19	#16	79	12.02%	42.31%	57.7%
0.595	#30	101	15.37%	57.69%	42.3%
0.297	#50	139	21.16%	78.84%	21.2%
0.149	#100	90	13.70%	92.54%	7.5%
0.074	#200	26	3.96%	96.50%	3.5%
Pasa de 0.074	Pasante #200	20	3.04%	99.54%	0.5%
	Peso Total	654			

TABLA 4.5 Granulometría Arena Tipo 2



GRAFICA 4.2. Curva granulométrica arena tipo 2

- Módulo de finura

Retenido Acumulado (%)	Módulo de Finura
16.89%	3.19
30.29%	
42.31%	
57.69%	
78.84%	
92.54%	

TABLA 4.6. Módulo de finura Arena Tipo 2

- Contenido de Humedad (%W)

Peso Tara (gr)	156
Peso Tara + Arena Hum (gr)	1286
Peso Tara + Arena Seca (gr)	1217
W (%)	5.37

TABLA 4.7. Contenido de humedad Arena Tipo 2

- % Absorción y Peso Especifico

Picnómetro vacío (gr)	66.70
Picnómetro + arena (gr)	135.51
Picnómetro + arena + agua (gr)	208.86
Arena seca + Tara	117.46
Picnómetro + Agua	166.50
Peso Tara	49.95
Peso Arena (SSS) (gr)	68.81
Peso Arena seca (gr)	67.51
Peso Especifico	2.55
Peso Especifico (SSS)	2.60
Peso Especifico Aparente	2.68
% Absorción	1.93

TABLA 4.8. Absorción y peso específico de Arena Tipo 2

- Masa Unitaria Suelta y Masa unitaria Compacta

Peso de la muestra Suelta (kg)	4,074
Peso de la muestra Compacta (kg)	4,622
Volumen del recipiente (m ³)	0,002832
Peso Unitario Suelto	1438,55
Peso Unitario Compacto	1632,06

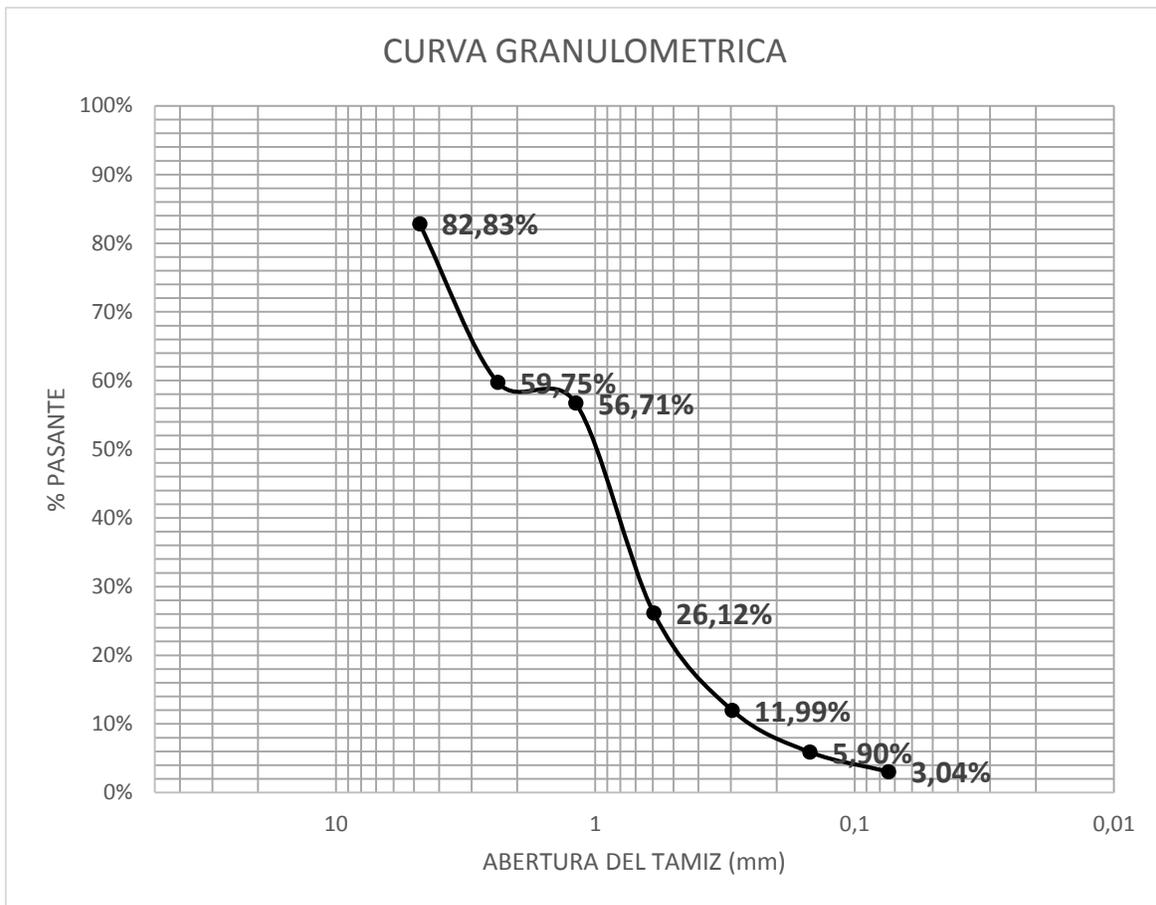
TABLA 4.9. Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 2

4.1.1.3.- Arena Tipo 3

- Granulometría

Abertura tamiz (mm)	Abertura Tamiz	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
4.76	#4	96	17.17%	17.17%	82.83%
2.38	#8	129	23.08%	40.25%	59.75%
1.19	#16	17	3.04%	43.29%	56.71%
0.595	#30	171	30.59%	73.88%	26.12%
0.297	#50	79	14.13%	88.01%	11.99%
0.149	#100	34	6.08%	94.10%	5.90%
0.074	#200	16	2.86%	96.96%	3.04%
Pasa de 0.074	Pasante #200	13	2.33%	99.28%	0.72%
	Peso Total	555			

TABLA 4.10 Granulometría Arena Tipo 3



GRAFICA 4.3. Curva granulométrica arena tipo 3

- Módulo de finura

Retenido Acumulado (%)	Módulo de finura
17.17%	3.57
40.25%	
43.29%	
73.88%	
88.01%	
94.10%	

TABLA 4.11. Módulo de finura Arena Tipo 3

- Contenido de Humedad (%W)

Peso Tara (gr)	85
Peso Tara + Arena Hum (gr)	1066
Peso Tara + Arena Seca (gr)	1022
W (%)	4.13

TABLA 4.12. Contenido de humedad Arena Tipo 3

- % Absorción y Peso Especifico

Picnómetro vacío (gr)	86.69
Picnómetro + arena (gr)	191.92
Picnómetro + arena + agua (gr)	349.29
Arena seca + Tara	154.15
Picnómetro + Agua	285.77
Peso Tara	50.35
Peso Arena (SSS) (gr)	105.23
Peso Arena seca (gr)	103.80
Peso Especifico	2.49
Peso Específico (SSS)	2.52
Peso Específico Aparente	2.58
% Absorción	1.38

TABLA 4.13. Absorción y peso específico de Arena Tipo 3

- Masa Unitaria Suelta y Masa unitaria Compacta

Peso de la muestra Suelta (kg)	3,63
Peso de la muestra Compacta (kg)	4,772
Volumen del recipiente (m ³)	0,002832
Peso Unitario Suelto	1281,78
Peso Unitario Compacto	1685,03

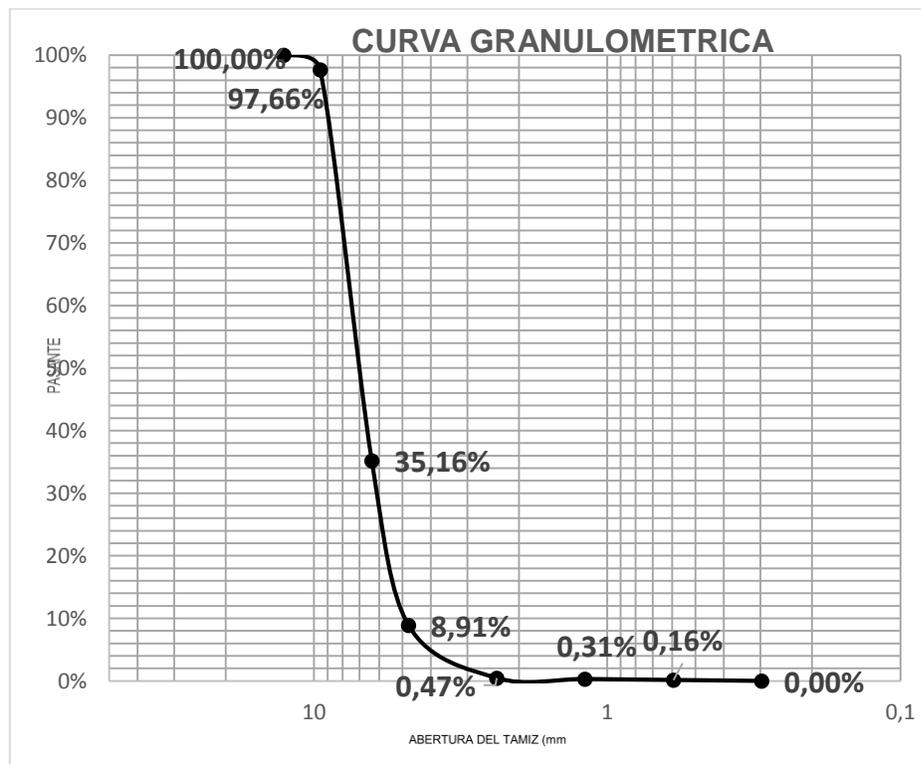
TABLA 4.14. Peso unitario suelto y compacto de Arena Tipo 3

4.1.2.- Agregado Grueso:

- Granulometría

Abertura tamiz (mm)	Abertura Tamiz	Masa Retenida (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
12,7	1/2	0	0,00%	0,00%	100,00%
9,53	3/8	15	2,34%	2,34%	97,66%
6,35	1/4	400	62,50%	64,84%	35,16%
4,76	#4	168	26,25%	91,09%	8,91%
2,38	#8	54	8,44%	99,53%	0,47%
1,19	#16	1	0,16%	99,69%	0,31%
0,595	#30	1	0,16%	99,84%	0,16%
0,297	#50	1	0,16%	100,00%	0,00%
	Peso Total	640			

TABLA 4.15 Granulometría Aliven



GRAFICA 4.4. Curva granulométrica Aliven

- Módulo de finura

Retenido Acumulado (%)	MF
0,00%	4,57
2,34%	
64,84%	
91,09%	
99,53%	
99,69%	
99,84%	

TABLA 4.16. Módulo de finura del Aliven

- Contenido de Humedad:

Estado	Densidad (kg/m ³)	% Humedad
Seco	581,57	
Húmedo (4 horas)	619,65	6,55
Húmedo (8 horas)	668,69	14,98
Saturado (24 horas)	670	15,21
Saturado (48 horas)	670	15,21

TABLA 4.17. Contenido de humedad Aliven

- Peso Unitario Suelto y Compacto:

Peso de la muestra Suelta (kg)	1,647
Peso de la muestra Compacta (kg)	1,828
Volumen del recipiente (m ³)	0,002832
Peso Unitario Suelto	581,57
Peso Unitario Compacto	645,48

TABLA 4.18. Peso unitario suelto y compacto del Aliven

En resumen se pueden expresar todos los resultados de la siguiente manera.

Tipo de arena	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Módulo de finura	3.31	3.19	3.57
Contenido de humedad	0.00%	5.37%	4.13%
Peso Especifico	2.69	2.55	2.49
Peso Específico (SSS)	2.73	2.6	2.52
Peso específico Aparente	2.79	2.68	2.58
Porcentaje de absorción	1.25%	1.93%	1.38%
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1728.11	1438.55	1281.78
Peso unitario Compacto (kg/m ³)	1879.6	1632.06	1685.03

TABLA 4.19. Resumen de caracterización del agregado fino

Módulo de finura	4.57
Contenido de humedad	15.21%
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	581.57
Peso unitario Compacto (kg/m ³)	645,48

TABLA 4.20. Resumen de caracterización del agregado grueso

Las propiedades y características del agregado liviano con arcilla expandida, debido a su proceso de fabricación y origen, le entrega al concreto propiedades distintas al concreto convencional. Con estos valores con respecto al agregado grueso se tiene que la granulometría está acorde a lo que indica el proveedor, debido a que el fabricante indica que la granulometría se ubica en el orden de 9.51 mm y es donde se concentró mayor cantidad de agregado ya que entre el tamiz 3/8 y 1/4 se concentró aproximadamente el 70% de la masa total del material, lo que refleja que se trata de un agregado con tendencia monogranular, lo que en el caso de este trabajo, quedo compensado con el aporte de la gradación del fino.

Según la información recibida el porcentaje de absorción del agregado grueso es de 17%, (Para las mezclas de este trabajo de grado se tomó saturado, por lo tanto el porcentaje de absorción es 0%) por lo que se observa que posee un porcentaje mucho mayor al de las arenas y al agregado grueso de grava

convencional, esto se puede deber a que este agregado posee mayor cantidad de poros internos.

En cuanto a la masa unitaria, es lógico pensar que el de las arenas presentan mayor densidad al agregado liviano, la arena tipo 1 aumento su masa compacta un 8%, la arena tipo 2 aumento un 11%, la arena tipo 3 un 31% y el agregado grueso aumento su masa de suelta a compacta en un 11%.

4.2.- Resultados de las tandas experimentales

4.2.1.- Primera tanda experimental ($F'c$ Nominal experimental 210 kgf/cm²)

COD	Relación Alfa	Relación Beta	Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)
$\beta=80\%$	0.54	0.8	221
$\beta=60\%$	0.62	0.6	121
$\beta=40\%$	0.72	0.4	109
$\beta=20\%$	0.78	0.2	91

TABLA 4.21. Resultados obtenidos primera tanda experimental

COD	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio Mezcla(Kg/m ³)
$\beta=80\%$	15.1	30.1	0.005390	10.554	1958	1941
	15.2	29.9	0.005425	10.321	1902	
	15.3	30	0.005515	10.822	1962	
$\beta=60\%$	15	30	0.005301	9.046	1706	1738
	15.1	29.9	0.00535	9.263	1730	
	15	30	0.005301	9.425	1778	
$\beta=40\%$	15.2	30	0.005443	8.079	1484	1520
	15.4	30	0.005587	8.866	1587	
	15.2	30.5	0.00553	8.237	1488	
$\beta=20\%$	15.4	30.6	0.005699	8.189	1437	1440
	15.3	30	0.005515	7.993	1449	
	15.1	29.8	0.005336	7.645	1433	

TABLA 4.22. Medidas, Pesos y densidades primera tanda experimental

COD	Cantidad de Agua (litros)	Asentamiento
$\beta=80\%$	3.7	4" (10.2 cm)
$\beta=60\%$	3.7	1 ½" (3.8 cm)
$\beta=40\%$	3.7	1" (2.54 cm)
$\beta=20\%$	4.35	3" (7.6 cm)

TABLA 4.23. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida primera tanda experimental

4.2.2.- Segunda tanda experimental ($F'c$ Nominal experimental 210 kgf/cm²)

COD	Relación Alfa	Relación Beta	Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)
A	0.52	0.667	248
B	0.48	0.667	228

TABLA 4.24. Resultados obtenidos segunda tanda experimental

COD	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio Mezcla (Kg/m ³)
A	15	29.8	0.005266	9.65	1832	1837
	15.2	28.9	0.005244	9.662	1842	
B	14.7	29.8	0.005058	9.79	1935	1898
	15	30	0.005301	9.86	1860	

TABLA 4.25. Medidas, Pesos y densidades segunda tanda experimental

Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento	Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento
500	-	500	-
1000	-	1000	-
1500	-	1500	-
2000	-	2000	-
2500	4" (10.2 cm)	2400	5 ¾" (14.6 cm)
2750	7 ½" (19cm)	2500	6" (15.2 cm)
A		B	

TABLA 4.26. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida segunda tanda experimental

4.2.3.- Tercera tanda experimental ($F'c$ Nominal experimental 250 kgf/cm²)

COD	Relación Alfa	Relación Beta	Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)
1	0.46	0.62	260
2	0.47	0.512	259
3	0.48	0.434	238
4	0.49	0.383	227

TABLA 4.27. Resultados obtenidos tercera tanda experimental

COD	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio Mezcla (Kg/m ³)
1	15.2	30	0.005443	10.061	1848	1820
	15.1	30	0.005372	9.621	1791	
2	15	29.9	0.005283	9.42	1782	1802
	15	29.9	0.005283	9.618	1820	
3	15	30	0.005301	9.327	1759	1734
	15.2	30.3	0.005498	9.391	1708	
4	15.2	30	0.005443	9.538	1752	1702
	15.5	30.4	0.005736	9.47	1651	

TABLA 4.28. Medidas, Pesos y densidades tercera tanda experimental

Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)
500	
1000	
1500	
2000	
2500	
3000	4" (10.2 cm)
3500	6" (15.2 cm)
3700	6 ½ (16.5 cm)
1	

Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)
500	
1000	
1500	
2000	
2500	
3000	4 ¾" (12 cm)
3500	5 ¾" (14.6 cm)
3700	6 1/2" (16.5 cm)
2	

Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)	Cantidad de Agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)
500		500	
1000		1000	
1500		1500	
2000		2000	
2500		2500	
3000	5 ¼" (13 cm)	3000	6" (15.2 cm)
3200	6" (15.2 cm)	3200	6 ½" (16.5 cm)
3500	7" (17.8 cm)	3500	7 ½" (19cm)
3		4	

TABLA 4.29. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida tercera tanda experimental

4.2.4.- Cuarta tanda experimental ($F'c$ Nominal experimental 315 kg/cm²)

COD	Relación Alfa	Relación Beta	Resistencia a la Compresión (Kgf/cm ²)
M1	0.52	0.498	206
M2	0.50	0.532	221

TABLA 4.30. Resultados obtenidos Cuarta tanda experimental

COD	Diametro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio Mezcla (Kg/m ³)
M1	15.3	30	0.005516	8.635	1565	1558
	15.4	30	0.005588	8.61	1540	
	15.2	30	0.005444	8.52	1565	
M2	15.5	29.9	0.005642	8.94	1584	1607
	15.2	30	0.005444	8.873	1629	
	15.5	30.5	0.005755	9.251	1607	

TABLA 4.31. Medidas, Pesos y densidades cuarta tanda experimental

Cantidad de agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)
500	
1000	
1500	
2000	
2500	
3000	
3250	2 ½" (6.35 cm)
3750	6" (15.2 cm)
4000	8" (20.3 cm)
M1	

Cantidad de agua (ml)	Asentamiento (pulgadas)
500	
1000	
1500	
2000	
2500	
3000	
3250	5 ¼" (13 cm)
3500	7" (17.8 cm)
3750	8" (20.3 cm)
M2	

TA

BLA 4.32. Asentamientos en función de la cantidad de agua añadida cuarta tanda experimental

4.2.5.- Quinta tanda experimental ($F'c$ Nominal experimental 315 kgf/cm²)

COD	Relación Alfa	Relación Beta	Resistencia a la Compresión (Kgf/cm ²)
M3	0.50	0.532	310
M4	0.49	0.532	313

TABLA 4.33. Resultados obtenidos Quinta tanda experimental

COD	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio Mezcla (Kg/m ³)
M3	15.1	30.1	0.005390	10.011	1857	1835
	15.4	29.9	0.005569	9.854	1769	
	15	30	0.005301	9.961	1879	
M4	15	29.9	0.005283	10.029	1898	1840
	15.2	30.2	0.005480	9.998	1824	
	15.5	30.7	0.00579	10.417	1798	

TABLA 4.34. Medidas, Pesos y densidades quinta tanda experimental

Minutos	Asentamiento (pulgadas)
0	7 ¼" (18.4 cm)
5	6" (15.2 cm)
10	5" (12.7 cm)
15	3 ¾" (9.5 cm)
M3	

Minutos	Asentamiento (pulgadas)
0	8 ¼" (21 cm)
5	7 ¼" (18.4 cm)
10	5 ¾" (14.6 cm)
15	4 ¼" (10.8 cm)
M4	

TABLA 4.35. Asentamientos en función del tiempo quinta tanda experimental

A través de las cinco (5) tandas experimentales, se observa que en cuanto a densidad de la mezcla todas las muestras de cada tanda se encuentran dentro del intervalo que puede ser considerado aceptable para un concreto estructural de baja densidad, la cual se establece entre 1400 Kg/m³ y 2000 kg/m³. Sin embargo debe ser resaltado que la resistencia de las probetas aumentan con el incremento de la densidad por la tendencia observada en todas las mezclas, en que la densidad aumenta en función del aumento de la relación de agregados (β).

Como se observa en la primera tanda experimental, estas mezclas presentaron una relación agua/cemento altas, por ende no se alcanzaron valores de resistencia cercanos al f'_c nominal experimental, en especial para las mezclas de COD: $\beta=60\%$, $\beta=40\%$ y $\beta=20\%$, donde los valores α están por el orden de 0.7. En cuanto a los asentamientos de dicha tanda se observa que aunque poseen una alta relación α los asentamientos resultaron menores relativamente.

En cuanto a la segunda tanda experimental, la variación se realizó en función del aditivo, aumentando en un 42% la cantidad agregada, para llegar a un asentamiento óptimo, es por esto que las dos (2) muestras de esta tanda no poseen variación significativa en cuanto a resistencias, densidades y relación alfa (α) y beta (β) como se observa en la tabla 4.26 en la muestra B, se necesitó

menos agua para alcanzar valores de asentamientos óptimo, lo cual es lógico por contar con más aditivo, necesitando así un 10% menos de cantidad de agua.

Para la tercera tanda experimental, las densidades aumentaron en función de que la relación beta (β) aumenta, es decir el aumento de la porción de finos. En esta tanda se buscaba la variación de la relación del beta manteniendo constante el agregado grueso, y se observa que en cada disminución de la relación beta el asentamiento para la misma cantidad de agua aumenta esto debe responder a la mecánica de fricción entre los granos de arena y el grano de densidad baja.

En cuanto a la cuarta tanda experimental, la variación se realizó en la arena, para la muestra M2 se añadió un 15% de arena, manteniendo constante el agregado de densidad baja, cemento y agua para otorgarle mayor trabajabilidad y cohesión a la mezcla, sin embargo esto no afectó de manera notable los parámetros analizados anteriormente.

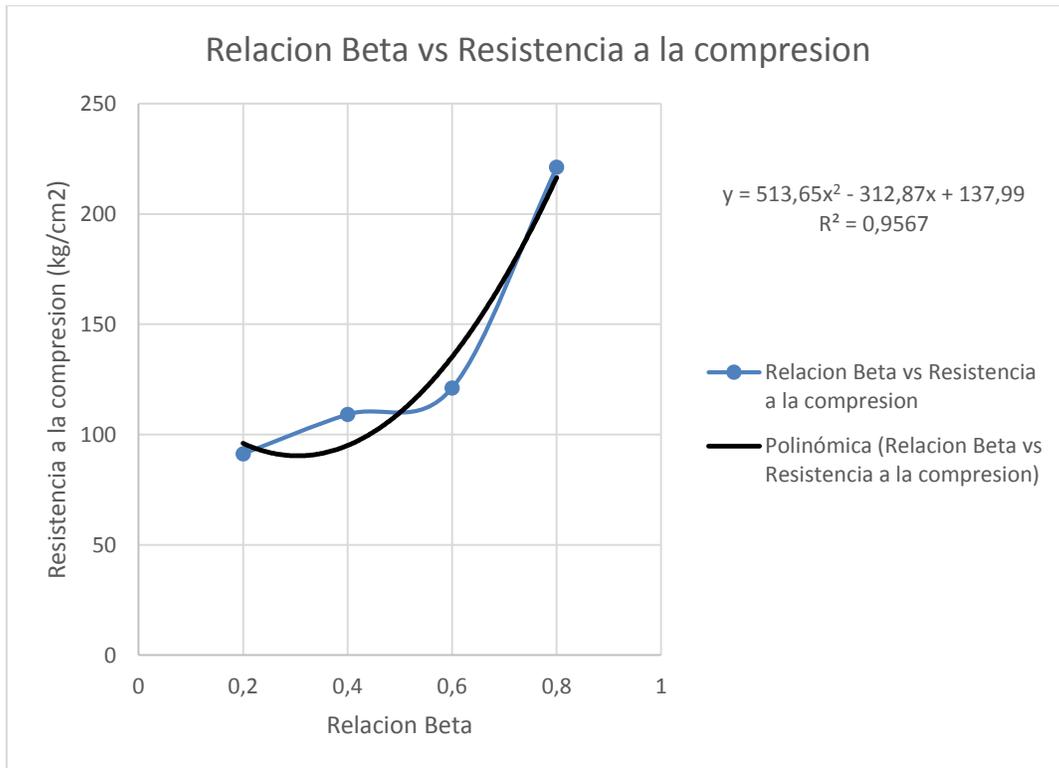
Para la tanda experimental número cinco (5), la mezcla M3 fue calculada de igual manera que la M2 de la cuarta tanda experimental, sin embargo para M4 se añadió un 10% más de aditivo plastificante, Con esta tanda se buscaba establecer la pérdida de asentamiento a corto plazo; lo que aporta información a nivel de pérdida de esta condición durante el transporte, en el caso de concreto pretensado; se observa que según la tabla 4.35 ambas mezclas pierden asentamiento de manera notable, ya que en M3 y M4 las mezclas pierden aproximadamente un 50% del asentamiento en los primeros quince (15) minutos en reposo

En general en cuanto a los asentamientos, se conoce que si no se considera el aporte de los aditivos; incrementan con el aumento de la cantidad de agua; entonces para manejar asentamientos mayores hace falta aumentar la humedad o

alterar las reacciones químicas con aporte de aditivos; de no hacerlo, es necesario incrementar la dosificación de cemento para mantener la resistencia deseada.

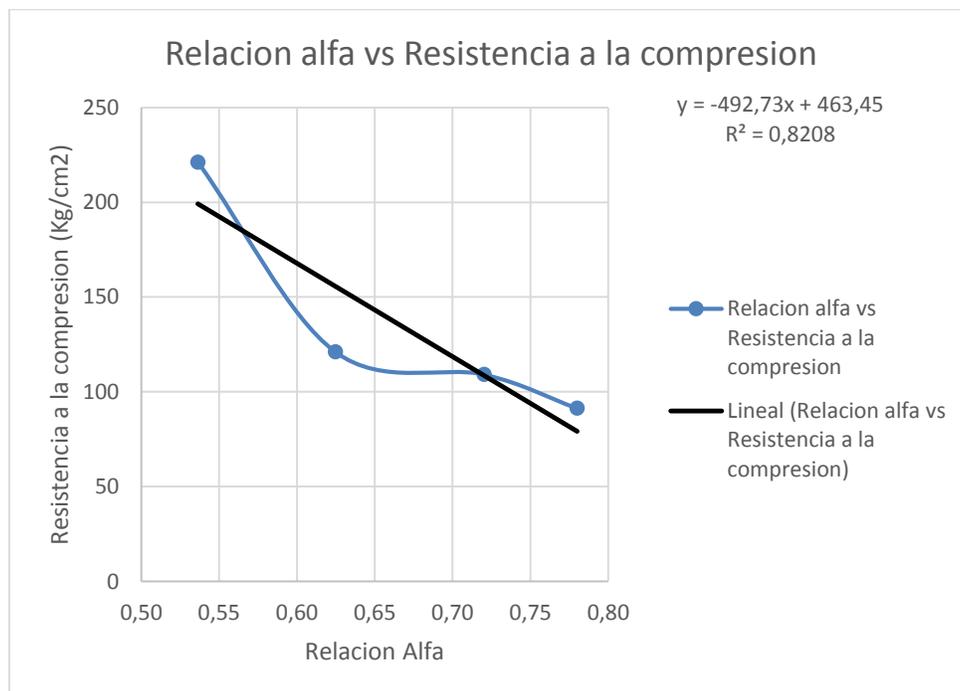
4.3.- Influencia de la variación del contenido de agregado grueso liviano en la resistencia del concreto de densidad baja.

La relación de agregados (β) se varió en la primera tanda experimental y la tercera tanda experimental. Dicha variación trajo consigo de manera implícita una variación de la relación α , ya que al disminuir la cantidad de agregado fino que absorbe el agua (recordando que el grueso está saturado, por lo tanto el porcentaje de absorción es 0%), se hace necesario menor cantidad de agua. Para la primera tanda experimental, graficando la resistencia en función del parámetro β y α , así como una gráfica que relaciona ambos parámetros, obtenemos:

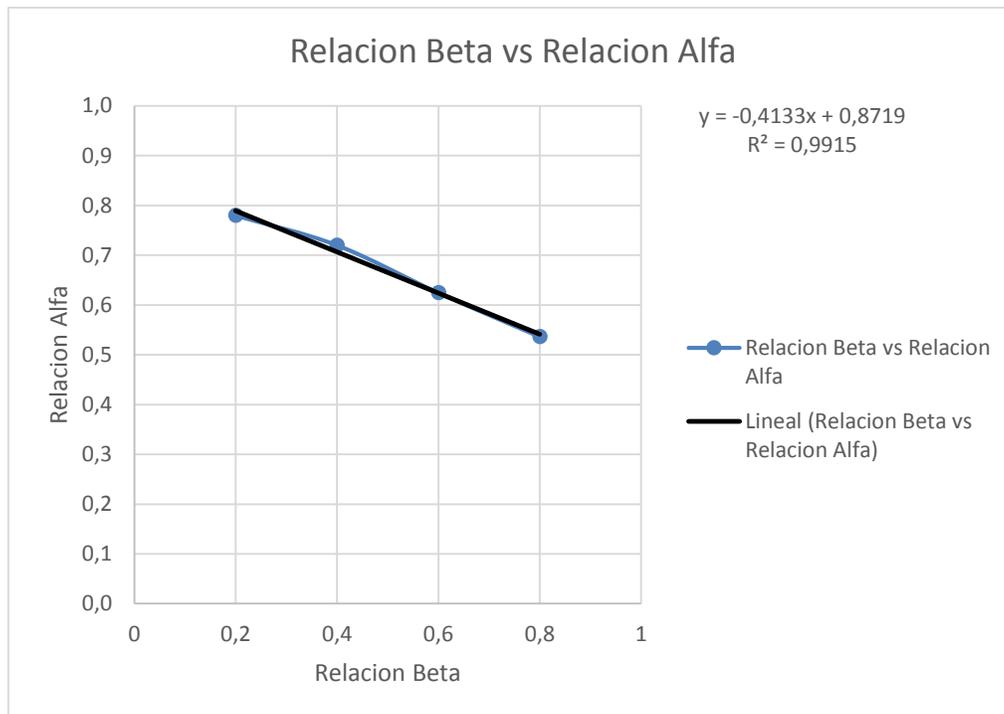


GRAFICA 4.5. Relación Beta vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental

Para esta primera tanda experimental, donde se varió la relación de agregados en 20% se observa en la gráfica 4.5 que a medida que el valor del parámetro beta aumenta, es decir la cantidad de arena aumenta en la dosificación y se disminuye la cantidad de agregado grueso proveniente de arcillas expandidas, la resistencia tiende a aumentar, en los valores de beta más bajos aumenta paulatinamente, y entre el 40% y 60% aumenta de forma exponencial la resistencia, esto puede obedecer a que al aumentar la cantidad de agregados fino, se ocupan mejor los vacíos, pero también se debe a lo que se demuestra en la gráfica 4.7, que existe una relación entre ambos parámetros, y es que mientras el parámetro beta disminuye el parámetro alfa también lo hace, y como se observa en la gráfica 4.6 a valores de alfa más bajo se generan mayores resistencias, esto se debe a que al aumentar la relación agua/cemento disminuye la compacidad de la pasta de cemento.

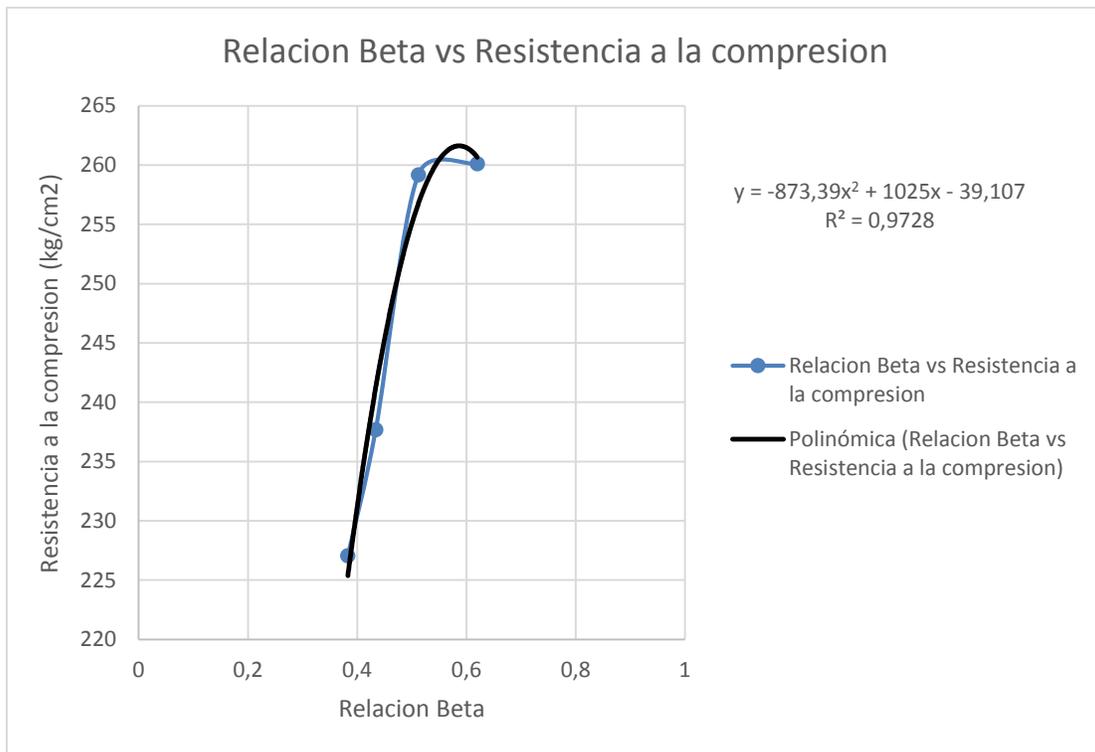


GRAFICA 4.6. Relación alfa vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental

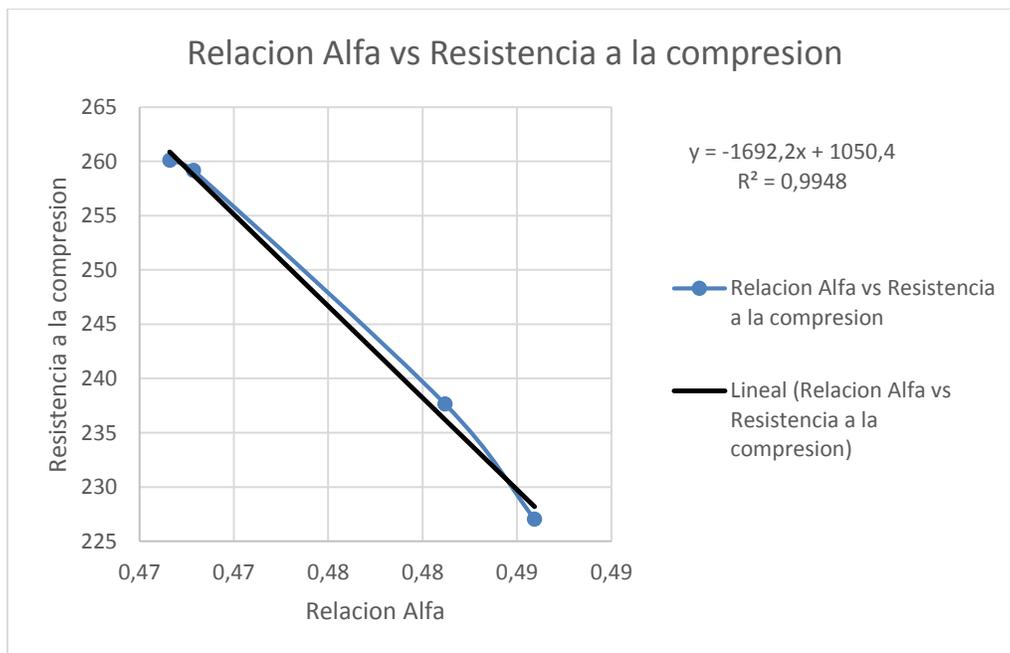


GRAFICA 4.7. Relación Beta vs Relación Alfa primera tanda experimental

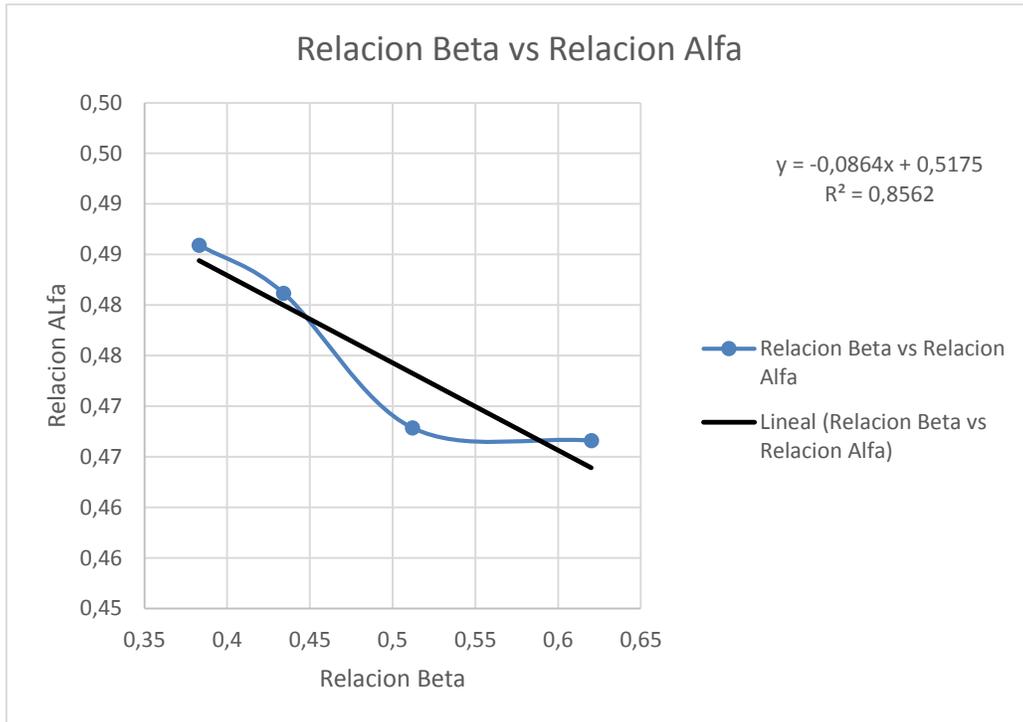
Para la tercera tanda experimental se trabajó con variación β , solo en función del agregado fino y en un rango más corto de trabajo, teniendo valores de beta entre 40% y 60% aproximadamente. Graficando las mismas relaciones de la tanda anterior obtenemos:



GRAFICA 4.8. Relación Beta vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental



GRAFICA 4.9. Relación alfa vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental

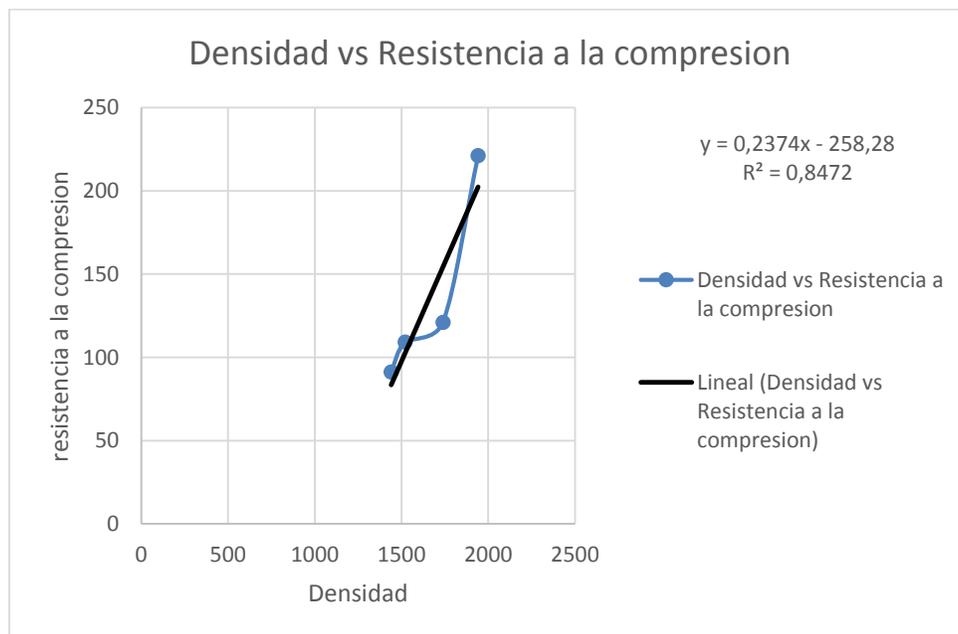


GRAFICA 4.10. Relación Beta vs Relación Alfa tercera tanda experimental

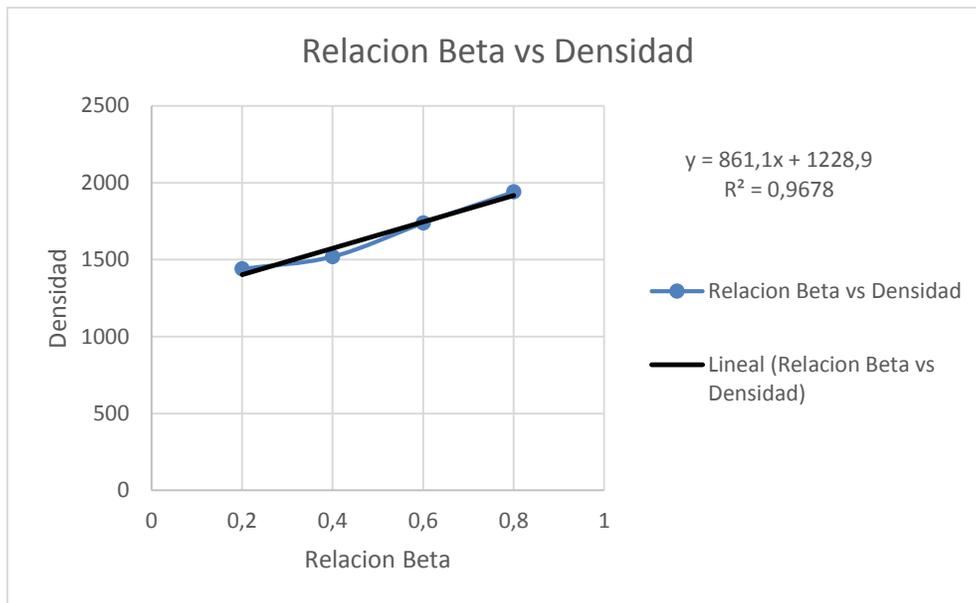
Con las gráficas 4.8, 4.9 y 4.10, se observa un comportamiento similar al de la primera tanda experimental; inclusive en la gráfica 4.8 se observa como la tensión a la compresión aumenta de forma significativa entre el 40% y el 60% (lo mismo observado en la primera tanda experimental).

4.4.- Relación entre la densidad del concreto endurecido y las tensiones a compresión

Se observa un comportamiento de esperar, según la gráfica 4.11 la resistencia a la compresión aumenta a medida que la densidad de la mezcla aumenta, lo cual es lógico al relacionar con la gráfica 4.12 donde se aprecia que a medida que la relación β aumenta, la densidad del concreto aumenta y teniendo en consideración las gráficas Relación Beta vs Relación Alfa donde a menor valor de beta, menor valor de alfa, se obtiene que a menor relación agua/cemento la densidad aumenta, es decir a mayor densidad, mayor resistencia y menor debe ser la relación α . En la primera tanda experimental se obtuvieron las siguientes graficas:

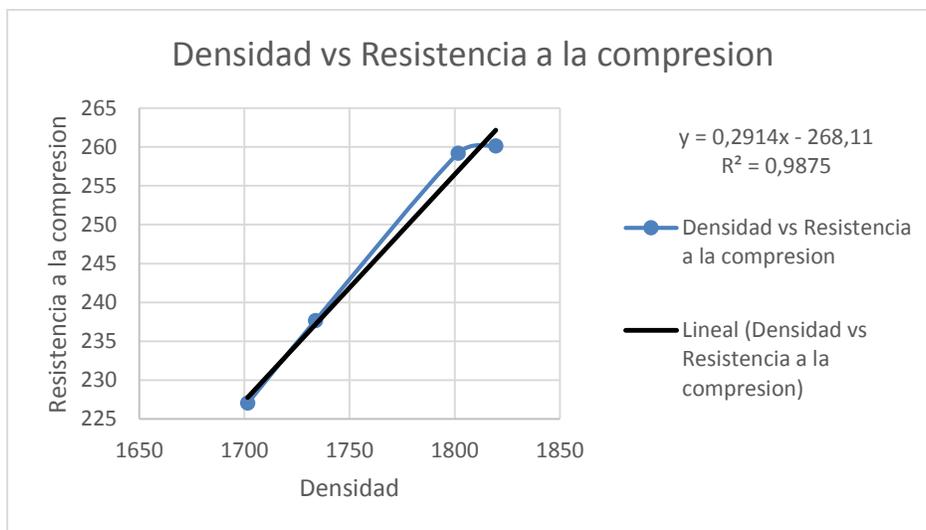


GRAFICA 4.11. Densidad vs Resistencia a la compresión primera tanda experimental

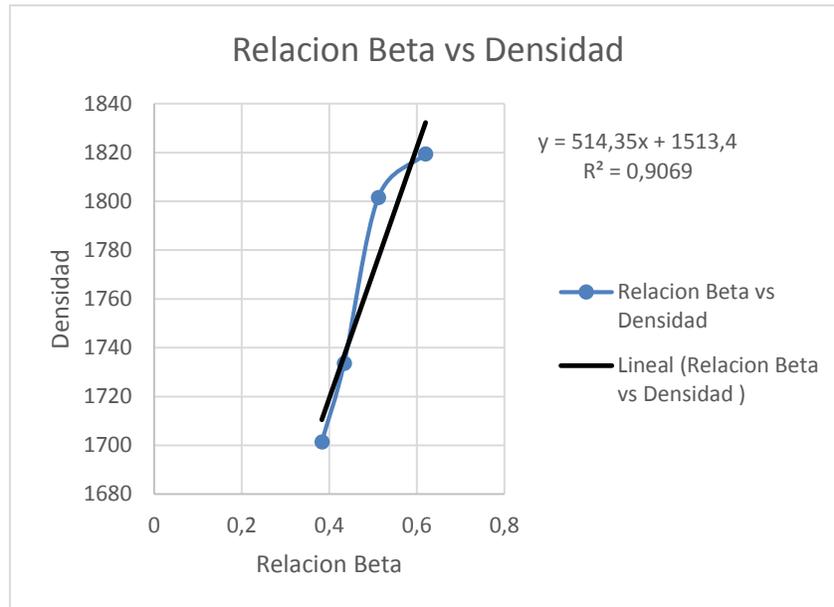


GRAFICA 4.12. Relación Beta vs Densidad primera tanda experimental

Para la tanda experimental número tres (3), obtuvimos las siguientes graficas con un comportamiento similar, en este caso la gráfica 4.14 se observa que la densidad en función del beta aumenta pero con una pendiente más inclinada, esto se debe a que en este caso solo se varió la porción de agregado fino, manteniendo constante el peso del agregado grueso.



GRAFICA 4.13. Densidad vs Resistencia a la compresión tercera tanda experimental



GRAFICA 4.14. Relación Beta vs Densidad tercera tanda experimental

4.5.- Parámetros requeridos para una dosificación óptima de un concreto estructural de baja densidad

Una dosificación óptima en un concreto de baja densidad, debe contar con una serie de condiciones que permitan manejar la dosis de manera eficaz y eficiente; Cabe destacar que en este trabajo de grado, al referir $F'c$ está siendo acotada una resistencia deseada en los cilindros; en este sentido, no está siendo referida la resistencia nominal de un proyecto; Entonces, si se desea relacionar con valores nominales de proyecto; hay que tomar en cuenta la resistencia promedio requerida (Resistencia característica- F_{cr}), Según el Manual del Concreto Estructural, se calculó con la siguiente fórmula para concretos con $F_c \leq 350$ kgf/cm²:

$$F_{cr} = F_c + Z\phi$$

Donde Z se refiere a una variable tipificada en la distribución normal y se selecciona con arreglo al cuantil deseado, en este caso se tomó como cuantil el

9%, por lo que el valor de Z es 1.34; Mientras que el valor de ϕ , se refiere a la desviación estándar y se tomó un valor de 25 kgf/cm² por el nivel de control. Con lo que la formula quedo de la siguiente manera

$$F_{cr} = F_c - 33.5$$

Tanda experimental	COD	Fcr	Fc	Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)
1	$\beta=80\%$	210	177	221
2	A	210	177	211
3	1	250	217	260
3	2	250	217	259
5	M3	315	282	310
5	M4	315	282	313

TABLA 4.36. Muestras que cumplen con la resistencia

Estas muestras cumplen, ya que como se observa el valor de resistencia a la compresión es mayor que el Fc de cálculo y por lo tanto cumplen con el Fcr de diseño. A continuación se presentan las tablas con las dosificaciones para cada una de estas muestras, dosificaciones expresadas en kg/m³ y en Kg/Saco de cemento.

4.5.1.- Primera tanda experimental, mezcla $\beta=80\%$

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relación Alfa	Relación Beta	Densidad (kg/m ³)
Kg/m ³	425	1100	275	210	-	0.55	0.8	1941
Kg/Saco de cemento	10	110	28	21	-			

Tabla 4.37. Primera dosificación

4.5.2.- Segunda tanda experimental, mezcla A

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relación Alfa	Relación Beta	Densidad (kg/m ³)
Kg/m ³	510	700	350	230	2.5	0.52	0.67	1838
Kg/Saco de cemento	12	58.3	29.2	19.2	0.208			

Tabla 4.38. Segunda dosificación

4.5.3.- Tercera tanda experimental, mezcla 1

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relacion Alfa	Relacion Beta	Densidad (kg/m ³)
Kg/m ³	510	570	360	210	-	0.49	0.62	1819
Kg/Saco de cemento	12	47.5	30.0	17.5	-			

Tabla 4.39. Tercera dosificación

4.5.4.- Tercera tanda experimental, mezcla 2

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relacion Alfa	Relacion Beta	Densidad (kg/m ³)
Kg/m ³	510	379	360	210	-	0.5	0.38	1701
Kg/Saco de cemento	12	31.6	30.0	17.5	-			

Tabla 4.40. Cuarta dosificación

4.5.5.- Quinta tanda experimental, mezcla M3

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relacion Alfa	Relacion Beta	Densidad (kg/m ³)
(kg/m ³)	595	605	530	210	2.06	0.5	0.53	1835
Kg/Saco de cemento	14	43.2	37.9	15.0	0.147			

Tabla 4.41. Quinta dosificación

4.5.6.- Quinta tanda experimental, mezcla M3

	Cemento	Arena	Aliven	Agua (litros)	Aditivo (litros)	Relacion Alfa	Relacion Beta	Densidad (kg/m ³)
(kg/m ³)	595	605	530	210	2.22	0.5	0.53	1840
Kg/Saco de cemento	14	43.2	37.9	15.0	0.159			

Tabla 4.42. Sexta dosificación

Ahora bien, aunque todas cumplen con parámetros de resistencia y densidad, se optó por desechar las siguientes muestras:

- Primera tanda experimental, mezcla $\beta=80\%$

- Tercera tanda experimental, mezcla 1
- Tercera tanda experimental, mezcla 2

Básicamente por dos motivos, el primero es que se usa cemento CPCA1, el cual si es cierto que en estos ensayos tuvo buena resistencia, no posee las mismas condiciones que un cemento tipo 1 normal, el segundo motivo por el que se desechan es que no se usó aditivo en estas mezclas, y es conocido que en obra se usaran aditivos para mejorar las propiedades plastificantes del concreto.

Por lo que se plantean como alternativas a una dosificación optima las tres mezclas restantes ya que cumplen con todos los parámetros necesarios para ser una dosis optima de concreto de baja densidad; La densidad está por debajo de los 1900 kg/m^3 , poseen altas resistencias, en estado fresco ambos concretos tuvieron buen comportamiento y al momento del ensayo no presentaron un tipo de falla frágil.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Un concreto estructural de baja densidad, debe contar con un beta mayor al 40%, con lo que se confirma que a medida que aumenta la dosis de arena; la resistencia aumenta, sin embargo la proporción de finos no debe superar el 80% por motivos de densidades.
- Los valores de beta y alfa guardan una relación entre sí, ya que al aumentar la relación β , sucede que la relación alfa disminuye
- El concreto de baja densidad disminuye la densidad en un 30%, lo que se traduce de forma general en una disminución estimada de este valor en el caso de miembros y elementos constituidos por este material y aun así alcanza buenas resistencias.
- En términos generales, el comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión y la densidad del concreto fue satisfactorio, sin embargo dependiendo de su uso en las obras civiles, deberán evaluarse otras propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad
- Aunque es posible lograr resistencia mayores o iguales a 300kgf/cm^2 con este material, debe tenerse en cuenta que las densidades podrían ser un problema, por lo que hay que tener especial precaución con la adición del agregado fino; en este sentido se plantearon tres alternativas para un diseño de mezcla que cumple con todos los parámetros.
- Para densidades menores a los 1700 Kg/m^3 , se observa que las muestras no alcanza la resistencia requerida, es decir cumplen como concreto de baja densidad, pero no se puede usar estructuralmente.

- Las probetas cilíndricas ensayadas, presentaron diversos tipos de falla, siendo el más común por fractura o falla del grano del agregado y no por dislocación.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Este trabajo tuvo como objeto manejar una serie de variables que permitieran definir criterios para iniciar la profundización en el tema; por esta razón, es necesario mantener estudios focalizados en pocas variables y mayor cantidad de muestras de manera que puedan ser confirmados los valores desde un punto de vista estadístico.
- Estudios en conjunto con el fabricante, con una granulometría bien gradada y no monogranular, para obtener información de resistencias y segregación del material.
- Dado que el módulo de elasticidad es el parámetro de cálculo por excelencia en el caso de concretos con densidades normales y que en el caso de concretos de densidad baja, el factor a utilizar como referencia es la densidad; se recomienda evaluar la relación entre el módulo de elasticidad, densidad y variación del contenido de fino.
- El estudio del comportamiento a flexión en elementos, así como la adherencia con el acero también son aspectos necesarios a evaluar
- En lo que se refiere al manejo en obra el control adecuado puede ser establecido con la consistencia medida mediante el cono de Abrams y la densidad en estado endurecido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Balestrini M. (1987) *Como se elabora el proyecto de investigación*. Editorial Trillas. México.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Comité ACI 318. USA 2005.

COMISIÓN DE MATERIALES DEL COMITÉ ESPAÑOL DEL C.E.B.
Recomendaciones para hormigones estructurales de áridos livianos.

COVENIN-MINDUR 1753:2006 *Proyecto y Construcción De Obras De Concreto Estructural*. Caracas: Fondonorma.

COVENIN-MINDUR 1976:2003 *Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayos*. Caracas: Fondonorma.

Llorens, V. (2012) *Hormigón ligero, aspectos técnicos y estéticos*. CEMEX.

Martinez, D. *Tesis: Concreto Liviano Estructural Con Arcilla Expandida Termicamente Extraída De Canteras Localizadas En El Sur De La Sabana De Bogota*. Colombia 2010.

Mehta, K y Monteiro, P. (2002) *Concreto, Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México.

Neville, A y Brooks, J. (2010) *Tecnología del concreto*. Segunda edición.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., Velazco, G., (2012) *Manual de Concreto Estructural según la norma COVENIN 1753:03*. Sidetur, Caracas.

Hernandez, R., Fernandez, C. y Bastidas, M. (2014) *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill, México.

Sanchez, D. (2001) *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Biblioteca de la Construcción. Bhandar Editores. Bogotá.

Valarino E., Yever, G. y Cemborain M. (2015) *Metodología de la investigación paso a paso*. Editorial Trillas. México.