

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO
CON FIBRA DE VIDRIO

FERDYNNAN TORRES ÁLVAREZ

JORGE LUIS ACUÑA OVIEDO

FREDY ROJAS DÍAZ



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ,

2015

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO
CON FIBRAS DE VIDRIO

FERDYNNAN TORRES ÁLVAREZ

JORGE LUIS ACUÑA OVIEDO

FREDY ROJAS DÍAZ

Tesis de grado para optar por el título de ingeniero civil.

Director:

I.C. Alfonso Amézquita Nieto
Asesor Disciplinar

I.C. Carlos Julio Solórzano.
Coasesor Disciplinar

Licenciado Roy Morales
Asesor metodológico

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ,

2015

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. ANTECEDENTES	15
4.1. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	15
4.2. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL USO DE FIBRAS DE VIDRIO PARA EL REFUERZO DE MATERIALES CEMENTICIOS	16
4.3. INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL HORMIGÓN	17
4.4. COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE COMPUESTOS CEMENTICIOS DE ULTRA ALTO DESEMPEÑO REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO ALCALINO-RESISTENTES	18
4.5. LAS FIBRAS DE VIDRIO COMO REFUERZO EN EL CONCRETO DE FACHADAS	19
5. MARCO REFERENCIAL	20
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	20
5.2. MARCO LEGAL.....	24
6. DISEÑO METODOLÓGICO	25
6.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
6.2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN	25
FASE 1. Determinar el diseño de mezcla óptimo para concretos reforzados con fibra de vidrio.	25
Actividad 1.1 Selección de materiales	25
Actividad 1.2 Diseño de mezcla.	25
Actividad 1.3 Fabricación de probetas.....	25
FASE 2. Establecer la variación de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de los concretos reforzados con fibras de vidrio para varias dosificaciones.	25
Actividad 2.1 Elaboración de formatos de registro.	26
Actividad 2.2 Recopilación de información en formatos.....	26

FASE 3: Comparar los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, flexión con concretos sin adición de fibra de vidrio.....	26
7. RESULTADOS Y ANALISIS.....	27
CÁLCULOS	49
8. CONCLUSIONES.....	62
9. RECOMENDACIONES.....	63
10. BIBLIOGRAFIA.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Principales propiedades mecánicas de la fibra de vidrio, elaborada a partir de los vidrios E, D, R Y AR.*	27
Tabla 2. Datos para la mezcla del concreto a diseñar	29
Tabla 3. Proporción de materiales con pesos corregidos.	30
Tabla 4. Dosificación de la fibra.....	30
Tabla 5.Volúmenes de concreto a utilizar para cada dosificación.	30
Tabla 6.Peso de los materiales para cubrir el volumen señalado.....	30
Tabla 7. Formatos para recopilación de información en laboratorio	37
Tabla 8. Dosificación Vs asentamiento en mm.	40
Tabla 9. Registro de asentamiento para cada dosificación.	41
Tabla 10. Registro de resistencia a la compresión a los 7 días con diferente dosificación de fibra de vidrio. ...	42
Tabla 11. Dosificación vs f'_c (kg/cm ²) a 7 días	42
Tabla 12. Dosificación f'_c (kg/cm ²) a los 14 días	42
Tabla 13. Recopilación de datos de edades a 14 días y cálculo de promedio de tres en tres.....	43
Tabla 14. Recopilación de datos de edades a 21 días.	43
Tabla 15. Dosificación a los 21 días f'_c (kg/cm ²)	44
Tabla 16. Recopilación de datos de edades a los 28 días.....	44
Tabla 17. Dosificación a los 28 días f'_c (kg/cm ²)	44
Tabla 18. Resistencia a los diferentes días con diferente dosificación de fibra de vidrio.....	45
Tabla 19. Formato para registro de datos de resistencia a la flexión en el punto medio a los 28 días	46
Tabla 20. Dosificación MR promedio en Mpa.	46
Tabla 21. Dosificación del concreto en MPa y MR en promedio con las mismas unidades.	47
Tabla 22. Relación porcentual entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.	48
Tabla 23.Lectura de temperatura y volumen inicial y final.	49
Tabla 24.Registro análisis granulométrico de gravas.	50
Tabla 25. Registro de límites y gradaciones para agregados gruesos para concreto.	50
Tabla 26. Límites en porcentaje admitidos para arenas útiles para concreto.	53
Tabla 27. Registro análisis granulométrico de arenas.	53
Tabla 28.Pesos de muestras.	55
Tabla 29. Gravedad específica BULK.....	55
Tabla 30.Resultados de masas.	56
Tabla 31. Asentamientos.	57
Tabla 32. Concreto sin aire incluido.....	57
Tabla 33. Concreto con aire incluido.	58
Tabla 34. Resumen corrección por humedad de los agregados.	60
Tabla 35. Pesos corregidos de los materiales de mezcla.....	60
Tabla 36. Proporción de materiales con pesos corregidos.	61
Tabla 37. Dosificación de la fibra.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Verificando la fibra	28
Figura 2.Cortando la fibra con medida estándar	28
Figura 3. Fibra cortada a 50mm	28
Figura 4. Camisas para probetas	31
Figura 5.Recipientes a utilizar en la fundida	31
Figura 6. Herramientas de mano.	31
Figura 7.Cono de Abraham.	32
Figura 8.Agregando al diseño de mezcla fibra de vidrio	32
Figura 9. Sacando la pasta de concreto	33
Figura 10. Verificación del asentamiento de diseño	33
Figura 11. Descargando la varilla según la norma NTC 396.	34
Figura 12.Medida de asentamiento de pasta de concreto.	34
Figura 13. Elaboración de cilindro de concreto.....	35
Figura 14. Vigas y cilindros fundidos.	35
Figura 15. Cilindros marcados con la fecha de elaboración, dosificación y número de referencia.	36
Figura 16. Vigas y cilindros en curado.....	36
Figura 17. Determinación del punto de carga al centro de la viga.....	38
Figura 18. Falla de la viga.	38
Figura 19. Falla de Cilindros.....	39
Figura 20. Cilindros para falla.....	39
Figura 21. Grafica del asentamiento con las diferentes dosificaciones de fibra de vidrio	40
Figura 22. Grafica del comportamiento del concreto a la resistencia A Los 7, 14, 21 Y 28 dias con y sin adición de fibra de vidrio.	45
Figura 23. MR a los 28 días mostrado en barras.....	47
Figura 24. Relación porcentual según la norma MR debe ser 15% del concreto ($f'c$)	48
Figura 25. Grava lavada.	50
Figura 26. Grafica tamizado de la grava.....	51
Figura 27. Análisis granulométrico de arenas.....	54
Figura 28. Resistencia corregida Vs coeficiente de variación.....	58
Figura 29. Resistencia de compresión Vs relación agua/cemento.	59

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Registro de recopilación de información de resistencia a la compresión
- ANEXO 2. Registro de recopilación de información de resistencia a la flexión.

GLOSARIO

RESUMEN

Hace algunos años atrás, se han desarrollado diversos tipos de concreto para propósitos especiales que cumplan las exigencias del mundo constructivo. El método más corriente es que la matriz basada en concreto sea modificada de algún modo para mejorar determinadas propiedades, en este caso adicionando fibras de vidrio. El cual se pretende analizar el comportamiento mecánico del concreto con los diferentes porcentajes de la fibra de vidrio (álcali-resistente). El presente trabajo analiza la influencia que la fibra de vidrio tiene sobre las propiedades mecánicas del concreto. Para ello se realizó un diseño de mezclas, variando el porcentaje de fibra de vidrio adicionada, y se comparó su comportamiento con el de una mezcla patrón (sin adición de fibra de vidrio). Se estudiaron propiedades mecánicas tales como la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión que son de suma importancia al momento de la construcción.

INTRODUCCIÓN

Los materiales aglomerantes, en la forma de hormigones, tienen gran aceptación para su uso como materia prima de la construcción, dado su bajo costo, su durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para un uso estructural. Adicionalmente, en el estado fresco ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que se presentan al momento de construir. La adición de fibras de vidrio como refuerzo de hormigones, pueden incrementar algunas de las propiedades de éstos, destacando entre ellas, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, para llevar a cabo este proyecto se realizó un diseño de mezcla, teniendo en cuenta que se le adicionarían unos porcentajes de fibra de vidrio. Se realizaron una serie de cilindros de concreto (70 cilindros) y de vigas (30 vigas) para que al final de su fraguado y con su tiempo correspondiente (7, 14, 21 y 28 días) fueran fallados y sus datos obtenidos se analizarían y posteriormente se sacarían las conclusiones.

Para este tipo de proyecto es recomendable utilizar la fibra de vidrio AR (álcali-resistente) para que los compuestos radiactivos del cemento no le produzca ningún daño, y cumpla con los requisitos requeridos para la construcción. Un aspecto muy importante es que la fibra de vidrio mejora la resistencia a la tracción / flexión, consiguiendo eliminar los refuerzos de acero en algunos elementos no estructurales lo que significa que los costos disminuyen.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha tratado de utilizar aditivos y adiciones que mejoren las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco como en estado endurecido, pero para producir un concreto de alto desempeño que presente características mecánicas favorables para la construcción, se debe hacer una serie de diseños de mezclas e ir adicionando cierto porcentaje de diferentes materiales para de esta manera conocer cuál es la cantidad o porcentaje necesario para obtener propiedades mecánicas que represente un beneficio para lo que se requiere emplear.

Al iniciar una construcción, siempre se ha necesitado que el concreto que se va a utilizar cumpla con los requisitos para dicho propósito; además, se ha querido que las propiedades del concreto arrojen los mayores beneficios posibles, por eso es muy importante utilizar adiciones para obtener un óptimo resultado y en este caso vale la pena tener en cuenta la fibra de vidrio como adición, que es un material no metálico formado por el proceso de fundición del vidrio, que al tenerlo en cuenta en un diseño de mezclas podrá brindar beneficios muy importantes como el aumento de resistencia a la compresión y a la flexión, entonces, será de gran utilidad inicialmente en elementos no estructurales.

La capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión y compresión está limitada a la presencia de otro material que aporte al mejoramiento propio de los elementos construidos, puesto que el concreto por sí solo posee una resistencia mínima a los esfuerzos de flexión; siendo el acero el complemento que al unirse al concreto, mejora de manera notoria esta propiedad mecánica, trabajando como un elemento monolítico y permitiendo que el concreto resista esfuerzos mayores de flexión.

Con respecto a la fibra de vidrio se decide tomar la longitud 50mm espesor 0.5mm y el tipo de fibra álcali-resistente (AR) con la que se quiere trabajar ya que según antecedentes se ha venido manejando otra longitud (24,80, 100,120mm) y se pretende investigar si tiene otro tipo de datos para un mejor trabajo, con la adición de fibras de vidrio dentro de una matriz de concreto que por sí sola es quebradiza en sus vértices.

Se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿cuál será el comportamiento mecánico de concreto reforzado con fibras de vidrio (AR) al ser sometido a ensayos de flexión y compresión?

2. JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones realizadas por Instituto De Cerámica Y Vidrio. (España), 1990, Revista Ingeniería de Construcción, Chile 2005. Pontificia Universidad Javeriana. 2014 en el buscan las fórmulas o diseños de mezclas que cumplan o que ayuden a que el concreto obtenga propiedades mecánicas que satisfaga las exigencias que demanda las construcciones de gran envergadura y elementos no estructurales. El concreto reforzado convencional posee características mecánicas, dadas a partir de la compatibilidad de los materiales que lo componen y que trabajan en conjunto, concreto y acero los cuales generan un material compuesto capaz de resistir esfuerzos de flexión y compresión. Por lo tanto es necesario saber que otro material puede generar junto al concreto un componente que sea capaz de resistir y actuar de manera adecuada, que tenga propiedades similares o superiores a las del acero con el fin no de reemplazarlo sino de generar una adición que mejore las propiedades del material, evitando patologías del material como la fisuración.

Con la adición de fibras de vidrio dentro de una matriz de concreto que por sí sola es débil y quebradiza en sus vértices, se pretende la innovación a nivel nacional en la fabricación de concretos reforzados con fibra de vidrio (AR) que permitan reducir el peso de estos, aumentar la resistencia de concretos simples, reducir la fragilidad de los elementos en sus vértices y que además puedan implementarse en elementos prefabricados de baja densidad sin perder las propiedades mecánicas que ofrece el concreto reforzado con barras de acero, ofreciendo una alternativa cumpliendo con las características propias de los concretos reforzados convencionalmente.

La experimentación con los diferentes porcentajes de fibra de vidrio (AR) que influirían en un concreto traería múltiples beneficios no solo porque ofrecerá propiedades mecánicas mejoradas sino porque se podría conocer diferentes comportamientos que se tendrían en cuenta en el momento de la construcción y poder corregirlo para no tener problemas en fases más adelantadas de una obra.

Por otra parte, la fibra de vidrio (AR) es un adición, se puede conseguir fácilmente en el mercado en grandes cantidades, y que ahora se quiere implementar como una adición del concreto el cual contaría con beneficios para la construcción, disminuyendo la densidad del concreto, posiblemente aumentando las propiedades mecánicas así como para obtener concretos de alto desempeño capaces de soportar compresiones y flexiones, así mismo en las investigaciones

realizadas se muestra el uso de diferentes longitudes por lo tanto se selecciona la longitud no establecida en ellas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento mecánico de concreto reforzado con fibra de vidrio álcali-resistente (AR) sometido a carga de compresión y flexión.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Determinar el diseño de mezcla óptimo para concretos reforzados con fibra de vidrio.
- 3.2.2. Establecer la variación de la resistencia a la compresión y flexión de los concretos reforzados con fibras de vidrio para varias dosificaciones.
- 3.2.3. Comparar los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, flexión con concretos sin adición de fibra de vidrio.

4. ANTECEDENTES

El concreto es el más antiguo y el más utilizado de los materiales de construcción, que actualmente se producen a un alto ritmo, creando más de cinco mil millones de metros cúbicos por año, la segunda sustancia más consumida después del agua según estudios realizados.

4.1. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS¹

La figuración del concreto es un fenómeno indeseable cuyas causas van desde variaciones en la composición del material, hasta efectos de cambios térmicos. Una fisura delata realmente la “competencia perdida” entre la capacidad del material de resistir un esfuerzo frente al efecto de un esfuerzo actuante. El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910.

Estas fibras están destinadas a evitar la figuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes de entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m³ de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la figuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier.

Denier es el peso en gramos de 9000 metros de una sola fibra. Los resultados de una reciente investigación donde se compararon varios tipos de fibras (microfibras) frente a un concreto sin refuerzo (Patrón) y frente a ese mismo concreto reforzado con una malla electrosoldada (150 x 150, 3.4 mm de diámetro).

Esta investigación hecha sobre placas de un espesor de 50 mm, desarrollada bajo condiciones atmosféricas controladas, permite apreciar la altísima eficiencia de las microfibras para controlar la fisuración antes de las 24 horas. Así el número total de fisuras en el concreto sin reforzar fue de 166 mientras que, en el mismo concreto con apenas 900 g/m³ (45 g/m²), de microfibras A se redujo el número de fisuras a 9 y con las microfibras B a 2 junto con áreas de fisuración despreciables.

¹Sika Informaciones Técnicas, Concreto Reforzado Con Fibra. COLOMBIA. ISSN-0122-0594

Las fibras hoy en día se emplean en aplicaciones donde sus dosificaciones aumentan la tenacidad del material y reducen la tendencia a la fisuración tanto a primeras edades como a larga edad para Pisos y Pavimentos, Prefabricados, concreto lanzado, Concretos resistentes a explosiones, Concretos de ultra-alta resistencia .

4.2. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL USO DE FIBRAS DE VIDRIO PARA EL REFUERZO DE MATERIALES CEMENTICIOS.²

En este trabajo se presenta una panorama actualizado del conocimiento y la aplicación de las fibras de vidrio para el reforzamiento de cementos, así como de las tendencias en la búsqueda de soluciones que podrían cambiar sustancialmente las perspectivas de uso de estos materiales, la utilización de fibras cerámicas (asbestos y vidrios), está proporcionando, hasta el momento, unos resultados satisfactorios, tanto en períodos cortos como relativamente prolongados, teniendo en cuenta el balance entre propiedades mecánicas obtenidos y costo de fabricación, por tanto los hormigones reforzados con este tipo de fibras son los que están experimentando un mayor desarrollo tecnológico en los últimos años. Sin embargo, el asbesto o amianto, popularizado en el «asbesto-cemento» o «fibrocemento» presenta problemas de salubridad por ser cancerígeno, y en algunos países ya ha sido prohibido. Por su parte, el uso de fibras de grafito está aún en una etapa experimental, y el elevado coste de las mismas no permite prever su utilización masiva, aunque las propiedades obtenidas son buenas.

Por medio de la interacción de las fibras de vidrio entre matrices mecánicas, se llegó a determinar la evolución de las propiedades mecánicas con el tiempo que llevaron a realizar ensayos de resistencia al ataque alcalino, generando una perspectivas más claras del uso de cementos reforzados con fibras de vidrio, concluyendo en la búsqueda de dosificaciones de fibra de vidrio implementadas con otras composiciones del materiales que permitan dar resistencia a los ataques alcalinos de los materiales fibrosos, proponiendo recubrir la fibra con materiales que son económicos y duraderos pero que carecen de investigación, proponiendo el estudio de los agregados que garanticen la ausencia de silicatos, que deterioren las propiedades de la fibra, así como la investigación sobre

² INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO. Situación actual y perspectivas del uso de fibras de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios. Madrid (España);1990.p331-337.

instauración de un proceso constructivo óptimo que permita desarrollar un sistema de colocación en obra riguroso.

4.3. INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL HORMIGÓN. ³

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia que la fibra de vidrio tiene sobre las propiedades físico-mecánicas del hormigón, analizando en forma experimental distintos porcentajes. Para lograr los objetivos planteados, se fabricaron mezclas de prueba con distintos porcentajes de adiciones y un hormigón patrón de referencia (sin fibra). Se utilizó fibra de vidrio de 24 mm de largo, en dos dosis, de 11 kg/m³ y 22 kg/m³. Se realizaron tres series de cada dosificación. Además se confeccionó una amasada con microfibras de polipropileno de 19 mm, en dosis de 11 kg/m³, a modo de comparación con el hormigón de fibra de vidrio. Para las mezclas de pruebas se utilizaron áridos rodados.

En los hormigones reforzados con fibra se observa una disminución importante de la trabajabilidad, siendo mayor la disminución cuando se usa fibra de polipropileno. Este comportamiento se debe a que las fibras forman mallas dentro de la matriz de hormigón, reduciendo el flujo normal de la pasta porque el agua es retenida por estas mallas. Se puede entonces observar que sería mejor trabajar este tipo de hormigón con un asentamiento más alto, o con dosis de fibras menores, para lograr una mejor trabajabilidad del material compuesto con fibra de polipropileno y con alta dosis de fibra de vidrio la resistencia a compresión disminuye significativamente (alrededor del 11%).

La resistencia a la flexión crece con una mayor proporción de fibra de vidrio para dosis entre 10 y 22 (kg/m³). En cambio, la fibra de polipropileno, a iguales dosis, disminuye la resistencia a flexión. La fibra de vidrio en dosis de 11 y 22 (kg/m³) son menos efectivas en alcanzar la tenacidad a diferencia de la fibra de polipropileno que sobrepasa los rangos citados en dicho estudio, con una dosis de 11 (kg/m³). En resumen, se puede entonces observar que sería mejor trabajar este tipo de hormigón con un asentamiento más alto, o con dosis de fibra menores, para lograr una mejor trabajabilidad del material compuesto. Dado que los

³Revista Ingeniería de Construcción. Santiago, CHILE. Diciembre, 2005, Vol. 20, No3.

hormigones reforzados con fibra de vidrio, La resistencia a la flexión crece con una mayor proporción de fibra de vidrio para dosis entre 10 y 22 (kg/m³). En cambio, la fibra de polipropileno, a iguales dosis, disminuye la resistencia a flexión. En conclusión se sugiere seguir investigando el tema de manera de optimizar su uso y encontrar nuevas aplicaciones.

4.4. COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE COMPUESTOS CEMENTICIOS DE ULTRA ALTO DESEMPEÑO REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO ALCALINO-RESISTENTES⁴

Este trabajo tiene la finalidad de evaluar la influencia del contenido y esbeltez de las fibras sobre el desempeño a flexión de un compuesto cementicio de alto desempeño ($f'c > 110$ MPa) reforzado con fibras de vidrio. Para llevar a cabo este proceso los compuestos cementicios de alto desempeño se empleó arena proveniente de Zipaquirá, humo de silicedensificado proveniente de ferro atlántico. El aditivo que se utilizó fue Pozzolith 460N, proporcionado por la Pontificia Universidad Javeriana, este aditivo es un hiperplastificante reductor de agua de alto rango basado en éterespoliocarbolicos modificados.

Se hizo una evaluación a flexión de 4 Compuestos reforzados con fibra de vidrio de una longitud 12 mm y 36 mm en proporciones de 2% y 3%. Los ensayos se realizaron empleando la norma ASTM C947, la cual está diseñada para verificar las propiedades de flexión determinado por este método de ensayo, además son útiles para el control de calidad de la fibra de vidrio reforzada en productos de concreto, dando cumplimiento a las especificaciones de gobierno, la investigación y el desarrollo y así mismo para la generación de datos para su uso en el diseño de productos. Con este método de ensayo se pretende determinar la resistencia final a la flexión y la fluencia del concreto reforzado con fibra de vidrio mediante el uso de una viga simple de 25,4 mm o menos de profundidad, usando como punto de carga el tercio de la probeta.

Con este trabajo se logra obtener a partir de materiales utilizados del ámbito local, mezclas cementicias de alto desempeño llegando a obtener resistencias de hasta 136 MPa con un promedio de las mezclas de 121 MPa, superando los 110 MPa que se tenían como objetivo establecido por la literatura. Las fibras generaron una disminución del 7% de la resistencia a la compresión en comparación a la presentada por los especímenes de control a los 28 días (136 MPa) debido a la dificultad de compactar las mezclas generando vacíos y por ende reduciendo la resistencia de las muestras ante las cargas.

⁴ZAMBRANO PEREZ, Christian Camilo y HINCAPIE LUNA, Jairo. Comportamiento a flexión de compuestos cementicios de ultra alto desempeño reforzados con fibras de vidrio alcalino-resistentes. Tesis de grado ingeniero civil. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería civil, 2014. 97p.

Los autores realizar pruebas con otro tipo de probetas ya que solo se realizó el análisis en elementos delgados y también se debería evaluar la relación proporcional derivada de otros tipos de fibras, mayor número de datos de prueba, diferentes contenidos de fibra, el tiempo de curado y otros factores.

4.5. LAS FIBRAS DE VIDRIO COMO REFUERZO EN EL CONCRETO DE FACHADAS⁵

Debido a su bajo peso, a su habilidad para resistir el fuego y la facilidad con la que se puede moldear para cada trabajo, tiene como objetivo principal reforzar el concreto en las fachadas. Unas de las principales aplicaciones son para los paneles en sándwich, paneles en lamina rigidizada y paneles de lámina adosada a bastidor metálico.

Su método consiste en ir adicionando capas de fibra de vidrio adicionándole un compuesto químico que las une y ayuda a endurecer y precisamente evitar fisuras, luego se ensamblan los bastidores metálicos que posteriormente se instalan en las fachadas. Posteriormente se aplican dos capas de microconcreto, la primera capa tiene un espesor de 4mm que se le agrega una fibra muy delgada que previene la aparición de fisuras en la superficie exterior de los paneles, la segunda capa tiene un espesor de 8 a 10mm y se proyecta con un contenido de fibra de vidrio entre el 3 y 5% del peso del concreto.

Durante la proyección se compacta con rodillo el material para lograr una mayor densidad e integrar todas las fibra, es recomendable utilizar la fibra de vidrio álcali-resistente ya que resiste la reactividad con los álcalis que se encuentran en el cemento, teniendo en cuenta que las propiedades de mayor impacto sobre el desempeño del producto están asociadas con la geometría y la resistencia de los componente del panel, el control de calidad es estricto en la verificación dimensional de las formaletas y del producto, así como el contenido de fibra y la consistencia.

En Colombia se han construido más de 35000 m² de fachadas para diversas aplicaciones tales como centros comerciales edificios oficinas y vivienda.

También se ha utilizado para rehabilitar fachadas, en las cuales GRC puede reproducir firmes, colores, texturas de acabados originales y dar la misma apariencia de los materiales, Con el GRC se fabrican actualmente a medida elementos arquitectónicos, ornamentales y de restauración, mobiliario urbano, paneles de revestimiento de fachadas, viviendas modulares y cualquier producto de decoración para ambientes de interior y exterior.

⁵NOTICRETO LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCIÓN. Bogotá D.C.: COLOMBIA. Julio-Agosto, 2013 Vol.119. N°1.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Concreto

Producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava o piedra machacada y agua) que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales. El cemento junto a una fracción del agua del concreto compone la parte pura cuyas propiedades dependen de la naturaleza del cemento y de la cantidad de agua utilizada.⁶

5.1.2 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio, tal como lo indica su nombre, es un material que consiste en numerosos y extremadamente finas fibras de vidrio. Los fabricantes de vidrio, a lo largo de la historia, han experimentado con fibras de vidrio, pero la fabricación en masa de fibra de vidrio, sólo fue posible con la invención de maquinaria de herramientas más finas. En 1893, Edward Drummond Libbey exhibió un vestido en la Exposición Mundial Colombina (Feria Mundial de Chicago) con la incorporación de fibras de vidrio con el diámetro y la textura de las fibras de seda. Este fue usado por primera vez por la actriz de teatro popular de la época Georgia Cayvan. Las fibras de vidrio también puede ocurrir naturalmente, como el pelo de Pele⁷

5.1.3 Cemento

El cemento portland es un aluminio silicato de calcio, patentado por J Áspid en 1824 y denominado portland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento de una mezcla de minerales finamente molidos formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100m de largo.⁸

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- Explotación de materias primas

⁶Hernández Paola, definición de concreto [Citado en línea] <http://es.scribd.com/doc/45161976/Definicion-concreto>

⁷ Disponible en internet en : <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

⁸ Disponible en internet en <http://www.cemex.com/es/ProductosServicios/ComoHacemosCemento.aspx>

- Preparación y dosificación de materias primas
- Homogeneización
- Clinkerización
- Enfriamiento
- Adiciones finales y molienda
- Empaque y distribución

5.1.4 Agua

Considerada como materia prima para la confección y el curado del hormigón debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar.⁹

Distintas son las funciones que ocupa el agua dentro del proceso constructivos tales se pueden enumerar como:

- Agua de mezclado
- Agua de hidratación
- Agua evaporable
- Agua de absorción
- Agua libre
- Agua de curado.

5.1.5 Agregados Pétreos

Se consideran agregados, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia, que aglomerados por el cemento hidráulico mezclado con agua forman el concreto. El origen de estos materiales puede ser natural o artificial, y generalmente esto son granulares. Otras características importantes de los agregados que se tienen que tener en cuenta, es que estos materiales tienen que garantizar una adherencia suficiente con la pasta endurecida y adicionalmente no perturban ni afectan las características de propias del concreto.¹⁰

5.1.6 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm² y con alguna frecuencia lb/pulg²(p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kgf/cm². Aunque

⁹ Disponible en internet en : [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_\(hormig%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_(hormig%C3%B3n))

¹⁰ Disponible en internet en: <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-02.pdf>

hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas.¹¹

$$\sigma = \frac{P \text{ max}}{A \text{ transversal}}$$

σ = Resistencia a la compresión

P = valor de carga registrada en la muestra.

A= área transversal de la probeta de concreto

5.1.7 Resistencia a la flexión

Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas

Según la norma I.N.V.E. 415 -07 La ecuación necesaria para la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central es: ¹²

$$R = \frac{3 P l}{2 b d^2}$$

R = módulo de rotura, MPa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),

l = longitud de la luz, mm (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg), y

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).

¹¹ Disponible en internet en : http://www.slideshare.net/1120353985/ntc-673-compresion-concretos?fb_action_ids=10151565149687188&fb_action_types=slideshare%3Adownload&fb_source=other_multiline&action_object_map=%7B%2210151565149687188%22%3A355296031237087%7D&action_type_map=%7B%2210151565149687188%22%3A%22slideshare%3Adownload%22%7D&action_ref_map=%5B%5D

¹² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Bogotá D.C.: COLOMBIA. TITULO E, 2015 I.N.V.E.-415 -07. N°1.

5.1.8 Fraguado

Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.¹³

5.1.9 Curado

Proceso con el cual se mantienen una temperatura y un contenido de humedad adecuados, durante los primeros días después del vaciado, para que se puedan desarrollar en él las propiedades de resistencia y durabilidad.¹⁴

¹³ Disponible en internet en : <https://es.wikipedia.org/wiki/Fraguado>

¹⁴Sika Informaciones Técnicas, Curado del Concreto. COLOMBIA. ISSN-0122-0594

5.2. MARCO LEGAL

NTC 221: Norma para determinar la densidad del cemento

NTC 174: Análisis granulométrico de agregados

NSR 10 TITULO C: requisitos de reglamento para concreto estructural

ASTMC 127: gravedad específica y absorción de agregados

ASTM C947: verificar las propiedades de flexión determinado por este método de ensayo

INVE 222-07: Describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de gravedades específicas bulk y aparente 23 /23°C (73.4/73.4°F), así como la absorción de agregados finos.

NTC 1486: presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación

NTC 4490: referencias documentales para fuentes de información electrónicas

NTC 5613: referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura

UNE-EN 1170-8:2009: Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio

NTC 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

NTC 550: Elaboración y curado de especímenes con concreto en obra.

NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

ASTM C239: Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en el punto medio).

NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

NTC 3459: Agua para la elaboración de concreto.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se va a utilizar tiene un enfoque cuantitativo desarrollado en el tipo de investigación experimental, en que se pretende diseñar concretos reforzados con fibra de vidrio para evaluar su comportamiento mecánico.

6.2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

FASE 1. Determinar el diseño de mezcla óptimo para concretos reforzados con fibra de vidrio.

Por medio del procedimiento para diseño de mezclas de concreto de la ACI se seleccionan los materiales que cumplan las especificaciones técnicas solicitadas, tanto de granulometría de arenas y gravas a sí mismo como las propiedades del cemento y determinar la composición óptima que garantice la resistencia deseada.

Para llevar a cabo esta fase se determinaron una serie de actividades, las cuales son:

Actividad 1.1 Selección de materiales

Actividad 1.2 Diseño de mezcla.

Actividad 1.3 Fabricación de probetas.

FASE 2. Establecer la variación de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de los concretos reforzados con fibras de vidrio para varias dosificaciones.

En esta etapa se construirán las probetas necesarias para ensayarlas por medio de los métodos de resistencia a la compresión y el método de resistencia a la flexión en el punto medio de la viga, y obtener datos de laboratorio, que posteriormente se organizaran en función de la edad de falla, dosificación y resistencia obtenida, utilizando las normas NTC 673: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto y ASTM C239: Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en el punto medio).

Actividad 2.1 Elaboración de formatos de registro.

Actividad 2.2 Recopilación de información en formatos.

FASE 3: Comparar los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, flexión con concretos sin adición de fibra de vidrio.

Para concluir la investigación se correlacionaran los resultados obtenidos en la anterior fase, para determinar el comportamiento óptimo de nuestra mezcla de concreto entre módulo de rotura y resistencia a la compresión.

7. RESULTADOS Y ANALISIS

Inicialmente se realizó selección de materiales, al realizar la búsqueda de la fibra de vidrio se encontró comercialmente la fibra en tela o en paños, que es una membrana textil, que entrelaza hilos de fibra de vidrio en diferentes direcciones, siendo un material muy complejo de manipular ya que para el uso específico que se desea no es recomendable por el tiempo en abrir el material para sacar las fibras de la tela, aparte de eso la fibra no tiene propiedades físicas continuas como longitud y diámetro.

Se identificaron las presentaciones comerciales de las fibras de vidrio en el mercado colombiano, realizando una comparación entre ellas, y permitiendo determinar cuál puede ser la que más se ajusta a las características físicas y mecánicas de las fibras según la clasificación en la tabla 1.

“El vidrio se puede clasificar como: Vidrio E, con cualidades dieléctricas, y su fibra es la más comúnmente usada; Vidrio R, de alto desempeño mecánico, para un trabajo en el comportamiento a fatiga, temperatura y humedad; Vidrio D, con características dieléctricas, permeable a ondas electromagnéticas; Vidrio AR, resistente al álcali, con alto contenido de óxido de zirconio, desarrollado especialmente para reforzar concreto, y; Vidrio C, desarrollado particularmente para ofrecer resistencia a la corrosión, y es usado en la fabricación de fieltros para el recubrimiento de tubería. En la tabla 1, son mostradas las principales propiedades mecánicas de las fibras elaboradas con los diferentes tipos de vidrio.”¹⁵

Tabla 1. Principales propiedades mecánicas de la fibra de vidrio, elaborada a partir de los vidrios E, D, R Y AR.*

Propiedad / Vidrio	E	D	R	AR
Densidad [g/cm ³]	2,60	2,14	2,53	2,68
Resistencia a la tensión [MPa]	3400	2500	4400	3000
Módulo elástico [MPa]	72	55	86	72
Resistencia a la ruptura [%]	4,5	4,5	5,2	4,3

Tomado y adaptado de módulo de lectura para la asignatura análisis de estructuras.¹⁶

¹⁵ GONZALEZ SALCEDO, Luis Octavio. Estructuras de concreto. Generalidades sobre las fibras artificiales, módulo de lectura para la asignatura análisis de estructura. Una ed. Palmira: Universidad Nacional De Colombia, 2010.9p.

¹⁶ BRAVO C., J.P. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: influencia del porcentaje de fibra adicionado. Trabajo de Grado (Ingeniero de Materiales). Universidad de Chile. Santiago,2003. 90p.

Figura 1. Verificando la fibra



Fuente: Propia

Se compararon las características físicas tales como longitud, textura, densidad, peso específico, flexibilidad, facilidad de incorporarse con el diseño de mezcla, condiciones físicas que se tienen que tener en cuenta para la mezcla y fundida de todos los materiales. En la figura 1 se observa la presentación de la fibra de vidrio, la cual se corta a la medida requerida (50mm) tal como se evidencia en la Figura 2 y 3, la longitud de corte es el doble de la longitud utilizada en otras investigaciones y estandarizarla para su mejor manipulación así mismo poder pesar la cantidad necesaria en el momento de la mezcla y fundida.

Figura 2. Cortando la fibra con medida

estándar



Fuente: Propia

Figura 3. Fibra cortada a 50mm



Fuente: Propia

Los agregados pétreos utilizados se trajeron de la planta agregados del Tolima, Ubicada en el Km 2.5 vía Bogotá _ Siberia, los equipo utilizados por disponibilidad de tiempo para el desarrollo experimental en las instalaciones de la universidad se transportaron a una locación propia del grupo de investigación.

Por consiguiente se procedió a realizar el diseño de mezcla por el método establecido por la AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI, el cual persigue como objetivo la combinación más práctica y económica de los materiales para producir un concreto que cumpla con los requerimientos y condiciones de su uso.

Para el diseño de mezclas de concreto es necesario adquirir las propiedades solicitadas de los agregados en el laboratorio, así mismo del cemento a utilizar.

Tabla 2. Datos para la mezcla del concreto a diseñar

DATOS NECESARIOS PARA LA MEZCLA DE CONCRETO		
ELEMENTO	NORMA	RESULTADO
1.2.1 Masa unitaria suelta del cemento (MUSC)	1.13 g/cm ³
1.2.2 Densidad del cemento (Gc)	NTC 221	2.94 g/cm ³
1.2.3 Densidad de agua (Ga)	1 g/cm ³
1.2.4 Masa unitaria del agua (MUSA)	1 g
1.2.5 Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.	NTC 174	
1.2.5.1 Agregado Grueso (Gravas)	NTC 174	CUMPLE
1.2.5.1.1 Tamaño Máximo Nominal	NTC 174	1"
1.2.5.2 Agregado Fino (arenas)	NTC 174	CUMPLE
1.2.5.3 Módulo De Finura.	NTC 174	2,42
1.2.6 Gravedad específicas en agregado grueso y fino	ASTM C 127	
1.2.6.1 Gravedad específica Bulk	ASTM C 127	2.342 g/cm ³
1.2.6.2 Gravedad específica bulk saturado superficialmente seco	ASTM C 127	2.369 g/cm ³
1.2.6.3 Absorción en agregado gruesos.	ASTM C 127	1,14%
1.2.6.4 Densidad aparente seca	AASHTO T 85	2.51 g/cm ³
1.2.6.5 Absorción de agregado fino	AASHTO T 85	8,80%
1.2.7 selección del asentamiento		100 - 150 mm
1.2.8 Estimación de la cantidad de agua en la mezcla		200 kg x 1 m ³
1.2.9 Selección de la resistencia de la mezcla, por medio de la resistencia corregida		250 kg/cm ²
1.2.10 Selección De La Relación Agua Cemento		0,5
1.2.11 Calculo De La Cantidad De Cemento		400 kg x 1 m ³
1.2.12 Calculo en volumen de los Agregados		663.94 cm ³ x 1 m ³
1.2.12.1 Calculo en masa del agregado		1613.38 kg x 1 m ³
1.2.12.2 Calculo en masa del agregado fino		726.024 kg x 1 m ³
1.2.12.3 Calculo en masa del agregado grueso		887.359 Kg x 1 m ³
1.2.13 Corrección por humedad.		
1.2.14 Proporción de materiales		

Fuente: Propia

Realizados los cálculos necesario se obtuvo la siguiente proporción, así mismo se determinó la cantidad de fibra utilizada en cada dosificación.

Tabla 3. Proporción de materiales con pesos corregidos.

Fuente: Propia

Proporción		
Material	kg	kg x m ³
Cemento	400,00	1,00
Arena	731,83	1,83
Grava	897,47	2,24
Agua	184,08	0,46
TOTAL	2213,38	5,53

Fuente: Propia

Tabla 4. Dosificación de la fibra

Dosificación de fibra (kg) x m ³ de concreto							
Sin fibra	Fibra 1	Fibra 2	Fibra 3	Fibra 4	Fibra 5	Fibra 6	Fibra 7
0,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00

Fuente: Propia

Terminado el proceso de diseño de mezcla se procedió a realizar la construcción de las probetas de concreto Para esta actividad se calculan cantidades de materiales utilizados para cubrir el volumen que ocupan 6 cilindros y 2 vigas de concreto, de la siguiente manera.

Tabla 5. Volúmenes de concreto a utilizar para cada dosificación.

	m ³	Cantidad	Total (m ³)
Volumen cilindro	0,0057	6	0,0339
Volumen viga	0,0119	2	0,0239
	TOTAL		0,0578

Fuente: Propia

Tabla 6. Peso de los materiales para cubrir el volumen señalado.

Material	kg x m ³	0.0578 m ³ (kg)
Cemento	400	23,12
Arena	731,83	42,3
Grava	897,47	51,87
Agua	184,08	10,64
Fibra 1	1,5	0,09
Fibra 2	1,75	0,1
Fibra 3	2	0,12
Fibra 4	2,25	0,13
Fibra 5	2,5	0,14
Fibra 6	2,75	0,16
Fibra 7	3	0,17

Fuente: Propia

Calculadas las cantidades necesarias para cada una de las dosificaciones, se inicia a producir la pasta de concreto, chequeando que todo el equipo necesario está disponible.

Figura 4. Camisas para probetas



Fuente: Propia

Figura 5. Recipientes a utilizar en la fundida



Fuente: Propia

Figura 6. Herramientas de mano.



Fuente: Propia

Figura 7. Cono de Abraham.



Fuente: Propia

Se inicia pesando cada uno de los materiales según la proporción anteriormente señalada.

El procedimiento para la preparación de la mezcla de concreto fue el siguiente:

Se enciende el trompo mezclador de concreto, posteriormente se ingresa al mezclador el 30% de la cantidad de agua requerida para la mezcla.

Por consiguiente se ingresa el 100 % de la cantidad de cemento calculada, luego se agrega 50% de la cantidad requerida de agregado grueso pesado previamente por el grupo de investigación y se adiciona el 50 % del agregado fino. Por último verificamos que los componentes se estén mezclando unos con otros y no allá disgregación de materiales.

Pasado dos minutos de la verificación se procede a ingresar la fibra de vidrio en la dosificación calculada, teniendo en cuenta que las aspas de la mezcladora pueden capturar el material y retenerlo en su interior mas no en la misma mezcla, por lo tanto es conveniente introducir en el centro de giro de la mezcladora.

Figura 8. Agregando al diseño de mezcla fibra de vidrio



Fuente: Propia

Luego de introducir la fibra, se procede a colocar el restante de los materiales, en el siguiente orden: 30% de agua, restante de agregado grueso, agregado fino y agua.

Se deja que la mezcla se agrupe por 5 minutos y se procede a depositarla sobre el recipiente.

Figura 9. Sacando la pasta de concreto



Fuente: Propia

Con la muestra de concreto se procede a realizar la comprobación del asentamiento calculado y que la muestra se encuentra acorde a las características previamente establecidas, el concreto se diseñó para un asentamiento entre 10,5 y 15 cm de asentamiento.

Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Este se sujeta firme con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde aproximadamente.

Figura 10. Verificación del asentamiento de diseño



Fuente: Propia

Cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro.

La capa del fondo debe compactarse a través de todo su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.

Figura 11. Descargando la varilla según la norma NTC 396.



Fuente: Propia

Al llenar la capa superior debe apilarse concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, debe agregarse concreto para que en todo momento haya una cantidad adicional sobre el molde.

Después de compactarse la última capa debe alisarse a ras la superficie del concreto utilizando la varilla compactadora. Inmediatamente se retira el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Se levanta el molde a una distancia de 300 mm durante 5 s \pm 2 s, mediante un movimiento uniforme hacia arriba sin producir movimiento lateral de torsión al concreto. La operación completa, desde que comienza a llenar el molde hasta que se retira, debe efectuarse sin interrupción durante un tiempo máximo de 2 min, 30 s.6.4 Inmediatamente se mide el asentamiento, determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro desplazado de la superficie de la muestra. Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o un desprendimiento del concreto hacia un lado de la muestra debe rechazarse el ensayo y efectuarse nuevamente sobre otra posición de la muestra.

Figura 12. Medida de asentamiento de pasta de concreto.



Fuente: Propia

Se evidencia en la figura 12 que el asentamiento de la mezcla de concreto sin fibra es de 130 mm.

Al verificar que nuestra pasta de concreto cumple con la condición inicial de diseño (asentamiento) se continúa con la preparación de muestras en cilindros y vigas, se procede a la preparación de las viguetas según lo estipulado en la norma NTC550, la cual indica que este tipo de probeta debe ser fundido en dos capas de igual espesor y además deben ser apisonada cada capa con una varilla lisa, para este tipo de probetas se determina que el número de golpes es uno por cada 14cm

Posteriormente se procede a afinar la superficie de las viguetas para que sea lo más plana y uniforme posible.

Luego de esto se procede a vaciar el concreto en unas probetas cilíndricas siguiendo lo estipulado por la norma NTC 550 la cual dice que este tipo de probetas debe ser fundida en tres capas de igual espesor y apisonadas cada una con 25 golpes respectivamente.

Figura 13. Elaboración de cilindro de concreto.



Fuente: Propia

Después se procede a dejar las probetas en un lugar donde puedan fraguar durante 24 horas sin ninguna alteración

Figura 14. Vigas y cilindros fundidos.



Fuente: Propia

Luego se procede a marcar las probetas con el contenido de fibra que contiene cada una, la fecha en la cual fueron construidas y el número consecutivo de cada una (figura 15).

Figura 15. Cilindros marcados con la fecha de elaboración, dosificación y número de referencia.



Fuente: Propia

Seguidamente se procede a desencofrar las probetas, transportarlas a el lugar acondicionado donde tengan las condiciones de curado (sumergido en agua), durante un periodo de 7, 14, 21 y 28 días que es el tiempo en el cual adquiere su mayor resistencia.

Figura 16. Vigas y cilindros en curado



Fuente: Propia

pobreta a fallar que para este caso son de 15 cm x 15 cm en sus caras y 53 cm de longitud Y cilindros de 6" de diámetro por una relación de altura de dos veces el diámetro es decir 12".

Se aplica el procedimiento que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central. Por medio de la norma INV E – 415 – 07.

Figura 17. Determinación del punto de carga al centro de la viga



Fuente: Propia

Figura 18. Falla de la viga.



Fuente: Propia

El ensayo se realiza aplicando un carga (figura 18) que incrementa gradualmente y va desde 0 KN hasta que la muestra falle.

Por otra parte se utilizó el procedimiento descrito en la NTC 673 el cual describe las condiciones iniciales de la muestra y el procedimiento de falla en el laboratorio.

Figura 19. Falla de Cilindros.



Fuente: Propia

Figura 20. Cilindros para falla.



Fuente: Propia

Esta fase inicia tomando el control de asentamiento para cada dosificación. Ver anexo 5

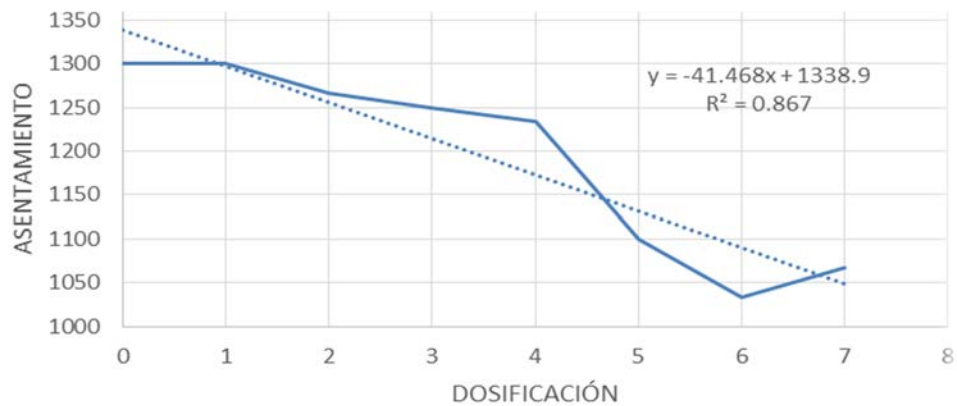
Tabla 8. Dosificación Vs asentamiento en mm.

Dosificación	Asentamiento (mm)
0	130
1	130
2	126.667
3	125.0
4	123.333
5	110.0
6	103.333
7	106.667

Fuente: Propia

Según el registro comportamiento del asentamiento a través de la inclusión de fibra de vidrio se evidencia que el asentamiento disminuye en función del aumento de fibra de vidrio.

Figura 21. Grafica del asentamiento con las diferentes dosificaciones de fibra de vidrio



Fuente: Propia

Por medio de la toma de datos en cada dosificación se promediaron los resultados como se evidencia en la tabla 9.

Tabla 9. Registro de asentamiento para cada dosificación.

REGISTRO DE ASENTAMIENTO PARA CADA DOSIFICACION					
FECHA DE FABRICACION	#	ELEMENTO	ASENTAMIENTO (mm)	DOSIFICACION FIBRA	PROMEDIO ASENTAMIENTO (mm)
28/03/2015	1	CILINDRO	1300	SIN F	1300
28/03/2015	2	CILINDRO		SIN F	
28/03/2015	3	CILINDRO		SIN F	
28/03/2015	4	CILINDRO		SIN F	
28/03/2015	5	CILINDRO		SIN F	
28/03/2015	6	CILINDRO		SIN F	
28/03/2015	7	CILINDRO	1300	1 F	1300
28/03/2015	8	CILINDRO		1 F	
28/03/2015	9	CILINDRO		1 F	
28/03/2015	11	CILINDRO		1 F	
28/03/2015	10	CILINDRO		1 F	
28/03/2015	12	CILINDRO		1 F	
1/04/2015	50	CILINDRO	1300	1F	1300
1/04/2015	51	CILINDRO		1F	
1/04/2015	49	CILINDRO		1F	
28/03/2015	14	CILINDRO	1250	2 F	1266.67
28/03/2015	15	CILINDRO		2 F	
28/03/2015	17	CILINDRO		2 F	
28/03/2015	18	CILINDRO		2 F	
28/03/2015	13	CILINDRO		2 F	
28/03/2015	16	CILINDRO		2 F	
1/04/2015	52	CILINDRO	1300	2 F	1300
1/04/2015	53	CILINDRO		2 F	
1/04/2015	54	CILINDRO		2 F	
28/03/2015	19	CILINDRO	1250	3 F	1250
28/03/2015	20	CILINDRO		3 F	
28/03/2015	21	CILINDRO		3 F	
28/03/2015	23	CILINDRO		3 F	
28/03/2015	22	CILINDRO		3 F	
28/03/2015	24	CILINDRO		3 F	
1/04/2015	55	CILINDRO	1250	3F	1250
1/04/2015	56	CILINDRO		3F	
1/04/2015	57	CILINDRO		3F	
28/03/2015	25	CILINDRO	1250	4 F	1233.33
28/03/2015	26	CILINDRO		4 F	
28/03/2015	27	CILINDRO		4 F	
28/03/2015	28	CILINDRO		4 F	
28/03/2015	29	CILINDRO		4 F	
28/03/2015	30	CILINDRO		4 F	
1/04/2015	58	CILINDRO	1200	4F	1200
1/04/2015	59	CILINDRO		4F	
1/04/2015	60	CILINDRO		4F	
28/03/2015	32	CILINDRO	1100	5 F	1100
28/03/2015	33	CILINDRO		5 F	
28/03/2015	34	CILINDRO		5 F	
28/03/2015	35	CILINDRO		5 F	
28/03/2015	31	CILINDRO		5 F	
28/03/2015	36	CILINDRO		5 F	
1/04/2015	61	CILINDRO	1100	5F	1100
1/04/2015	62	CILINDRO		5F	
1/04/2015	63	CILINDRO		5F	
29/03/2015	37	CILINDRO	1000	6 F	1033.33
29/03/2015	38	CILINDRO		6 F	
29/03/2015	39	CILINDRO		6 F	
29/03/2015	40	CILINDRO		6 F	
29/03/2015	41	CILINDRO		6 F	
29/03/2015	42	CILINDRO		6 F	
1/04/2015	65	CILINDRO	1100	6F	1100
1/04/2015	66	CILINDRO		6F	
1/04/2015	67	CILINDRO		6F	
29/03/2015	43	CILINDRO	1050	7 F	1066.67
29/03/2015	44	CILINDRO		7 F	
29/03/2015	45	CILINDRO		7 F	
29/03/2015	46	CILINDRO		7 F	
29/03/2015	47	CILINDRO		7 F	
29/03/2015	48	CILINDRO		7 F	
1/04/2015	69	CILINDRO	1100	7F	1100
1/04/2015	68	CILINDRO		7F	
1/04/2015	70	CILINDRO		7F	

Fuente: Propia

A continuación se analizaron los resultados resistencia a la compresión.

Comportamiento de la resistencia a la compresión en función de la dosificación en un tiempo estable.

Tabla 10. Registro de resistencia a la compresión a los 7 días con diferente dosificación de fibra de vidrio.

DATOS A 7 DIAS					
				Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
Fecha de Fabricación	#	Elemento	Dosificación Fibra	7 Días	7 Días
01/04/2015	50	Cilindro	1F	157,06	74,79
01/04/2015	52	Cilindro	2F	156,51	74,53
01/04/2015	56	Cilindro	3F	175,37	109,61
01/04/2015	58	Cilindro	4F	129,16	61,50
01/04/2015	61	Cilindro	5F	155,52	74,06
01/04/2015	66	Cilindro	6F	157,22	74,87
01/04/2015	69	Cilindro	7F	177,78	84,66

Fuente: Propia

Tabla 11. Dosificación vs f'_c (kg/cm²) a 7 días

DOSIFICACION	f'_c 7 dias (Kg/cm ²)
1	157.06
2	156.51
3	175.37
4	129.16
5	155.52
6	157.22
7	177.78

Fuente: Propia

Se continua con la agrupacion de datos por medio de promedio de tres en tres para calcular el valor unitario para cada dosificación

Tabla 12. Dosificación f'_c (kg/cm²) a los 14 días

DOSIFICACION	f'_c 14 DIAS (Kg/cm ²)
0	109.64
1	155.59
2	151.49
3	189.16
4	170.09
5	156.62
6	220.61
7	184.72

Fuente: Propia

Tabla 13. Recopilación de datos de edades a 14 días y cálculo de promedio de tres en tres.

DATOS RECOPIADOS PARA EDADES DE 14 DIAS					RESISTENCIA (kg/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA (Kg/cm ²)
Fecha De Fabricación	#	Elemento	Asentamiento (mm)	Dosificación Fibra	14 Días	14 Días
28/03/2015	1	Cilindro	1300	SIN F	115,12	109,64
28/03/2015	2	Cilindro		SIN F	104,16	
28/03/2015	7	Cilindro	1300	1 F	137,09	155,59
28/03/2015	8	Cilindro		1 F	174,33	
01/04/2015	51	Cilindro		1 F	155,36	
28/03/2015	14	Cilindro	1250	2 F	133,10	151,49
28/03/2015	15	Cilindro		2 F	130,25	
01/04/2015	53	Cilindro		2 F	191,10	
28/03/2015	19	Cilindro	1250	3 F	166,82	189,16
28/03/2015	20	Cilindro		3 F	195,54	
01/04/2015	55	Cilindro	1250	3 F	205,13	
28/03/2015	25	Cilindro	1250	4 F	176,79	170,09
28/03/2015	26	Cilindro		4 F	152,95	
01/04/2015	59	Cilindro		4 F	180,52	
28/03/2015	32	Cilindro	1100	5 F	157,17	156,62
28/03/2015	33	Cilindro		5 F	142,97	
01/04/2015	62	Cilindro		5 F	169,72	
29/03/2015	37	Cilindro	1000	6 F	220,60	220,61
29/03/2015	38	Cilindro		6 F	227,28	
01/04/2015	65	Cilindro	1100	6 F	213,96	
29/03/2015	43	Cilindro	1050	7 F	173,78	184,72
01/04/2015	68	Cilindro		7F	195,65	

Fuente: Propia

Tabla 14. Recopilación de datos de edades a 21 días.

DATOS RECOPIADOS PARA EDADES DE 21 DIAS					RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA (Kg/cm ²)
Fecha De Fabricación	#	Elemento	Asentamiento (mm)	Dosificación Fibra	21 Días	21 Días
28/03/2015	3	Cilindro		SIN F	148,56	149,52
28/03/2015	4	Cilindro		SIN F	150,48	
28/03/2015	9	Cilindro		1 F	164,30	161,72
28/03/2015	11	Cilindro		1 F	159,14	
28/03/2015	17	Cilindro		2 F	150,54	158,57
28/03/2015	18	Cilindro		2 F	166,60	
28/03/2015	21	Cilindro		3 F	178,93	183,81
28/03/2015	23	Cilindro		3 F	188,69	
28/03/2015	27	Cilindro		4 F	193,90	187,87
28/03/2015	28	Cilindro		4 F	181,84	
28/03/2015	34	Cilindro		5 F	168,79	167,06
28/03/2015	35	Cilindro		5 F	165,34	
29/03/2015	39	Cilindro		6 F	239,29	246,64
29/03/2015	40	Cilindro		6 F	253,98	
29/03/2015	44	Cilindro		7 F	191,16	194,04
29/03/2015	45	Cilindro		7 F	196,91	

Fuente: Propia

Tabla 15. Dosificación a los 21 días f'_c (kg/cm²)

DOSIFICACION	RESISTENCIA 21 DIAS (Kg/cm ²)
0	149.52
1	161.72
2	158.57
3	183.81
4	187.87
5	167.06
6	246.64
7	194.04

Fuente: Propia

Tabla 16. Recopilación de datos de edades a los 28 días.

DATOS RECOPIADOS PARA EDADES DE 28 DIAS					RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA (Kg/cm ²)
Fecha De Fabricación	#	Elemento	Asentamiento (mm)	Dosificación Fibra	28 Días	28 Días
28/03/2015	5	Cilindro		SIN F	206,36	211,83
28/03/2015	6	Cilindro		SIN F	217,31	
28/03/2015	10	Cilindro		1 F	210,24	216,08
28/03/2015	12	Cilindro		1 F	215,55	
01/04/2015	49	Cilindro		1F	222,46	
28/03/2015	13	Cilindro		2 F	204,64	211,20
28/03/2015	16	Cilindro		2 F	211,99	
01/04/2015	54	Cilindro		2F	216,98	
28/03/2015	22	Cilindro		3 F	218,18	248,06
28/03/2015	24	Cilindro		3 F	210,51	
01/04/2015	57	Cilindro		3F	315,49	
28/03/2015	29	Cilindro		4 F	215,28	212,90
28/03/2015	30	Cilindro		4 F	215,33	
01/04/2015	60	Cilindro		4F	208,10	
28/03/2015	31	Cilindro		5 F	221,80	219,50
28/03/2015	36	Cilindro		5 F	224,49	
01/04/2015	63	Cilindro		5F	212,21	
29/03/2015	41	Cilindro		6 F	273,06	247,75
29/03/2015	42	Cilindro		6 F	239,84	
01/04/2015	67	Cilindro		6F	230,35	
29/03/2015	47	Cilindro		7 F	220,21	224,51
29/03/2015	48	Cilindro		7 F	214,18	
01/04/2015	70	Cilindro		7F	239,13	

Fuente: Propia

Tabla 17. Dosificación a los 28 días f'_c (kg/cm²)

DOSIFICACION	RESISTENCIA 28 DIAS (Kg/cm ²)
0	211.83
1	216.08
2	211.20
3	248.06
4	212.90
5	219.50
6	247.75
7	224.51

Fuente: Propia

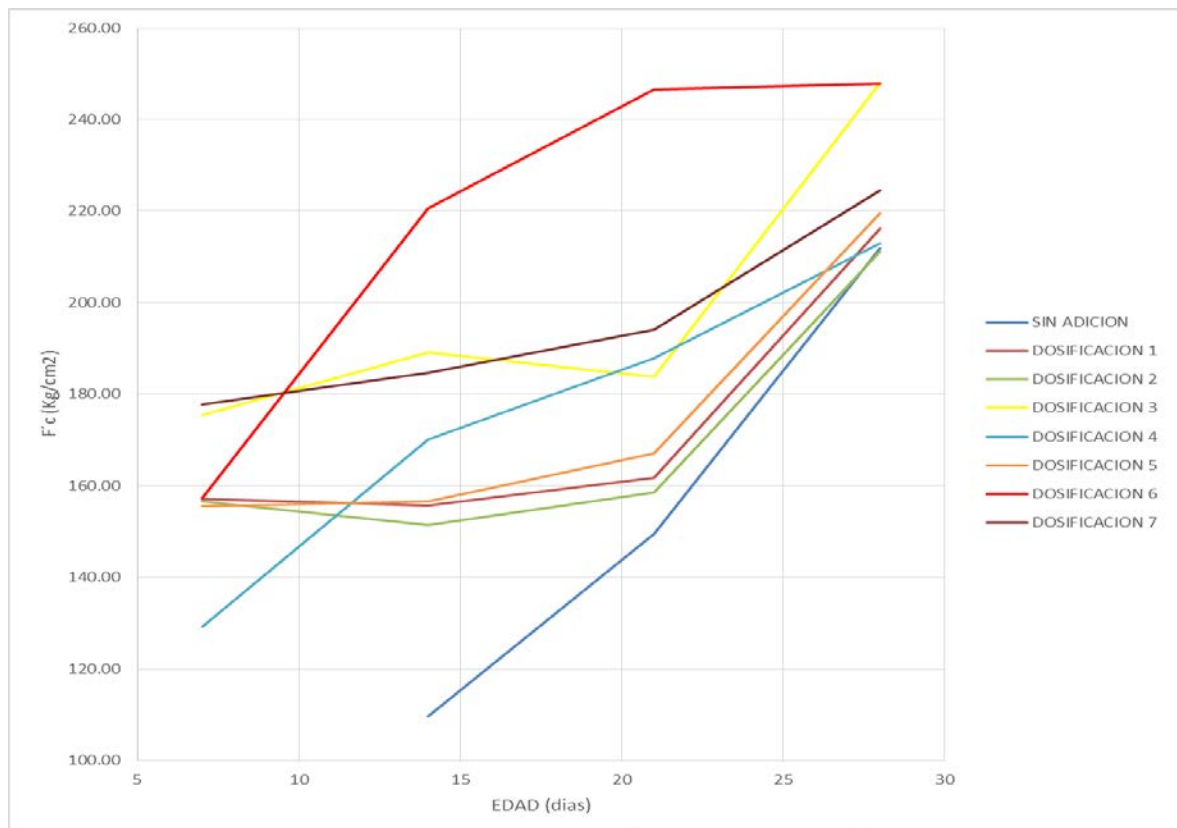
A continuación se recopilan los datos obtenidos en diferentes edades para cada una de las dosificaciones.

Tabla 18. Resistencia a los diferentes días con diferente dosificación de fibra de vidrio.

	RESISTENCIA 7 Días (Kg/cm ²)	RESISTENCIA 14 Días (Kg/cm ²)	RESISTENCIA 21 Días (Kg/cm ²)	RESISTENCIA 28 Días (Kg/cm ²)
Dosificación	7	14	21	28
0	0	109,64	149,52	211,83
1	157,06	155,59	161,72	216,08
2	156,51	151,49	158,57	211,20
3	175,37	189,16	183,81	248,06
4	129,156263	170,09	187,87	212,90
5	155,524753	156,62	167,06	219,50
6	157,224178	220,61	246,64	247,75
7	177,781732	184,72	194,04	224,51

Fuente: Propia

Figura 22. Grafica del comportamiento del concreto a la resistencia A Los 7, 14, 21 Y 28 dias con y sin adición de fibra de vidrio.



Fuente: Propia

Los diferentes incrementos de fibra de vidrio muestran aumento en la resistencia a la compresión con respecto a concreto sin adición de fibra de vidrio,

evidenciando que el aumento en la resistencia a la compresión empieza desde edades tempranas como a 7 días, hasta su madurez final, por otra parte el aumento de la resistencia muestra un comportamiento exponencialmente, es posible que a mayor edad los diferentes incrementos lleguen a un límite máximo, como se denota en la dosificación 3 y 6.

Por consiguiente se analizaron los datos obtenidos para la resistencia a la flexión en el punto medio de las vigas con edades de 28 días, adicionalmente se promediaron los valores obtenidos, para dar un valor por cada dosificación.

Tabla 19. Formato para registro de datos de resistencia a la flexión en el punto medio a los 28 días

FECHA DE FABRICACION	#	ELEMENTO	DOSIFICACION N FIBRA	EDAD	LONG. DE LA LUZ (mm)	ANCHO DE LA VIGA (mm)	ALTO DE LA VIGA (mm)	ALTO DE LA VIGA (mm 2)	CARGA MAXIMA APLICADA (N)	MR (Mpa)
28/03/2015	1	Viga	SIN F	28	460	150	150	22500	16390	3,35
28/03/2015	2	Viga	SIN F	28	460	150	150	22500	15230	3,11
28/03/2015	3	Viga	1 F	28	460	150	150	22500	16670	3,41
28/03/2015	4	Viga	1 F	28	460	150	150	22500	16500	3,37
28/03/2015	5	Viga	2 F	28	460	150	150	22500	16260	3,32
28/03/2015	6	Viga	2 F	28	460	150	150	22500	17480	3,57
28/03/2015	7	Viga	3 F	28	460	150	150	22500	16790	3,43
28/03/2015	8	Viga	3 F	28	460	150	150	22500	16580	3,39
28/03/2015	9	Viga	4 F	28	460	150	150	22500	16190	3,31
28/03/2015	10	Viga	4 F	28	460	150	150	22500	16720	3,42
28/03/2015	11	Viga	5 F	28	460	150	150	22500	16990	3,47
28/03/2015	12	Viga	5 F	28	460	150	150	22500	18290	3,74
29/03/2015	13	Viga	6 F	28	460	150	150	22500	12990	2,66
29/03/2015	14	Viga	6 F	28	460	150	150	22500	16280	3,33
29/03/2015	15	Viga	7 F	28	460	150	150	22500	15690	3,21
29/03/2015	16	Viga	7 F	28	460	150	150	22500	18670	3,82
01/04/2015	17	Viga	1 F	28	460	150	150	22500	17620	3,60
01/04/2015	18	Viga	2 F	28	460	150	150	22500	19300	3,95
01/04/2015	19	Viga	3 F	28	460	150	150	22500	16900	3,46
01/04/2015	20	Viga	4 F	28	460	150	150	22500	16850	3,44
01/04/2015	21	Viga	5 F	28	460	150	150	22500	19170	3,92
01/04/2015	22	Viga	6 F	28	460	150	150	22500	19360	3,96
01/04/2015	23	Viga	7 F	28	460	150	150	22500	19440	3,97

Fuente propia

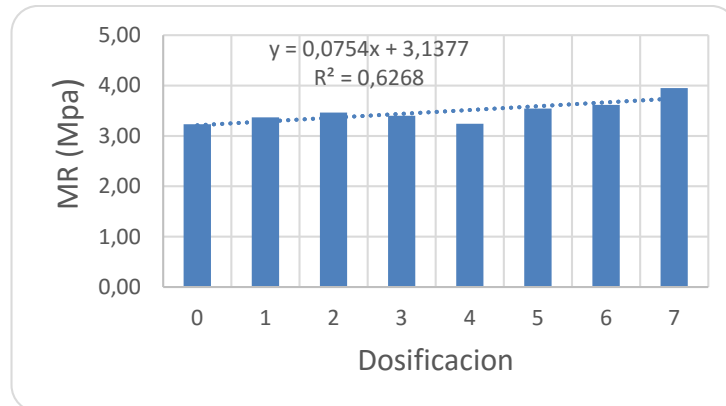
Adicionalmente se calculó el módulo de rotura MR en MPa y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 20. Dosificación MR promedio en Mpa.

DOSIFICACION	MR (Mpa) Prom
0	3.23
1	3.37
2	3.47
3	3.40
4	3.24
5	3.54
6	3.62
7	3.95

Fuente: Propia

Figura 23. MR a los 28 días mostrado en barras.



Fuente: Propia

Según el resultado obtenido se observa un comportamiento lineal a través de las dosificaciones, excepto en la dosificación 4 que no presentó ningún aumento en la resistencia, sin embargo las demás dosificaciones sí presentaron cambio alguno.

FASE 3: Comparar los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, flexión con concretos sin adición de fibra de vidrio.

Esta fase se inició relacionando los valores obtenidos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión a los 28 días conservando las mismas unidades para cada una de las dosificaciones.

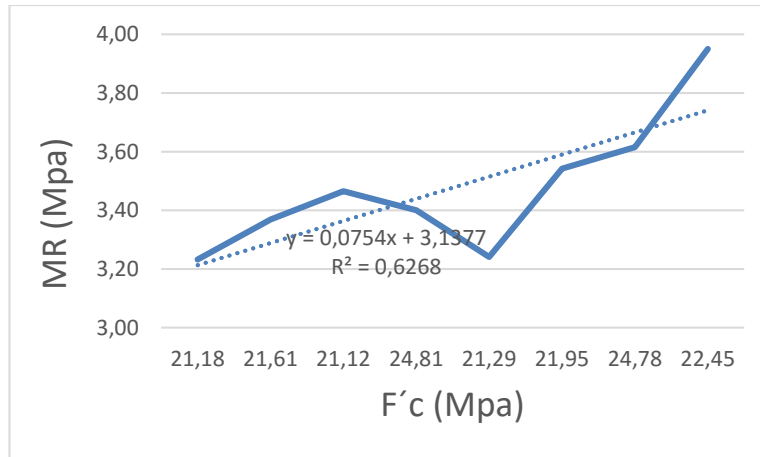
Tabla 21. Dosificación del concreto en MPa y MR en promedio con las mismas unidades.

DOSIFICACION	f'c (Mpa) Prom	MR (Mpa) Prom
0	21.18	3.23
1	21.61	3.37
2	21.12	3.47
3	24.81	3.40
4	21.29	3.24
5	21.95	3.54
6	24.78	3.62
7	22.45	3.95

Fuente: Propia

La siguiente gráfica muestra la relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión cuyo comportamiento es lineal, observando que la dosificación 4 no presenta ningún cambio en su comportamiento a flexión por el contrario las demás dosificaciones guardan relación y aumento en la resistencia a la compresión y flexión, por otra parte la dosificación 3 disminuye su comportamiento a flexión en relación con la dosificación 2.

Figura 24. Relación porcentual según la norma MR debe ser 15% del concreto (f'c)



Fuente: Propia

Tabla 22. Relación porcentual entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.

DOSIFICACION	f'c (Mpa)	MR (Mpa) Prom	%
0	21.18	3.23	15.26%
1	21.61	3.37	15.59%
2	21.12	3.47	16.41%
3	24.81	3.40	13.71%
4	21.29	3.24	15.22%
5	21.95	3.54	16.14%
6	24.78	3.62	14.59%
7	22.45	3.95	17.60%

Fuente: Propia

Según estudios anteriormente realizados enuncian que la relación entre la resistencia a la compresión con la resistencia flexión en el punto medio del viga debe ser del 15% o mayor por lo tanto el diseño de mezcla sin adición de fibra cumple este criterio, así mismo las dosificaciones 1, 2, 4, 5 y 7

CÁLCULOS

Para la fase 1 en la actividad diseño de mezcla a través de las normas anteriormente nombradas se obtuvieron los resultados relacionados en cada una de las actividades, a continuación se presentan los cálculos y análisis realizados para cada uno de ellos.

Densidad del cemento (Gc)

Se realizan tres lecturas iniciales del frasco Chatellier con el kerosene en su interior controlando y registrando la temperatura del frasco.

Tabla 23. Lectura de temperatura y volumen inicial y final.

LECTURA	TEMPERATURA (C°)		VOLUMEN (ml)	
			Inicial	Final
ID	Inicial	Final	Inicial	Final
1	21	22	0,1	21,6
2	21	22	0,1	21,6
3	22	22	0,2	22,4
Σ			0,4	65,6
Promedio			0,133	21,87

Fuente: Propia

Calcular la densidad del cemento utilizando la siguiente fórmula matemática.

$$\delta = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen(ml)}} = \delta = \frac{m}{(v_f - v_i)} \delta = \frac{64 \text{ g}}{(21.86\text{ml} - 0.13\text{ml})}$$

$$\delta = 2.94 \text{ g/ml}$$

Análisis granulométrico de agregados.

Inicialmente para el análisis granulométrico de los agregados, se deben realizar lavados y secados a los mismos, para evitar impurezas y soltura de material fino adherido al agregado grueso y que pueden alterar los resultados.

Figura 25. Grava lavada.



Fuente: Propia

Tabla 24. Registro análisis granulométrico de gravas.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GRAVAS					
Tamiz		PESO Retenido (g)	% Retenido	% RET Acumulado	% Que Pasa
N	Abertura (mm)				
2	50	0	0,000	0,000	100
1	25	134	2,724	2,724	97
¾	19	1495	30,392	33,116	67
½	12,5	3290	66,882	99,998	0
3/8	9,525	0,09	0,002	100,000	0
4	4,75	0	0,000	100,000	0
8	2,381	0	0,000	100,000	0
16	1,191	0	0,000	100,000	0
50	0,298	0	0,000	100,000	0
100	0,149	0	0,000	100,000	0
200	0,075	0	0,000	100,000	0
Pasa 200	Fondo				
Total muestra		4919,09	100,000		

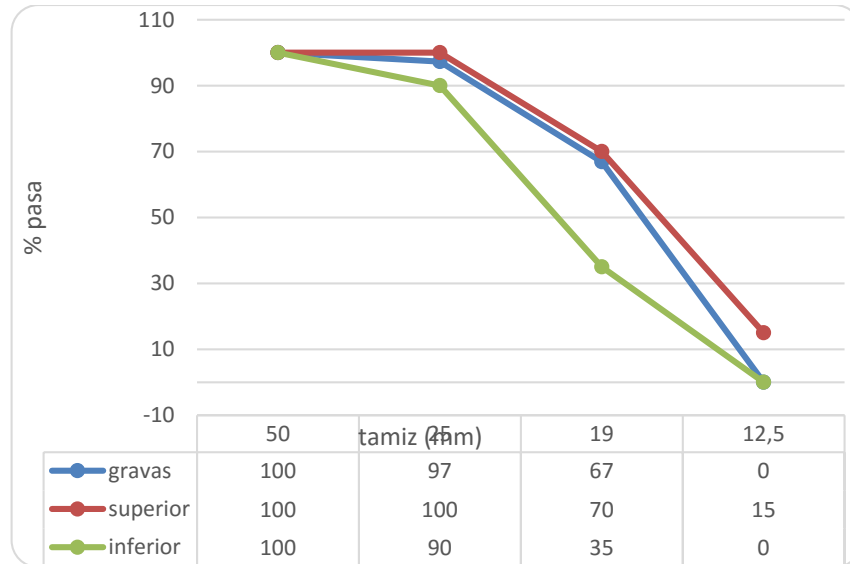
Fuente: Propia

Tabla 25. Registro de límites y gradaciones para agregados gruesos para concreto.

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguiente (porcentaje en masa)							
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tomado y adaptado de NTC 174.

Figura 26. Grafica tamizado de la grava.



Fuente: Propia

Según el análisis granulométrico realizado al agregado grueso se logra determinar que la gradación se encuentra entre los límites permitidos por la norma NTC 174.

Para la clasificación del tamaño máximo nominal en agregado grueso se identifica las cualidades del material según las NTC 174

<p>TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2"</p> <p>PRIMERA CONDICIÓN: Que el material pase el 100% por la malla de 2", pero se retenga el 5% o menos, en la malla de 1 1/2".</p> <p style="text-align: center;">o bien</p> <p>SEGUNDA CONDICIÓN: Que el material pase el 100% por la malla de 1 1/2", pero se retenga más del 5% en la malla de 1".</p> <p>TAMAÑO MAXIMO DE 1"</p> <p>PRIMERA CONDICIÓN: Que el material pase el 100% por la malla de 1 1/2",</p>
--

pero se retenga el 5% o menos, en la malla de 1".

o bien

SEGUNDA CONDICIÓN:

Que el material pase el 100% por la malla de 1", pero se retenga más del 10% en la malla de 3/4".

TAMAÑO MAXIMO DE 3/4"

PRIMERA CONDICIÓN:

Que el material pase el 100% por la malla de 1", pero se retenga el 10% o menos, en la malla de 3/4".

o bien

SEGUNDA CONDICIÓN:

Que el material pase el 100% por la malla de 3/4", pero se retenga más del 10% en la malla de 1/2".

TAMAÑO MAXIMO DE 1/2"

PRIMERA CONDICIÓN:

Que el material pase el 100% por la malla de 3/4", pero se retenga el 5% o menos, en la malla de 1/2".

o bien

SEGUNDA CONDICIÓN:

Que el material pase el 100% por la malla de 1/2", pero se retenga más del 10% en la malla de 3/8".

Fuente: NTC 174.

Como bien se puede identificar según las condiciones presentadas en el ábaco anterior:

El tamaño máximo nominal = 1"

El tamaño máximo = 1 1/2 "

Agregado fino (arenas)

La siguiente tabla muestra los límites superiores e inferiores permitidos por la norma NTC 174.

Tabla 26. Límites en porcentaje admitidos para arenas útiles para concreto.

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Fuente: tomado de NTC 174.

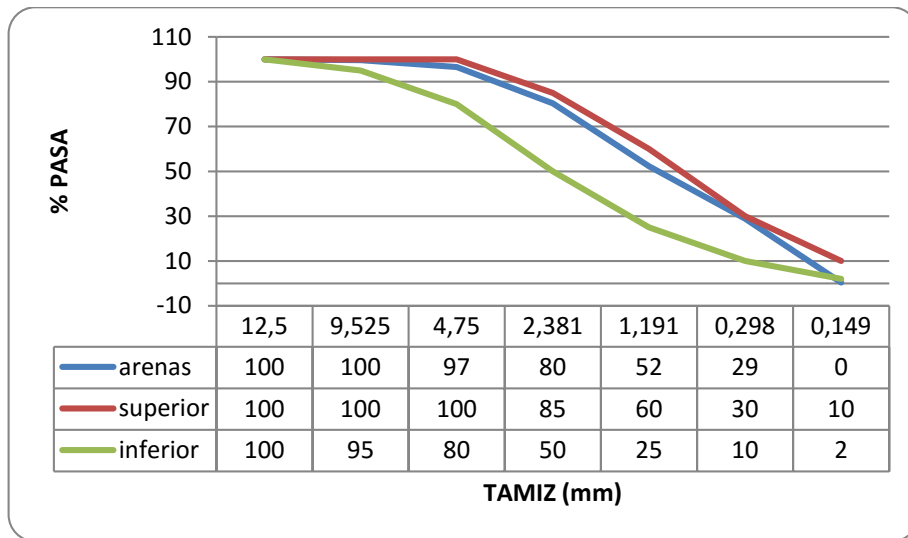
Tabla 27. Registro análisis granulométrico de arenas.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENAS					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% RET. Acumulado	%Pasa
N	Abertura (mm)				
2	50	0	0,000	0,000	100
1	25	0	0,000	0,000	100
¾	19	0	0,000	0,000	100
½	12,5	0	0,000	0,000	100
3/8	9,525	18	0,360	0,360	100
4	4,75	155	3,100	3,460	97
8	2,381	811	16,220	19,680	80
16	1,191	1402	28,040	47,720	52
50	0,298	1171	23,420	71,140	29
100	0,149	1425,232	28,505	99,645	0
200	0,075	17,026	0,341	99,985	0
Pasa 200	Fondo	0,742	0,015	100,000	0
	Total muestra	5000	100,000		

Fuente: Propia

Según el análisis granulométrico de arena podemos evidenciar que el material cumple las condiciones de la norma NTC 174.

Figura 27. Análisis granulométrico de arenas.



Fuente: Propia

Cálculo del módulo de finura.

Según la norma NTC 174, los módulos de finura no deben ser menores de 2,3 ni mayores de 3,1

$$MF = \frac{\sum \text{material acumulado desde el tamiz \#4 al \#100}}{100}$$

$$MF = \frac{241.64}{100}$$

$$MF = 2.42$$

En el análisis granulométrico de arenas, y teniendo en cuenta las condiciones mostradas en la NTC 174 se afirma que el agregado fino, cumple las condiciones exigidas para el módulo de finura.

Por consiguiente se calcula la gravedad específica para agregados finos y gruesos por medio de los métodos:

Gravedad específica BULK.

Para los cálculos se obtienen los siguientes datos experimentales:

Tabla 28. Pesos de muestras.

DESCRIPCIÓN	MASA (g)
Peso muestra en aire	2103
Peso de la canastilla sumergida	892.2
Peso de la muestra + canastilla sumergidas	2107.5
Peso de la muestra seca	2079.1

Fuente: Propia

Calculo de gravedad específica BULK

Tabla 29. Gravedad específica BULK.

ID	DESCRIPCIÓN	MASA (g)
A	Peso en el aire de la muestra seca	2079.1
B	<i>Peso en el aire de la muestra saturada con superficie sec</i>	2103
C	<i>Peso sumergido del agregado saturado</i>	1215.3

Fuente: Propia.

$$G = \frac{A}{B - C}$$
$$G = \frac{2079.1}{2103 - 1215.3}$$
$$G = 2.342g$$

1.2.6.2 Cálculo de gravedad específica BULK saturado superficialmente seco

$$G = \frac{B}{B - C}$$
$$G = 2.369$$

1.2.6.3 Cálculo del porcentaje de absorción de los agregados gruesos.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A}$$

$$\% \text{ Absorción} = 1.14\%$$

Para las pruebas de gravedad específica y absorción de agregado fino se obtiene los siguientes datos obtenidos del material:

Tabla 30. Resultados de masas.

ID	DESCRIPCION	MASA (g)
A	Masa del espécimen secada al horno	458.2
B	Masa del picnómetro a la marca de calibración	784
C	Masa del picnómetro con el espécime	994.1
S	Masa del espécimen	498.9

Fuente: Propia

$$\text{Densidad aparente} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad aparente} = 2.51g$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Densidad nominal} = 1.84g$$

A continuación, se calcula la Absorción de agregado fino.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{masa superficialmente seca} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}}$$

$$\% \text{ Absorción} = 8.8\%$$

Inicialmente para el diseño de mezcla se debe seleccionar el asentamiento deseado para la mezcla de concreto.

Para determinar el asentamiento de la mezcla de concreto se debe determinar el asentamiento esperado, basados en el tipo de uso que se desea brindar.

Tabla 31. Asentamientos.

CONSI-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:¹⁷

Se selecciona el concreto para Bombeo entre los 100 y 150 mm de asentamiento, debido a que estos concretos son los más usados para placas con agregados de TMN= 1”

Para la estimación de agua en la mezcla existen dos métodos de diseño los cuales son, para concretos sin aire incluido y concreto con aire incluido; en el caso se diseña para concreto sin aire incluido.

Tabla 32. Concreto sin aire incluido.

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 – 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 – 7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0 – 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 – 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 – 18,0	240	230	210	205	185	180	175
% CONTENIDO DE AIRE	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

Fuente:¹⁸

¹⁷ DISPONIBLE EN INTERNET EN : <http://es.slideshare.net/guillermogomez15/cap-08-dosificacion-de-mezclas-de-concreto>

Tabla 33. Concreto con aire incluido.

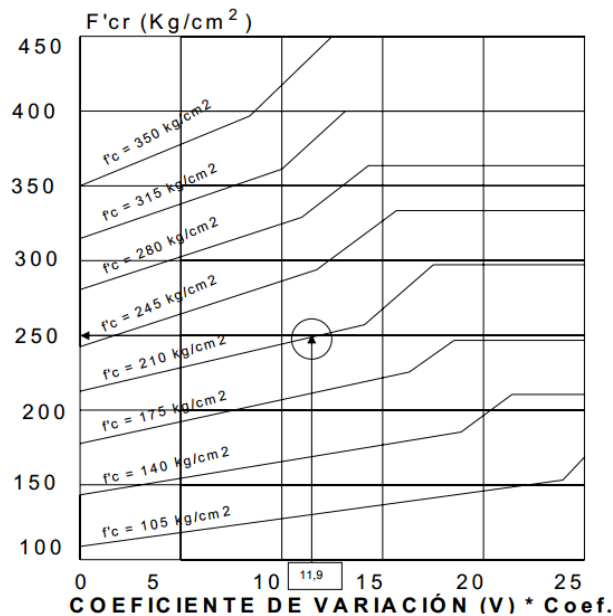
ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0 – 5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5 – 7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0 – 10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5 – 15,0	210	195	185	180	170	160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

Según la tabla 14 para el asentamiento seleccionado de 10 a 15 cm y el agregado de 2.54 cm y para concretos sin aire incluido, la cantidad de agua por m³ de concreto es de 200 kg.

Para la resistencia corregida, usa el grafico siguiente, suponiendo un coeficiente de variación dependiendo del número de datos hasta el momento adquiridos. N=20 Cv= 11.9; entonces se tiene un valor F corregido de 250 kg/cm²

Figura 28. Resistencia corregida Vs coeficiente de variación.



Fuente²⁰

¹⁸Ibíd., p. 176.

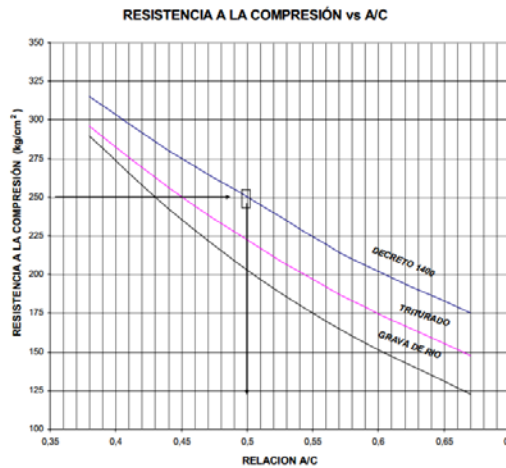
¹⁹Ibíd., p. 176.

²⁰Ibíd., p. 177.

Con el valor de resistencia corregida se busca el valor que le corresponda valor de relación a/c, y se ajusta al decreto 1400, debido a que los agregados en sus granulometrías se ajustan a los parámetros estipulados.

Entonces la relación a/c será 0.5

Figura 29. Resistencia de compresión Vs relación agua/cemento.



Fuente ²¹

Por consiguiente se calculó la cantidad de cemento

$$C = \frac{A}{A/C}$$

$$C = \frac{200kg}{0.5m^3}$$

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volumen de los agregados

$$1\text{cm}^3 = \text{Volumen absoluto de agregados} + \text{volumen absoluto de agua} + \text{volumen absoluto de cemento.}$$

$$\text{Volumen de agregados} = 1000\text{cm}^3 - \frac{200\text{cm}^3}{1} - \frac{400\text{cm}^3}{2.94}$$

$$\text{Volumen de agregados} = 663.94 \text{ cm}^3 \times \text{cm}^3$$

²¹Ibíd., p. 178.

De acuerdo con Fuller y Weymuoth, hacemos un ajuste porcentual a los agregados finos y gruesos del 45% y 55% respectivamente

$$G \text{ promedio} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{Gi}} = \frac{100}{\frac{45}{2.51} + \frac{55}{2.36}}$$

$$G \text{ promedio} = 2.43 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en masa de los agregados= 663.94g *2.43 = 1613.38 kg/m³ de concreto

Cálculo en masa del agregado fino= 1613.38*.45= 726.024 kg/ m³ de concreto

Cálculo en masa del agregado grueso = 1613.38*.55= 887.359 kg / m³ de concreto.

Corrección por humedad

Tabla 34. Resumen corrección por humedad de los agregados.

CORRECCIÓN POR HUMEDAD A LOS MATERIALES						
Material	kg x m ³	Factor	kg/30 litros	%Absorción	Corrección	kg
Cemento	400,00	0,03	12,00	0,00		12,00
Arena	726,02	0,03	21,78	0,01	0,17	21,95
Grava	887,36	0,03	26,62	0,01	0,30	26,92
Agua	200,00	0,03	6,00			5,52
Total	2213,38		66,40			66,40

Fuente: Propia

Tabla 35. Pesos corregidos de los materiales de mezcla.

NUEVOS PESOS MATERIALES X m ³		
Material	kg	m ³
Cemento	12,00	400,00
Arena	21,95	731,83
Grava	26,92	897,47
Agua	5,52	184,08
Total	66,40	2213,38

Fuente: Propia

La proporción de materiales para utilizar en el diseño de mezcla es la siguiente:

Tabla 36. Proporción de materiales con pesos corregidos.

PROPORCIÓN		
Material	kg	kg x m ³
Cemento	400,00	1,00
Arena	731,83	1,83
Grava	897,47	2,24
Agua	184,08	0,46
Total	2213,38	5,53

Fuente: Propia

Por otra parte la proporción de fibra de vidrio de 50 mm estará determinada de la siguiente manera.

Tabla 37. Dosificación de la fibra.

DOSIFICACIÓN DE FIBRA (kg) x m³ DE CONCRETO							
Sin fibra	Fibra 1	Fibra 2	Fibra 3	Fibra 4	Fibra 5	Fibra 6	Fibra 7
0,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00

Fuente: Propia

8. CONCLUSIONES

La adición de fibra de vidrio presenta una serie de cambios sobre las propiedades del concreto en el estado plástico, resaltando entre ellas la reducción de la trabajabilidad. Al perder la trabajabilidad el concreto ofrece un beneficio que aumenta la cohesión.

El comportamiento del asentamiento de la mezcla de concreto a través de la inclusión de la fibra de vidrio disminuye aproximadamente el 18% entre la mezcla sin adición de fibra y la mezcla con mayor adición, así mismo se observó la variación de 2.5% de pérdida de asentamiento entre cada dosificación, cuyo comportamiento evidencia una pérdida significativa de la trabajabilidad en función de la de la dosificación.

El comportamiento de los concretos reforzados con fibra de vidrio no generan cambios significativos a la resistencia a la compresión en la edad de 7 días, por otra parte el concreto sin adición de fibra de vidrio y las dosificaciones 1, 2, 5 y 7 presentan comportamiento exponenciales y aumentos uniformes en función del tiempo.

Las dosificaciones 4 y 6 presentan comportamientos típicos de la curva resistencia a la compresión vs edad que se evidencia en concretos sin adición de fibra de vidrio.

Por otra parte el comportamiento a la flexo tracción presenta aumento en el módulo de rotura de 18% entre el concreto sin adición y la mayor dosificación, teniendo intervalos de 2% al 4% entre dosificaciones, sin embargo la adición de fibra en la 3 y 4 dosificación presenta pérdida de la resistencia a la flexo tracción en relación con el comportamiento presentado en las anteriores dosificaciones.

Al comparar la resistencia a la compresión y el módulo de rotura en concreto sin adición de fibra y las diferentes dosificaciones se observa que la resistencia a la compresión no es directamente proporcional al módulo de rotura en todos los casos.

La relación matemática entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura entre concretos sin adición de fibra, normalmente se encuentra en un 15%, sin embargo la adición de fibra de vidrio aumenta en la mayoría de los casos, llegando a un punto máximo del 17.6%

9. RECOMENDACIONES.

Para llevar a cabo investigaciones similares se recomienda utilizar fibra de vidrio AR (álcali-resistente) ya que los compuestos reactivos del cemento provocarían gran daño a la fibra debilitándola y posteriormente la pérdida de la función dentro de la matriz del concreto.

El proceso de mezclado de la pasta de concreto debe ser en etapas descritas en la presente investigación, sin embargo, se recomienda el uso de mezcladora sin espas, debido a que la fibra de vidrio se adhiere fácilmente a las mismas, generando pérdidas en la cantidad de fibra calculada para la dosificación.

En el proceso de mezclado se recomienda mantener condiciones ambientales similares para impedir cambios de humedad en la pasta de concreto y así no alterar los resultados finales.

Se debe tener en cuenta las normas técnicas colombianas para un buen desempeño de los procedimientos experimentales y minimizar los posibles errores generados en el proceso.

10. BIBLIOGRAFIA

ZAMBRANO PEREZ, Christian Camilo y HINCAPIE LUNA, Jairo. Comportamiento a flexión de compuestos cementicios de ultra alto desempeño reforzados con fibras de vidrio alcalino-resistentes. Tesis de grado ingeniero civil. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería civil, 2014. 97p.

Sika Informaciones Técnicas, Concreto Reforzado Con Fibra. COLOMBIA. ISSN-0122-0594

INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO. Situación actual y perspectivas del uso de fibras de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios. Madrid (España); 1990.p331-337

Revista Ingeniería de Construcción. Santiago, CHILE. Diciembre, 2005, Vol. 20, No3

NOTICRETO LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCIÓN. Bogotá D.C.: COLOMBIA. Julio-Agosto, 2013 Vol.119. N°1

Hernández Paola, definición de concreto [Citado en línea]

<http://es.scribd.com/doc/45161976/Definicion-concreto>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

<http://www.cemex.com/es/ProductosServicios/ComoHacemosCemento.aspx>

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-02.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Bogotá D.C.: COLOMBIA. TITULO E, 2015 I.N.V.E.-415 -07. N°1

GONZALEZ SALCEDO, Luis Octavio. Estructuras de concreto. Generalidades sobre las fibras artificiales, módulo de lectura para la asignatura análisis de estructura. Una ed. Palmira: Universidad Nacional De Colombia, 2010.9p

BRAVO C., J.P. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: influencia del porcentaje de fibra adicionado. Trabajo de Grado (Ingeniero de Materiales). Universidad de Chile. Santiago, 2003. 90p.

Imágenes y graficas fuente propia