ANÁLISIS DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO ADITIVO PARA ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES

INVESTIGADOR PRICIPAL: Ing. ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ

AUXILIARES DE INVESTIGACION:

ANGELICA MARIA GIL VIVAS

PAOLA ANDREA RIVERA MEDINA

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

2015

ANÁLISIS DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO ADITIVO PARA ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Investigador principal

ADAN SILVESTRE GUTIERREZ

Auxiliares de investigación

ANGELICA MARIA GIL VIVAS

PAOLA ANDREA RIVERA MEDINA

Proyecto de investigación

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

2015

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6
2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA 7
2.1 PLANTEAMIENTO 7
3. JUSTIFICACIÓN 9
4. OBJETIVOS 10
4.1 OBJETIVO GENERAL 10
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 10
5. HIPOTESIS 11
6. MARCOS 12
6.1 MARCO REFERENCIAL: 12
6.2 MARCO TEÓRICO: 16
6.3 MARCO CONCEPTUAL: 23
6.4 MARCO DE LOCALIZACIÓN: 25
6.5 MARCO TEMPORAL: 25
6.6 MARCO LEGAL: 25
7. MATERIALES Y METODOLOGÍA 26
7.1 MATERIALES: 26
7.2 METODOLOGÍA: 27
7.2.1 Tipo de investigación. 29
7.2.2 Diseño de experimentos: 29
7.2.3 Población de estudio y muestra 30
7.2.4 Recolección de la Información: 30
8. DESARROLLO 31
8.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS 31
8.1.1 Granulometría 31
8.1.2 Índice de alargamiento y aplanamiento 34
8.1.3 Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles 38

8.1.4 Masas Unitarias 41
8.1.5 Densidad Específica y Porcentaje de Absorción 43
8.2 DOSIFICACIÓN: 50
8.2.1 Selección del asentamiento 52
8.2.2 Chequeo del tamaño máximo nominal 52
8.2.3Estimacion del agua de mezcla 53
8.2.4 Determinación de la resistencia de dosificación. 53
8.2.5 Selección de la relación Agua/Cemento. 54
8.2.6 Contenido de Cemento. 55
8.2.7 Contenido de agregados. 55
8.2.8 Calculo de proporciones 56
8.3 REALIZACIÓN MUESTRAS 58
8.4 RESULTADOS 65
9. CONCLUSIONES 70
BIBLIOGRAFIA 72
ANEXOS 75

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO 36
TABLA 2. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES....41
TABLA 3. DENSIDAD ESPECIFICA GRAVA Y % ABSORCIÓN 45
TABLA 4. DENSIDAD ESPECÍFICA Y % ABSORCIÓN ARENA 49
TABLA 5. ASENTAMIENTO RECOMENDADO....52
TABLA 6. CONTENIDO DE AGUA POR M CÚBICO DE CONCRETO, SEGÚN EL ASENTAMIENTO Y EL TMN 53
TABLA 7. DISEÑO DE MEZCLA MUESTRA ESTÁNDAR 56
TABLA 8. DIMENSIONES CILINDRO ESTÁNDAR 56
TABLA 9. PROPORCIONES POR CILINDRO MUESTRA ESTÁNDAR. 56
TABLA 10. PROPORCIONES POR CILINDRO MUESTRA 3% POLIESTIRENO EXPANDIDO 57
TABLA 11. PROPORCIONES POR CILINDRO MUESTRA 6% POLIESTIRENO EXPANDIDO 57
TABLA 12. PROPORCIONES POR CILINDRO MUESTRA 9% POLIESTIRENO EXPANDIDO 57
TABLA 13 RESISTENCIAS CILINDROS 0% ICOPOR 66
TABLA 14 RESISTENCIAS CILINDROS 3% ICOPOR 66
TABLA 15 RESISTENCIA CILINDROS 6% ICOPOR 66
TABLA 16 RESISTENCIAS CILINDROS 9% ICOPOR 67
TABLA 17 TABLA GENERAL RESULTADOS OBTENIDOS....67

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1.ESFUERZO DEFORMACIÓN OBTENIDAS EN LA INVESTIGACIÓN PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO LLEVADA A CABO EN MÉXICO. 16
GRAFICA 2 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO....32
GRAFICA 3. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 32
GRAFICA 4. RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN VS RELACIÓN AGUA/CEMENTO 54

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN 1. CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO 35
IMAGEN 2. CALIBRADOR DE APLANAMIENTO. 35
IMAGEN 3. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES 39
IMAGEN 4. MATERIAL DESCARGADO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES 40
IMAGEN 5. TAMIZADO MATERIAL DESCARGADO 40
IMAGEN 6. MOLDE CON ARENA....41
IMAGEN 7. MUESTRA SUMERGIDA EN AGUA 24 H....44
IMAGEN 8. PESO MUESTRA EN ESTADO SATURADO 44
IMAGEN 9. MUESTRA EN RECIPIENTE METÁLICO 45
IMAGEN 10. ENSAYO MOLDE CÓNICO NO HAY HUMEDAD LIBRE 47
IMAGEN 11. PICNÓMETRO CON AGUA DESTILADA 47
IMAGEN 12. AGITADOR MECÁNICO....48
IMAGEN 13. PICNÓMETROS EN REPOSO 48

IMAGEN 14. MOLDES DE HIERRO PARA CILINDROS....58
IMAGEN 15 AGREGADO FINO PARA MEZCLA....59
IMAGEN 16 AGREGADO GRUESO PARA MEZCLA....59
IMAGEN 17 PERLAS DE POLIESTIRENO (ICOPOR) PARA MEZCLA....60
IMAGEN 18 CEMENTO DE MEZCLA....60
IMAGEN 19 CEMENTO DE MEZCLA....61
IMAGEN 20 MEZCLA CON ICOPOR....61
IMAGEN 21 ENSAYO CONO DE ABRAMS....62
IMAGEN 22 VIBRACIÓN DE LA MEZCLA EN MOLDES....62
IMAGEN 23 CILINDROS DE CONCRETO EN LOS MOLDES....63
IMAGEN 24 CILINDROS DE CONCRETO EN PROCESO DE CURADO....63
IMAGEN 25 CILINDROS DE CONCRETO EN PROCESO DE CURADO....64
IMAGEN 26 MAQUINA ENSAYO A COMPRESIÓN....65
IMAGEN 27 TIPOS DE FALLAS CILINDROS DE CONCRETO....65
IMAGEN 28 CILINDRO FALLADO....68
IMAGEN 29 CILINDRO FALLADO....68
IMAGEN 30 CILINDRO FALLA TIPO 3....69
IMAGEN 31 CILINDRO FALLA TIPO 3....69

1. INTRODUCCIÓN

La siguiente propuesta de investigación tiene como objetivo general el análisis del uso del poliestireno expandido (icopor) como material aligerante dentro de mezclas de concreto, buscando estructuras más livianas y una mejora en sus propiedades que cumplan con los parámetros de sismo-resistencia establecidos en la Norma Colombiana NSR-10.

La investigación plantea la implementación del poliestireno expandido en el concreto por ser un material que posee una masa liviana debido al gran volumen de aire encerrado en su estructura (98% de aire y 2% de material solido)[1] generando una gran capacidad de aislamiento térmico, un bajo coeficiente de conductividad térmica, e impermeable a los líquidos. Además del bajo peso del poliestireno expandido se destacan sus propiedades físico-mecánicas, lo cual presenta una adecuada resistencia a la compresión, corte, flexión, tracción y una buena elasticidad; propiedades que son compatibles con los presentados en las mezclas de concreto buscando así una posible mejora en sus parámetros físicos-mecánicos.

En la actualidad se lleva a cabo un proceso industrial basado en la investigación "Compuesto de yeso e icopor en morteros para la construcción de casas populares" [2] realizado en la ciudad de Natal-Brasil en el año 2008, que apoyan la posibilidad de trabajar con estos materiales, demostrando que este material es aplicable a la construcción de estructuras.

[1] BASF- The Chemical Company.
[2] Macedo, M C; Compuesto de yeso e icopor para la construcción de casas populares; Natal - Brasil (2011)

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La investigación se desarrolla debido a las problemáticas planteadas en los siguientes ítems

2.1 PLANTEAMIENTO

Los sismos son fenómenos naturales cuya ocurrencia es imposible de predecir así como su magnitud y la forma en que afectara las estructuras sobre las cuales se desarrolla el día a día de las personas.

La ciudad de Pereira está situada sobre fallas geológicas, las cuales se encuentran activas según lo indica Tatiana Arias Sánchez en su artículo titulado “Más de 30 fallas geológicas cruzan por Risaralda”.

Tras el terremoto del año 1999 la Corporación Autónoma Regional CARDER llevó a cabo un estudio sobre los efectos de dichas fallas, El Director de la misma, explicó durante una entrevista dada en el programa La Ventana de Caracol Radio que “esas fallas provocan los permanentes temblores leves que se han presentado después del gran evento sísmico y no se descarta que pueda volver a ocurrir otro terremoto de mayor intensidad en cualquier momento”

Otra destacable opinión es la de Mario Delgado, ingeniero civil especialista en construcción, quien afirma que, “Las edificaciones que no sufrieron grandes daños en el terremoto del 99 no se pueden comparar con las construcciones desde el año 2000 que fueron construidas de acuerdo con la norma NSR-98. La ciudad del 99 hacia atrás tiene un porcentaje alto de estructuras fallidas, el mismo sismo del 99 las debió dejar ya afectadas porque muchos no tuvieron una reconstrucción estructural”, esto indica que las construcciones del año 2000 hacia atrás

representan un gran riesgo para las personas que las ocupan y desarrollan su vida alrededor de estas.

Un estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina titulado *EL TERREMOTO DE ENERO DE 1999 EN COLOMBIA: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero* indica que durante el terremoto del 99 en el municipio de Pereira hubo un total de 6,500 personas afectadas entre las cuales 380 heridos y 30 muertos, además de 8,761 viviendas afectadas, dentro de estas el número de viviendas dadas por pérdida total y que quedaron inhabitables fueron 2,453, teniendo en cuenta que en ese año el número total de viviendas era de 89,123 se considera alarmante el hecho de que el 10% de las viviendas se hayan visto afectadas sabiendo que el sismo tuvo su epicentro en el departamento del Quindío.

Por esto, se hace necesaria la implementación de mejoras en los métodos de construcción que ayuden a mitigar los posibles efectos que conlleva un sismo de gran magnitud como los que se pueden presentar en la ciudad de Pereira.

3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario analizar un método de aligerar las construcciones que se implementen en la región del Eje Cafetero, específicamente en la ciudad de Pereira, para así lograr disminuir los efectos y riesgos a los que se ven expuestas las personas, producidos por los sismos.

Siendo el poliestireno expandido un material económico, este proyecto se enfoca en el análisis de la viabilidad del uso de este material como aditivo en las mezclas de concreto, para esto es necesario comparar las resistencias del concreto con el aditivo contra un concreto de mezcla tradicional contemplado en la norma NSR-10 y así poder definir su aplicabilidad.

En términos económicos al emplear un concreto aligerado pero con igual resistencia reduce el costo en términos de transporte además por ser un material más ligero, se disminuye el tiempo que deben implementar los operarios a la hora de la construcción y así mismo disminuye los requerimientos estructurales que se deben aplicar a la edificación.

Además en términos sociales este tipo de material aligerante puede ser una alternativa a la construcción de viviendas de interés social debido al hecho de la disminución del costo, aumentando la posibilidad de este tipo de proyectos en la ciudad.

4. OBJETIVOS

Los siguientes son los objetivos de la investigación.

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento de mezclas de concretos con poliestireno expandido, con el fin de aplicarlas en la reducción de las cargas muertas en estructuras y obtener simultáneamente un ahorro en el costo de las mismas.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la variación del peso en las mezclas de 3%, 6% y 9% con respecto a una mezcla normal.

- Determinar la variación de una mezcla de concreto con 3% 6% y 9% del peso vs resistencia con la adición de poliestireno expandido.

5. HIPOTESIS

Con el poliestireno expandido (icopor) se va a aligerar el concreto para obtener una mejora en las propiedades de la mezcla, además de cumplir los parámetros de resistencia estipulados en la norma NSR-10 para un concreto estructural.

6. MARCOS

6.1 MARCO REFERENCIAL:

En el ámbito de la construcción se han desarrollado durante varios años investigaciones con el fin de buscar una notable mejoría en las propiedades físico mecánicas del concreto; en la ciudad de Natal Brasil Macedo M C realizó la investigación "*Compuesto de yeso e icopor para la construcción de casas populares"*[3] con el objetivo de analizar la combinación de diferentes materiales para producir un único dispositivo con mejores propiedades; con lo cual se concluyó que es viable utilizar el hormigón ligero como material de construcción debido a que cumple con los parámetros establecidos para la resistencia a la compresión y la conductividad térmica, además de ser un material más económico que los convencionales utilizados en dicho país.

También hay enfoques en el análisis de materiales naturales que mejoran las propiedades del concreto como lo estipulan Quintero García Sandra & Gonzales Salcedo Luis, quienes desarrollaron la investigación "*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con el fin de evaluar las propiedades mecánicas del concreto mezclado con fibra de estopa de coco"*[4], determinando así un aumento en la resistencia a compresión, flexión baja deformaciones según el porcentaje en volumen y las longitudes de la fibra según los diseños de mezclas estipulados logrando una mejora en las propiedades del material. Jiménez Bohórquez Jonny en su trabajo de grado "*Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique)"*[5]se enfocó en la determinación de los cambios en las propiedades mecánicas

[3] MACEDO, M C. Compuesto de yeso e icopor para la construcción de casas populares. Natal – Brasil, 2011.
[4] QUINTERO GARCÍA, Sandra y GONZALES SALCEDO, Luis. Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Cali – Colombia, 2006.
[5] JIMÉNEZ BOHÓRQUEZ, Jhonny. Bogotá D.C. Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique); 2011.

del concreto mediante la adición de materiales alternativos como la fibra de fique; obteniendo como resultado una mejora en la resistencia a la flexión del material, pero produciendo una reducción en la resistencia a la compresión de las mismas muestras.

Otro tipo de investigación planteó la utilización de material artificial anexando la función de agregado aligerante alternativo como el de polietileno y poliestireno muy empleados en los procesos industriales, un ejemplo de esto son las investigaciones planteadas por la Universidad de Guadalajara "*Determinación de la resistencia a la compresión de morteros aligerados elaborados con nano-compuestos espumados de polietileno de alta densidad reciclado y cemento portland el cual tuvo por objetivo utilizar las espumas de nano compuestos de polietileno de alta densidad/ montmorillonita, para reemplazar los agregados pétreos en morteros aligerados*"[6], *para este fin se elaboraron diferentes especímenes de prueba que fueron sometidos a diversos ensayos de compresión para comparar con los parámetros establecidos en la norma ASTM C109 que rigen en México. Con los resultados obtenidos se pudo concluir que "al adicionar una mayor cantidad de polímero, se reduce gradualmente la resistencia a la compresión del material. No obstante, el material se aligera sensiblemente*"[7].

Otra investigación es la desarrollada por López Ávila Mario Alfonso donde evaluó los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales; "*Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS (Poliestireno expandido) expuestos en medios simulados y reales en la cual se ejecutó un diseño experimental para evaluar los efectos de la sustitución de grava por MEPS (Poliestireno expandido mejorado) en las propiedades mecánicas y electroquímicas de los bloques de concreto aligerado; con dicho diseño se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión axial,*

[6] Universidad de Guadalajara; Determinación de la resistencia a la compresión de morteros aligerados elaborados con nano-compuestos espumados de polietileno de alta densidad reciclado y cemento portland; Cancún – México (2013)

[7] Universidad de Guadalajara; Determinación de la resistencia a la compresión de morteros aligerados elaborados con nano-compuestos espumados de polietileno de alta densidad reciclado y cemento portland; Cancún – México (2013)

velocidad de pulso ultrasónico, coeficiente de absorción capilar, potencial de corrosión y la velocidad de corrosión, *por lo tanto se define que el MEPS es un excelente material aligerante y que proporciona un menor porcentaje de absorción, siempre y cuando se realice un buen tratamiento térmico para su modificación*"[8].

Además se encontraron investigaciones relacionados a factores sísmicos que son de influencia en la zona objeto de esta investigación. Como la planteada por Monsalve Jaramillo Hugo & Vargas Jiménez Carlos: *"El sismo de Armenia, Colombia. Un análisis tele sísmico de ondas de cuerpo, observaciones de campo y aspectos sismo tectónicos con el fin de consolidar los estudios de sismología básica en el Eje Cafetero"*[9]; con esta investigación se pretende dar un parámetro de la actividad que presenta las fallas; además de un detallado mapa de las fallas de la región por la instalación de una red sismológica de carácter provisional que fue implementado para este fin.

También la investigación descrita por Carrillo León Wilmer Julián "*Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto con la finalidad de evaluar los periodos de vibración de viviendas típicas con muros de concreto, con el propósito de comparar dos técnicas de modelación que se utilizan en la práctica del diseño estructural; en la cual se implementaron diferentes técnicas de identificación para estimar los periodos de investigación. El procesamiento de la información consistió en un análisis de señales aleatorias estacionarias para obtener los espectros de densidad espectral, así como las correspondientes funciones de transferencia (en fase y amplitud) y de coherencia entre pares de señales. Para identificar las frecuencias naturales de vibración se utilizó tanto el espectro de potencia promedio y la función de transferencia como la de coherencia. A partir de los resultados obtenidos se concluyó que las dos*

[8] LÓPEZ ÁVILA, Mario Alfonso. Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales; Universidad Veracruzana (2013)
[9] MONSALVE JARAMILLO, Hugo y Vargas Jiménez Carlos; El sismo de armenia, Colombia. Un análisis tele sísmico de ondas de cuerpo, observaciones de campo y aspectos sismo tectónicos

metodologías numéricas estudiadas son aceptables para la modelación de viviendas de muros de concreto de baja altura"[10].

[10] CARRILLO LEÓN, Wilmer Julián. Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto; Bogotá - Colombia (2009)

6.2 MARCO TEÓRICO:

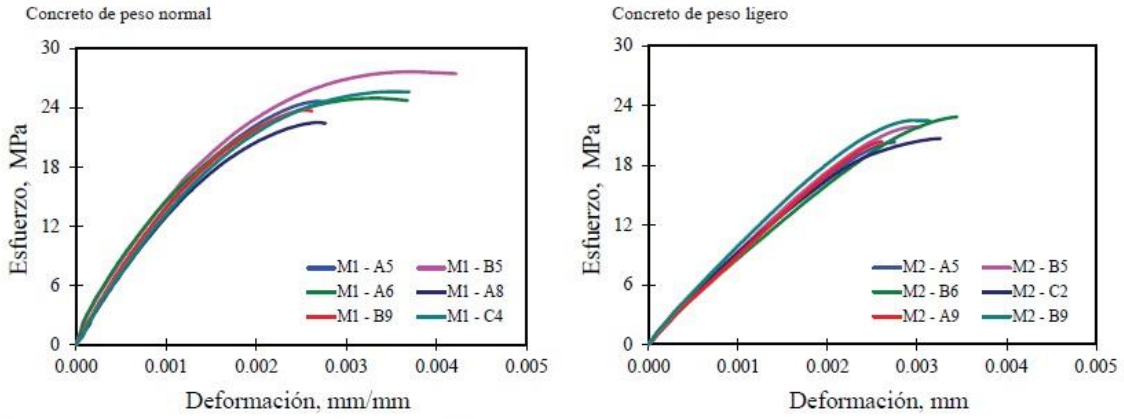
Determinación de la resistencia del concreto

Para una determinada mezcla de concreto es necesario determinar su resistencia a la compresión, y así estipular sus posibles aplicaciones y establecer si es factible o no su uso dentro de algunas obras.

Para determinar la resistencia última a la compresión del concreto es necesario graficar el diagrama de esfuerzo-deformación unitario que es obtenido a partir de la realización del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673).

El comportamiento del concreto sometido a compresión se caracteriza normalmente como resultado una línea recta dentro de la gráfica de esfuerzo-deformación, mostrando como punto más alto el esfuerzo último para dicho concreto, después de alcanzado dicho punto el concreto será capaz de seguir soportando cargas, sin embargo a partir de allí el comportamiento de la gráfica ya no presenta una tendencia lineal, presentando variaciones significativas, por lo que no es confiable aplicar cargas por encima de este punto.

Grafica 1.Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México.



Curvas características esfuerzo-deformación del concreto en compresión

Fuente: Tecnología del Concreto - Asocretos

Aditivos comunes del concreto

Un aditivo es un material diferente a los normales en la composición del concreto, es decir es un material que se agrega inmediatamente antes , después o durante la realización de la mezcla con el propósito de mejorar las propiedades del concreto, tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad, entre otras[11].

En la actualidad, muchos de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido, sólido, en polvo y pasta. Aunque sus efectos están descritos por los fabricantes, cada uno de ellos deberá verificarse cuidadosamente antes de usar el producto, pues sus cualidades están aún por definirse.

Los aditivos más comunes empleados en la actualidad pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Inclusores de aire: Es un tipo de aditivo que al agregarse a la mezcla de concreto, produce un incremento en su contenido de aire provocando, por una parte, el aumento en la manejabilidad y en la resistencia al congelamiento y, por otra, la reducción en el sangrado y la segregación.

2. Fluidizantes: Estos aditivos producen un aumento en la fluidez de la mezcla, o bien, permiten reducir el agua requerida para obtener una mezcla de consistencia determinada, lo que resulta en un aumento de la manejabilidad, mientras se mantiene el mismo revenimiento. Además, pueden provocar aumentos en la resistencia tanto al congelamiento como a los sulfatos y mejoran la adherencia.

3. Retardantes del fraguado: Son aditivos que retardan el tiempo de fraguado inicial en las mezclas y, por lo tanto, afectan su resistencia a edades tempranas. Estos pueden disminuir la resistencia inicial. Se recomienda para climas cálidos, grandes volúmenes o tiempos largos de transporte.

[11] SANTIAGO PATRICIO, Estela. Diferentes tipos de aditivos para el concreto; Coatzcoalcos - Venezuela (2011).

4. Acelerantes de la resistencia: Estos producen, como su nombre lo indica, un adelanto en el tiempo de fraguado inicial mediante la aceleración de la resistencia a edades tempranas. Además, pueden disminuir la resistencia final.

5. Estabilizadores de volumen: Producen una expansión controlada que compensa la contracción de la mezcla durante el fraguado. Se recomienda su empleo en bases de apoyo de maquinaria, rellenos y resanes.

6. Endurecedores: Son aditivos que aumentan la resistencia al desgaste originado por efectos de impacto y vibraciones. Reducen la formación de polvo.

Agregados

Los agregados también llamados áridos, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC-174. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen de una mezcla de concreto.

Agregado Fino

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una mezcla de esta, que pasa por el tamiz 9.51 mm (3/8) y queda retenido en el tamiz Nº 200 que cumple con los límites establecidos en la NTC 174.

Los agregados finos deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras, libres de materia orgánica y otras sustancias dañinas; lo cual es determinado

mediante los ensayos estipulados en la norma ASTM C40, así mismo debe estar graduado dentro de los limites dados en la norma NTC 174.

Agregado Grueso

El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, o escoria de alto horno enfriada al aire o una combinación de ellos, material que es retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la NTC 174.

Debe estar conformado por partículas limpias, de perfil preferiblemente angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferiblemente rugosa, además deben ser partículas químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, entre otras sustancias dañinas

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta por metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado Módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la mezcla debe cubrir totalmente la superficie de los agregados. Si se fractura una piedra, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

La textura del material, dice que tan lisa o rugosa es la superficie del material, es una característica ligada a la absorción, pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos, además que producen concretos menos plásticos.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la mezcla con cemento tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena).

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril optimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la mezcla del cemento.

Parámetros de Resistencia del Concreto[12]

La resistencia a compresión del concreto varía según los siguientes parámetros:

- La relación agua-cemento (a/c): Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

- Tamaño máximo del agregado: El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento de concreto.

- Condiciones de humedad durante el curado: El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad.

- Edad del concreto: El tiempo de curado del concreto es fundamental para garantizar que se eviten problemas en la resistencia proyectada del concreto, el tiempo óptimo está considerado en 28 días.

- Cantidad aditivo: El porcentaje de aditivo a agregar a la mezcla será relativo.

[12] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnologia del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

Un ensayo de resistencia debe ser el resultado del promedio de resistencia de 2 cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a los 28 días, el nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los siguientes requisitos:

a) Que los promedios aritméticos de todo los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia a la compresión, igualen o excedan el valor especificado para F`c (esfuerzo de diseño).

b) Que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia a la compresión (promedio de al menos dos cilindros), sea inferior a F`c en más de 3,5 MPa.

6.3 MARCO CONCEPTUAL:

- Proceso de producción del Icopor:

  "El poliestireno expandido es un polímero resultado de la polimerización del etileno, se produce normalmente con un peso molecular que se encuentra en el rango entre 200.000 y 500.000, pero puede ser mayor. Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Es más duro, fuerte y un poco más pesado que el de baja densidad, pero es menos dúctil. El poliestireno con peso molecular entre 3.000.000 y 6.000.000 es el que se denomina UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene). Con este material se producen fibras, tan fuertes, que pueden utilizarse para fabricar chalecos a prueba de balas"[13]. Existen tres procesos comerciales importantes empleados en la polimerización del HDPE: los procesos en disolución, en suspensión y en fase gaseosa.

  "Un sistema en polietileno ofrece una cantidad importante de ventajas sobre los sistemas convencionales como las pérdidas de carga por fricción mínimas, no es atacada en ninguna forma por la corrosión, ausencia de sedimentos e incrustaciones en su interior, flexibilidad, elasticidad, no mantiene deformaciones permanentes, peso reducido, longitudes mayores, lo cual reduce el número de uniones (menor costo) y reduce las posibilidades de fallas humanas en la instalación, fácil de transportar, larga vida útil, menor costo de adquisición e instalación, resistente a movimientos sísmicos, resistencia mecánica y ductilidad y resistente a bacterias y químicos[11].

- Dosificación de mezclas de concreto[14]:

  Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de

[13] Tecnología de los plásticos: Polietileno de alta densidad. Disponible en http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad.html; (2013)
[14] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que se habrá de emplear.

Para encontrar las proporciones más apropiadas, será necesario preparar varias mezclas de prueba, las cuales se calcularán tomando como base las propiedades de los materiales y la aplicación de leyes o principios básicos establecidos.

Los datos básicos para la dosificación son los siguientes: Características de los materiales disponibles (partiendo de una buena calidad, deben cumplir especificaciones de normas NTC), basados en ensayos de laboratorio (normas NTC):

-Cemento: Densidad, Masa unitaria suelta

- Agua: Densidad.

- Agregados: Análisis granulométricos de los agregados incluyendo el cálculo del módulo de finura, tamaño máximo nominal (según el árido), densidad aparente seca y porcentaje de absorción de los agregados, porcentaje de humedad de los agregados, masas unitarias sueltas.

- Aditivos: Densidad, características geométricas.

6.4 MARCO DE LOCALIZACIÓN:

Esta investigación se desarrollará en la ciudad de Pereira, departamento de Risaralda, por ser una zona de alto riesgo sísmico.

- Icopor (poliestireno expandido)
- Cemento: este material proviene de la empresa Cementos Argos localizada en el Km 2 Vía Panamericana. El cemento a utilizar es el Portland tipo 1
- Agregados: este material se obtendrá de la cantera de Combia ubicada en el Kilómetro 3 Vía Pereira - Marsella.

6.5 MARCO TEMPORAL:

La investigación será realizada en el año 2014

6.6 MARCO LEGAL:

La investigación está apoyada en las siguientes normas:

- La resistencia para el concreto estructural, así como sus demás parámetros requeridos en Colombia se encuentran estipulados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)
- EL procedimiento a seguir en la elaboración de mezclas y toma de muestras para la realización de cilindros de concreto está estipulado en la norma Icontec N° 550.
- Las especificaciones acerca de la realización del ensayo de compresión para concretos se encuentran en la norma Icontec N° 673.
- Las especificaciones para la realización de los ensayos correspondientes a materiales se encuentran en la norma STC-CMT.2.1.

7. MATERIALES Y METODOLOGÍA

7.1 MATERIALES:

- Icopor**:** Es un material plástico celular denominado poliestireno expandible. La base de este material es el etileno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, junto con agua y un agente de expansión, dando lugar a las perlas de poliestireno. Luego se moldea mediante un proceso que lo somete nuevamente a calor, inflando y soldando las perlas entre sí. Así se obtienen las espumas rígidas o bloques, o bien piezas de diferentes formas y tamaños. De esta manera se fabrican envases, piezas de embalaje, y muchos productos más[15].

- Cemento**:** El cemento es el material de construcción muy utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión (el material de construcción con la mayor resistencia por costo unitario), durabilidad, hidráulicas, acústicas y estética para una diversidad de aplicaciones de construcción. El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clinker, principal ingrediente del cemento, que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento[16].

- Agregados**:** Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso y fino.[16].

[15] Empresa Poli Norte. Disponible en http://www.polinorte.com/empresa.html; (2012)
[16] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

- El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

7.2 METODOLOGÍA:

1. Muestreo de los agregados: Primero se extrae la muestra del material, se busca que la muestra sea representativa de todo el material a utilizar para la elaboración del concreto.

2. Se procede con el secado, cuarteo y disgregado del material por lo que la muestra de arena y grava se dejan sobre una superficie plana extendidos sobre el suelo para que pierdan la humedad, de ser necesario usar horno. Una vez seca se revuelve la mezcla para homogeneizarla. Se separan porciones equitativas del material en cuartas partes, se busca que un cuarteo sea una representación compacta de las características de toda la muestra.

3. Caracterización de los agregados (Arenas y gravas): Por medio de los siguientes ensayos se procederá a la caracterización de los materiales a emplear

- Análisis granulométrico: En esta prueba se pasa el material por las mallas correspondientes, se registran los datos de los retenidos en cada malla y se procede a determinar el módulo de finura del material. Esta prueba permite determinar la composición por tamaños de las partículas que integran los materiales. Determinado por la norma STC CMT .2.1.

- Peso unitario o volumétrico: Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas de los materiales, es decir las relaciones masa-volumen en diferentes estados o condiciones de acomodo, ya sean naturales o

artificiales, así como coeficientes de variación volumétrica. Procedimiento en normativa SCT M.MMP.1.08/03.

- Humedad Natural: Esta prueba permite determinar el contenido de agua en los materiales, con el fin de obtener una idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento. La prueba consiste en secar una muestra del material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos.

- Masa específica arena (densidad) y absorción de agua: Estas pruebas permiten determinar las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en poros. Procedimiento en la norma SCT M-MMP-1-05/03.

4. Diseño de la mezcla[17]: En segunda instancia se procede al diseño de la mezcla que consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales que ya fueron analizados, para producir un concreto que satisfaga los requisitos estipulados.

4.1 Tamaño máximo del agregado: El tamaño máximo del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma de los elementos de concreto.

4.2 Asentamiento

4.3 El contenido de agua: Depende del tipo de revenimiento que se desea proporcionar además del tipo de agregado y los aditivos a incluir.

[17] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

4.4 Contenido de cemento: El contenido de cemento depende de la relación contenido de agua necesaria para proporcionar la resistencia buscada.

4.5 Contenido de grava y arena: Se estima con relación del tipo de agregado a emplear y el tamaño máximo de estos.

5. Elaboración de especímenes y pruebas de compresión simple: Se realiza para el control de las características de diseño a través del ensayo de compresión aplicado a cilindros hechos con las mezclas en una proporción de 1:2.

Una vez colado de los cilindros estos son desmoldados después de 24 horas, pesados y puestos en proceso de curado siendo sumergidos en agua hasta que estos alcanzan la edad para ser ensayados.

7.2.1 Tipo de investigación.

El proyecto que se está desarrollando se basa en un modelo de investigación experimental debido a que es necesario realizar las pruebas de resistencia de las mezclas a analizar y descriptiva por la confrontación de los resultados obtenidos con la normatividad vigente.

7.2.2 Diseño de experimentos:

Los factores de estudio para la investigación serán el porcentaje de icopor utilizado como aditivo y la resistencia del concreto a utilizar.

Para cada tratamiento definido Icopor/Resistencia se realizaran tres ensayos de flexión sobre el concreto y nueve ensayos de compresión, siendo requeridas tres probetas para cada momento de curado en la prueba de compresión (7dias, 14 días, 28 días).

Para determinar la magnitud de los factores a estudiar, así como la cantidad de estos se realizara una prueba piloto utilizando porcentaje de icopor en relación al

volumen de mezcla de 5% y 10% sobre una mezcla de concreto de resistencia media (210 Kg/cm2).

Las pruebas de concreto de ambos tratamiento se realizaran a los 7 días de curado, para así definir los porcentajes de icopor que serían factibles de utilizar, de igual manera se definirá la cantidad de tratamientos, a los que se aplicara el análisis completo.

7.2.3 Población de estudio y muestra

Variables del estudio:

- Resistencia concreto**:** esta variable es medida a través del ensayo de compresión de concreto, el parámetro obtenido se da en medidas de Psi y/o Kg/cm^2.

7.2.4 Recolección de la Información:

- **Fuentes primarias:** Las fuentes primarias se encuentran conformadas por los ensayos de laboratorio que se realizaron en las instalaciones de la Universidad Libre seccional Pereira, dichos ensayos se hacen bajo las normas STC-CMT.2.1, y sirven de base para establecer los datos de la resistencia y propiedades físicas de las mezclas de concreto aligerado con icopor de alta densidad.

- **Fuentes secundarias:** Las fuentes secundarias para el desarrollo de la investigación consta de: libros, bases de datos de investigaciones relacionadas con el tema del proyecto, páginas de internet, entre otros.

8. DESARROLLO

El concreto es un material capaz de soportar grandes esfuerzos a la compresión, esto depende tanto de sus propiedades físicas como sus propiedades mecánicas y químicas.

En lo general que se refiere a concretos este se caracteriza por su pasta endurecida, por la calidad de sus agregados, la mezcla entre pasta y agregados, y los cuales están ligados tan bien a las condiciones de curado de este.

La resistencia es una de las características con las cuales los concretos deben cumplir, en estos se encuentra la resistencia a la compresión, tracción, flexión y corte; los concretos presentan una alta resistencia a la compresión y muy poco a la tracción razón por la cual siempre se presta más atención a esta.

Para poder obtener un adecuado diseño de mezcla es importante tener en cuenta la calidad de los agregados que se utilizaran para esto; lo cual da pie a la realización de una serie de ensayos para así conocer los materiales con lo que se cuenta.

8.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

A continuación se presentan los parámetros exigidos en la norma INVIAS y NTC, que deben cumplir los agregados para la elaboración de mezclas de concreto.

8.1.1 Granulometría

Este ensayo se utiliza principalmente para determinar los tamaños de los agregados que serán utilizados en las mezclas de concreto. Los resultados se emplean para verificar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones requeridas para el diseño de las mezclas sea para agregado fino o grueso.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a los efectos producidos en la dosificación trabajabilidad, economía porosidad, etc.

Los agregados en una mezcla ocupan entre el 59% y 76% del volumen total del concreto, los cuales están constituidos por una parte fina que es la arena y una parte gruesa: la grava o piedra triturada.

Equipos requeridos:

- Balanza
- Tamices
- Tamizadora mecánica

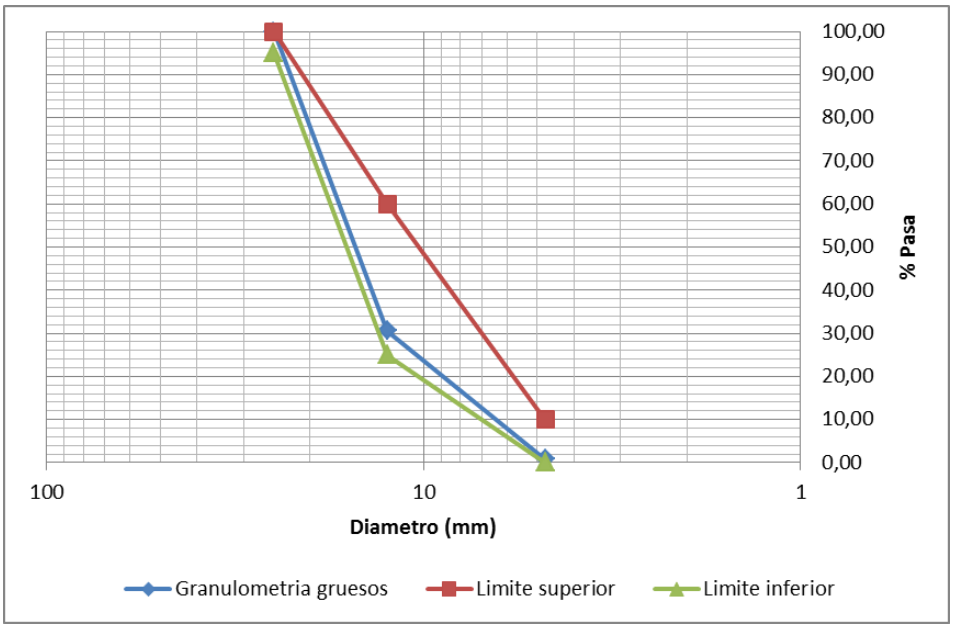
Por medio de este ensayo se realiza la caracterización de los agregados en función del tamaño de las partículas; con el objetivo de evaluar el grado de optimización de la cantidad de material en una mezcla de concreto.

Según los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 174 del 2000 (Especificaciones para los agregados de concretos), el material analizado debe tener la gradación necesaria para fabricar una mezcla de concreto adecuada.

Grafica 2 Granulometría agregado fino

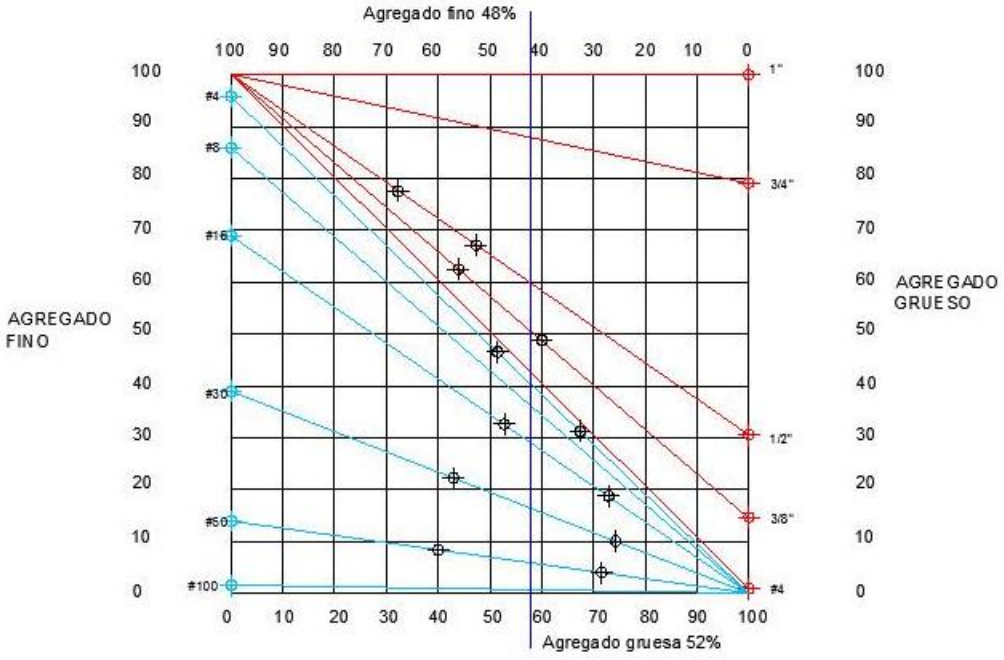
Fuente: Propia

Grafica 3. Granulometría agregado grueso



Fuente: Propia

Grafico 4 Determinación Porcentaje de Agregados.



Fuente: Propia

8.1.2 Índice de alargamiento y aplanamiento

Los agregados empleados en un diseño de mezcla deben cumplir con unas especificaciones y ensayos que garanticen su durabilidad y comportamiento, con el fin de saber qué porcentaje de ellos pueden ser utilizados como los componentes importantes de la estructura de un concreto[18].

Ambos ensayos de calidad del material y caracterización de los agregados, pueden definir qué cantidad de partículas sirven para aumentar la fricción y resistencia, en este caso el de caras fracturadas; o pueden disminuir estas propiedades, además de hacer al material difícil de manejar puesto que las partículas planas y alargadas son problemáticas debido a su poca durabilidad y a que dificultan la labor de compactación por su entregamiento pobre, de aquí el ensayo de Índice de Alargamiento (IL) e Índice de Aplanamiento (IA).

El ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento se referencia a la norma INV -E230, que determina las características morfológicas del material; las partículas analizadas cumplen con lo estipulado en el artículo 300 de la norma INVIAS.

El ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento tienen como fin separar las partículas largas y planas a través de cribas o ranuras que permitan la separación e identificación de dichos agregados; estas partículas, cumplen con una dimensión última: menor que 0.6 veces su dimensión promedio y mayores a 1.8 veces su dimensión promedio.

El porcentaje por peso de las partículas planas y alargadas se le designa con el nombre de índice de aplanamiento e índice de alargamiento.

Equipos

[18] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnologia del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

1. Calibrador de aplanamiento y alargamiento.

2. Tamices. 2 ½”; 2”, 1 ½”, 1”, ¾”; ½”; 83”; ¼”.

3. Bandejas

4. Cuarteador

5. Balanza. Sensibilidad de 0.1% el peso de la muestra que se ensaya.

Imagen 1. Calibrador de alargamiento

Fuente: Propia

Imagen 2. Calibrador de aplanamiento.

Fuente: Propia

Procedimiento:

Índice de aplanamiento:

1. Cada una de las muestras separadas se hace pasar por el calibrador de espesores en la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.
2. Pesar la cantidad de partículas de cada fracción, que pasaron por la ranura correspondiente, aproximación al 0.1% del peso total de la muestra de ensayo.

Índice de Alargamiento

1. Cada una de las muestras separadas se hace pasar por el calibrador de longitud por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.

2. Pesar la cantidad de partículas de cada fracción, retenida entre las dos barras correspondientes, aproximación al 0.1% del peso total de la muestra de ensayo.

Tabla 1. Índice de Alargamiento y Aplanamiento

Muestra	Masas muestras (gr)	Largas (gr)	Planas (gr)	IL (%)	IA (%)
1" - 3/4"	542,4	17,3	405,7	3,19	74,80
3/4" - 1/2"	1262,5	296,9	1118,8	23,52	88,62
1/2" - 3/8"	414,2	188	367	45,39	88,60
TOTAL	2219,1	502,2	1891,5	22,63	85,24

Fuente: Propia

8.1.3 Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles

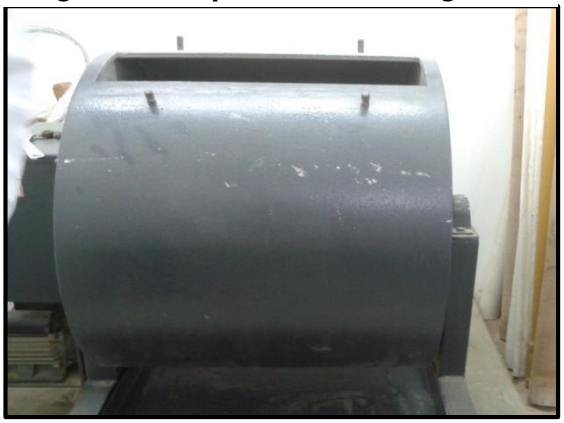
Este método es utilizado para determinar la resistencia de agregados naturales en especial triturado, para tal fin se emplea la máquina de los ángeles con una carga abrasiva con el fin de simular los efectos a los cuales estará sometido el material en futuras condiciones.

Este ensayo es conocido y ampliamente usado por que brinda como resultado un indicador de la calidad relativa de diferentes fuentes de agregados pétreos de condiciones mineralógicas muy similares, aunque no se brindan inmediatamente comparaciones válidas entre fuentes de diferentes composiciones mineralógicas, con lo que difiere de él origen, la composición y la estructura de cada material.

El equipo consta en términos generales de un tambor cilíndrico hueco de acero con su eje horizontal a un motor, el cual genera un movimiento rotacional sobre el mismo eje, el cual produce un desgaste forzado por la acción de esferas de acero sobre el material, de esta manera se establece el desgaste de la muestra, expresada como un porcentaje de la masa inicial de la muestra ensayada. Se toman las masas antes y después del proceso de desgaste, con esta diferencia es posible determinar el porcentaje de pérdida ante el desgaste a una carga abrasiva[19].

[19] SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnologia del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p

Imagen 3. Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia

Materiales y equipo

- Balanza: Que permita la determinación de la masa con precisión de 0,1%
- Horno: Que pueda mantener una temperatura constante de 110+-5°C.
- Tamices: Serie de tamices entre 37.5mm y 4.75mm.
- Máquina de los ángeles: La máquina para el ensayo de desgaste de los ángeles debe tener las características indicadas e la Figura 1 encontrada en la Norma INV E 218-07.
- Carga abrasiva: Depende directamente de la granulometría, se muestra en la Tabla 1 de la Norma INV E-218-07 y oscila entre valores de 5000g y 2500g

Procedimiento

1. La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los ángeles y se hace girar el cilindro a una velocidad entre 30 y 33 r.p.m hasta que completar 500 revoluciones.
2. Se descarga de material y se separa por tamices, tomando el valor más significativo de la muestra.
3. El material debe ser lavado si se presentan costras o bastante polvo
4. Se mide la masa del material seleccionado.

Imagen 4. Material descargado máquina de los Ángeles

Fuente: Propia

Imagen 5. Tamizado material descargado

Fuente: Propia

Resultados

Tabla 2. Máquina de los Ángeles

Masa Inicial	5000
Masa final	3981,5
Diferencia	1018,5

% Desgaste	20,37

Fuente: Elaboración Propia

8.1.4 Masas Unitarias

La determinación de las masas unitarias sueltas y compactas de los agregados son importantes debido a que se da a conocer el comportamiento de ellos en el momento en el cual serán usados como agregados para el concreto, gracias a este ensayo se logra saber cuánto más material se necesita para llenar los espacios vacíos que se encuentren en la mezcla. Para una buena elaboración de la mezcla de concreto es indispensable conocer el contenido de aire; esto se debe a que con un mayor contenido de aire la resistencia del concreto disminuirá notablemente.

El ensayo masas unitarias sueltas y compactas está referenciada en la norma NTC 92 en el cual se da a conocer el procedimiento de esta prueba.

Imagen 6. Molde con arena

Fuente: Propia

Equipo:

- Balanza
- Varilla de apisonamiento
- Molde

8.1.5 Densidad Específica y Porcentaje de Absorción

Densidad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso

Unas de las propiedades físicas importantes de los agregados es la densidad; de acuerdo con este ensayo se puede decir si el tipo de agregado con el que se cuenta, tiene poros saturables como no saturables, pues dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos, parcialmente saturados o cien por ciento saturados, generando así una serie de estados de humedad y densidad del material.

Equipo:

- Canastilla metálica
- Tanque con agua
- Dispositivo en suspensión
- Tamiz N° 4
- Grava sumergida en agua durante 24 horas

Procedimiento:

1. Se procede a hacer un cuarteo del agregado.
2. Se incorpora el agregado grueso en el tamiz N°4 eliminando todo el material pasante de este tamiz.
3. Se lleva la muestra al horno
4. Se deja enfriar la muestra y se retoma a pesarla
5. Se sumerge la muestra de prueba en agua durante un periodo de 24 horas.
6. Después del periodo de inmersión se debe secar la muestra con un pañito
7. Se determina el peso de la muestra en estado saturado
8. Se vierte la muestra en la canasta metálica
9. Se determina su peso sumergido en agua.
10. Se saca la muestra de la canasta y se lleva nuevamente al horno entre dos y tres horas.
11. Se determina nuevamente su peso

Imagen 7. Muestra sumergida en agua 24 h

Fuente: Propia

Imagen 8. Peso muestra en estado saturado

Fuente: Propia

Imagen 9. Muestra en recipiente metálico

Fuente: Propia

Resultados

Tabla 3. Densidad especifica grava y % absorción

A (gr)	2964,7
B (gr)	3000
C (gr)	1898,8

A= Masa en aire de la muestra
B= Masa en aire de la muestra saturada con superficie seca
C= Masa sumergida en agua de la muestra saturada

Gravedad especific bulk	2,69
Gravedad especifica bulk sss	2,72
Gravedad especifica aparente	2,78
% Absorcion	1,19

Fuente: Elaboración Propia

Densidad específica y porcentaje de absorción del agregado fino

Para un buen diseño de mezcla es necesario no solo conocer la densidad específica y el porcentaje de absorción del agregado grueso si no también el del agregado fino, debido a que estos se refieren a la forma de tomar el volumen del cuerpo de la mezcla, puesto que las partículas de los agregados para el concreto son porosas y la porosidad puede ser saturable o no saturable, lo que influye en el diseño de la mezcla y su durabilidad, factor muy importante de conocer.

La densidad aparente y específica también se usa en el cálculo de vacíos del agregado en la Norma NTC 92; para este ensayo es necesario seguir las especificaciones de I.N.V.E 222 – 07, que explican cómo se debe llevar a cabo este ensayo.

Material y equipo:

- Balanza
- Picnómetro
- Molde cónico
- Pisón

Procedimiento:

1. Se procede a lavar el material fino en un recipiente con agua y dejándolo durante 24 horas para asegurar que el material quede totalmente saturado.
2. Se toma la mitad de la muestra y se procede a secarla un poco, esto se puede hacer con la ayuda de paños o periódico; hasta quedar superficialmente seca.
3. Después de secado el agregado se realiza el ensayo con el cono.
4. Se introduce la muestra en el molde cónico, se apisona la muestra 25 veces dejando caer el pisón a más o menos 1cm de altura, esto se hace para comprobar si el material ensayo se encuentra superficialmente seco.

5. Se desmolda el molde cuidadosamente y si este se desmorona hasta más o menos 1/3 de la muestra, significa que alcanzado la condición que se requiere y no hay humedad libre.

Imagen 10. Ensayo molde cónico no hay humedad libre

Fuente: Propia

6. Se pesan los picnómetros solos y se toman los registros
7. Se llenan parcialmente los picnómetros con agua, y se pesa nuevamente.

Imagen 11. Picnómetro con agua destilada

Fuente: Propia

8. Inicialmente se llena con agua hasta un punto en el cuello entre las marcas 0 y 1 ml. Se registra la lectura inicial cuando el frasco y su contenido están a

una temperatura de 23 ± 1.7°C. Se añaden 100g de agregado. Después de introducir toda la muestra de agregado fino se pone el tapón en el frasco y se coloca en posición inclinada y se gira suavemente en círculos para eliminar el aire atrapado, hasta cuando no salgan burbujas de aire a la superficie. Se toma y registra la lectura final en el frasco.

Imagen 12. Agitador mecánico

Fuente: Propia

Imagen 13. Picnómetros en reposo

Fuente: Propia

Resultados

Tabla 4. Densidad específica y % absorción arena

Peso muestras (S)	100

Picnometro			
Agua 1 (B)	337,9	Muestra 1 (C)	399,8
Agua 2 (B)	366,6	Muestra 2 (C)	421,9
Agua 3 (B)	328,7	Muestra 3 (C)	390,9

Tara		Peso seco + Tara	Peso seco (A)
1	55,9	153,6	97,7
2	39,9	131,9	92
3	35,9	132,7	96,8

Muestra	Gbolk	GSB SSS	Densidad Aparente	% Absorcion
1	2,564	2,625	2,729	2,354
2	2,058	2,237	2,507	8,696
3	2,561	2,646	2,798	3,306
Promedio	2,394	2,502	2,678	4,785

Fuente: Elaboración Propia

8.2 DOSIFICACIÓN:

Las proporciones básicas de una mezcla de concreto para una resistencia de 21 MPA que cumpla con las características empleando los materiales analizados; se determinan d la siguiente manera**:**

Características de los materiales

- *Agregado grueso* **=**

  Densidad aparente seca (Gg) = 2,69 gr/cm³
  Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"
  Porcentaje de absorción (%ABSg) = 1,19%
  Masa unitaria suelta (MUSg) =1,45 gr/cm³

- *Agregado fino* **=**

  Densidad aparente seca (Gg) = 2,67 gr/cm³
  Módulo de finura (MF) = 2,95
  Porcentaje de absorción (%ABSg) = 4,78%
  Masa unitaria suelta (MUSg) =1,28 gr/cm³

  Con el ajuste granulométrico de una gradación ideal según las recomendados por ASOCRETOS se obtuvo:

  - Agregado fino = 42%
  - Agregado grueso = 58%

- *Cemento* **=**

  Densidad (Gc) = 3,1 gr/cm³

  Masa unitaria suelta (MUSc) = 1,13 gr/cm³

- *Agua*

  Densidad (Ga) = 1,0 gr/cm³

  Masa unitaria suelta (MUSa) = 1,0 gr/cm³

8.2.1 Selección del asentamiento

Según la tabla 7 y de acuerdo al tipo de material a analizar en este caso losas, columnas y cimentaciones, el asentamiento escogido = 7,0 cm.

Tabla 5. Asentamiento recomendado

CONSIS-TENCIA	ASENTA MIENTO mm.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
MUY SECA	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
HÚMEDA	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
MUY HÚMEDA	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos “in situ”.	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
SÚPER FLUIDA	más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente: Tecnología del concreto – Asocretos.

8.2.2 Chequeo del tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal del agregado disponible es de 3/4".

8.2.3Estimacion del agua de mezcla

De acuerdo a la tabla 8, para obtener un asentamiento de 7,0 cm con un TMN = 3/4", es necesario 175 Kg de agua por m³ de concreto.

Tabla 6. Contenido de agua por m cúbico de concreto, según el asentamiento y el TMN

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0 – 5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5 – 7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0 – 10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5 – 15,0	210	195	185	180	170	160	155
15,5 – 18,0	215	205	190	185	175	165	160
% CONTENIDO DE AIRE	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Fuente: Tecnología del concreto – Asocretos.

8.2.4 Determinación de la resistencia de dosificación.

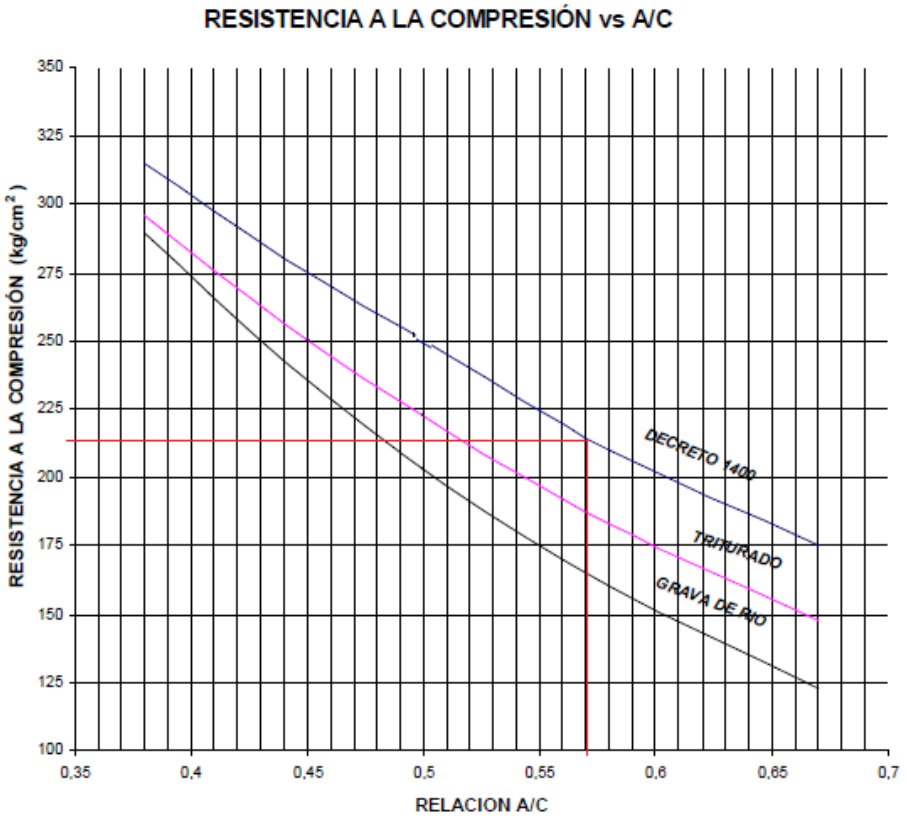
La resistencia de la dosificación seleccionada es de 21 MPa. (Este valor se tomó teniendo en cuenta que es una resistencia apropiada para muchas de las aplicaciones en la construcción)

8.2.5 Selección de la relación Agua/Cemento.

La gráfica 4 muestra el comportamiento de los materiales según la resistencia a la compresión vs la relación Agua/Cemento, tomando como referencia los parámetros recomendados en el código colombiano de construcciones sismo resistente (Decreto 1400).

Con una resistencia de 210 MPa se obtiene un valor de relación Agua/Cemento = 0,55.

Grafica 4. Resistencia a la comprensión vs Relación Agua/Cemento



Fuente: Tecnología del concreto – Asocretos.

8.2.6 Contenido de Cemento.

$$C = \frac{A}{A/C} \rightarrow C = \frac{175}{0{,}55} \rightarrow C = 318\ Kg/m^3$$

- C= cemento
- A= agua
- A/C= relación agua - cemento

8.2.7 Contenido de agregados.

- Volumen abs. agregados $= 1m3 - \frac{175\ Kg/m3}{1000Kg/m3} - \frac{318Kg/m3}{3100Kg/m3}$

$$= 0{,}725\ m^3$$

- G promedio$= \frac{100}{\frac{42}{2{,}67}+\frac{58}{2{,}69}}$

$$= 2681\ kg/\ c$$

$$\rightarrow 2681\ kg/\ m^3 x\ 0{,}725 kg/m^3$$

$$= 1943{,}72 Kg/m^3$$

Masa del agregado grueso = $1943{,}72 kg/m^3$ x 0,58

$$= 1127{,}38\ kg/m^3$$

Masa del agregado fino = $1943{,}72\ kg/m^3$ x 0,42

$$= 816{,}36\ kg/m^3$$

8.2.8 Calculo de proporciones

En las siguientes tablas se observan los resultados de diseño de mezcla para la muestra estándar y las muestras con adiciones de poliestireno expandido.

Tabla 7. Diseño de mezcla muestra estándar

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	175	1000	0.175
Cemento	318.18	3100	0.103
A. Grueso	1125.43	2692	0.418
A. Fino	814.96	2678	0.304
TOTAL	2433.57		1.000

Proporciones iniciales en masa seca:

1=2,65=3,66

Proporciones por cilindro

Tabla 8. Dimensiones cilindro estándar

CILINDRO	
Diámetro (m)	0.15
Altura (m)	0.3
Volumen (m3)	**0.0053**

Fuente: Propia

Tabla 9. Proporciones por cilindro muestra estándar.

Material	Peso (Kg)
Agua	0.928
Cemento	1.687
A. Grueso	5.966
A. Fino	4.320
Total	**12.901**

Fuente: Propia

Tabla 10. Proporciones por cilindro muestra 3% Poliestireno expandido

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	0.928	1000	0.000928
Cemento	1.687	3100	0.000544
A. Grueso	5.966	2692	0.002216
A. Fino	4.320	2678	0.001613
Poliestireno exp. 3%	0.0016	10	0.000159
TOTAL	**12.903**		**0.005460**

Fuente: Propia

Tabla 11. Proporciones por cilindro muestra 6% Poliestireno expandido

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	0.928	1000	0.000928
Cemento	1.687	3100	0.000544
A. Grueso	5.966	2692	0.002216
A. Fino	4.320	2678	0.001613
Poliestireno exp. 6%	0.0032	10	0.000318
TOTAL	**12.905**		**0.005620**

Fuente: Propia

Tabla 12. Proporciones por cilindro muestra 9% Poliestireno expandido

Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	0.928	1000	0.000928
Cemento	1.687	3100	0.000544
A. Grueso	5.966	2692	0.002216
A. Fino	4.320	2678	0.001613
Poliestireno exp. 9%	0.0048	10	0.000477
TOTAL	**12.906**		**0.005779**

Fuente: Propia

8.3 REALIZACIÓN MUESTRAS

Para el desarrollo de la investigación se realizaron cuatro mezclas de concreto empleando el mismo diseño de mezcla, integrando una variación en el porcentaje de poliestireno expandido que se incorporara a las mismas.

En la realización de las muestras se emplean moldes estandarizados de hierro fundido que tienen 30 cm de altura y 15 cm de diámetro como se muestra en la imagen 14.

A los moldes previamente al vaciado de la mezcla de concreto se les debe aceitar en el interior para evitar que el concreto se adhiera al mismo, asegurándose de dar una capa uniforme y evitando exceso del aceite.

Imagen 14. Moldes de hierro para cilindros

Fuente: Propia

Se procede a pesar los materiales según las proporciones requeridas. El cemento empleado es de la empresa ARGOS de media resistencia, el agregado grueso fue proporcionado de la cantera de Combia, el icopor es de uso comercial.

Imagen 15 Agregado Fino para Mezcla

Fuente: Propia

Imagen 16 Agregado Grueso para Mezcla

Fuente: Propia

Imagen 17 Perlas de Poliestireno (Icopor) para Mezcla

Fuente: Propia

Imagen 18 Cemento de Mezcla

Fuente: http://www.unifelsa.com/

Imagen 19 Cemento de Mezcla

Fuente: Propia

La mezcla se realizó de manera manual; siendo importante garantizar la homogeneidad mientras se agregan los materiales de las mezclas.

Se vierte el cemento sobre una superficie plana, y sobre este se le agrega la arena; se procede a mezclar la grava, seguidamente se agrega la cantidad de agua calculada para la mezcla y por último se anexa el icopor a la mezcla.

Imagen 20 Mezcla con Icopor

Fuente: Propia

Después de tener la mezcla l se procede a realizar el ensayo del cono de Abrams por el cual se confirma si se cumple con el asentamiento establecido en el diseño de la mezcla.

Imagen 21 Ensayo Cono de Abrams

Fuente: Propia

La mezcla de concreto se vierte en los moldes cilíndricos en tres capas, y cada capa se golpea con una varilla lisa, la cual se introduce veinticinco veces en lugares diferentes alrededor de toda la superficie del molde.

Imagen 22 Vibración de la Mezcla en Moldes

Fuente: Propia

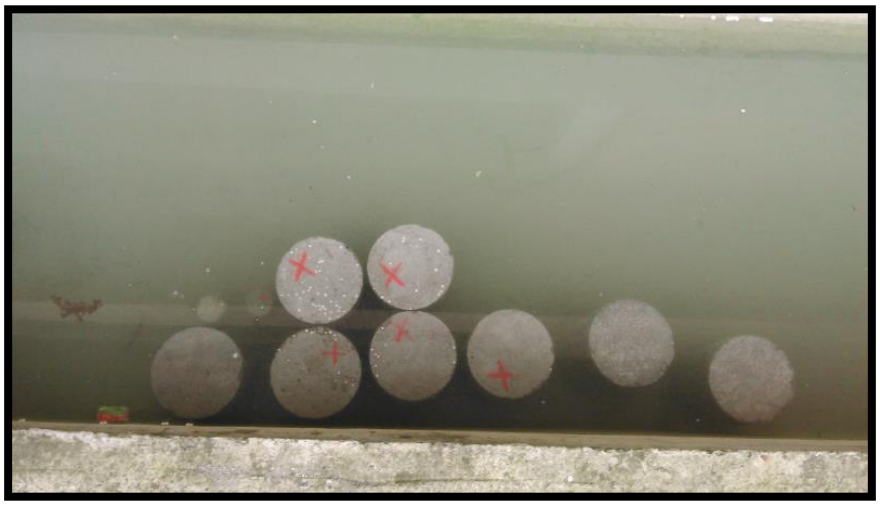
Al terminar el vibrado de la mezcla se termina de llenar el molde con más mezcla y se procede alisar la superficie empleando un palustre. Cuando haya culminado se procede a golpear el costado de los moldes con el objetivo de eliminar la presencia de burbujas de aire que puedan estar presentes en la mezcla.

Los cilindros se deben dejar fraguar veinticuatro horas en los moldes antes de desencofrarlos e ingresarlos a un tanque con agua para su proceso de curado.

Imagen 23 Cilindros de concreto en los moldes

Fuente: Propia

Imagen 24 Cilindros de concreto en proceso de curado



Fuente: Propia

Imagen 25 Cilindros de concreto en proceso de curado

Fuente: Propia

Es necesario que los cilindros en su proceso de fraguado no sean movidos, y se encuentren resguardados en un sitio cubierto.

Pasadas las 24 horas de su fundición los cilindros deben ser sacados de su molde e introducirse en un tanque con agua esto es con el fin de cumplir con su fraguado debido a que el concreto pasa por un fenómeno de hidratación en el cual el agua que contiene la mezcla tiende a evaporarse.

Por lo general los cilindros estarán en el tanque durante un tiempo de 7, 14 y 28 días en los que cumplidos estos tiempos se someterán a pruebas de compresión; a los 28 días el concreto debió haber alcanzado su resistencia máxima.

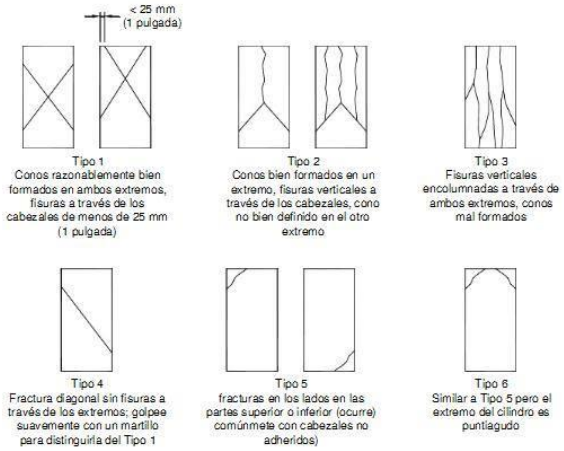
8.4 RESULTADOS

Los cilindros se someten al ensayo de compresión, donde se colocan los dos bloques en los extremos de los cilindros y se ubica el espécimen en el centro de las placas de la máquina de ensayo. Se aplica la carga de manera continua, hasta que el cilindro falle y se registra la carga máxima soportada por el durante el ensayo. Se realiza un registro fotográfico del tipo de falla de los especímenes.

Imagen 26 Maquina Ensayo a Compresión

Fuente: Propia

Imagen 27 Tipos de Fallas Cilindros de Concreto



Fuente: Tecnología del concreto – Asocretos.

A continuacion se presentan los resultados de los ensayos a compresion de los cilindros con 0%, 3%, 6% y 9% de Icopor.

Tabla 13 Resistencias Cilindros 0% Icopor

FECHA	DIA	NUMERO	DIAMETRO (Cm)	AREA (Cm²)	ALTURA (Cm)	PESO	FALLA (KN)	ESFUERZO (Kg/cm2)
19/06/2014	7	1	15	176,72	30	13.65	196,93	113,598
26/06/2014	14	2	15	176,72	30	13.68	249,36	143,842
10/07/2014	28	3	15	176,72	30	13.62	359,63	207,450

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Resistencias Cilindros 3% Icopor

FECHA	DIA	NUMERO	DIAMETRO (Cm)	AREA (Cm²)	ALTURA (Cm)	PESO	FALLA (KN)	ESFUERZO (Kg/cm2)
18/11/2014	7	1	15	176,72	30	13,57	189,47	109,294
	7	2	15	176,72	30	13,54	179,53	103,561
25/11/2014	14	2	15	176,72	30	13,5	246,25	142,048
	14	2	15	176,72	30	13,56	244,36	140,957
02/12/2014	21	3	15	176,72	30	13,57	271,53	156,630
09/12/2014	28	4	15	176,72	30	13,52	348,89	201,255
	28	4	15	176,72	30	13,52	307,13	177,166

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Resistencia Cilindros 6% Icopor

FECHA	DIA	NUMERO	DIAMETRO (Cm)	AREA (Cm²)	ALTURA (Cm)	PESO	FALLA (KN)	ESFUERZO (Kg/cm2)
03/12/2014	7	1	15	176,72	30	13,52	143,29	82,656
10/12/2014	14	2	15	176,72	30	13,55	219,85	126,819
	14	3	15	176,72	30	13,45	193,76	111,769
24/12/2014	28	4	15	176,72	30	13,50	281,05	162,122
	28	5	15	176,72	30	13,50	278,1	160,420

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Resistencias Cilindros 9% Icopor

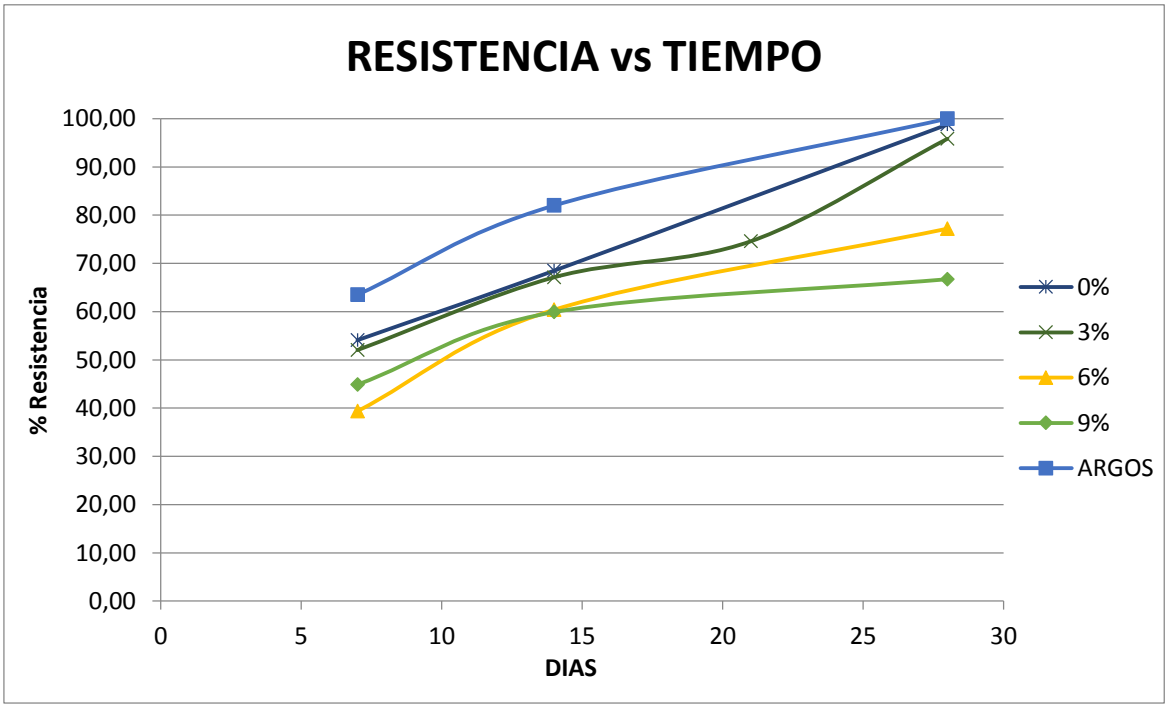
FECHA	DIA	NUMERO	DIAMETRO (Cm)	AREA (Cm²)	ALTURA (Cm)	PESO	FALLA (KN)	ESFUERZO (Kg/cm2)
05/12/2014	7	1	15	176,72	30	13,3	163,38	94,245
	7	2	15	176,72	30	13,3	162,85	93,939
12/12/2014	14	3	15	176,72	30	13,44	208,75	120,416
	14	4	15	176,72	30	13,47	218,09	125,804
26/12/2014	28	5	15	176,72	30	13,45	242,91	140,121

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Tabla General Resultados Obtenidos

DIA	MUESTRA 0%	MUESTRA 3 %	MUESTRA 6%	MUESTRA 9%	ARGOS
7	54,09	52,04	39,36	44,88	63,5
14	68,50	67,12	60,39	59,91	82
28	98,79	95,84	77,20	66,72	100

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores se hizo una tabla general con la cual se realizó una gráfica comparativa de los resultados obtenidos, en la misma se puede apreciar que

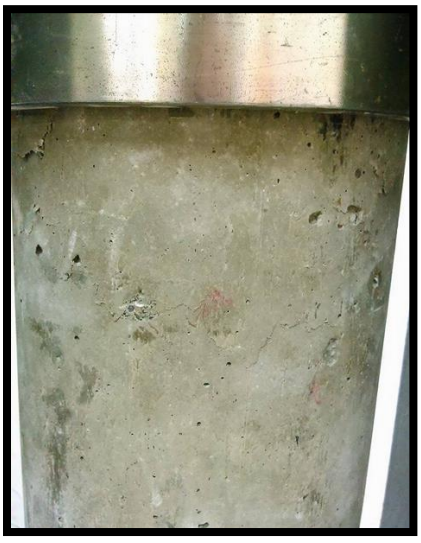
a mayor contenido de icopor en la mezcla de concreto se presenta una menor resistencia a la compresión.

A continuación se muestra algunas de las muestras ensayadas en las cuales se puede notar con detenimiento la falla y el tipo de falla.

Imagen 28 Cilindro Fallado

Fuente: Propia

Imagen 29 Cilindro Fallado



Fuente: Propia

Imagen 30 Cilindro Falla Tipo 3

Fuente: Propia

Imagen 31 Cilindro Falla Tipo 3

Fuente: Propia

9. CONCLUSIONES

- El tipo de falla presente en la gran mayoría de los cilindros es tipo 3, lo cual significa que la mezcla presenta deficiencia en los materiales de la muestra. Así mismo se observa la presencia de las perlas de icopor en el perímetro de las fallas de las muestras analizadas.

- Los cilindros ensayados no presentan una variación significativa en sus pesos debido al que el agregado de icopor se realizó por porcentaje de volumen de los cilindros y no por peso, toda vez a que se si se hace por peso generaría una desproporción en cuanto a cantidad del icopor a agregar al diseño de mezcla con respecto a los materiales principales de la mezcla.

- Se observó que el icopor conserva su forma a pesar del proceso de mezclado siendo estas partículas de 5 mm de diámetro.

- Los resultados de los ensayos muestran para las diferentes proporciones, una variación del módulo de elasticidad con respecto a las proporciones así: entre mayor cantidad de poliestireno expandido se agregue a la mezcla se presenta deformación unitaria elástica creciendo en menor proporción que los esfuerzos, con lo cual el valor del citado módulo crece. Tal como se recomienda, solo un ensayo de compresión con medidas de deformación para cada carga puede determinar más exactamente este valor de acuerdo a la curva esfuerzo deformación.

- La hipótesis planteada no cumple los parámetros establecidos por medio de la investigación, debido a la disminución de la resistencia al aumentar la adición de porcentaje de poliestileno expandido

RECOMENDACIONES

- Se sugiere que para la obtención de mejores resultados, la mezcla no se debe hacer manualmente, sino con el empleo de una maquina mezcladora asegurando de esta forma la homogeneidad de la mezcla de concreto.

- Se recomienda que a futuro para las pruebas sea empleada una maquina universal de ensayos, para de esa manera, tener valores de deformación y carga aplicada y poder elaborar las curvas de deformación unitaria vs. esfuerzo aplicado, con la cual se pueda determinar valores como esfuerzo de fluencia, módulo elástico, valores que son importantes para el comportamiento de las mezclas.

BIBLIOGRAFIA

- ARREOLA, Daniel D.E., RAMÍREZ MORAN J.A, SOTO A Luna., SEDANO DE LA ROSA C., PELAYO LÓPEZ J. A., GUTIÉRREZ CARDONA J. R. y BERNABÉ RAMOS F.; Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros Aligerados Elaborados con Nano-compuestos Espumados de Polietileno de Alta Densidad Reciclado y Cemento Portland ; Universidad de Guadalajara Cancún – México (2013) ; Recuperado de: http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP102.pdf

- BASF- The Chemical Company. Recuperado de: http://www.thewall.cl/image/data/ficha_poliestireno.pdf

- CARRILLO LEÓN, Wilmer Julián. Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto; Bogotá - Colombia (2009); recuperado de: http://www.umng.edu.co/documents/guest/7.%20Informate/Revista%20Ciencia%20e%20Ingenieria%20Neogranadina/Revista%20Vol.19_1/sow_articulo_3_19_1.pdf

- CEPAL Sede México, el terremoto de enero de 1999 en Colombia: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero, 1999. Recuperado de: http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/servicios/DoDocumen/Lista%20de%20Precios%20Lab%20SCP-EAFIT%202013.pdf

- LÓPEZ ÁVILA, Mario Alfonso. Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales; Universidad Veracruzana (2013); recuperado de:

http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33793/1/lopezavilamario.pdf

- MACEDO M.C. Compuesto de yeso e icopor para la construcción de casas populares; Natal - Brasil (2011) Recuperado de: http://search.proquest.com/cv_791920/docview/1115566732/13DE70EE2263F2AD49/46?accountid=46889

- Medida consistencia del hormigón -Cono de Abrams. Recuperado de: http://aprendiendofisica.bligoo.com.uy/media/users/26/1319209/files/411509/MedidaConsistenciaHORMIGON.ConoABRAMS.pdf

- MONSALVE JARAMILLO, Hugo y VARGAS JIMÉNEZ, Carlos. El sismo de armenia, Colombia, Un análisis tele sísmico de ondas de cuerpo, observaciones de campo y aspectos sismo tectónicos. (2002) Recuperado de : http://search.proquest.com/cv_791920/docview/194685198/13DE76FBDB11211CA7/17?accountid=46889

- OCHOA, Mariana. Desastre Sísmicos, Universidad de México (2003). Recuperado de: www.disasterinfo.net/lideres/spanish/mexico2003/presenta/Alumnos/Ochoa%20Marina/Crisis%20y%20desarrolloPPT.pdf

- QUINTERO GARCÍA, Sandra & GONZALES SALCEDO, Luis; Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto; Cali – Colombia (2006); recuperado de: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/uso_de_la_fibra_de_coco.pdf

- RIVERA L. Gerardo A, Concreto simple - Dosificación de mezclas de concreto

- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p.

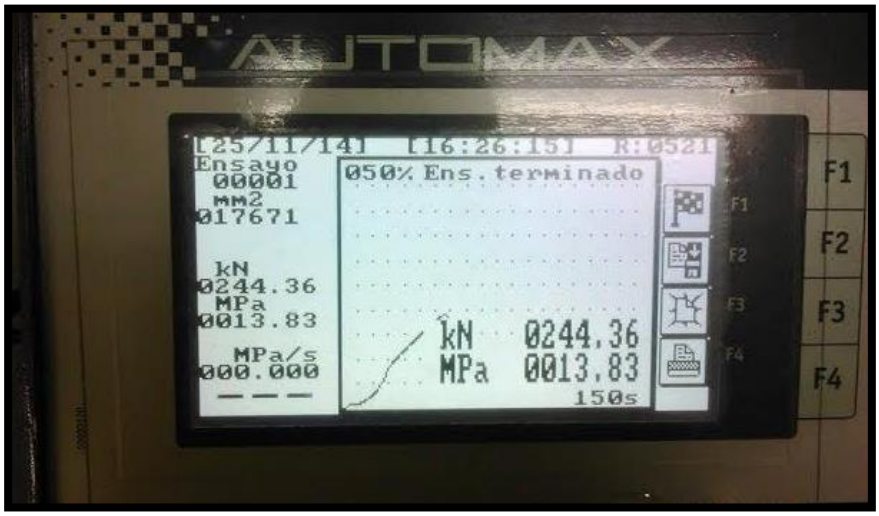
ANEXOS

Anexos Fotográficos de Resultados

Anexo 1 Resistencia 3% Icopor con 7 Días

Fuente: Propia

Anexo 2 Resistencia 3% Icopor 14 días

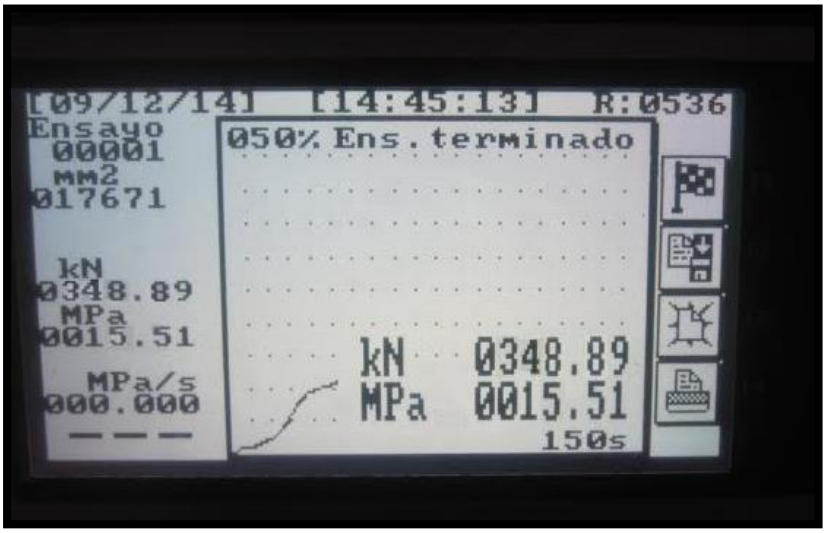


Fuente: Propia

Anexo 3 Resistencia 3% Icopor con 21 días

Fuente: Propia

Anexo 4 Resistencia 3% Icopor 28 días

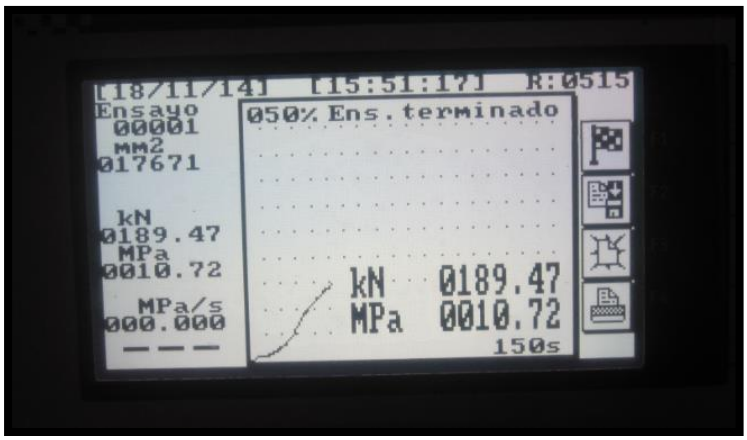


Fuente: Propia

Anexo 5 Resistencia 6% Icopor 7 días

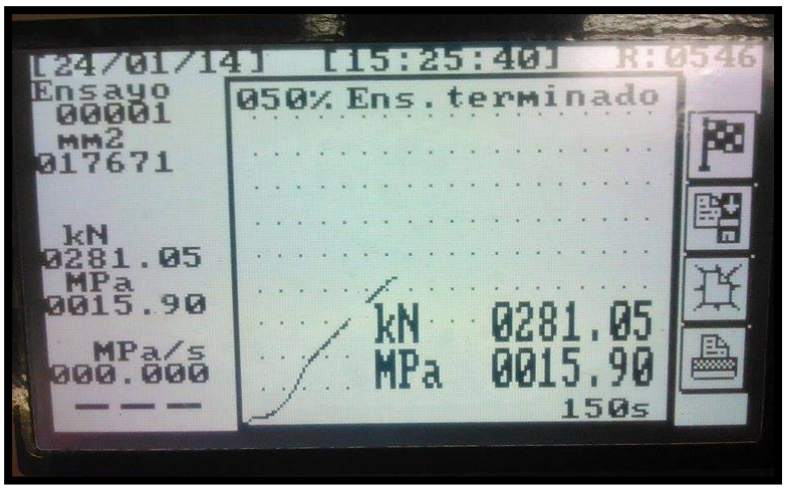
Fuente: Propia

Anexo 6 Resistencia 6% Icopor 14 días



Fuente: Propia

Anexo 7 Resistencia 6% Icopor 28 días

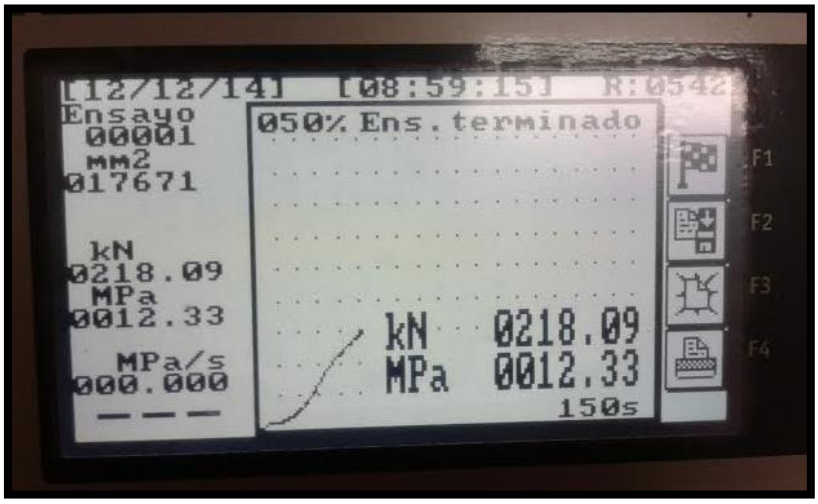


Fuente: Propia

Anexo 8 Resistencia 9% Icopor 7 días

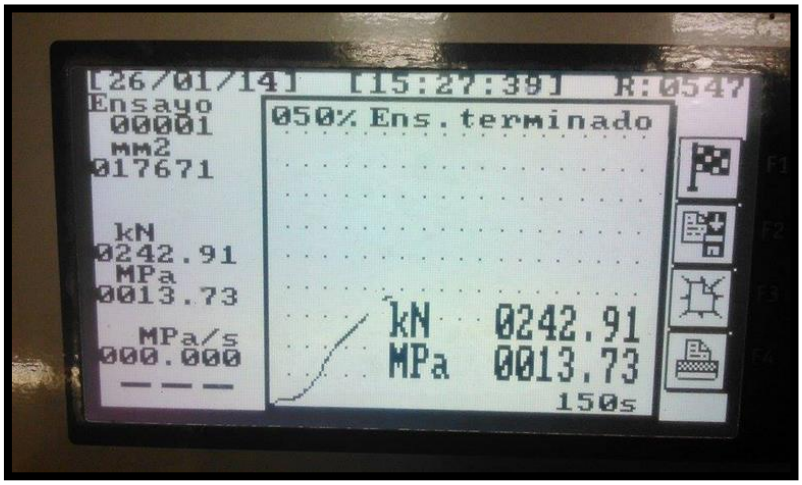
Fuente: Propia

Anexo 9 Resistencia 9% Icopor 14 días



Fuente: Propia

Anexo 10 Resistencia 9% Icopor 28 dias



Fuente: Propia