

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PROPIEDADES DEL CONCRETO
HIDRÁULICO SIMPLE Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y VIRUTAS
DE TORNO

MOISES ARIAS PÁEZ
WILMER FERNANDO RATIVA VARGAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2017

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PROPIEDADES DEL CONCRETO
HIDRÁULICO SIMPLE Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y VIRUTAS
DE TORNO

MOISES ARIAS PÁEZ
WILMER FERNANDO RATIVA VARGAS

Proyecto de grado para optar por el título de:
INGENIERO CIVIL

Director:
OSCAR FELIPE SÁENZ PARDO
Ingeniero civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2017

Nota de aceptación

Firma jurado 1

Firma jurado 2

Tunja, agosto 2017

DEDICATORIAS

A DIOS: Por darme la oportunidad de realizarme profesionalmente y concluir una etapa importante en mi vida.

A MIS PADRES:

EUDOCIA PÁEZ MARTÍNEZ Y PABLO JOSÉ ARIAS B.

Por el cariño, respeto y admiración que les profeso, y como testimonio de mi gratitud por su amor y apoyo a lo largo de mi vida.

A MIS HERMANOS:

EUGENIA ARIAS P., PABLO ARIAS P. y PEDRO ARIAS P.

Por brindarme todo dentro de su alcance, por su confianza y apoyo incondicional.

MOISES ARIAS PÁEZ.

El presente trabajo es dedicado primeramente a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y permitirme concluir esta etapa de mi vida; a mi madre Luz Marina Vargas, por formarme como persona, por su amor, comprensión e incondicionalidad; a mi padre Rafael Antonio Rativa, por ser la persona que me enseñó la disciplina y formarme personal y profesionalmente; a Leidy Katherine Cifuentes, por su amor y apoyo incondicional; a mi hermana Leidy Nataly, familia, amigos y compañeros por su apoyo y ser parte de este proceso.

WILMER F. RATIVA VARGAS.

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento primeramente a Dios por habernos permitido llegar a esta etapa de nuestra existencia, a nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional durante el transcurso de nuestros estudios, a nuestros hermanos y amigos por su colaboración durante todo o parte del tiempo dedicado a la elaboración de este proyecto de investigación.

A nuestro director de proyecto, el ingeniero Oscar Felipe Sáenz P. por su colaboración y su buen trato, a nuestros docentes los ingenieros Harold Alexander Castañeda A. y Wilson Alfredo Medina S. quienes compartieron sus conocimientos y su apoyo incondicional desde el inicio de la investigación, así como al laboratorista del área de estructuras.

CONTENIDO

Pág.

1	INTRODUCCIÓN	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GENERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	ESTADO DEL ARTE DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y FIBRAS METÁLICAS	19
3.1	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS	19
3.1.1	Antecedentes..	20
3.1.2	Actualidad.	21
3.2	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF).....	21
3.2.1	Características del concreto reforzado con fibras (CRF).....	21
3.2.2	Componentes del concreto reforzado con fibras (CRF).....	22
3.2.2.1	Agregados.	22
3.2.2.2	Agua para elaboración de concreto NTC 3459..	23
3.2.2.3	Cemento NTC 30.	23
3.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)	23
3.3.1	Influencia de las fibras en las propiedades del concreto.	24
3.3.1.1	En estado fresco.....	24
3.3.1.2	En estado endurecido.	24
3.3.1.2.1	Resistencia a compresión..	24
3.3.1.2.2	Módulo de elasticidad y Relación de Poisson.....	25
3.3.1.2.3	Resistencia a tensión.	25
3.3.1.2.4	Resistencia a la flexión.....	25
3.4	LAS FIBRAS, ASPECTOS FUNDAMENTALES.....	25
3.4.1	Clasificación de las fibras.	26
3.4.1.1	Clasificación de fibras por funcionalidad, geometría y dosificación.	27
3.4.1.2	Clasificación de fibras por material.....	27
3.4.1.3	Fibras naturales.	28
3.4.1.4	Fibras sintéticas.....	28
3.4.1.5	Fibras artificiales.....	29
3.4.2	Fibra de vidrio.....	29
3.4.2.1	Tipo E.....	29
3.4.2.2	Tipo R.	30

3.4.2.3	Tipo D.	31
3.4.2.4	Tipo AR.....	31
3.4.2.5	Tipo C.	32
3.4.3	Historia de la Fibra de Vidrio.	33
3.4.3.1	Composición química de la fibra de vidrio AR.	35
3.4.3.2	Fabricación de la Fibra de Vidrio.....	35
3.4.3.3	Proceso de fabricación de la Fibra de Vidrio AR - CEM-FIL “Anti-Crak HD (High Dispersión) 12mm” :.....	35
3.4.4	Fibras Metálicas Recicladas (Viruta de Torno).	38
3.4.4.1	Tipos de Virutas de Torno.	38
4	METODOLOGÍA	41
4.1	PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y AGREGADOS (GRAVA, ARENA, CEMENTO, AGUA, Y FIBRAS)	41
4.2	SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CONCRETO SIN FIBRAS Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO TIPO AR, TIPO E Y FIBRAS METÁLICAS (VIRUTA DE TORNO).....	45
4.2.1	Diseño de mezcla de concreto por el método ACI 211.1.	45
4.2.2	Elaboración de la mezcla de concreto.....	51
4.2.3	Elaboración y curado de especímenes de concreto.	52
4.3	TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN PRUEBAS EN ESTADO FRESCO Y EN ESTADO ENDURECIDO	52}
4.3.1	Programación experimental.	53
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	54
5.1	PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO.....	54
5.1.1	Cemento NTC 30.	54
5.1.2	Agregados.	54
5.1.2.1	Agregado grueso.....	54
5.1.2.1.1	Análisis granulométrico (Especificaciones de los Agregados para Concreto NTC 174).....	54
5.1.2.1.2	Peso volumétrico (NTC 92), peso específico y absorción (NTC 176).	56
5.1.2.2	Agregado fino.	56
5.1.2.2.1	Análisis granulométrico (NTC174) y módulo de finura (NTC 385)..	56
5.1.2.2.2	Peso volumétrico (NTC 92), peso específico y absorción (NTC 237).	57
5.1.3	Agua para la elaboración de concreto (NTC 3459).	58
5.1.4	Fibras metálicas (viruta de torno) y fibras de vidrio (tipo AR y E).	58
5.1.4.1	Clasificación de las virutas de torno.....	58
5.1.4.2	Clasificación de las fibras de vidrio.....	62
5.2	SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CONCRETO SIN FIBRAS Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO TIPO AR, TIPO E Y FIBRAS METÁLICAS (VIRUTA DE TORNO).....	62

5.2.1	Diseño de la mezcla de concreto por el método ACI 211.1.....	62
5.2.1.1	Elección de las características de la mezcla de concreto.	62
5.2.1.2	Características de las mezclas de la investigación.	62
5.2.2	Secuencia de mezclado.	63
5.2.3	Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio (NTC 1377).....	63
5.3	TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: PRUEBAS DE LABORATORIO	65
5.3.1	Concreto en estado fresco.	65
5.3.1.1	Asentamiento.....	65
5.3.1.2	Contenido de aire y peso volumétrico.	67
5.3.1.3	Índice de agrietamiento por contracción plástica.....	70
5.3.2	Concreto en estado endurecido.	73
5.3.2.1	Resistencia a compresión.	73
5.3.2.1.1	Control estadístico de la calidad del concreto.....	76
5.3.2.1.2	Promedio de resistencia requerida.	77
5.3.2.1.3	Calificación del concreto.	77
5.3.2.1.4	Exceso de diseño.....	78
5.3.3	Resistencia a tracción por compresión diametral.	86
5.3.4	Módulo de elasticidad y relación de Poisson en concreto a compresión.	89
5.3.5	Ensayo a Flexión.....	91
6	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE VIRUTAS DE TORNO Y FIBRAS DE VIDRIO AR Y E EN EL CONCRETO	94
6.1	COSTOS DE CONCRETOS SIN FIBRAS Y CRF.....	97
7	CONCLUSIONES	98
8	RECOMENDACIONES	102
9	GLOSARIO	103
10	REFERENCIAS.....	109
11	WEBGRAFÍA	112
12	ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1. PROPIEDADES MECÁNICAS DE TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO.	33
TABLA 2. COMPONENTES DEL VIDRIO TIPO AR (ÁLCALI-RESISTENTE).....	35
TABLA 3. VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA.	47
TABLA 4. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO.	48
TABLA 5. RELACIÓN AGUA/CEMENTO.	48
TABLA 6. PARÁMETRO VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO.	49
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL CEMENTO.	54
TABLA 8. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO.....	56
TABLA 9. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA.....	57
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE VIDRIO Y VIRUTA DE TORNO.	59
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS DE LA VIRUTA METÁLICA.....	59
TABLA 12. CLASIFICACIÓN VIRUTAS METÁLICAS.....	59
TABLA 13. DOSIFICACIÓN POR M ³ PARA LAS MEZCLAS REALIZADAS.	63
TABLA 14. NÚMERO DE ENSAYOS REALIZADOS.	64
TABLA 15. TEMPERATURAS PROMEDIO DEL AGUA DURANTE LOS 28 DÍAS DEL PROCESO DE CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.	64
TABLA 16. RESUMEN DE ASENTAMIENTOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.....	66
TABLA 17. RESULTADOS DE PESO VOLUMÉTRICO Y PORCENTAJE DE AIRE CONFINADO. ...	68
TABLA 18. RESULTADOS DE ENSAYO DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA.	72
TABLA 19. RESULTADOS PROMEDIO DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	74
TABLA 20. CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE CONCRETOS PARA $f'_{c} < 35$ MPA.....	79
TABLA 21 RESULTADOS ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE LAS OCHO MEZCLAS DE CONCRETO REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	79
TABLA 22. RESULTADOS PROMEDIO A TENSIÓN DIAMETRAL.	87
TABLA 23. RESULTADOS DEL ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON.	90
TABLA 24. RESULTADOS MÓDULO DE ROTURA.	92
TABLA 25. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE FIBRAS EN EL CONCRETO.	94
TABLA 26. PRECIOS CONCRETOS COMERCIALMENTE	97
TABLA 27. ANÁLISIS DE COSTOS DE CONCRETOS ADICIONADOS DE FIBRAS DE VIDRIO AR	97
TABLA 28. COSTOS DE INSUMOS EMPLEADOS EN LIMPIEZA DE LAS VIRUTAS DE TORNO ...	97
TABLA 29. ANÁLISIS DE COSTOS DE CONCRETOS ADICIONADOS DE VIRUTAS DE TORNO...	97

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

GRÁFICA: 1. CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO.	55
GRÁFICA: 2. CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO.....	57
GRÁFICA: 3. PRUEBA DE ASENTAMIENTOS Y % DE FIBRAS.	67
GRÁFICA: 4. PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.	69
GRÁFICA: 5. PROMEDIO DE PORCENTAJES DE AIRE ATRAPADO EN LAS OCHO MEZCLAS DE CONCRETO.	69
GRÁFICA: 6. CONTRACCIÓN PLÁSTICA (ÍNDICE DE GRIETA).	72
GRÁFICA: 7. RESULTADOS PROMEDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	75
GRÁFICA: 8. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO SIN FIBRAS CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.	81
GRÁFICA: 9. DISTRIBUCIÓN DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO AR AL 0,03% CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.	81
GRÁFICA: 10. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO AR AL 0,05% CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.	82
GRÁFICA: 11. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON FIBRAS DE VIDRIO AR AL 0,11% CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.	82
GRÁFICA: 12. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON FIBRAS DE VIDRIO E CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	83
GRÁFICA: 13. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO AL 1%, CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	83
GRÁFICA: 14. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO AL 1,3%, CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.	84
GRÁFICA: 15. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO 3, CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	84
GRÁFICA: 16. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN DE CONCRETO CON VIRUTAS DE TORNO. (GRAFICA ARROJADAS POR SOFTWARE ELECAV EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN).	86
GRÁFICA: 17. RESISTENCIA A TENSIÓN DIAMETRAL.....	88
GRÁFICA: 18. RESULTADOS MÓDULO ELASTICIDAD.....	90
GRÁFICA: 19. RESULTADOS RELACIÓN DE POISSON.....	91
GRÁFICA: 20. RESULTADOS PROMEDIO MÓDULO DE ROTURA.	93

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

FOTOGRAFÍA 1. TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO 3/4".	42
FOTOGRAFÍA 2. PRUEBA DE ABSORCIÓN DENSIDADES.	42
FOTOGRAFÍA 3. DETERMINACIÓN DE PESOS VOLUMÉTRICOS SECO COMPACTADO.	43
FOTOGRAFÍA 4. TAMIZADO AGREGADO FINO.	44
FOTOGRAFÍA 5. GRAVEDAD ESPECIFICA	44
FOTOGRAFÍA 6. VIRUTAS DE TORNO.	45
FOTOGRAFÍA 7. PROCESO DE MEZCLADO MANUAL DEL CONCRETO.	51
FOTOGRAFÍA 8. ESPECÍMENES DE CONCRETO RECIÉN FUNDIDOS.	52
FOTOGRAFÍA 9. FIBRAS EMPLEADAS EN LA INVESTIGACIÓN; IZQUIERDA VIRUTA DE TORNO, A LA DERECHA FIBRA DE VIDRIO.	58
FOTOGRAFÍA 10. PRUEBA DE ASENTAMIENTO.	65
FOTOGRAFÍA 11. PRUEBA DE AIRE CONFINADO EN LA MEZCLA DE CONCRETO	68
FOTOGRAFÍA 12. ANILLO Y PRUEBA DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA.	70
FOTOGRAFÍA 13. ENSAYO A COMPRESIÓN.	73
FOTOGRAFÍA 14. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL.	87
FOTOGRAFÍA 15. ANILLOS PRUEBA MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON...	89
FOTOGRAFÍA 16. ENSAYO FLEXIÓN A LOS TERCIOS DE LA VIGA (REALIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES UPTC).	92

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1. SECUENCIA DE PASOS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA POR EL MÉTODO DEL ACI211.1.....	46
FIGURA. 2. ANILLO PARA REALIZAR PRUEBA DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA.	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS.	26
ILUSTRACIÓN 2. COMPARACIÓN DE DIÁMETROS ENTRE FIBRA DE VIDRIO Y FIBRA DE AMIANTO.	33
ILUSTRACIÓN 3. EL VIDRIO FRENTE A LOS ÁLCALIS. A LA IZQUIERDA VIDRIO E, LUEGO DE 8 DÍAS A 50°C (2.2 AÑOS NATURALES); AL CENTRO VIDRIO E + POLÍMERO ACRÍLICO TRAS 8 DÍAS A 50°C; A LA DERECHA CEM-FIL LUEGO DE 3 MESES A 50°C (25 AÑOS NATURALES).	34
ILUSTRACIÓN 4. FIBRADO DEL VIDRIO. IMAGEN IZQUIERDA CHORRO VIDRIO FUNDIDO; IMAGEN DERECHA FILAMENTOS SALIENDO DE LA HILERA.	36
ILUSTRACIÓN 5. EXTRACCIÓN DE VIRUTAS ONDULADAS GRANDES.	39
ILUSTRACIÓN 6. EXTRACCIÓN DE VIRUTAS RIZADAS.	39
ILUSTRACIÓN 7. EXTRACCIÓN VIRUTAS LISA-LARGAS.	40
ILUSTRACIÓN 8. EXTRACCIÓN VIRUTAS CORTAS IRREGULARES.	40
ILUSTRACIÓN 9. VIRUTAS DE ACERO.	59
ILUSTRACIÓN 10. FOTO IZQUIERDA VIRUTAS ACERO GALVANIZADO, FOTO DERECHA VIRUTAS DE ALUMINIO.	60
ILUSTRACIÓN 11. FOTO IZQUIERDA VIRUTAS DE COBRE, DERECHA VIRUTAS RIZADAS.	60
ILUSTRACIÓN 12. IZQUIERDA FOTO DE VIRUTAS ONDULADAS GRANDES, FOTO DERECHA VIRUTAS LISAS-LARGAS.	61
ILUSTRACIÓN 13. VIRUTAS IRREGULARES CORTAS.	61
ILUSTRACIÓN 14. COMPARATIVA CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN (FALLA DÚCTIL Y FALLA FRÁGIL) (GRAFICAS ARROJADAS POR SOFTWARE ELECAV EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN).	85

RESUMEN

En la presente investigación se evalúa, mediante resultados producto de un estudio experimental, un análisis comparativo entre propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico simple y el concreto reforzado con fibras de vidrio tipo AR y E, así como con fibras metálicas recicladas (virutas de torno), a distintos porcentajes volumétricos de fibras, en mezclas de concreto elaboradas con materiales disponibles en Tunja-Boyacá.

La investigación consta de la elaboración de ocho mezclas de concreto, con agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " de tamaño máximo, arena lavada, cemento portland de uso general, virutas de torno, fibras de vidrio AR y E. Una mezcla de concreto sin fibra como testigo, tres con virutas de torno en porcentajes volumétricos de 1,0%; 1,3% y 1,6%, una con fibra de vidrio tipo E en porcentaje volumétrico de 0,05% como punto de comparación a la degradación de estas frente al ambiente alcalino del concreto, y tres con fibras de vidrio tipo AR en porcentajes volumétricos de 0,03%; 0,05% y 0,11%. Las ocho mezclas poseen las mismas proporciones de agua, cemento, arena y grava.

Se determinaron propiedades en estado fresco para cada una de las mezclas de concreto: asentamiento, índice de agrietamiento por contracción plástica, contenido de aire atrapado y peso volumétrico. Mientras que, para el concreto en estado endurecido, se determinó a los 28 días de edad: Resistencia a compresión, resistencia a tensión indirecta (compresión diametral), resistencia a flexión (módulo de rotura), módulo de elasticidad y relación de Poisson.

Finalmente, desde los resultados experimentales alcanzados y de análisis, se podrá comparar el desempeño del tipo y porcentaje óptimo de fibra para CRF, en las propiedades estudiadas en esta investigación. Así como la influencia que tuvo la inclusión de estas fibras en la mezcla de concreto, como sus ventajas y desventajas.

Palabras clave: Concreto reforzado con fibras (CRF), Fibra de Vidrio AR (Álcali-Resistente), Fibra de Vidrio E (no Álcali-Resistente), Virutas de torno.

ABSTRACT

In this research is evaluated, through results from an experimental study, a comparative analysis between physical and mechanical properties of simple hydraulic concrete and reinforced concrete with glass fibers type AR and E, as well as recycled metal fibers (lathe shavings), at different volumetric percentages of fibers, in concrete mixtures made with materials available in Tunja-Boyacá.

The research consists of the elaboration of eight mixtures of concrete, with thick aggregate of $\frac{3}{4}$ " maximum size, washed sand, Portland cement of general use, lathe shavings, glass fibers type AR and E. One mixture of concrete without fiber as witness, three with lathe shavings in volumetric percentages of 1.0; 1.3 and 1.6%, one with glass fiber type E in volumetric percentage of 0, 05%, as a point of comparison, the degradation of these in front of the alkaline environment of the concrete, and three with glass fibers type AR in volumetric percentages of 0.03; 0.05 and 0.11%. The eight mixtures have the same proportions of water, cement, sand and gravel.

Properties were determined in fresh condition for each of the concrete mixtures: slump, cracking index by plastic contraction, trapped air content and volumetric weight. While, for concrete in hardened condition, was determined at 28 days of age: Compressive strength, indirect tensile strength (diametric compression), flexural strength (modulus of rupture), modulus of elasticity and Poisson's ratio.

Finally, from the experimental results achieved and from analysis, it will be possible to compare the performance of the type and optimal percentage of fiber for FRC, in the properties studied in this research. As well as the influence that had the inclusion of these fibers in the concrete mixture, as their advantages and disadvantages

Keywords: Fiber Reinforced Concrete (FRC), Fiberglass AR (Alkali-Resistant), Fiberglass E (non-Alkali-Resistant), Lathe shavings.

1 INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los últimos años de investigaciones y trabajos desarrollados, con una extensa cantidad de aplicaciones prácticas, se ha venido confirmando que los compuestos de concreto con fibras son fiables, eficientes y económicos en la construcción al usarse perspicazmente. (Juárez, Rodríguez, Rivera, & Rechy de Von Roth, 2004). En la industria de la construcción el concreto es el material de mayor preferencia, esto se debe a sus características, ya que estas permiten al material ser favorable en los siguientes ítems: excelente durabilidad y versatilidad, en especial su propiedad de resistencia a la compresión, además de que este material tiene buena disponibilidad y su relación coste-beneficio es propicio. (Gutiérrez de López, 2003).

En la construcción se emplea continuamente. Es un material de uso común (concreto simple), y sus principales componentes básicos son; agua, cemento, agregados finos y gruesos; Sin embargo, el concreto simple tiene la característica de ser frágil, por lo cual su utilización se ve limitada en trabajos a compresión y flexo-tracción, estas deficiencias se pueden mejorar adicionando fibras en la mezcla de concreto. (Gutiérrez de López, 2003).

La capacidad que tiene el concreto reforzado con fibras de absorber energía se debe a sus pequeñas microfisuras que se abren de manera uniforme, esta propagación es controlada por las fibras. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto , 2007). Según el diccionario de la real academia española las fibras son filamentos delgados y alargados de cualquier material, ya sea de origen sintético mineral u orgánico, que tienen la capacidad de ser distribuidos aleatoriamente en una mezcla fresca de concreto hidráulico. El desempeño de un concreto reforzado con fibras depende en gran medida de la susceptibilidad de las fibras a ser dañadas físicamente durante el proceso de mezclado, además de su compatibilidad química con el ambiente alcalino dentro de la pasta. Se debe considerar un mezclado correcto de las fibras para prevenir acumulaciones o segregaciones y el manejo en el vertido y/o fundido, pues el concreto reforzado con fibras debe tener consistencia muy plástica. (Olivares, Galán, & Roa, 2003). La razón fundamental para usar fibras en los concretos es mejorar la resistencia a la tensión y aumentar el módulo de rotura, además de evitar la forma de ruptura de los elementos de una falla frágil a una falla dúctil, además, al reforzar el concreto con fibras no necesariamente se substituye el acero de refuerzo. (Carrillo, Aperador, & González, 2013).

Siendo una de estas alternativas para mejorar el concreto incluir fibras como ya se está realizando en el campo de la construcción en Colombia, pues varias empresas productoras de concreto poseen dentro de sus catálogos de producción, concreto reforzado con fibras: como son las fibras metálicas y sintéticas, que, según estas empresas, disminuyen notablemente la aparición de fisuras por contracción plástica y contracción por secado, además de reducir la fragilidad del concreto, volviéndolo

dúctil.

En este contexto, en el presente documento se realiza una investigación donde se analizan algunas propiedades físicas y mecánicas existentes en los concretos para determinar y dar respuesta a la siguiente pregunta problema; ¿Entre el concreto simple, el concreto con inclusión de fibras metálicas (viruta de torno) y el concreto con fibras de vidrio, cual contiene materiales con mejores propiedades físicas y mecánicas que generan mayor resistencia ante refuerzos de compresión y flexotracción?

Para lograr el cometido atrás referido, se realizó un análisis comparativo entre cuatro concretos; simple, reforzado con fibras de vidrio tipo AR, E y virutas de torno, alternando algunas propiedades en estado endurecido; resistencia a compresión, resistencia a tensión diametral, resistencia a flexión (módulo de rotura), módulo de elasticidad y relación de Poisson. Por su parte, en el concreto en estado fresco se analizaron las propiedades de contracción plástica, asentamiento, porcentaje de aire confinado y peso volumétrico para condiciones con agregados empleados en la ciudad de Tunja Boyacá.

Sumado a lo anterior, se determina un porcentaje óptimo de fibras que se le pueden añadir a la mezcla de concreto y conocer la susceptibilidad que presentan las fibras de vidrio tipo E dentro de la matriz de concreto y apoyados en algunas propiedades físicas y mecánicas de los agregados, el concreto se elaboró con la dosificación necesaria para que obtuviera, a los 28 días de edad, una resistencia a la compresión de $f'c = 21\text{Mpa}$. Los especímenes fueron sometidos a un proceso de curado en estado sumergido.

De otra parte, en el presente estudio se utilizó como material reforzante la viruta de torno por ser un elemento residual que generalmente es desechado, con lo cual, se logra su aprovechamiento obteniendo beneficios de tipo económico y para el medio ambiente, pues se evita que llegue a los rellenos sanitarios generando contaminantes producto de lixiviados y gases nocivos.

Así mismo, los resultados obtenidos son un referente que incentiva su utilización, pues mejora la calidad del concreto y logra un mejor desempeño en las obras realizadas con este material, pues las características y propiedades del concreto permiten disipar de mejor forma la energía y disminuir dimensiones de elementos estructurales.

Finalmente se puede señalar, que el concreto reforzado con fibras, evita patologías estructurales en el concreto, mejorando la seguridad de las edificaciones y salvaguardando la vida humana ante catástrofes naturales, pues de acuerdo a la evaluación de las mezclas realizadas en este trabajo, se pudo determinar que este tipo de tecnologías mejora las propiedades del concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo entre propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico simple (sin fibra) y concreto reforzado con fibras de vidrio tipo AR y E, así como, con fibras metálicas (virutas de torno) en diferentes porcentajes volumétricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener las características de los materiales empleados en el estudio; cemento, agua, fibras y agregados gruesos y finos, apoyados en ensayos de laboratorio.
- Analizar los ensayos de laboratorio al concreto sin fibras y en adición de fibras de vidrio AR, E y virutas de torno. En estado fresco: asentamiento, índice de agrietamiento por contracción plástica, aire confinado y peso volumétrico.
- Analizar los ensayos de laboratorio al concreto sin fibras y en adición de fibras de vidrio AR, E y virutas de torno. En estado endurecido: resistencia a compresión, resistencia a tensión diametral, resistencia a flexión (módulo de rotura), módulo de elasticidad y relación de Poisson.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de fibra de vidrio tipo AR, E y virutas de torno en el concreto.

3 ESTADO DEL ARTE DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y FIBRAS METÁLICAS

El concreto es un material que hace parte importante del desarrollo de la humanidad, pues con este, se realizan diversas obras de infraestructura (casas, edificios, puentes, vías, etc.) que buscan solución a las necesidades humanas, en el ámbito socioeconómico. Debido a sus múltiples aplicaciones, este material compuesto a lo largo de la historia ha tenido muchos avances en cuanto a su tecnología. (Riveros Jerez, 2016).

A lo largo de la historia se han desarrollado investigaciones y aplicaciones de distintas tecnologías, con el fin de mejorar las propiedades del concreto y/o para un determinado uso, algunas de estas tecnologías son: el concreto pretensado, el concreto proyectado o lanzado y los concretos especiales en los que se encuentran concretos de alta resistencia, concretos ligeros, concretos pesados, concretos porosos, concretos reciclados y el concreto reforzado con fibras que es el objeto de estudio de esta investigación, específicamente con fibras metálicas recicladas (viruta de torno) y fibras de vidrio. (Gutiérrez de López, 2003).

El concreto hecho con cemento Portland es resistente a esfuerzo de compresión, pero débil en esfuerzo de tensión y tiende a ser un material frágil, por lo cual se ha visto la necesidad de crear alternativas con el fin de mejorar esas deficiencias y lograr un concreto con propiedades mejoradas. Una opción es la inclusión de fibras en el concreto, que entre las que se encuentran: mayor resistencia a la tensión y flexión, reduce su agrietamiento, es decir, convierte el concreto en un material dúctil (tomado de: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto , 2007)).

En Colombia, el uso de fibras como refuerzo en el concreto, ha tenido un crecimiento considerable, sin embargo, esta técnica no es nueva en la industria de la construcción, de hecho, data de muchos años anteriores a la aparición del Cemento Portland (alrededor del año 1824) y del concreto como tal, cuando se utilizaban fibras naturales como pasto, fique, junco y hasta pelo animal, los cuales eran agregados al adobe con el objetivo de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión. Se han desarrollado fibras resistentes a los álcalis, de diversos materiales, como la fibra de vidrio, polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otras fibras más. (tomado de: (Asociacion de Productores Colombianos de Concreto, 2007)).

3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS

El empleo de morteros y concretos reforzados con fibras se ha generalizado en las últimas décadas con múltiples e impresionantes aplicaciones e implicaciones.

Podría parecer una tecnología novedosa; sin embargo, tiene sus antecedentes en la antigüedad, en aquellos primeros constructores, los cuales se esforzaban para dotar al concreto primitivo de una mayor resistencia y durabilidad. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, 2015).

3.1.1 Antecedentes. La línea del tiempo de la evolución de las fibras para el refuerzo en construcciones comienza desde la antigüedad hace aproximadamente 4000 años, cuando se usaban fibras como paja y pelos de cabra o de crin de caballo para la elaboración de ladrillos de adobe, bloques y morteros, estimándose que la utilización de fibras naturales perduró hasta el año 1935, cuando la humanidad dio comienzo al uso de las fibras sintéticas. Los primeros grandes desarrollos se lograron con la utilización de fibras de amianto que originaba el material llamado “fibrocemento”, el cual, presentaba grandes ventajas de coste y trabajabilidad, pero posteriormente se demostró su carácter cancerígeno, por lo que se prohibió su utilización en varios países (en Colombia aún no está prohibido). (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996). En el año 1900 se comienzan a usar las fibras de asbesto, incorporadas a la matriz de pasta de cemento, hecho que tenía su antecedente en 1898, con la invención del proceso Hatschek (Procedimiento muy conocido para la fabricación de productos de fibrocemento; particularmente adecuado para la fabricación de productos acabados en forma de placa plana, ondulada o cilíndrica); aunque posteriormente se tornó controversial cuando se le atribuyeron determinados efectos dañinos en la salud humana. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, 2015).

En el año 1910, se comprobó que el concreto podía mejorar algunas de sus propiedades físicas mediante la incorporación de pesuñas cortadas y de espigas de trigo; logrando con este refuerzo aumentar principalmente su resistencia. Es así como entonces aparece el concepto de “materiales compuestos”, a partir lo cual, el Concreto Reforzado con Fibras (FRC) comienza a ocupar un sitio importante en las investigaciones. Es así, que se utiliza por primera vez la fibra de vidrio adicionada al concreto en la antigua Unión Soviética y rápidamente se extendió su empleo al resto del mundo, suscitando múltiples investigaciones que en los primeros años versaron alrededor de su efecto en las reacciones álcali – agregado y comenzó entonces a utilizarse la fibra como refuerzo a partir de la década de los 60 y como sustitución de las fibras de asbesto. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, 2015).

En la década de los años 50 y 60 se comienza el uso de fibras de acero en las que se evidenció que incrementaba la tenacidad y la resistencia a tensión del concreto. Ya en la década de los años 90, con el auge de la construcción prefabricada, comienza a popularizarse el concreto reforzado con fibra de vidrio, surgiendo una institución que regula su empleo: la Asociación Internacional del Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio (GRCA). (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, 2015).

La incorporación de las fibras sintéticas, como las de polipropileno, surge casi al mismo tiempo que el de las fibras de acero, el uso de estas fibras presentó mejoras

en las propiedades del concreto como un menor peso si se compara por ejemplo con las de acero, la ausencia de corrosión y aumentar el módulo de elasticidad y la resistencia a tracción. (López, 2015).

3.1.2 Actualidad. Actualmente, se utilizan fibras para el refuerzo del concreto a partir de diferentes materiales, empleados para diversas actividades en la industria de la construcción especialmente; las fibras metálicas son las más comunes, entre estas se resaltan las fibras de acero y de aluminio, mientras en menor uso se encuentran las fibras naturales, a saber; el asbesto, el carbón, estopa de coco, sisal, entre otras. Las fibras sintéticas son relativamente novedosas, en el sentido que se encuentran aún en investigación; sin embargo, ya son utilizadas en concretos donde se requiera una reducción de fisuras, especialmente en obras como tanques, piscinas, bodegas, plantas industriales, entre otros; además de utilizarse en la elaboración de elementos prefabricados en concreto. Dentro de las fibras sintéticas se encuentran: el polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, nylon, poliéster, entre otras. (tomado de: (SIKA Colombia, 2016)).

3.2 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

El concreto reforzado con fibras, según la definición del ACI-American Concrete Institute, no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos, gruesos, agua y fibras discretas discontinuas cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos (tomado de: (ACI-544, 1996)).

3.2.1 Características del concreto reforzado con fibras (CRF). El uso de fibras en el concreto para proveer comportamiento adecuado antes y después de agrietamiento, ha ganado gran popularidad en las últimas décadas. Desde 1967 varios tipos de fibras se han utilizado en el concreto de forma satisfactoria, pues se han mejorado las propiedades físicas y de durabilidad del concreto. Adicionalmente, los resultados de investigaciones experimentales han demostrado la capacidad de las fibras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Las ventajas más significativas de la adición de fibras al concreto son las siguientes: (ACI-544, 1996).

- Proveen tenacidad a flexión (capacidad de absorber energía después del agrietamiento).
- Aumentan la resistencia a tensión directa, a cortante y a torsión.
- Incrementan las propiedades de resistencia a impacto y a fatiga.
- Mejoran el comportamiento de contracción y flujo plástico.
- Incrementan la durabilidad en ciertas condiciones climáticas.

A pesar de las propiedades y ventajas del CRF, en la actualidad su utilización en aplicaciones estructurales tiene un papel secundario, es decir, se usa

esencialmente como suplemento para controlar el agrietamiento, aumentar la resistencia al impacto y resistir la desintegración del material. En elementos estructurales solicitados por tensión axial o tensión por flexión, tales como vigas, columnas, losas de entrepiso, entre otros, el acero de refuerzo debe resistir los esfuerzos de tensión, en estos casos, el uso de fibras en combinación con refuerzo convencional ha mostrado buenos resultados, por ejemplo, incrementa la resistencia a flexión, a cortante y a torsión. (Carrillo, Aperador, & González, 2013).

El Subgrupo de Fibras de la Secretaría Técnica del Comité de Concretos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), está estudiando y desarrollando normas técnicas con base en la experiencia internacional y en las necesidades del mercado interno de las fibras. (tomado de: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007)).

Durante los últimos cincuenta años el empleo y estudio de las fibras en la construcción ha llevado al desarrollo y fabricación de tipos específicos de fibras que responden a diferentes necesidades. Cabe decir que las fibras tienen usos específicos en función de su trabajo dentro de la mezcla de concreto y de sus características físicas. (tomado de: (Asociacion de Productores Colombianos de Concreto, 2007)).

3.2.2 Componentes del concreto reforzado con fibras (CRF). El concreto reforzado con fibras (CRF) se constituye por los mismos componentes que un concreto normal (concreto sin fibra), su diferencia radica en la adición de algún tipo de fibra para concreto, ya sea natural, artificial o sintética. Donde al incluir fibras, además de alterar el comportamiento del concreto en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por esta razón a sus componentes se les exigen condiciones que en los concretos convencionales no son necesarias. Como la cantidad de fibras que se va adicionar al concreto y de la geometría de las mismas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un concreto convencional. Estas modificaciones pueden ser: limitación en el tamaño máximo del agregado, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, mayor demanda de finos, entre otros. (López, 2015).

3.2.2.1 Agregados. Cumpliendo con los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad, estabilidad y limpieza establecidos para el empleo en concretos tradicionales dentro de la norma técnica colombiana Especificaciones De Los Agregados Para Concreto, los agregados deben tener unos tamaños de partícula, granulometría y formas adecuadas para la elaboración de un CRF. Donde se pueden emplear agregados naturales o triturados. Con respecto al contenido de agregados finos, cuando se adicionan fibras es conveniente incorporar mayor cantidad de finos para así lograr reducir el riesgo de segregación y lograr aumentar la cohesión igualmente favoreciendo la movilidad de las fibras. (NTC 174, 2000).

Según la sociedad de ingenieros civiles de Japón la movilidad potencial de las fibras

depende de la proporción del agregado grueso y del tamaño máximo de agregado, cuanto mayor sean estos dos parámetros, menor será la movilidad potencial de las fibras en donde la (Japan Society of Civil Engineers) plantea que el valor óptimo de tamaño máximo de agregado sea inferior a la mitad de la longitud de la fibra. Agregados mayores a 20 mm no son recomendados, aunque en algunos estudios se han empleado agregados de hasta 38 mm con resultados satisfactorios. (ACI-544, 1996).

3.2.2.2 Agua para elaboración de concreto NTC 3459. El agua debe cumplir los requisitos exigidos para concretos convencionales, se debe tener en cuenta las sustancias que puedan afectar las fibras. En donde el agua a usarse en el mezclado debe ser clara y aparentemente limpia. Si contiene cantidades de sustancias que distorsionan su color o presenta un olor o sabor inusuales que generen desconfianza, no se debe usar, a menos que estén disponibles registros de concreto elaborado con ella u otra información que indique que ésta no causa detrimento en la calidad del concreto. (Sánchez de Guzmán, 2010).

3.2.2.3 Cemento NTC 30. El cemento es un componente decisivo en la manejabilidad del material en estado fresco y, posteriormente, en las características mecánicas del concreto endurecido. Se puede emplear cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un concreto tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al concreto las características que exige el proyecto. En general se usa el cemento portland, definido por la norma NTC 30, como un material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos. (NTC 30, 1966).

3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

El concreto reforzado con fibras es el concreto formado por un conglomerante cemento portland, agregados finos y gruesos, agua y fibras discontinuas y discretas. En el concreto reforzado con fibras (CRF), estas se encuentran distribuidas uniformemente en toda la masa del concreto, con orientaciones aleatorias. A diferencia del concreto armado convencional, en el CRF las propiedades mecánicas tienen un carácter isótropo, no dependiente de la orientación y concentración del refuerzo en una determinada zona. Las fibras al evitar la aparición de grietas que siempre se producen en la matriz del concreto, aumentan la resistencia a la fisuración y la ductilidad del material, así como en menor proporción la resistencia a tracción y su elevada capacidad de absorción de energía, frente a materiales convencionales. (Sánchez A. , 1978).

Según Jorge López Román no hay ninguna razón para utilizar las fibras de acero o polipropileno para tratar de aumentar la resistencia a la compresión del concreto, sin embargo las fibras conducen a grandes aumentos en la tenacidad del concreto (medida como el área bajo la curva esfuerzo vs deformación), es decir, las fibras

tienden a aumentar la deformación a la carga, y proporcionan una gran cantidad de absorción de energía en la región después de los picos de la curva esfuerzo vs deformación. La presencia de fibras altera el modo de falla de los cilindros haciendo que el concreto sea menos frágil, presentando una falla tipo dúctil. (López, 2015).

Las fibras al ser introducidas en el concreto por acción de mezclado, se distribuyen uniformemente a través de la mezcla de concreto en todas las direcciones, al endurecerse el concreto se desarrollan fisuras por contracción plástica y por contracción por secado, las fibras interceptan las fisuras, bloqueándolas y evitando que estas se vuelvan grietas, las fibras no afectan la hidratación del cemento, ya que su función es mecánica, las fibras sintéticas son inertes y no afectan las características de los concretos. (tomado de: (Construsol S.A.S)).

3.3.1 Influencia de las fibras en las propiedades del concreto.

3.3.1.1 En estado fresco. El concreto reforzado con fibras de vidrio y fibras metálicas (viruta de torno) presenta influencias en las propiedades en estado fresco, estas se deben al tipo de fibra, la geometría, el tamaño, además del volumen, la proporción de fibras respecto a la mezcla y características de los agregados empleados. La trabajabilidad, estabilidad, asentamiento y compactibilidad del concreto reforzado con fibras en su estado fresco se ven modificados por el tipo de fibra. Además, presenta una mínima pérdida de homogeneidad en la mezcla, se ha constatado mediante el ensayo de consistencia por el método de cono Abrams el cambio respecto a concreto sin fibras. (NTC 396, 1992).

3.3.1.2 En estado endurecido.

3.3.1.2.1 Resistencia a compresión. Los concretos reforzados con fibras presentan incrementos de la resistencia última a compresión, está ligeramente afectada por la presencia de las fibras, con aumentos que van de entre 0-15% respecto de concretos idénticos sin fibras. (tomado de: (American Concrete Institute, 2008)). Las fibras en bajas fracciones de volumen no tienen ningún efecto medible sobre la resistencia a la compresión. (Johnston, 2000). Es evidente entonces que no hay ninguna razón para utilizar las fibras para tratar de aumentar la resistencia a la compresión del concreto. Sin embargo, las fibras transfieren a grandes aumentos en la tenacidad del concreto (medida como el área bajo la curva esfuerzo vs deformación), quiere decir que las fibras tienden a aumentar la deformación a la carga, y proporcionan una gran cantidad de absorción de energía en la región después de los picos de la curva esfuerzo vs deformación. La presencia de fibras altera el modo de falla de los cilindros haciendo que el concreto sea menos frágil, presentando una falla del tipo dúctil. (López, 2015).

3.3.1.2.2 Módulo de elasticidad y Relación de Poisson. El módulo de elasticidad para los concretos reforzados con fibras (CRF) con contenidos de fibras menores al 1% en volumen, no se presenta modificaciones significativas respecto al de los concretos convencionales. Cuando al concreto se le comprime en una dirección, al igual que ocurre con otros materiales, éste se expande en la dirección transversal a la del esfuerzo aplicado. La proporción en que el espécimen se deforma transversalmente con respecto a lo que se deforma longitudinalmente se conoce como la relación de Poisson. La relación de Poisson varía de 0,11 a 0,27 para concreto convencional. (López, 2015).

3.3.1.2.3 Resistencia a tensión. El concreto se caracteriza por tener una excelente resistencia a la compresión; sin embargo, su capacidad a la tensión es tan baja que se le desprecia para propósitos estructurales. La poca capacidad del concreto a la tensión le ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas por restricciones estructurales, cambios volumétricos u otros fenómenos, generalmente el valor de la capacidad a la tensión se encuentra alrededor del 9% de la capacidad a compresión en concretos de peso y resistencia normal. La capacidad a tensión no se obtiene probando al material en tensión directa, sino se acostumbra a obtenerlo en forma indirecta con pruebas como la Prueba Brasileña, que se realiza según la norma NTC 722 “Tensión por Compresión Diametral”. (López Cruz, 2014). El empleo de fibras de acero (viruta de torno) y fibras de vidrio pretende mejorar una de las grandes limitaciones del concreto, su escasa resistencia a la tensión. El incremento en la resistencia a tensión resulta proporcional a la cantidad de fibra empleada y depende en gran medida de la adherencia que se genere entre la fibra y la matriz cementante del concreto, así como depende de la resistencia a tensión de las mismas fibras empleadas. (López, 2015).

3.3.1.2.4 Resistencia a la flexión. El comportamiento del concreto reforzado con fibras presenta una conducta de resistencia a compresión no demasiado representativo, mientras que el esfuerzo a flexión del CRF es mayor. El módulo de rotura depende del volumen de fibras y de la esbeltez de estas, logrando incrementos hasta el 100% respecto a la resistencia de la matriz del concreto. (López, 2015). Para concretos reforzados con fibras la resistencia máxima a tensión por flexión es mayor que la resistencia al agrietamiento de tensión por flexión, debido a un mejor trabajo entre la matriz cementante-fibra. (Carrillo, Aperador, & González, 2013).

3.4 LAS FIBRAS, ASPECTOS FUNDAMENTALES

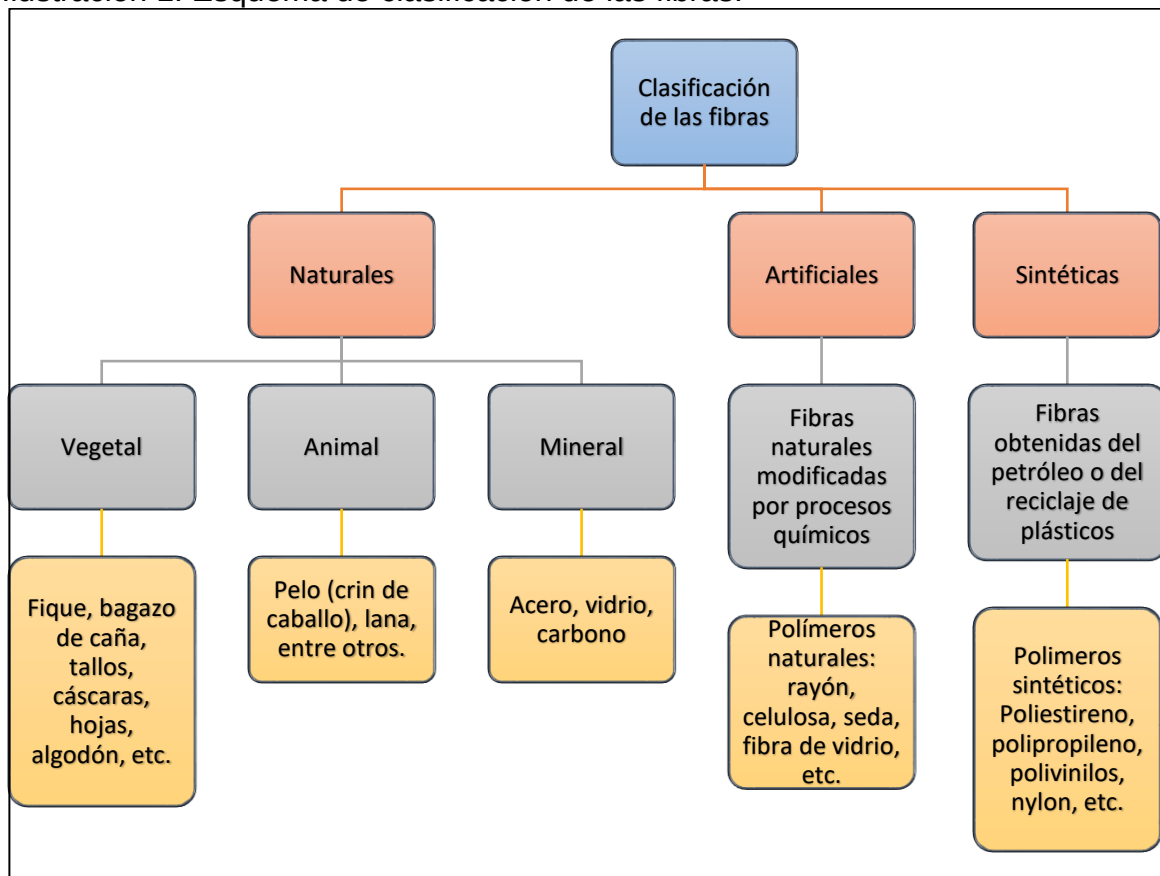
Las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas cuya longitud es muy superior a su diámetro y están orientadas a lo largo de un solo eje. (Kastillo, 2003). Se doblan con facilidad y en las últimas tres décadas ha existido un crecimiento por el interés en el uso de fibras en concreto premezclado, concreto prefabricado y

concreto lanzado. Las fibras de acero, polipropileno, vidrio y materiales naturales (celulosa de madera) están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesor; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas (rizadas) y deformadas (conformadas en los extremos) con longitud típica de 60 mm a 150 mm y espesor variando de 0.005 mm a 0.75 mm. Las fibras en el concreto forman un material compuesto, cuyo desempeño se ve controlado principalmente por los siguientes factores: Las propiedades físicas de las fibras y de la matriz, y la resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz. (tomado de: (Portland Cement Association , 2004)).

“Las fibras se adicionan al concreto normalmente en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1%) y han mostrado eficiencia en el control de la fisuración por retracción”. (tomado de: (Portland Cement Association , 2004, pág. 164)).

3.4.1 Clasificación de las fibras.

Ilustración 1. Esquema de clasificación de las fibras.



Fuente: Adaptado de (López, 2015, pág. 23).

3.4.1.1 Clasificación de fibras por funcionalidad, geometría y dosificación.

- Microfibras: Son fibras de plástico, polipropileno, polietileno o nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante las primeras horas de la colocación del concreto o mientras la mezcla permanece en estado plástico, en estas mezclas, los mejores resultados se obtienen con fibras multifilamento, cuyas longitudes oscilan entre los 12 y 75 mm y se dosifican en el concreto entre 0.6 kg/m³ y 1 kg/m³. (tomado de: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007)).

- Macrofibras: Son materiales como acero, vidrio, sintéticos o naturales como fique y otros, los cuales se usan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como la malla electrosoldada y las varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Otro beneficio del concreto reforzado con fibras (CRF) es el incremento de resistencia al impacto. Adicionalmente, controlan la fisuración durante la vida útil del elemento y brindan mayor resistencia a la fatiga. Su diámetro oscila entre 0.25 mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm. La más importante propiedad del CRF es la tenacidad, descrita como la capacidad de absorción de energía de un material, que se refleja en el concreto, una vez se han presentado fisuras, momento en el cual, las fibras trabajan como refuerzo. (tomado de: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007)).

3.4.1.2 Clasificación de fibras por material. Fibras de polipropileno, vidrio y nylon: Estos materiales son empleados como microfibras y están especialmente diseñados para ser compatibles con el ambiente alcalino de la matriz del concreto. Algunas fibras existentes en el mercado pueden contener aditivos destinados a combatir bacterias o aumentar el asentamiento del concreto. (tomado de: (Asociacion de Productores Colombianos de Concreto, 2007)).

- Fibras metálicas: Dependiendo del sistema de fabricación en el mercado se encuentran fibras de diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Pueden ser trefiladas en frío, cortadas o maquinadas. Su forma puede ser variable, recta, ondulada o con aplastamientos. Para comparar fibras se utilizan tres conceptos: relación de esbeltez, anclaje y resistencia a la tracción del alambre. A mayor número de fibras, mejor desempeño del refuerzo, teniendo en cuenta que los concretos reforzados con fibras de acero fallan principalmente por la adherencia entre el refuerzo y la matriz cementante. La dosificación de este material oscila normalmente entre 15 y 25 kg/m³ para pisos convencionales. En pisos sin juntas, normalmente se emplean dosificaciones mayores a 30 kg/m³ y para las aplicaciones en concretos lanzados como los utilizados en túneles es de 40 kg/m³. (tomado de: (Asociacion de Productores Colombianos de Concreto, 2007)).

- Fibras sintéticas: Generalmente, las fibras sintéticas son utilizadas como macrofibras, cuyo propósito es asegurar que la tenacidad sea acorde con las necesidades de diseño estructural. La proporción de la mezcla depende de la longitud y el diámetro, pero las dosificaciones usualmente empleadas están comprendidas entre el 1 y 2% en volumen (9 a 18 kg/m³), aunque existen aplicaciones con contenidos mínimos del 0,1%, o máximos del 8%, en volumen. (tomado de: (Asociación de Productores Colombianos de Concreto, 2007)).

Existen varias clasificaciones para las fibras, pero la más acorde se divide en tres grupos: fibras naturales, artificiales y sintéticas. En la Ilustración 1. Esquema de clasificación de las fibras., se observa una esquematización de la clasificación de las fibras.

3.4.1.3 Fibras naturales. Las fibras naturales son las derivadas de la naturaleza y pueden ser de procedencia animal, vegetal o mineral. Algunas de ellas son: las fibras de acero, vidrio, lechuguilla, maguey, bagazo de caña, (López, 2015) lana, seda natural, algodón, lino, fique, crin de caballo, coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Los diámetros varían entre 0,5 y 0,2 mm, con valores de absorción superiores al 12%. La principal ventaja de estas fibras, es que con ellas se pueden obtener materiales reforzados a un bajo costo, empleando las técnicas adecuadas para su obtención. Sin embargo, una desventaja de las fibras naturales es que en la mayoría son afectadas al reaccionar a los álcalis de la pasta del cemento Portland. Actualmente las fibras naturales de origen mineral son las que más se utilizan como refuerzo en la mezcla de concreto, además de estar en constante mejoramiento de sus propiedades, sin embargo, estas fibras naturales, son más costosas que las fibras naturales de origen vegetal y animal. (tomado de: (SIKA Colombia, 2016)).

3.4.1.4 Fibras sintéticas. Las fibras sintéticas surgieron como una solución a las limitaciones de las fibras naturales y artificiales, fueron desarrolladas por la industria petroquímica y textil. La mayoría de la aplicación de las fibras sintéticas en el concreto están en el nivel de 0.1% por volumen. (tomado de: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto , 2007)).

Estas fibras se elaboran mediante síntesis químicas, a través de un proceso denominado polimerización, se obtienen a partir de resinas derivadas del petróleo, pero recientemente se han empezado a obtener del reciclaje de productos plásticos, con lo que su popularidad ha crecido en los últimos años (Gacén, 2000), Las fibras sintéticas pueden estar compuestas por Acrílico, Aramida, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliéster etc. (tomado de: (SIKA Colombia, 2016)). La principal ventaja de estas fibras es que no se depende de cosechas, pues el volumen de producción puede ser modificado a voluntad o según la demanda. Así mismo, sus propiedades y resistencia, también pueden ser modificables a voluntad, aunque la mayoría presentan algunas desventajas como la absorción de agua y la tendencia a la segregación. Las fibras sintéticas poseen buenas propiedades de ligereza,

resistencia y elasticidad. (Gacén, 2000).

3.4.1.5 Fibras artificiales. Las fibras artificiales provienen de materias naturales que son transformadas por procesos químicos, por lo que son más uniformes y resistentes a roturas, al fuego y arrugas que las fibras naturales. Ejemplo de éstas son el acetato, la viscosa, el rayón y la seda artificial. (Gacén, 2000).

3.4.2 Fibra de vidrio. La Fibra de Vidrio es un material fibroso obtenido a partir del vidrio fundido, y por tener suficiente flexibilidad es utilizado como fibra. La fibra de Vidrio ha tenido popularidad en diversas aplicaciones industriales debido a sus propiedades y el bajo costo de sus materias primas. (Águila, 2010). Es una fibra mineral construida con insumos como: sílice, cal, alúmina y magnesita. Además, se les agrega diferentes óxidos dependiendo del tipo de vidrio y se trituran los materiales, obteniendo así una masa homogénea, que posteriormente se funde a altas temperaturas, luego de ello, el vidrio fundido se extrude, estira y pasa por el proceso de ensimaje, obteniendo el filamento de fibra de vidrio. (Morales, 2008).

La Fibra de Vidrio posee propiedades como: Alta resistencia a la tensión, resistente a los agentes corrosivos, muy maleable, posee muy bajo peso, baja conductividad eléctrica y térmica, soporta altas temperaturas, no es combustible, no produce gases tóxicos, es imputrescible, es inerte a muchas sustancias químicas y resistente a la intemperie. (Olivares, Galán, & Roa, 2003).

Existen cinco grupos de fibra de vidrio:

3.4.2.1 Tipo E. Es el tipo de fibra más empleado, se caracteriza por sus propiedades dieléctricas, de ahí de la letra mayúscula E (Eléctrico), además de su resistencia al fuego, durabilidad, poca absorción de humedad y bajo coste. (Olivares, Galán, & Roa, 2003). Es una fibra inorgánica compuesta de 53-54% de Sílice (SiO_2), 14-15,5% de Alúmina (Al_2O_3), 20-24% de Óxido de Calcio (CaO) y Óxido de Magnesio (MgO), 6,5-9% de Óxido de Boro (B_2O_3), y un mínimo contenido en álcalis. El vidrio tipo E posee un peso específico de 2.6 g/cm^3 . (Morales, 2008).

Especificaciones técnicas. (Morales, 2008):

➤ Propiedades Mecánicas

Tenacidad: 1,30 N/tex.

Resistencia a la tracción: 3400 Mpa.

Elongación hasta rotura: 4,5 %.

➤ Propiedades Térmicas

Conductividad térmica: 1 W/m °K.

Resistencia termo-mecánica: 100% después de 100 h a 200 °C.

➤ Propiedades Eléctricas

Resistividad: $10^{14} - 10^{15}$ ohm x cm.

Factor de disipación dieléctrica: 0,0010 – 0,0018 a 106 Hz.

➤ Propiedades Químicas

Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa: 0,1 %.

Resistencia a los disolventes: alta.

Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta.

Resistencia a microorganismos: alta.

Aplicaciones: (Morales, 2008).

- Construcción: Tejidos para decoración en locales públicos, material aislante.
- Automoción: Materiales compuestos para dispositivos de vehículos.
- Deporte: Materiales compuestos para la fabricación de elementos o dispositivos para la práctica de deportes, como esquís, canoas, pértigas, etc.
- Usos industriales: Materiales compuestos para la fabricación de piezas plásticas reforzadas con este tipo de fibra, componentes para ordenadores, etc.

3.4.2.2 Tipo R. Este tipo de fibras se caracteriza por tener muy buena resistencia, de ahí de la letra mayúscula R (Résistance) en francés. La resistencia a tensión y módulo de elasticidad son muy superiores al de los otros tipos de vidrio. (Olivares, Galán, & Roa, 2003). Debido a sus excelentes propiedades mecánicas, la fibra de vidrio tipo R se usa principalmente en los sectores de aviación, espacial y armamento. La fibra de vidrio tipo R está compuesta en un 60% de Sílice (SiO_2), 25% de Alúmina (Al_2O_3), 9% de Óxido de Calcio (CaO) y 6% de Óxido de Magnesio (MgO). Este tipo de fibra posee una alta resistencia a la fatiga, temperatura y humedad, y un peso específico de $2,53\text{g/cm}^3$. (Morales, 2008).

Especificaciones técnicas:

➤ Propiedades Mecánicas

Tenacidad: 1,74 N/tex.

Fuerza a la tracción: 4400 Mpa.

Elongación hasta rotura: 5,2%.

➤ Propiedades Térmicas

Conductividad Térmica: 1 W/m °K.

Resistencia termo-mecánica: 50% después de 150 h a 750°C

➤ Propiedades Eléctricas

Resistividad: $10^{14} - 10^{15}$ ohm x cm.

Factor de disipación dieléctrica: 0,0019 a 105 Hz.

➤ Propiedades Químicas

Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa: 0,1%.

Resistencia a los disolventes: alta.

Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta.

Resistencia a microorganismos: alta.

Aplicaciones: Se utiliza como fibra de refuerzo en palas de helicópteros, dispositivos en aeronáutica, cisternas de cohetes, misiles, lanza-misiles, etc. (Morales, 2008).

3.4.2.3 Tipo D. Presenta muy buenas propiedades dieléctricas y resistencia al fuego, por esto es utilizada en la elaboración de radares, ventanas electromagnéticas, etc. Este tipo de fibra inorgánica está compuesta de un 73-74% de Sílice (SiO_2), y un 22-23% de Óxido de Boro (B_2O_3). El peso específico de la fibra de vidrio tipo D es de 2,14 g/cm³. (Morales, 2008).

Especificaciones técnicas: (Morales, 2008).

➤ Propiedades Mecánicas

Tenacidad: 1,17 N/tex.

Resistencia a la tracción: 2500 Mpa.

Elongación hasta rotura: 4,5%.

➤ Propiedades Térmicas

Conductividad Térmica: 0,8 W/m °K.

➤ Propiedades Eléctricas

Factor de disipación dieléctrica: 0,0005 a 106 Hz

➤ Propiedades Químicas

Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa: 0,1%.

Aplicaciones: Es utilizada en la fabricación de materiales compuestos permeables a las ondas electromagnéticas como radares, ventanas electromagnéticas, circuitos impresos, etc. (Morales, 2008).

3.4.2.4 Tipo AR. Esta fibra posee un alto contenido de Óxido de Zirconio (ZrO_2) >15%, lo que hace que tenga muy buenas propiedades de resistencia a los compuestos alcalinos. La fibra de vidrio tipo AR de Alkali-Resistant en inglés, posee un peso específico de 2,68 – 2,7g/cm³. (Morales, 2008).

“Las fibras de vidrio AR (álcali-resistentes) presentan altas prestaciones para el refuerzo de morteros de cemento, hormigones y, en general, piezas que puedan verse sometidas al ataque de tipo alcalino”. (Muñoz, 2007, pág. 30).

Especificaciones técnicas: (Morales, 2008).

➤ Propiedades Mecánicas

Resistencia a la tracción: 3000 – 3500 Mpa

Elongación hasta rotura: 4,3%

➤ Propiedades Químicas

Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa: 0,1%

Resistencia a los disolventes: alta.

Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta.

Resistencia a microorganismos: alta.

Aplicaciones: Se utiliza como fibra de refuerzo en morteros a base de cemento, sustitución de amianto en tejados, paneles de fachadas, piezas de recubrimiento, de decoración, entre otros. (Morales, 2008).

3.4.2.5 Tipo C. La fibra de vidrio tipo C se caracteriza por su alta resistencia a agentes químicos, de ahí de la letra mayúscula C (Chemical) en inglés. Se utiliza en las capas superficiales de elementos expuestos a la corrosión o de estructuras anticorrosión (Olivares, Galán, & Roa, 2003). Es una fibra inorgánica compuesta de un 60-72% de Sílice (SiO_2), un 9-17% de Óxido de Calcio (CaO) y Óxido de Magnesio (MgO) y un 0.5-7% de Óxido de Boro (B_2O_3). Se caracteriza por su alta resistencia química, por ello se suele aplicar para aquellos productos dónde se necesite dicha propiedad. Posee un peso específico de 2,5 g/cm³. (Morales, 2008)

Especificaciones técnicas: (Morales, 2008)

➤ Propiedades Mecánicas

Tenacidad: 1,24 N/tex.

Resistencia a la tracción: 3100 Mpa.

Elongación hasta rotura: 4%.

➤ Propiedades Eléctricas

Factor de disipación dieléctrica: 0,005 a 106 Hz.

➤ Propiedades Químicas

Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa: 0,1%.

Resistencia a los disolventes: alta.

Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta.

Resistencia a microorganismos: alta.

En la Tabla 1, se observa una comparación de las propiedades mecánicas de los tipos de fibra de vidrio.

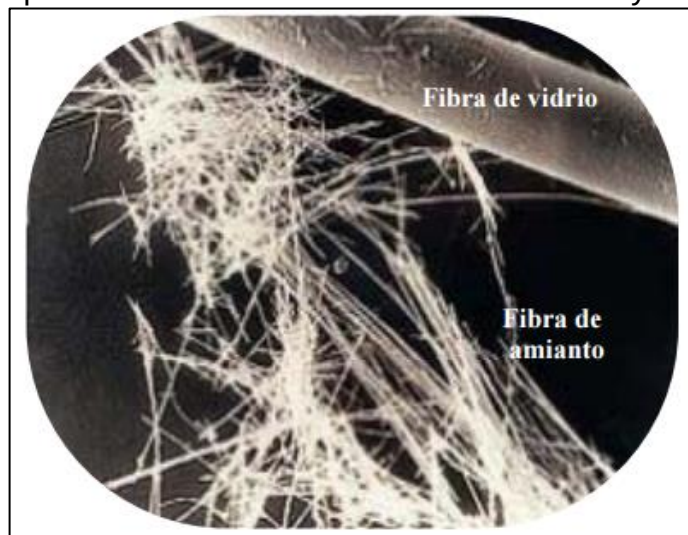
Tabla 1. Propiedades mecánicas de tipos de fibra de vidrio.

Propiedades	Vidrio E	Vidrio R	Vidrio D	Vidrio AR	Vidrio C
Peso específico (g/cm ³)	2,6	2,53	2,14	2,68 - 2,7	2,5
Resistencia a la tracción (Mpa)	3400	4400	2500	3000-3500	3100
Elongación hasta la rotura (%)	4,5	5,2	4,5	4,3	4
Módulo elástico (Gpa)	72	86	55	72	

Fuente: (Bravo, 2003, pág. 21).

3.4.3 Historia de la Fibra de Vidrio. El concreto reforzado es una solución en los elementos estructurales, pero este refuerzo presenta inconvenientes como son el aumento de dimensiones y por consiguiente mayores pesos, además de aumento de mano de obra en su implementación, también los tiempos de ejecución de la obra son mucho más lentos. Ante estas desventajas se desarrollaron trabajos de investigación para poder obtener un material más ligero y reducir dimensiones, un ejemplo de estas investigaciones fue la adición de Fibras de Refuerzo a la mezcla de concreto. Los preliminares desarrollos se obtuvieron con el empleo de fibras de amianto y su material resultante, nombrado “fibrocemento”, este material demostraba ventajas de costo y trabajabilidad, pero posteriormente se demostró el carácter cancerígeno de estas fibras, por lo que se prohibió su utilización, en la Ilustración 2, se observa una comparación microscópica entre la fibra de vidrio y fibra de amianto. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996).

Ilustración 2. Comparación de diámetros entre fibra de vidrio y fibra de amianto.



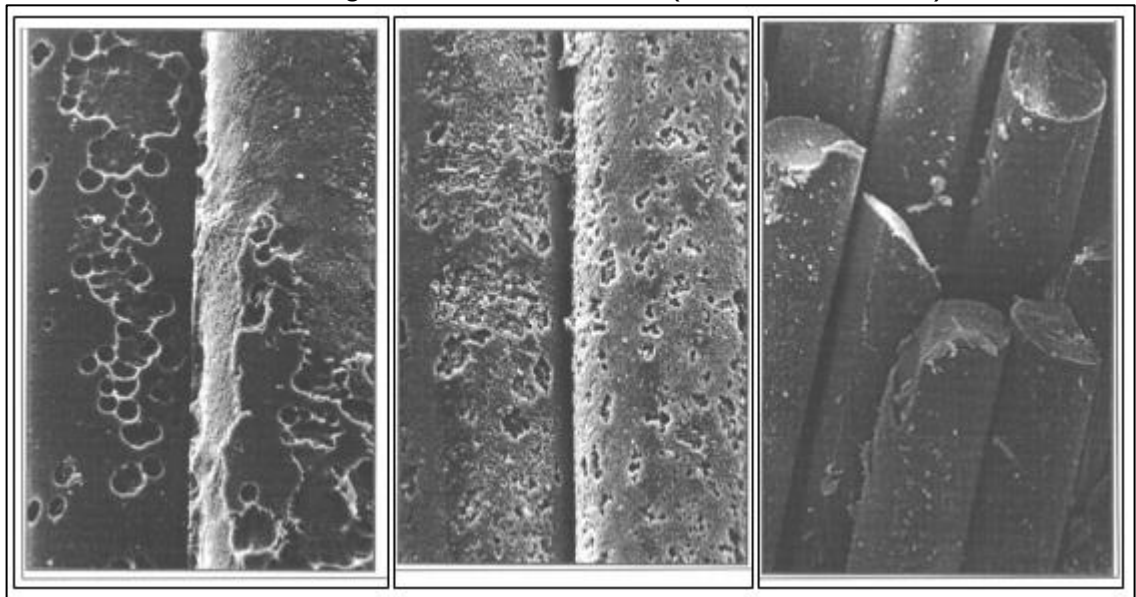
Fuente: (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996, pág. 2).

En la exploración del refuerzo que consintiera en la creación de un material

compuesto, con buenas características, se desarrollaron excesivas prácticas con otras fibras de refuerzo, como de origen orgánico: Aramida, Nylon, Rayón, Polipropileno, etc.; o de origen inorgánico como lo son las fibras de: Vidrio, Boro, Carbono y fibras metálicas (Hierro, Acero, Níquel, Titanio, Aluminio, etc.). (Bravo, 2003). De entre todo este grupo de fibras, la de que mostro una mejor relación costo-propiedades mecánicas fue las Fibras de Vidrio, ya que por sus características presentan beneficios como lo son manejabilidad, inocuas, seguras, anticorrosivas, no presentan impacto ambiental y además otorgan a los materiales compuestos formados con ellas, mayores resistencias mecánicas. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996).

Los primeros ensayos y experiencias para el refuerzo de los cementos y sus morteros se realizaron con Fibras de Vidrio tipo "E", (usadas normalmente para el refuerzo de plásticos y poliésteres) dada la alta resistencia inherente de las mismas. Sin embargo, dichas tentativas fracasaron debido a que, este tipo de Fibra de Vidrio, al ser incorporada al mortero, estaba sujeto al ataque químico de los cristales alcalinos (álcalis) producidos en el proceso de hidratación del cemento. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996, pág. 2).

Ilustración 3. El Vidrio frente a los álcalis. A la Izquierda Vidrio E, luego de 8 días a 50°C (2.2 años naturales); al centro Vidrio E + polímero acrílico tras 8 días a 50°C; a la derecha Cem-FIL luego de 3 meses a 50°C (25 años naturales).



Fuente: (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996, pág. 3).

En 1967 el Dr. A. J. Majundar, del Building Research Establishment, (BRE) del Reino Unido, empezó a investigar los vidrios que contenían Zirconio, logrando convertir en fibra alguno de ellos y demostrando la resistencia que presentaban estas fibras ante el ataque alcalino. Tras 4 años de

continuas investigaciones, se logró el refuerzo duradero para los cementos, hormigones y en general piezas que puedan verse sometidas al ataque de tipo alcalino. La patente de esta investigación fue solicitada por el National Research Development Corporation (NRDC), este tipo de fibras de vidrio fue denominado AR-Glassfibre, o fibra de vidrio AR (de Alkali-Resistant). (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996, pág. 3).

3.4.3.1 Composición química de la fibra de vidrio AR. El Vidrio AR, al igual que el resto de los tipos de vidrio está compuesto mayoritariamente por Sílice (SiO_2), la composición restante la otorgan óxidos metálicos y semimetálicos en proporciones minoritarias. Los principales componentes del vidrio AR se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Componentes del Vidrio tipo AR (Álcali-Resistente).

Componente	Fórmula química	Porcentaje (%)
Sílice	SiO_2	71
Óxido de Zirconio	ZrO_2	16
Óxido de Sodio	Na_2O	11
Alúmina	Al_2O_3	1
Óxido de Litio	Li_2O	1

Fuente: (Bravo, 2003, pág. 24).

3.4.3.2 Fabricación de la Fibra de Vidrio. *Hay dos métodos principales de fabricación de fibra de vidrio y dos tipos principales de productos de fibra de vidrio. La fibra se puede hacer por un proceso de fusión directa o por un proceso de refundición. Ambos comienzan con las materias primas en estado sólido. Los materiales se mezclan y se funden en un horno. Entonces, para el proceso de refundición, el material fundido es cortado y enrollado en bolitas, que son enfriados y envasados. Estas canicas son llevadas a las instalaciones de fabricación de fibra en el que se insertan en un cilindro y el material es refundido. El vidrio fundido se extrude a través de un cabezal con boquillas, denominado bushing, que lo conforma en filamentos. En el proceso de fusión directa, el vidrio fundido del horno va directamente al buje de conformación. (Villamudria, 2014, págs. 7-8).*

3.4.3.3 Proceso de fabricación de la Fibra de Vidrio AR - CEM-FIL “Anti-Crak HD (High Dispersión) 12mm”. El proceso de elaboración de la fibra de vidrio tipo AR, utilizada para esta investigación se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- Composición – Fusión: Para dar inicio a esta etapa, previamente se deben moler finamente las materias primas, una vez molidos los materiales, se dosifican con precisión y se mezclan uniformemente. Posteriormente, la mezcla, a la que se le da el nombre de vitrificable, es introducida en un horno de fusión directa y calentada a una temperatura de 1550°C . (Bravo, 2003).
- Fibrado: Al salir del horno, el vidrio fundido es conducido a través de unos

canales, denominados “Feeders”, llegando hasta las hileras de fabricación de las fibras. Las hileras son dispositivos fabricados con aleaciones de Platino, de forma prismática y la base con un número determinado de agujeros de dimensiones y distribución controlados.

El vidrio fundido se mantiene en la hilera a aproximadamente 1250°C, temperatura que permite su colada verticalmente, es decir, por acción de la gravedad, dando origen a barras de vidrio de algunas décimas de milímetro de diámetro. A la salida de la hilera, el vidrio se estira a velocidades de entre 10 y 60 m/s según el diámetro deseado de la fibra y posteriormente a un enfriamiento rápido del vidrio. (Bravo, 2003). El enfriamiento se realiza en dos fases, en la primera por radiación y en la segunda por pulverización de agua fría, evitando la cristalización, es decir, la no orientación de las partículas en el espacio, y por tanto la formación del sólido amorfo, en forma de filamento de varias micras de diámetro. Para el vidrio AR, los diámetros normales de filamentos oscilan entre las 14 y las 20 μm según el producto y la aplicación a la que se dirija. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996). Cada filamento de la fibra de vidrio AR utilizada en esta investigación posee un diámetro de 14 μm . En la Ilustración 4, se observa la etapa de fibrado para la fabricación de la fibra de vidrio AR.

Ilustración 4. Fibrado del Vidrio. Imagen izquierda chorro vidrio fundido; Imagen derecha filamentos saliendo de la hilera.



Fuente: (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996, pág. 5).

- Ensimado: Los filamentos que salen de la hilera, son inutilizables directamente, pues no hay cohesión entre ellos, no son resistentes a la abrasión, carecen de flexibilidad y trabajabilidad, etc. (Bravo, 2003). Para corregir esta falencia es necesario pasar por la etapa de Ensimado, en la cual se aplica un baño de diversos compuestos químicos. La cantidad de solución de químicos que se

aplica sobre el vidrio es baja, la cual se encuentre en un entre 0,5 a 5%. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996).

- Unión de filamentos: Una vez finalizada la etapa de Ensimado, se procede a la unión de los filamentos para formar hilos de diversos diámetros. Este procedimiento es realizado a través de equipos denominados “peines”. Mediante esta etapa se le otorga al filamento y por ende al hilo, determinadas características como: cohesión entre filamentos, resistencia a la abrasión, eliminación de cargas electrostáticas en los filamentos o en la unión de los mismos, rigidez, trabajabilidad, capacidad de transformación, y le hará apto para una aplicación específica. (Bravo, 2003).

Existen varios tipos de ensimajes que junto con la fibra de vidrio AR Cem-FIL le otorgan ciertas características para una aplicación específica. De esta forma existen ensimajes especiales para: (Bravo, 2003).

- Resistencia a la abrasión que supone el amasado o mezclado de la fibra en un medio extremadamente agresivo como es el de la mezcla con arena, cemento, agua y aditivos químicos.
- Facilitar su corte y proyección en una pistola especialmente diseñada para estos procesos de transformación de la fibra.
- Facilitar la dispersión de los filamentos, es decir, facilidad de la desunión entre filamentos. Este ensimaje fue especialmente desarrollado para la sustitución del amianto.

Normalmente la fibra de vidrio AR viene en presentación de hilos en los que no se descomponen o dispersan los filamentos que los componen; tanto antes, durante y después de la labor en las que se van a aplicar las fibras. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996).

- Bobinado: Los hilos obtenidos de la unión de los filamentos son enrollados para dar lugar a productos finales (Roving Directo) o productos intermedios (Ovillos), que se enrollan según diferentes formas y geometrías. En la etapa del bobinado se controlará la velocidad de rotación de la bobinadora y, por ende, la velocidad de estirado de la fibra de vidrio. (Bravo, 2003).

- Secado: Los productos procedentes de la etapa de bobinado (roving directo u ovillos) se pasan por una estufa con el fin de eliminar el exceso de agua contenido en el ensimaje y así, mediante un tratamiento térmico consolidar las propiedades de este, frente a las aplicaciones a las que será sometido. (Comino, Romero, & Vetrotex, 1996).

- Transformación final: Es el último proceso en el cual se le realizan adecuaciones a la fibra de vidrio en cuanto a presentación, de acuerdo a la labor en que se va a emplear.

3.4.4 Fibras Metálicas Recicladas (Viruta de Torno). La viruta de torno es el material residual generado en la industria metalmecánica por el proceso de torneado del acero, es decir, el moldeo para la elaboración de piezas aceradas (Cando, 2016). La máquina utilizada para realizar el torneado se le denomina Torno. Las virutas generadas por el torno pueden variar de forma y tamaño según el material y geometría de la pieza a elaborar.

La viruta de torno, al ser un material residual de la industria metalmecánica no presenta ninguna otra aplicación significativa, por tal razón las personas pertenecientes a esta industria buscan deshacerse rápidamente de este material, por lo que muchas veces lo ponen a disposición de algunos recicladores o en algunos casos en depósitos de basura domésticos, lo cual no es recomendable ambientalmente, pues estas virutas son materiales peligrosos porque contienen grasas y aceites utilizados en el proceso de torneado, por tal razón necesitan un tratamiento para tener alguna disposición. Se eligió la viruta de torno para este proyecto de investigación con el fin de evaluar el cambio en las propiedades físicas y mecánicas del concreto con la adición de estas fibras metálicas recicladas en la mezcla de concreto, además de evaluar su viabilidad económica y ambiental.

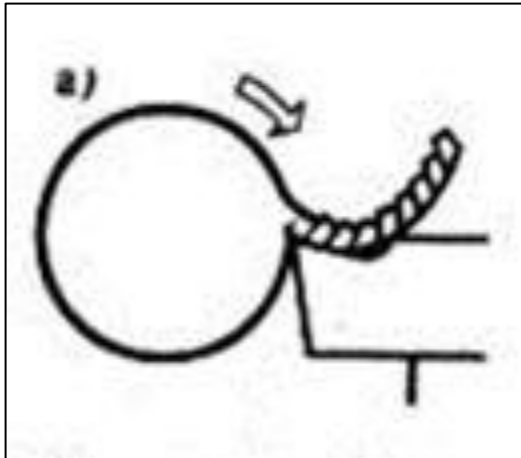
3.4.4.1 Tipos de Virutas de Torno. Las virutas se producen cuando la cuña cortante moldea el material o la pieza a realizar, pueden ser dúctiles, frágiles o quebradizas. El tipo de viruta depende de varios aspectos como: (Cando, 2016).

- El tipo de material, pues cada material tendrá una dureza y resistencia al desgaste diferente.
- Geometría de la cuchilla o herramienta cortante, pues varían los tipos de cuchillas, su inclinación y su ubicación respecto a la pieza.
- Operación de la máquina, Pues varía la profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte.

Se distinguen los siguientes tipos de virutas:

Virutas onduladas grandes Conocida también como viruta de elementos o viruta de cortadura. Se obtiene al tornear con metales de dureza alta, poco dúctiles y a bajas velocidades de corte. (tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.)). En la Ilustración 5, se observa un esquema de extracción de la viruta ondulada grande, durante el proceso de torneado.

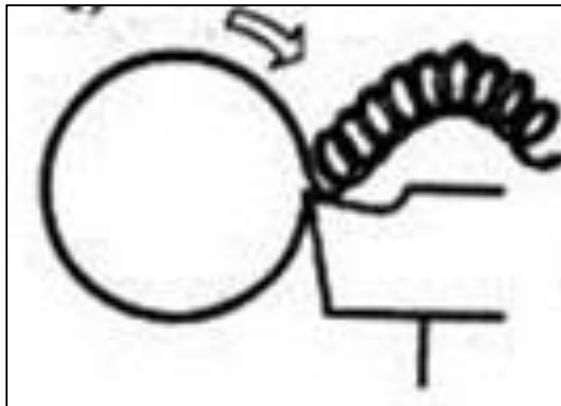
Ilustración 5. Extracción de virutas onduladas grandes.



Fuente: Tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.).

Virutas Rizadas. Conocida también como viruta fluida continua de espiral. Se obtiene del proceso de taladrado, que consiste en la extracción de la viruta mediante el giro e introducción de la broca en la pieza para la obtención de agujeros redondos. (Cando, 2016). En la Ilustración 6, se observa un esquema de extracción de la viruta rizada, durante el proceso de torneado.

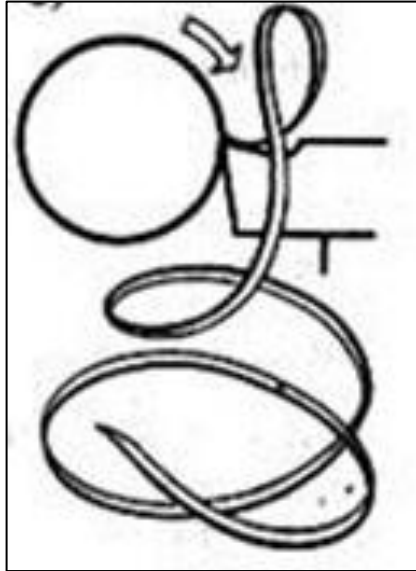
Ilustración 6. Extracción de virutas rizadas.



Fuente: Tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.).

Virutas lisas-largas. Conocida también como viruta fluida continua de cinta. Se obtiene al torneado de aceros de dureza baja, ángulos de ataque de 10 a 30° y a velocidades altas de corte. (Cando, 2016). Como el cobre, plomo, estaño y algunos materiales plásticos. (tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.)). En la Ilustración 7, se observa un esquema de extracción de la viruta lisa-larga, durante el proceso de torneado.

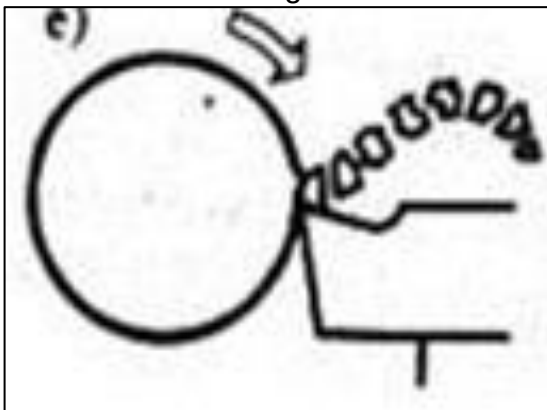
Ilustración 7. Extracción virutas lisa-largas.



Fuente: tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.).

Virutas cortas irregulares conocida también como virutas fraccionadas. Se obtienen al cortar en ángulos de ataque de 0 a 10° y en materiales con poca plasticidad como el latón fundido (Cando, 2016), bronce, hierro fundido y se presenta en trozos no continuos o longitudes pequeñas. (tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.)). En la Ilustración 8, se observa un esquema de extracción de la viruta corta irregular, durante el proceso de torneado.

Ilustración 8. Extracción virutas cortas irregulares.



Fuente: Tomado de: (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, s.f.).

4 METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló por medio de una metodología investigativa básica y experimental, la cual consta de tres etapas; la primera etapa se constituye de la caracterización de los materiales y agregados empleados en la investigación apoyados en pruebas de laboratorio, la segunda etapa se fundamenta en la realización de diseño de mezcla para concreto según las características de los materiales y agregados obtenidos en la primer etapa, además de la correspondiente elaboración de la mezcla y la tercer etapa de la investigación consiste en realizar ensayos y un análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio planteados en la investigación y la determinación de ventajas y desventajas del uso de fibras de vidrio tipo AR ,E y virutas de torno en el refuerzo del concreto en comparación con el concreto simple.

Descripción de las etapas de la investigación:

- Primera etapa: caracterización de los materiales y agregados (grava, arena, cemento, agua, y fibras)
- Segunda etapa: obtención de diseño de mezcla de concreto y la elaboración de la mezcla de concreto.
- Tercera etapa: pruebas en estado fresco; prueba de asentamiento, contracción plástica, aire atrapado y peso volumétrico. Ensayos de laboratorio en estado endurecido: resistencia a compresión, resistencia a tensión indirecta (prueba de compresión diametral), resistencia a flexión (módulo de rotura), módulo de elasticidad y relación de Poisson.

4.1 PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y AGREGADOS (GRAVA, ARENA, CEMENTO, AGUA, Y FIBRAS)

Las pruebas de ensayos se desarrollaron en las instalaciones del laboratorio de geotecnia y estructuras de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja Sede Campus.

Cemento NTC 30: En material cementante utilizado en el estudio es cemento portland tipo I, se empleó cemento de la marca Argos de uso general. El cemento fue adquirido en la ciudad de Tunja, almacenado en los laboratorios de estructuras de la Universidad Santo Tomás, para la conservación del material se emplearon bolsas de plástico negro, además de aislarlo de la superficie de piso mediante maderos.

Agregado grueso (grava $\frac{3}{4}$ "): Para la elaboración del concreto se empleó agregado grueso de origen sedimentario de tamaño máximo nominal de 19,05 mm ($\frac{3}{4}$ "), de procedencia del municipio de Samacá del departamento de Boyacá (planta "la libertad").

A este material se le realizó su respectivo cuarteo para el para proseguir con el ensayo de análisis granulométrico según los parámetros establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 174. Se realizaron tres ensayos para determinar el análisis granulométrico del agregado grueso.

Fotografía 1. Tamizado de agregado grueso $\frac{3}{4}$ ".



Fuente: Autores.

Se determinaron pesos volumétricos secos sueltos, pesos volumétricos compactados, humedades, densidades y absorción.

Fotografía 2. Prueba de absorción densidades.



Fuente: Autores.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente: se toma una muestra de agregado grueso se sumerge en agua durante 24 h aproximadamente hasta saturar los poros, posterior se remueve el agua y se seca la superficie de la grava, y se determina su masa. Consecuente a esto se determina la masa de la muestra y se sumerge en el agua. Luego la muestra se seca al horno y se determina su masa una tercera vez. Se usan las masas obtenidas y se calculan las densidades y el porcentaje de absorción.

Se determinó el peso volumétrico seco en estado suelto, así como compactado, este último se emplea en el diseño de la mezcla de concreto. El ensayo de peso volumétrico seco unitario, al igual que para el agregado fino, según la norma NTC92.

Fotografía 3. Determinación de pesos volumétricos seco compactado.



Fuente: Autores.

La determinaron pesos volumétricos secos sueltos, pesos volumétricos compactados se utiliza el mismo molde, lo único que cambia es que para determinar peso volumétrico seco suelto no se compacta, mientras que el peso volumétrico compactado se realiza un llenado en tres capas del molde. Para cada capa se nivela la superficie con los dedos, se apisona la capa del agregado con 25 golpes de la varilla y luego se prosigue con el llenado de las dos siguientes capas y finalmente se nivela la superficie. Posterior se determina masa del molde más el de su contenido.

Agregado fino: El agregado fino utilizado es proveniente de una formación predominante de suelos tipo areniscas, es una roca sedimentaria del tipo detrítico, proviene del sector de puente hamaca en el municipio de Chivatá del departamento de Boyacá.

Se determinaron las siguientes pruebas: Peso volumétrico seco suelto y compactado de la arena (determinado de acuerdo con la norma NTC 92), Densidad y absorción de la arena (determinadas de acuerdo con la norma NTC 237), Granulometría de la arena (realizada de acuerdo con la norma NTC 174), Módulo de finura del agregado fino (realizado de acuerdo con la norma NTC 385), además la norma (NTC 174) establece los límites para el módulo de finura los cuales no deben ser menores de 2,3 ni mayores de 3,1.

Fotografía 4. Tamizado agregado fino.



Fuente: Autores.

Fotografía 5. Gravedad específica



Fuente: Autores.

Agua: Se empleó en la investigación agua proveniente de la red de acueducto de agua potable de la empresa Proactiva S.A E.S.P. de la ciudad de Tunja Boyacá.

Fibras de Vidrio: Se emplearon fibras artificiales, las cuales son fibra de vidrio tipo AR (Álcali-Resistente) y fibra de vidrio tipo E (no resistente a los álcalis).

Las fibras de vidrio AR fueron adquiridas bajo pedido anticipado a la empresa SUMIGLAS S.A que opera en la ciudad de Medellín, ya que son poco solicitadas comercialmente. Mientras que las fibras de vidrio tipo E fueron adquiridas por medio de la empresa La Tejada que tiene sus instalaciones en la ciudad de Bogotá.

Fibras metálicas (virutas de torno): Se emplearon virutas de torno provenientes de talleres mecánicos de la ciudad de Tunja. Estas virutas son residuos de la industria metalmeccánica, dichas virutas fueron cortadas a una longitud promedio de 3 cm, se emplearon virutas de diferentes diámetros, tamaños, formas, y de distintos materiales como son: acero, acero galvanizado, aluminio y cobre.

Fotografía 6. Virutas de torno.



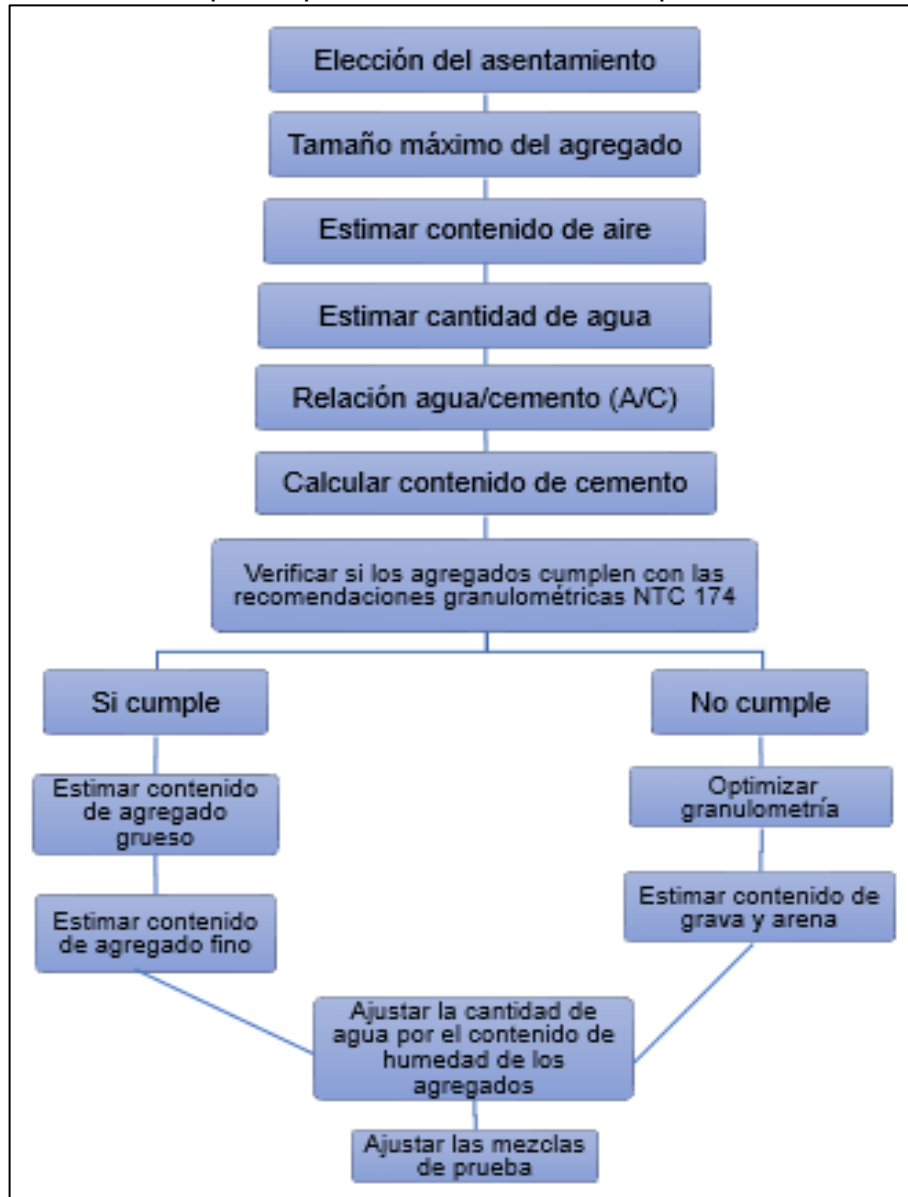
Fuente: Autores.

4.2 SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CONCRETO SIN FIBRAS Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO TIPO AR, TIPO E Y FIBRAS METÁLICAS (VIRUTA DE TORNO)

4.2.1 Diseño de mezcla de concreto por el método ACI 211.1. Se utilizó en la investigación el método de diseño de mezclas de concreto de peso normal el ACI 211.1-91, para iniciar a diseñar la mezcla de concreto se necesita conocer las características de los materiales a utilizar; de los cuales se necesita los resultados de los siguientes ensayos: peso específico del cemento, granulometría de agregados, peso específico y absorción de los agregados, peso volumétrico de agregados y contenido de humedad de los agregados. Se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales en la elaboración de concreto en los cuales se debe dosificar de manera que el concreto producido, alcance una resistencia promedio a la compresión mayor a $f'c$ (resistencia a compresión), debe producirse de manera

que se minimice la frecuencia de resistencias inferiores a f'_c , el f'_c no debe ser menor que 17,5Mpa.

Figura 1. Secuencia de pasos para diseñar una mezcla por el método del ACI211.1.



Fuente: (ACI211.1, 2009).

Procedimiento de diseño de mezcla método ACI 211.1 en nueve pasos:

- Elección de asentamientos
- Elección del tamaño máximo de agregado
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

- Selección de la relación agua- cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes en las mezclas de prueba

Elección del asentamiento: Se utilizó el asentamiento de la mezcla de 2 pulgadas, el cual es el término medio entre 1 y 3 pulgadas para concretos tipo muros de cimentación y zapatas reforzadas. El asentamiento tiene incidencia en la calidad del concreto, con un menor contenido de agua se produce un concreto con mejores características. Es decir, que debe tener una consistencia seca, la cual oscila entre 0" y 2".

Elección del tamaño máximo del agregado: La elección del tamaño máximo de agregado fue el mayor disponible comercialmente en la ciudad de Tunja, el cual es $\frac{3}{4}$ tamaño máximo nominal.

Calculo del agua de mezclado y contenido de aire: En el proporcionamiento de la cantidad de agua (en kg/m^3 de concreto) y porcentaje de aire confinado de determinaron en función de las siguientes variables:

- Tipo de concreto: sin aire incorporado o con aire incluido.
- Asentamiento: de 1 a 2", de 3 a 4", de 6 a 7".
- Tamaño máximo nominal de agregado: entre: (3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 2", 3" y 6").

Tabla 3. Volumen unitario del agua.

	Agua en Lt/m^3 (kg/m^3), para los tamaños máximos de agregado grueso y consistencia indicada							
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: (ACI211.1, 2009).

En donde se eligió concreto sin aire incorporado, un asentamiento de 2" y el tamaño máximo nominal de agregado grueso de $\frac{3}{4}$ ", para esta relación el volumen unitario de agua es de 190 litros por metro cubico de concreto.

Se determinó el porcentaje de aire atrapado en la mezcla de concreto según la Tabla 4 respecto al tamaño máximo nominal del agregado grueso, para el cual corresponde un porcentaje de aire atrapado del 2%.

Tabla 4. Contenido de aire atrapado.

Contenido de Aire Atrapado	
Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1 1/2"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%
4"	0,2%

Fuente: (ACI211.1, 2009).

Selección de la relación agua cemento: La relación entre el peso del agua respecto al peso de cemento, es uno de los parámetros más importantes en él ya que influye en la resistencia final del mismo. Es decir, que al mantener constante la cantidad de agregado en una determinada proporción de concreto y se incrementa la relación agua/cemento (A/C), se produce una disminución en la resistencia del concreto.

Tabla 5. Relación agua/cemento.

Relación Agua/Cemento por resistencia requerida		
f' cr (Kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	
450	0,38	

Fuente: (ACI211.1, 2009).

La elección de la razón A/C. se determinó en la Tabla 5, en donde hay una relación de A/C para concretos sin aire incorporado según la resistencia requerida, como se planteó en la investigación un concreto de 21Mpa, a esta resistencia a la compresión se le sumo el factor de conservación según la NSR10 que es de 8,3 Mpa para concretos entre 21 a 35 Mpa. La relación agua/cemento determinada fue de 0,55.

Calculo del contenido de cemento: Se determinó el contenido de cemento requerido dividiendo el contenido de agua estimado sobre la relación agua/cemento, por consiguiente, se obtuvieron 345,5 kg de material cementante por cada metro cúbico de concreto.

Contenido de cemento: Contenido de agua / (A/C)

Contenido de cemento: $190 \text{ kg/m}^3 / 0,55$

Contenido de cemento: $345,5 \text{ kg/m}^3$

Estimación del contenido de agregado grueso: Se estimó el contenido de agregado grueso requerido por metro cubico de concreto con base en el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso y según el módulo de finura del agregado fino que es de 2,5. A partir de estos parámetros se obtiene en volumen de agregado grueso de 0,65 por volumen unitario de concreto, de esta manera se obtuvo 970 kg de agregado grueso por metro cubico de concreto.

Contenido de agregado grueso: $(b/b_0 * 1492,37 \text{ kg/m}^3)$

Contenido de agregado grueso: $(0,65 * 1492,37 \text{ kg/m}^3)$

Contenido de agregado grueso: 970 kg/m^3

Tabla 6. Parámetro volumen de agregado grueso.

Peso del Agregado grueso por unidad de volumen del concreto				
	Volumen de Agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del agregado fino (b/b ₀)			
Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: (ACI211.1, 2009).

Estimación del contenido de agregado fino: Para estimar el contenido de agregado fino existen dos métodos:

- Método de peso
- Método de volumen absoluto

Se utilizó el método de volumen absoluto, es decir el cálculo de volúmenes desplazados por los componentes ya conocidos: (agua, cemento, aire y grava), a este volumen se resta del volumen unitario del concreto para poder obtener el volumen de agregado fino, el cual fue estimado en 636,24 kg de arena por cada metro cubico de cemento.

El peso específico del cemento se obtuvo por medio del trabajo de (Cortes & Perilla, 2014, pág. 45) el cual indica que el cemento Portland tipo I, argos de uso general posee un peso específico de 2,93 g/cm³.

Volumen de agua: $190 \text{ kg/m}^3 \times (1.00 \times 1000 \text{ kg/m}^3) = 0,190 \text{ m}^3$

Volumen contenido cemento: $352 \text{ kg/m}^3 \times (2,93 \text{ g/cm}^3 \times 1000) = 0,120 \text{ m}^3$

Volumen agregado grueso: $970 \text{ kg/m}^3 \times (2,26 \text{ g/cm}^3 \times 1000) = 0,429 \text{ m}^3$

Volumen aire confinado: $2 / 100 = 0,020 \text{ m}^3$

Volumen de agregados excepto agregado fino: $0,759 \text{ m}^3$

Volumen de agregado fino: $1 \text{ m}^3 - 0,759 \text{ m}^3 = 0,241 \text{ m}^3$

Contenido de agregado fino = $0,241 \text{ m}^3 \times (\text{peso específico arena} \times 1000)$

Contenido de agregado fino = $0,241 \text{ m}^3 \times (2,64 \text{ g/cm}^3 \times 1000) = 636,24 \text{ kg/m}^3$

Ajuste por humedad del agregado: Se realizó reajuste de humedad de los agregados para determinar el contenido de agua específica para el diseño de mezcla.

Se presentan dos pasos para realizar ajustes por humedad del agregado:

a) Determinación de pesos húmedos

Se determinó el peso de los agregados por humedad, en donde del agregado grueso se obtiene un peso de 989 kg/m³ y del agregado fino un peso de 733 kg/m³.

Agregado grueso = $\text{Peso grava} \times (1 + \text{humedad del agregado})$

Agregado grueso = $970 \text{ kg/m}^3 \times (1 + 2,18\%) = 989 \text{ kg/m}^3$

Agregado fino = $\text{Peso arena} \times (1 + \text{humedad de agregado})$

Agregado fino = $636,24 \text{ kg/m}^3 \times (1 + 15,47\%) = 733 \text{ kg/m}^3$

b) Determinación del agua a añadir

Se determinó el agua a añadir a la mezcla de concreto realizando la corrección por humedades de los agregados, se obtuvo un total de 75,3 kg por cada metro cubico de concreto.

Cantidad de agua a añadir: peso del agua – (peso de la arena seco X (% humedad de la arena - % absorción de la arena)) - (peso de la grava seco X (% humedad de la grava - % absorción de la grava))

Cantidad de agua a añadir: $190 \text{ kg/m}^3 - [(636,24 \text{ kg/m}^3 (0,1547 - 0,0002)) + (970 \text{ kg/m}^3 (0,0218 - 0,005))] = 75,3 \text{ kg/m}^3$

Cantidad de agua a añadir: $75,3 \text{ kg/m}^3$

4.2.2 Elaboración de la mezcla de concreto. Se realizó mezclado manual de los agregados para las mezclas de concreto propuestas en la investigación, se desarrolló en una superficie plana, lisa y libre de impurezas bajo el siguiente proceso:

- Dosificación de los agregados.
- Extender el agregado fino y distribuir el cemento sobre la arena.
- Revolverlos por tres veces hasta obtener una mezcla uniforme.
- Extender la mezcla y agregar el agregado grueso.
- Revolver la mezcla por tres veces hasta homogenizarla.
- Incorporación del agua y reiniciar nuevamente a revolver la mezcla.
- Incorporación de las fibras y mezclar hasta obtener un concreto homogéneo.

Fotografía 7. Proceso de mezclado manual del concreto.



Fuente: Autores.

4.2.3 Elaboración y curado de especímenes de concreto. La elaboración de los especímenes para las diferentes pruebas, se realizaron siguiendo como referencia la norma NTC 1377, la cual presenta los requisitos de los moldes y la elaboración y curado de los especímenes. Las camisas o moldes deben ser de materiales no deformables ni absorbentes y deben cumplir con la norma NTC 1377.

Fotografía 8. Especímenes de concreto recién fundidos.



Fuente: Autores.

Se elaboraron probetas cilíndricas de 15cm x 30cm para medir la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y relación de Poisson, probetas cilíndricas de 10cm x 20cm para medir la resistencia a tensión, también se realizaron vigas prismáticas de 15cm x 15cm x 53cm para ensayos de módulo de rotura.

Los especímenes cilíndricos de 15cm x 30cm se moldearon en tres capas y con 25 golpes de varilla y vibrado con 15 golpes de martillo de caucho por cada capa, los moldes cilíndricos de 10cm x 20cm y los moldes prismáticos de 15cm x 15cm x 53cm se fundieron en dos capas con sus respectivos golpes de varilla y golpes con el martillo de caucho por cada capa, y posteriormente se procedió al enrasado o acabado de los especímenes.

Los especímenes se mantienen en los moldes por 24 horas, posteriormente se procedió a desencofrar los especímenes y se introdujeron en las piscinas para su adecuado curado durante 28 días según lo programado. Se realizó monitoreo de la temperatura de las piscinas.

4.3 TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN PRUEBAS EN ESTADO FRESCO Y EN ESTADO ENDURECIDO

Esta investigación se fundamentó en comparar las propiedades de las distintas mezclas de concreto en objeto de estudio, para lo cual se realizaron pruebas de

laboratorio las cuales permiten medir algunas propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido. Las cantidades de cemento, agua y agregados se mantuvieron constantes, únicamente variando el contenido de fibras en la mezcla de concreto.

4.3.1 Programación experimental. Al concreto en estado fresco se le realizó los siguientes ensayos:

- Asentamiento.
- Contenido de aire atrapado.
- Peso volumétrico.
- Índice de agrietamiento por contracción plástica.

Los especímenes posteriormente de permanecer sumergidos en agua en las piscinas de curado por 28 días, se procedieron a realizar las pruebas para determinar las siguientes propiedades del concreto en estado endurecido:

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a tracción indirecta (compresión diametral).
- Módulo de elasticidad y relación de Poisson.
- Módulo de rotura.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

5.1.1 Cemento NTC 30. Los tipos de cemento están clasificados según la Norma Técnica Colombiana 30 (NTC 30). Se empleó en la investigación cemento portland tipo I de uso general marca Argos, el cemento Argos de uso general es el resultado de la molienda de Clinker, yeso y adiciones minerales, en las proporciones óptimas para la obtención de un moderado desarrollo de resistencias tempranas. (tomado de: (Argos S.A., 2013)).

Tabla 7. Características químicas y físicas del cemento.

Parámetros Químicos	Especificaciones ARGOS	NTC 321. Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU.
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6,00	7,00	-
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3,50	3,50	-
Parámetros Físicos	Especificaciones ARGOS	NTC 121. Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU.
Fraguado inicial, mínimo (minutos)	45	45	45
Fraguado final, máximo (minutos)	420	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0,8	0,8	0,8
Expansión en agua, máximo (%)	0,02	-	0,02
Resistencia a 3 días, mínimo (Mpa)	9,0	8,0	13,0
Resistencia a 7 días, mínimo (Mpa)	16,0	15,0	20,0
Resistencia a 28 días, mínimo (Mpa)	26,0	24,0	28,0
Blaine, mínimo (cm ² /gr)	2800	2800	-

Fuente: Tomado de: (Argos S.A., pág. 2).

5.1.2 Agregados.

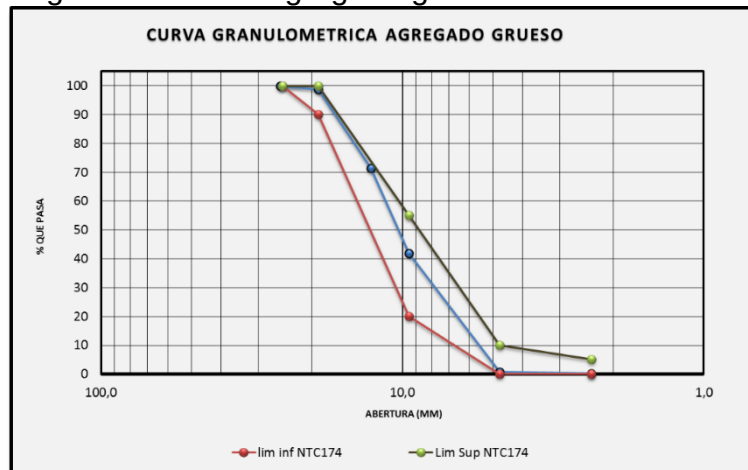
5.1.2.1 Agregado grueso.

5.1.2.1.1 Análisis granulométrico (Especificaciones de los Agregados para Concreto NTC 174). La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, que se determina por análisis de tamices. El análisis de tamices se puede decir que es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. (Flores, Jacome, Macías, & Martínez, 2015). El análisis granulométrico se realiza respecto a la norma NTC 174.

Es deseable que el agregado grueso posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica. Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por tamices cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaños a fin de compararla con los límites granulométricos establecidos en la NTC 174. (López, 2015).

En la Grafica 1 se muestra una de las curvas granulométricas obtenidas a partir de los análisis realizados, en los ANEXOS: ANEXO: 61, ANEXO: 62 y en el ANEXO: 63 se puede apreciar todos los resultados realizados al agregado grueso, además sus respectivas graficas que indican los limites inferior y superior del porcentaje que pasa acumulado, establecidos por la NTC 174.

Gráfica: 1. Curva granulométrica agregado grueso.



Fuente: Autores.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como La relación de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos, un material heterogéneo se considera bien gradado si sus propiedades mecánicas ofrecen mayor calidad, y un material homogéneo se considera mal gradado, si sus propiedades mecánicas son deficientes. (Flores, Jacome, Macías, & Martínez, 2015).

5.1.2.1.2 Peso volumétrico (NTC 92), peso específico y absorción (NTC 176).

Se observa en la Tabla 8 las características del agregado grueso $\frac{3}{4}$ " tamaño máximo nominal, este material presenta una buena distribución granulométrica.

Tabla 8. Propiedades físicas del agregado grueso.

Propiedades	Caliza
Tamaño máximo (mm) (pul)	19,05 (3/4")
Peso específico seco (gr/cm ³)	2,26
Peso específico SSS (gr/cm ³)	2,42
Absorción (%)	0,50
Humedad (%)	2,18
Peso volumétrico seco (suelto) kg/m ³	1297,7
Peso volumétrico seco (comp.) kg/m ³	1492,3

Fuente: Autores.

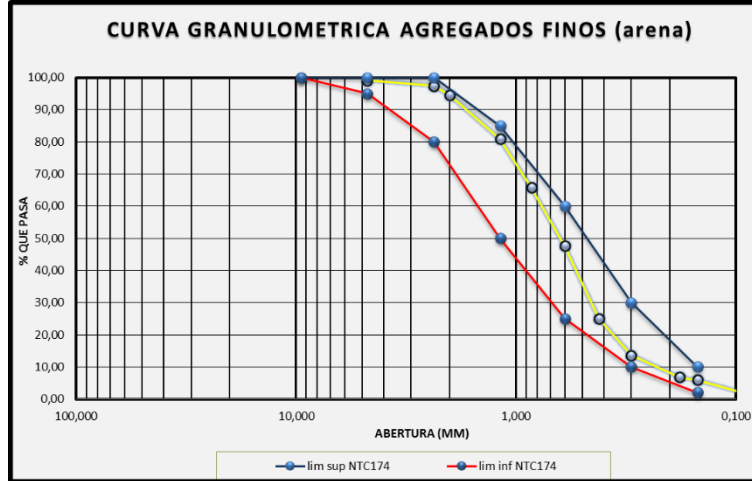
En los ANEXOS: ANEXO 64 y ANEXO 65, se puede observar detalladamente los resultados de peso volumétrico, absorción, humedad y peso específico correspondiente al agregado grueso empleado en el diseño de las mezclas de concreto.

5.1.2.2 Agregado fino.

5.1.2.2.1 Análisis granulométrico (NTC174) y módulo de finura (NTC 385). Para la obtención del módulo de finura y granulometría del agregado fino se realizaron tres ensayos en las instalaciones del laboratorio de geotecnia y estructuras de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja Sede Campus.

Se observa en la Gráfica: 2, la curva granulométrica perteneciente a uno de los ensayos, en los ANEXOS: ANEXO: 58, ANEXO: 59 y el ANEXO: 60, se encuentran las curvas granulométricas de los tres ensayos. El módulo de finura se reporta en la Tabla 9 el cuál es el promedio de las tres pruebas desarrolladas.

Gráfica: 2. Curva granulométrica agregado fino.



Fuente: Autores.

La distribución de los agregados finos está por debajo del idóneo, ya que el rango ideal es de 2,7, pero sin embargo se encuentra dentro de los rangos de aceptación que están entre 2,3 a 3,1. Con un menor porcentaje de absorción, esto implica menor consumo de agua y mayor consumo de cemento para lograr las resistencias específicas del diseño.

Peso volumétrico (NTC 92), peso específico y absorción (NTC 237). Se presentan las propiedades físicas del agregado fino empleado en el estudio en la

Tabla 9, en los ANEXOS: ANEXO: 64, ANEXO 65, se puede observar detalladamente los resultados obtenidos de peso volumétrico, absorción y peso específico correspondiente al agregado fino que se empleó en investigación.

Tabla 9. Propiedades físicas de la arena.

Propiedades	Arena
Módulo de finura	2,5
Peso específico seco (gr/cm^3)	2,439
Peso específico SSS (gr/cm^3)	2,44
Absorción (%)	0,02
Humedad (%)	15,47
Peso volumétrico seco (suelto) kg/m^3	1561
Peso volumétrico seco (comp.) kg/m^3	1603

Fuente: Autores.

5.1.3 Agua para la elaboración de concreto (NTC 3459). El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine. (NTC 3459, 2001).

5.1.4 Fibras metálicas (viruta de torno) y fibras de vidrio (tipo AR y E). En la investigación se emplearon dos tipos de fibras: la fibra de vidrio es artificial inorgánica y la segunda fibra es un residuo de la industria metalmeccánica y sus materiales son de origen mineral, comúnmente conocida como viruta de torno. Las virutas de torno, son filamentos generados en un torno que depende de las herramientas que se use para el corte y sobre todo de la naturaleza del material. Así la viruta generada en el torneado de una pieza de acero será por lo general rizada y larga, mientras que la viruta generada en el mecanizado de una pieza de fundido será corta. La fibra de vidrio es un material artificial que consta de numerosos filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio (SiO_2) extremadamente finos. (Olivares, Galán, & Roa, 2003).

5.1.4.1 Clasificación de las virutas de torno. Se realizó una caracterización de las virutas de torno, con el fin de conocer una estimación del total de las virutas de acuerdo a material, forma y tamaño.

Fotografía 9. Fibras empleadas en la investigación; izquierda viruta de torno, a la derecha fibra de vidrio.



Fuente: Autores.

Tabla 10. Características de la fibra de vidrio y viruta de torno.

Tipo fibra	Longitud promedio (mm)	Diámetro y/o ancho; (mm)	Espesor (mm)	L/D	L/E
Fibras metálicas (viruta torno)	14,53	6,18	0,62	2,35	23,44
Fibra de vidrio tipo AR	12	0,014	-----	857,14	-----
Fibra de vidrio tipo E	25,4	0,012	-----	2116,6	-----

Fuente: Autores.

Tabla 11. Características de la viruta metálica.

Geometría fibra	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	% de fibras
Rizada	4 – 50	3 – 11	0,4 – 0,85	30%
Onduladas grandes	13 – 50	11,4 – 18,5	0,4 – 0,5	17%
Lisas largas	26 – 50	1 – 3	0,4 – 0,6	13%
Cortas irregulares	0,8 – 10	0,5 – 2	0,4 – 1,4	40%

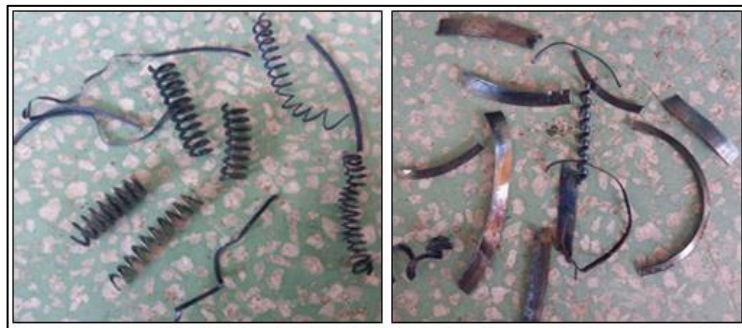
Fuente: Autores.

Tabla 12. Clasificación virutas metálicas.

Material	% de fibras
Acero	53%
Acero galvanizado	27%
Aluminio	17%
Cobre	3%

Fuente: Autores.

Ilustración 9. Virutas de acero.



Fuente: Autores.

Según el material: Virutas de acero son las de mayor proporción, aproximadamente un 53%. Se presentan de forma rizada, lisa-larga y corta irregular. Las longitudes

varían desde los 2 a 6 cm aproximadamente.

Virutas de acero galvanizado. Se caracterizan por tener una dureza alta. Las cuales corresponden aproximadamente al 27% del total de las virutas.

Ilustración 10. Foto Izquierda virutas acero galvanizado, foto derecha virutas de aluminio.



Fuente: Autores.

Virutas de Aluminio: Son muy dóciles y fáciles de cortar. El 17% de las virutas corresponde a este material.

Virutas de Cobre: Son relativamente fáciles de cortar. Son las fibras con menor proporción con tan solo un 3% del total de las virutas.

Ilustración 11. Foto izquierda virutas de cobre, derecha virutas rizadas.



Fuente: Autores.

Según forma: Rizadas son aproximadamente el 30% de las virutas presentan una forma de rosca, onduladas grandes corresponden al 17% del total de las virutas, lisas largas representan del total de las fibras aproximadamente el 13% de las virutas.

Ilustración 12. Izquierda foto de virutas onduladas grandes, foto derecha virutas lisas-largas.



Fuente: Autores.

Cortas irregulares son aquellas virutas con menor longitud y se caracterizan por ser de distintas formas y tamaños, corresponden al 40% del total de las virutas ver Ilustración 13.

Ilustración 13. Virutas irregulares cortas.



Fuente: Autores.

Las fibras metálicas (viruta de torno) en la actualidad no tiene usos, generalmente es un material residual, adicionalmente no se tiene en cuenta la problemática ambiental que genera este material en los rellenos sanitarios, ya que dicho material en el proceso de tornado se mezcla con diferentes fluidos como son las taladrinas y aceites que ayudan a la refrigeración de la herramienta de corte para preservar la vida útil de estas. La viruta metálica se encuentra caracterizada como residuo peligroso debido a los fluidos utilizados en los procesos de mecanizado, ocasionando contaminación en el agua, aumentando el riesgo ambiental.

5.1.4.2 Clasificación de las fibras de vidrio. Las características de las fibras de vidrio fueron tomadas de las fichas técnicas, no se realizó ninguna clasificación a estas fibras.

La fibra de vidrio es un material que se utiliza en la construcción de diferentes proyectos como lo son recubrimiento de túneles, prefabricados, pavimentos flexibles, pisos industriales, pisos residenciales, mortero autonivelante, postes, entre otros. Debido a que este material ofrece mejores características mecánicas al concreto como son la resistencia a tracción, resistencia a flexión, resistencia al corte, resistencia al impacto y capacidad de disipar energía. En los ANEXOS 66, 67 y 68, se incluyen las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes de cada tipo de fibra de vidrio.

5.2 SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CONCRETO SIN FIBRAS Y EL REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO TIPO AR, TIPO E Y FIBRAS METÁLICAS (VIRUTA DE TORNO)

5.2.1 Diseño de la mezcla de concreto por el método ACI 211.1. Los diseños de mezclas de concreto deben satisfacer los requisitos establecidos y deseados como lo son la manejabilidad, resistencia mínima, durable, además de ser económica y ambientalmente sostenible.

“Proporcionar una mezcla, es determinar las cantidades de cemento, arena, grava y agua, y para concretos especiales aditivos (fluidificantes, inclusores de aire, etc.) y/o adiciones (fibras, sílica fume, fly ash, etc.), de tal manera que produzcan un concreto que a los 28 días de edad dé una resistencia a la compresión, igual, dentro de ciertos límites a la que el ingeniero constructor necesita, además que cumpla con los requisitos de durabilidad especificada en el proyecto”. (López, 2015)

La calidad de la mezcla de concreto está directamente relacionada con la calidad de los agregados, la matriz cementante, los aditivos y la adherencia entre estos, además la cantidad de agua afecta la calidad de la mezcla de concreto.

5.2.1.1 Elección de las características de la mezcla de concreto. Se debe seleccionar las características necesarias de la estructura en la cual se tiene en cuenta el uso que se le va dar al concreto, las condiciones ambientales a las que va estar expuesto el concreto, además del tamaño de los elementos y sus propiedades físicas y mecánicas requeridas.

5.2.1.2 Características de las mezclas de la investigación. En la fabricación del concreto se utilizó agregado fino de una formación predominante de suelos tipo areniscas, agregado grueso de origen sedimentario, cemento portland tipo I de uso general (Argos) y dos clases de fibras (fibras metálicas “virutas de torno” y fibras de vidrio tipo AR y tipo E). Se realizaron ocho mezclas en total, una mezcla sin fibra

como testigo, tres con viruta de torno en porcentajes volumétricos de (1%, 1.3% y 1.6%), tres con fibra de vidrio tipo AR en porcentajes de (0.03%, 0.05% y 0.11%) y una mezcla con fibra de vidrio tipo E al 0.05%. Las cantidades de agregados, agua y cemento se mantuvieron constantes, únicamente variando el contenido de fibra, el contenido de cemento tuvo un consumo de 352kg/m³, el contenido de arena tuvo un consumo de 733 kg/m³, el contenido de grava tuvo un consumo de 989 kg/m³, el contenido de agua tuvo un consumo de 75,3 kg/m³, una relación agua cemento de 0.55. Para el concreto sin fibra, el agregado grueso representa un porcentaje del 46%, el agregado fino del 34%, el cemento del 16,3% y el agua del 3,5%.

Tabla 13. Dosificación por m³ para las mezclas realizadas.

Tipo fibra	Mezcla	Fibra kg/m ³	Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	Grava kg/m ³	Arena Kg/m ³	A/C
Concreto sin fibra	CS.1	0	75,3	346	989	733	0,55
C. viruta de torno	CRF.5	21,5	75,3	346	989	733	0,55
C. viruta de torno	CRF.6	27,9	75,3	346	989	733	0,55
C. viruta de torno	CRF.7	34,5	75,3	346	989	733	0,55
C. fibra de vidrio tipo E	CRF.4	1,2	75,3	346	989	733	0,55
C. fibra de vidrio tipo AR	CRF.1	0,6	75,3	346	989	733	0,55
C. fibra de vidrio tipo AR	CRF.2	1,2	75,3	346	989	733	0,55
C. fibra de vidrio tipo AR	CRF.3	2,4	75,3	346	989	733	0,55

Fuente: Autores.

5.2.2 Secuencia de mezclado. El mezclado del concreto tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la matriz cementante, produciendo una masa homogénea. Para la elaboración del concreto se pueden utilizar un mezclado mecanizado o también se puede realizar manualmente el mezclado.

En el proceso de mezclado manual del concreto se debe tener precauciones ya que este proceso de no realizarse adecuadamente, los agregados no estará bien cubiertos de la matriz cementante, la mezcla debe ser una masa homogénea.

5.2.3 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio (NTC 1377). Para cada tipo de mezcla se elaboraron 35 cilindros de 15cm X 30cm, 21 cilindros de 10cm X 20 cm, 4 vigas de 15cm X 15cm X 53cm, 1 espécimen para realizar prueba de contracción plástica.

Tabla 14. Número de ensayos realizados.

Ensayo al concreto	Pruebas y número de especímenes ensayados por cada mezcla	Número de ensayos por cada mezcla
Asentamiento	3	3
Contenido de aire atrapado	2	2
Peso volumétrico	2	2
Índice de agrietamiento por contracción plástica	1	1
Resistencia a compresión	30	15
Resistencia a tensión por compresión diametral	21	7
Módulo de elasticidad y relación de Poisson	5 (3 pruebas por cilindro)	5
Módulo de rotura	4	4

Fuente: Autores.

En la Tabla 14, se presenta el número de ensayos realizados a cada una de las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido a 28 días de edad de los especímenes.

Tabla 15. Temperaturas promedio del agua durante los 28 días del proceso de curado de los especímenes de concreto.

Temperaturas del agua	
Hora del día	Temperatura (°C)
8:00 a.m.	12
12:30 p.m.	17
5:30 p.m.	15

Fuente: Autores.

Se realizó el curado de los especímenes en piscina totalmente sumergidos, en donde se realizó monitoreo de las temperaturas del agua. En la Tabla 15, se observa el promedio de las temperaturas del agua en donde se realizó el curado de los especímenes de concreto. Se tomaron diariamente tres lecturas de temperatura en la mañana (8:00 a.m.), al medio día (12:30 p.m.) y en la tarde (5:30 p.m.).

5.3 TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN: PRUEBAS DE LABORATORIO

El concreto reforzado se debe considerar que exista la suficiente adherencia entre la pasta, los agregados y las fibras, de tal forma que deben estar trabajando como un solo elemento. La estructura del concreto no es homogénea, no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones. (Villanueva & Yaranga, 2015). Esto es debido a la diferencia entre los materiales que lo conforman y a su variabilidad en cada uno de ellos, al proceso de elaboración y al vertido o fundida es decir el acomodo aleatorio de los diferentes componentes durante su estado frasco hasta su estado endurecido.

5.3.1 Concreto en estado fresco. El concreto en estado fresco presenta características antes de fraguar como lo son la manejabilidad, esta propiedad del concreto en estado fresco se refiere a la facilidad con que este puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue). Esta se ve influenciada por la matriz cementante, en contenido de agua, y una adecuada relación de los agregados finos y gruesos, esta varía principalmente por la cantidad de agua en la mezcla de concreto.

5.3.1.1 Asentamiento. El ensayo de asentamiento del concreto o prueba del cono de Abrams es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto.

Fotografía 10. Prueba de asentamiento.



Fuente: Autores.

“La prueba de cono de Abrams consiste en una muestra de concreto fresco se coloca en un molde cónico y se compacta mediante una varilla de punta redonda. El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente, el asentamiento

corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto, las mediciones se deben tomar en el centro de la cara superior” (NTC 396, 1992)

La prueba de cono de Abrams se realizó siguiendo la norma NTC 396, a las ocho mezclas de concreto se les realizó tres pruebas a cada una de las mezclas para así poder determinar el asentamiento.

Cuanto menor es la cantidad de agua en una mezcla de concreto, el asentamiento será menor, valores bajos de asentamiento en las mezclas generalmente significan mayor calidad del concreto, sin embargo, los ingredientes adicionales en las mezclas hacen que sea imposible determinar la calidad del asentamiento del concreto.

Esta prueba se realizó tres veces a las ocho mezclas de concreto, en la Tabla 16, se muestran los resultados de asentamientos promedios obtenidos.

Tabla 16. Resumen de asentamientos de las mezclas de concreto.

Tipo de Mezcla	Mezcla	% de Fibra	Asentamiento (cm)
Concreto sin fibra	CS.1	0	5,5
C. con viruta de torno	CRF.5	1	3
C. con viruta de torno	CRF.6	1,3	7
C. con viruta de torno	CRF.7	1,6	7,3
C. con fibra de vidrio tipo E	CRF.4	0,05	0,8
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.1	0,03	2
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.2	0,05	1,8
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.3	0,11	0,9

Fuente: Autores.

El asentamiento obtenido en la mezcla de concreto sin fibras en promedio es de 5,5 cm, en la mezcla de concreto con viruta de torno al 1% presenta 3 cm de asentamiento, la reducción del asentamiento en la mezcla CRF.5 respecto a la mezcla CS.1 se debe a la influencia de las virutas de torno en el concreto.

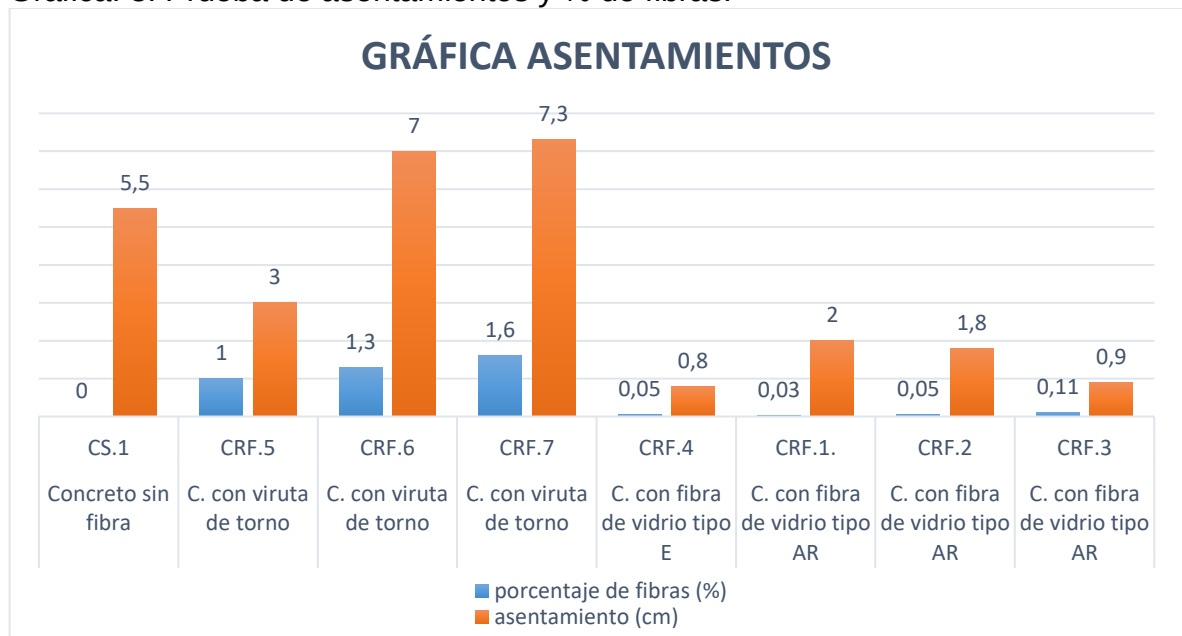
En la mezcla CRF.6 se realizó una corrección en el diseño de mezcla la relación de agua/cemento para poder aumentar el tiempo de fraguado ya que en la mezcla CRF.5 se presentó un mal fraguado, como se evidencia en el ANEXO: 7, esto se debió básicamente al contenido de taladrinas presentes en la viruta de torno, ya que en el proceso de tornado se le adicionan taladrinas y aceites especiales para evitar el desgaste del torno, estos aceites retardan o inhiben el fraguado del concreto.

En relación de las mezclas con fibras de la misma índole, se puede observar en la

Tabla 16 y la Gráfica: 3

Tabla 16 que entre mayor sea el porcentaje de fibras de vidrio en la mezcla, el asentamiento disminuye, es decir, que entre mayor porcentaje de fibras de vidrio dentro de la mezcla de concreto la trabajabilidad es menor, evidenciándose en las mezclas con contenido de fibra de vidrio una reducción en el asentamiento aproximado del 60% respecto a la mezcla de concreto sin fibras. Por lo tanto, las fibras de vidrio influyen en el asentamiento debido a sus características ya que estas evitan la segregación de la mezcla de concreto, mantienen unida la masa de concreto, pero sin afectar la manejabilidad de la mezcla ya que las fibras de vidrio son muy flexibles.

Gráfica: 3. Prueba de asentamientos y % de fibras.



Fuente: Autores.

5.3.1.2 Contenido de aire y peso volumétrico. Se realizó dos pruebas de aire confinado a cada una de las mezclas de concreto esta prueba se realiza de acuerdo a la norma NTC 1032.

“Este método de ensayo comprende la determinación del contenido de aire del concreto mezclado fresco. Pretende determinar únicamente el contenido de aire del concreto mezclado fresco, sin incluir el aire que puede estar en los vacíos de las partículas del agregado. Por esta razón, esta norma se aplica a concretos hechos con partículas de agregados relativamente densos y requiere la determinación del factor de corrección del agregado”. (NTC 1032, 1994)

Fotografía 11. Prueba de aire confinado en la mezcla de concreto .



Fuente: Autores.

En la Fotografía 11, se presenta el equipo utilizado para determinar el contenido de aire en la mezcla, para determinar el peso volumétrico se utiliza el llenado del recipiente de la prueba de aire confinado. La prueba de peso volumétrico se realiza llenando el recipiente, se determina su peso neto y este se divide entre el volumen del recipiente, para así obtener el peso volumétrico del concreto en estafo fresco.

Tabla 17. Resultados de peso volumétrico y porcentaje de aire confinado.

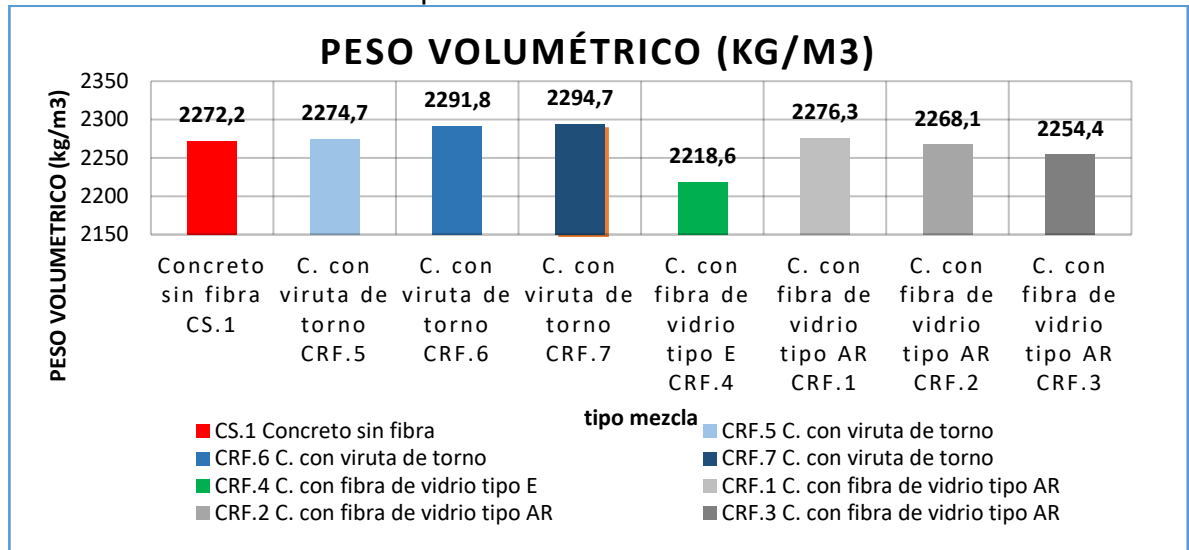
Tipo de mezcla	Mezcla	Contenido de fibra kg/m ³	Peso volumétrico kg/m ³	Contenido de aire, %
Concreto sin fibra	CS.1	0	2272,2	1,9
C. con viruta de torno	CRF.5	21,5	2274,7	2
C. con viruta de torno	CRF.6	27,9	2291,8	2
C. con viruta de torno	CRF.7	34,4	2294,7	1,9
C. con fibra de vidrio tipo E	CRF.4	1,2	2218,6	2,2
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.1	0,6	2276,3	1,6
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.2	1,2	2268,1	1,85
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.3	2,4	2254,4	1,6

Fuente: Autores.

El peso volumétrico mostrado en la Tabla 17 y la Gráfica: 4 que seguidamente se refieren presenta una pequeña variación entre las distintas mezclas realizadas. Observándose respecto a la mezcla de concreto sin fibras y las mezclas de concreto reforzado con fibras metálicas (viruta de torno), que las mezclas con viruta de torno presentan un leve incremento en su peso volumétrico, y por otra parte, las mezclas de concreto reforzado con fibra de vidrio tipo AR disminuye en promedio un 0,39%

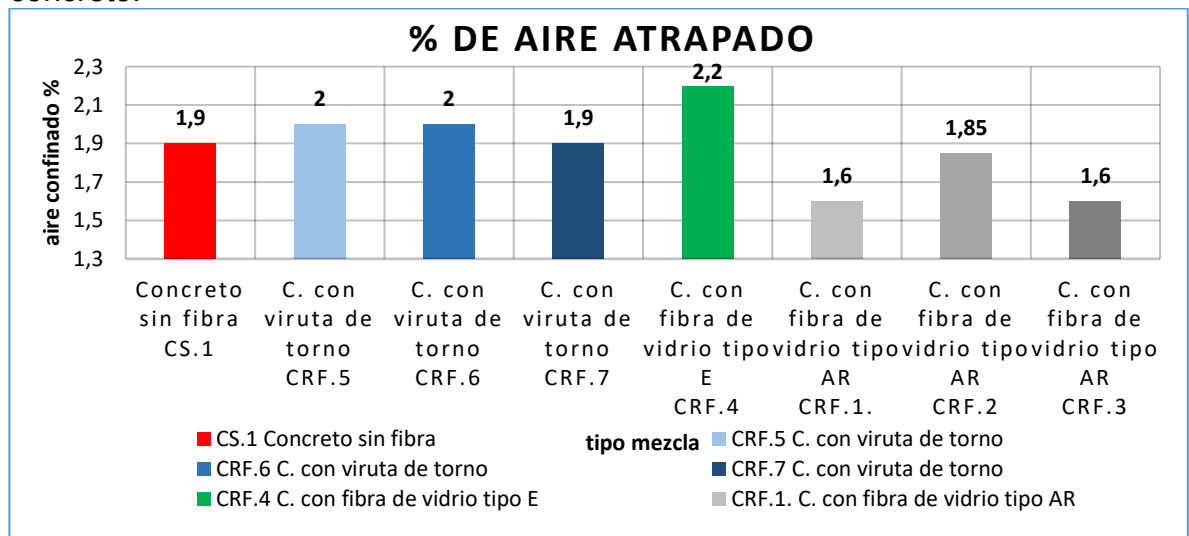
su peso volumétrico respecto a la mezcla de concreto sin fibras, y la mezcla con fibra de vidrio tipo E presenta el mayor porcentaje de reducción del peso volumétrico en referencia a la mezcla de concreto sin fibras con 2.35%. Se hace propicio que los concretos adicionados de fibras no varíen en gran porcentaje su peso volumétrico, ya que no se tendrían consideraciones adicionales en el proceso de diseño estructural con CRF.

Gráfica: 4. Peso volumétrico promedio de las mezclas de concreto.



Fuente: Autores.

Gráfica: 5. Promedio de porcentajes de aire atrapado en las ocho mezclas de concreto.



Fuente: Autores.

El porcentaje de aire confinado en las mezclas de concreto que se representa en la Gráfica: 5, se observa claramente que las mezclas de concreto con fibra de vidrio tipo AR presentan una reducción en el porcentaje de aire confinado en las tres mezclas en comparación al concreto sin fibras, mientras que las mezclas con viruta de torno presentan un leve incremento de aire atrapado en las mezclas, respecto a la mezcla de concreto sin fibras. El concreto reforzado con fibra de vidrio presenta un porcentaje promedio de 1.68%, las mezclas con concreto reforzado con virutas de torno presentan un porcentaje promedio de 0.98%, la mezcla de fibra de vidrio tipo E presento un porcentaje de 2.2% y el concreto sin fibras presento un 1.9% de aire atrapado en el concreto.

5.3.1.3 Índice de agrietamiento por contracción plástica. Las fisuras por contracción plástica se forman en la superficie del concreto fresco inmediatamente después de su vaciado (vertido) y mientras permanece en estado plástico, estas grietas aparecen fundamentalmente en las superficies horizontales. Las grietas por contracción plástica son causadas por la pérdida rápida de agua de la superficie del concreto antes de que este haya fraguado. Si la superficie se seca muy rápidamente el concreto puede permanecer plástico y las fisuras no se forman en ese momento, pero se formarán tan pronto como el concreto se endurezca un poco más. La condición más crítica se presenta cuando la velocidad de evaporación de la humedad superficial excede la tasa en el cual el agua de exudación del concreto puede remplazar el agua de la superficie. (Trujillo Rodríguez, 2011).

Fotografía 12. Anillo y prueba de contracción plástica.



Fuente: Autores.

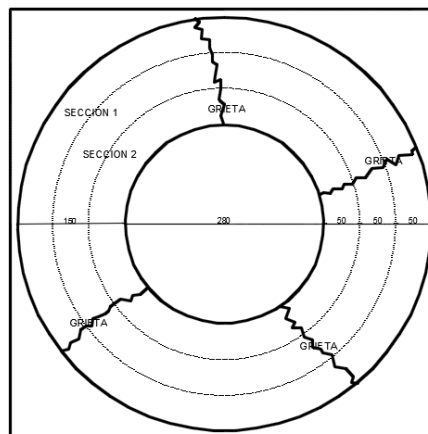
Se fabricó el anillo que se muestra en la Fotografía 12, para realizar la prueba de contracción plástica según las especificaciones del ACI 544.2R. El dispositivo de prueba consiste de dos anillos de acero, y una base metálica, el anillo exterior es

de 580mm de diámetro y el anillo interior de 280mm de diámetro. El anillo exterior tiene soldadas doce restricciones que sirven para generar la fisuración, con dimensiones de 80mm de alto, 30mm de longitud y 5mm de espesor. La prueba consiste en moldear una muestra de concreto entre los dos anillos metálicos para formar un anillo de concreto de 15 cm de espesor y 8 cm de altura. La mezcla de concreto se moldea en una sola capa y la compactación se hace sobre una mesa de vibrado. Todo el conjunto se somete a un flujo de aire constante de 4 m/s en un ambiente controlado de humedad (40% de Humedad relativa) y temperatura (20° C).

La prueba tiene una duración de 6 horas desde que se inicia el proceso de secado. La cuantificación de la fisuración se basa en determinar el número, longitud y ancho máximo de fisuras que se desarrollan en la superficie del concreto. Otro parámetro representativo de esta prueba es el índice de fisura, y se refiere al valor promedio de todos los anchos de fisura que se mide en la intersección de las fisuras y las circunferencias trazadas sobre la superficie superior de cada espécimen. Las circunferencias se trazan sobre la superficie de concreto a una distancia de 48.3 mm una de otra.

Esta prueba consiste en monitorear la aparición de fisuras sobre la superficie del concreto durante las primeras 6 horas después del llenado del anillo, el espécimen se realiza llenando con mezcla de concreto el anillo en una sola capa, luego se procede a compactar la mezcla con una mesa vibratoria y posteriormente se enrasa los anillos.

Figura. 2. Anillo para realizar prueba de contracción plástica.



Fuente: (ACI-544).

Esta prueba el objetivo es determinar el índice de grieta, para ello se determinó la cantidad de grietas que interceptan las dos secciones como se muestra en la figura

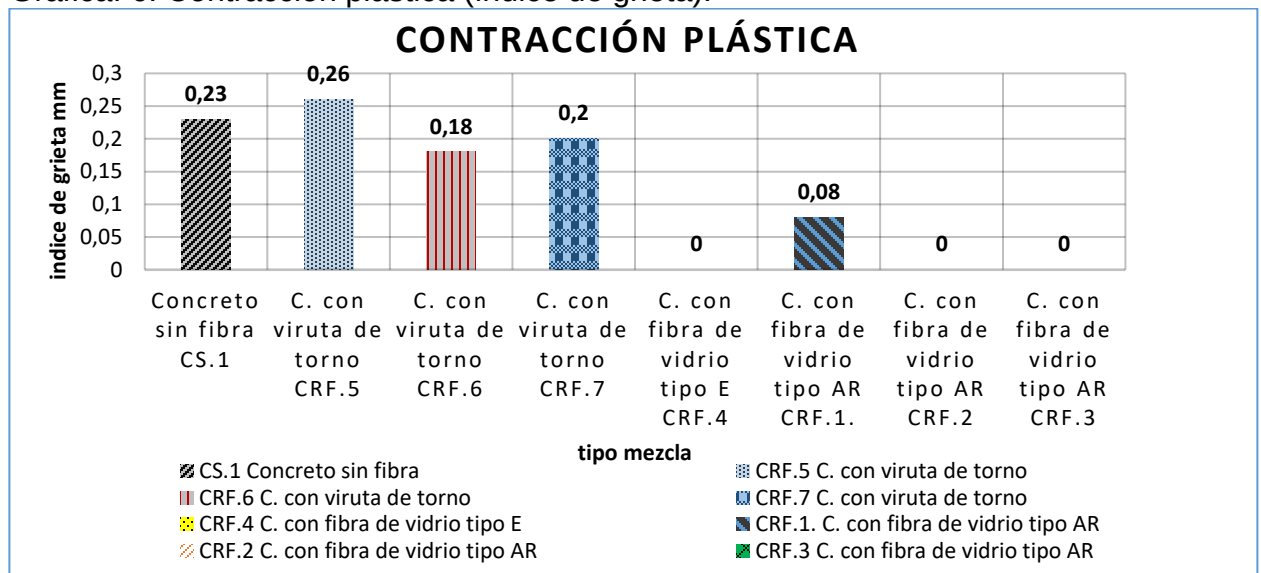
2, además la longitud y el número de las grietas. Las condiciones del ambiente se simuló un túnel en el que se implementaron dos ventiladores para garantizar una velocidad promedio de 4 m/s, y una temperatura promedio de 20°C.

Tabla 18. Resultados de ensayo de contracción plástica.

Tipo de mezcla	Mezcla	Cant. fibra kg/m ³	Long. Prom. Grieta mm	# de grietas		Índice grieta mm
				Anillo 1	Anillo2	
Concreto sin fibra	CS.1	0	85,25	6	13	0,23
C. con viruta de torno	CRF.5	21,5	76,16	9	18	0,26
C. con viruta de torno	CRF.6	27,9	68,22	7	6	0,18
C. con viruta de torno	CRF.7	34,4	58,32	3	2	0,20
C. con fibra de vidrio tipo E	CRF.4	1,2	0,00	0	0	0,00
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.1	0,6	52,21	3	0	0,08
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.2	1,2	0,00	0	0	0,00
C. con fibra de vidrio tipo AR	CRF.3	2,4	0,00	0	0	0,00

Fuente: Autores.

Gráfica: 6. Contracción plástica (índice de grieta).



Fuente: Autores.

Se observa en la Tabla 18 y Gráfica: 6 los resultados obtenidos en la prueba de contracción plástica para las ocho mezclas realizadas en la investigación. Con respecto al índice de grieta se observa que la mezcla de concreto sin fibras presenta el mayor índice de grietas y las mezclas de concreto con fibras de vidrio con el menor índice de grietas. La mezcla CRF.5 presenta un alto índice de grietas en comparación a las otras mezclas de concreto con virutas de torno, esto se debe a

que las virutas se encontraban con impregnadas con contenidos de taladras que inhiben el proceso de fraguado del concreto, se observa una reducción en el número de grietas en la mezcla CRF.6 como consecuencia de un proceso de lavado con agua de las virutas y en la tercer mezcla CRF.7 se disminuye el índice de grietas debido a un proceso de lavado de las virutas de torno en el cual se utilizó: agua en relación de 42,5 lts/kg, gasolina en relación de 0,3 lts/kg y desengrasante multiusos al 0,03 lts/kg de viruta de torno.

5.3.2 Concreto en estado endurecido. El concreto después de su fraguado empieza a obtener importantes características mecánicas en corto tiempo, se considera que el concreto a la edad de 28 días a alcanzado su resistencia máxima, sin embargo, el concreto continúa obteniendo resistencias durante toda la vida de la estructura cuando no se ve afectado por ningún agente externo, pero estas ganancias en las resistencias son mínimas.

5.3.2.1 Resistencia a compresión. El concreto presenta excelentes características mecánicas de resistencia a compresión, ya que esta representa la condición de carga y ostenta su mayor capacidad de soportar esfuerzos. La resistencia a compresión se ve influenciada por la calidad de los materiales, condiciones de curado, compactación, relación de agua/cemento y contenido de aire, tamaño máximo agregados, fraguado, temperatura y edad del concreto.

Fotografía 13. Ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

“Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen”. (NTC 673, 2010)

Este ensayo se realizó con especímenes de 15 cm de diámetro x 30 cm altura, a la edad de 28 días, se fallaron 30 especímenes por cada tipo de mezcla de concreto, antes de realizar el ensayo los cilindros son pesados y medidos (el ensayo se realizó utilizando neoprenos)

Para el ensayo de resistencia a la compresión se muestran los resultados promedio en la Tabla 19, estos resultados son el promedio de los 31 ensayos por cada mezcla realizada en la investigación. En los ANEXOS: ANEXO: 28, ANEXO: 30, ANEXO: 32, ANEXO: 34, ANEXO: 36, ANEXO: 38, ANEXO: 40 y ANEXO: 42 se presentan los resultados de todos los especímenes fallados en la investigación.

Tabla 19. Resultados promedio de Resistencias a compresión de especímenes de concreto.

Tipo de fibra	Mezcla	% de fibra por m ³	Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura espec. Prom. cm	Área esp. Prom. (cm ²)	Peso prom. (kg)	f'c max. Prom. (Mpa)
Concreto sin fibras	CS.1	0	28	15,31	30,17	184,1	12,66	21,16
Fibras de vidrio tipo AR	CRF.1	0,03	28	15,27	30,40	183,1	12,52	21,04
Fibras de vidrio tipo AR	CRF.2	0,05	28	15,26	30,40	182,8	12,71	20,64
Fibras de vidrio tipo AR	CRF.3	0,11	28	15,30	30,42	183,8	12,70	20,10
Fibras de vidrio tipo E	CRF.4	0,05	28	15,31	30,54	184,1	12,69	16,05
Viruta de torno	CRF.5	1	28	15,29	30,54	183,7	12,76	14,37
Viruta de torno	CRF.6	1,3	28	15,33	30,62	184,7	12,78	16,12
Viruta de torno	CRF.7	1,6	28	15,33	30,56	184,5	12,81	18,63

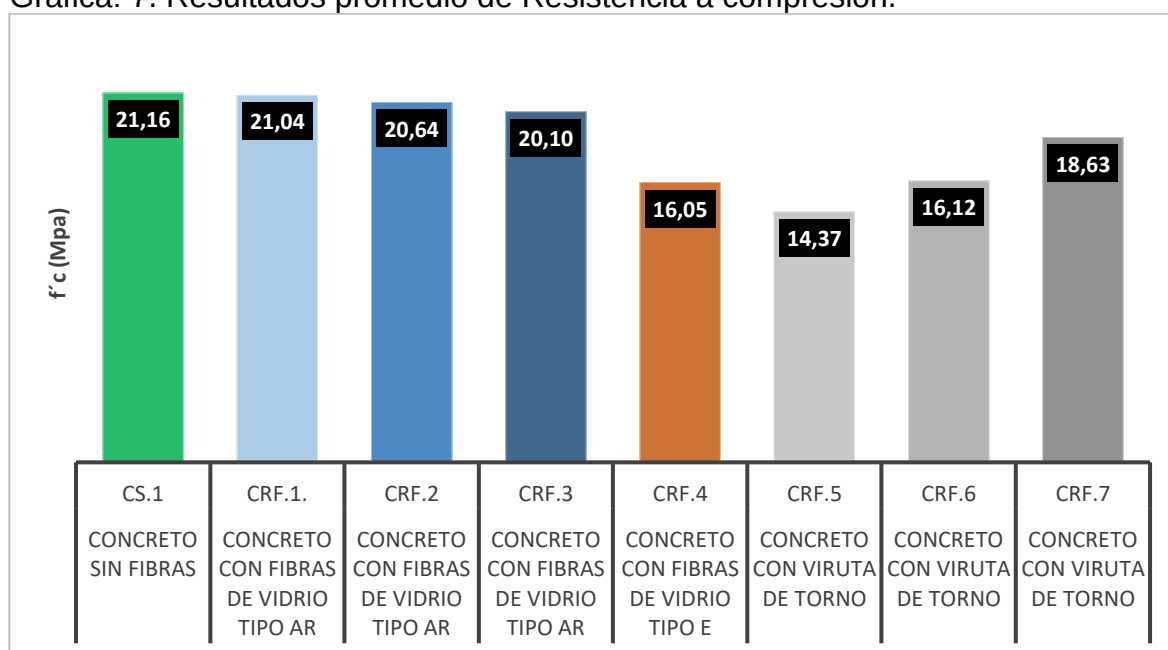
Fuente: Autores.

Se observa en la Gráfica: 7 los resultados promedios de los ensayos de compresión para las ocho mezclas realizadas en la investigación, los especímenes testigo de concreto sin fibras se obtuvo un promedio de 21,16 Mpa, en donde esta mezcla cumple con el diseño requerido de f'c = 21 Mpa.

Los especímenes de concretó reforzado con fibras de vidrio tipo AR presentan una disminución en la resistencia promedio a medida que va aumentando el contenido

de fibras dentro de la mezcla, la inclusión de las fibras de vidrio no mostro en general un efecto benéfico en la resistencia a compresión a la edad de 28 días. Los cilindros de concreto con fibras de vidrio tipo AR en dosis del 0,03% dentro de la mezcla presenta una pequeña reducción en el promedio de resistencia a compresión respecto a la resistencia del concreto sin fibras, la disminución fue de 0,56%, y por consiguiente la segunda mezcla con fibras de vidrio AR en dosis del 0,05% mostro una reducción en la media de su resistencia a compresión de 1,9% en referencia al concreto con fibras de vidrio con menor dosis y los especímenes de concreto adicionado con fibras de vidrio tipo AR en dosis del 0,11% presento una disminución del 7,11% respecto a la dosis anterior.

Gráfica: 7. Resultados promedio de Resistencia a compresión.



Fuente: Autores.

En la Tabla 19 y la Gráfica: 7 se observa que los resultados promedio de resistencia a compresión de los cilindros de concreto con fibra de vidrio tipo E, presentan una reducción a los 28 días del 24,15% respecto a los resultados promedio de resistencia del concreto sin fibras, esto se debe a que estas fibras tipo E presentan un contenido alto en sílice, esto hace que las fibras se degraden al interactuar con el medio alcalino de la matriz cementante, por consiguiente la matriz del concreto se debilita. (Ver ficha técnica de la fibra de vidrio tipo E en archivos anexos).

Las mezclas de concreto con virutas de torno presentan una gran pérdida de la resistencia a compresión, en la dosis de 1% de viruta de torno en la mezcla de concreto se presentó un mal fraguado debido a la impregnación de impurezas que presentaban las virutas, estas son propias del proceso de tornado del metal, en este

proceso se agregan aceites especiales (taladrinas) las cuales evitan la fricción entre el torno y el metal, estos aceites inhiben el proceso de fraguado, induciendo a la matriz cementante a que se produzcan múltiples fracturas en el proceso de endurecimiento como se puede observar en el ANEXO: 7, este concreto presentó una reducción respecto a la resistencia del concreto sin fibras del 32,09%, cabe destacar que aunque su resistencia se vio afectada estos cilindros presentaron una falla tipo dúctil similar a la falla de los especímenes de concreto con fibra de vidrio, debido a las características de las fibras metálicas (viruta de torno).

Para la segunda mezcla de concreto con virutas de torno se utilizó una dosis de 1,3%, en esta mezcla se le realizó un lavado con agua a la viruta con una relación de agua/kg de viruta de 42,5lts/kg, estos cilindros presentaron un aumento promedio en la resistencia a compresión respecto al concreto con viruta de torno sin lavar del 12,18%; sin embargo en este concreto se continuo afectado el fraguado, la cantidad de grietas en la matriz del concreto disminuyó drásticamente ver ANEXO: 9, la resistencia promedio continuo estando por debajo de la resistencia requerida.

Se presentó un aumento considerable en la resistencia a compresión de los cilindros de concreto con viruta de torno cuando se realizó un lavado mejor que en la anterior mezcla, se utilizó 42lts de agua por cada kg de viruta, además de gasolina en relación de 0,3 lts/kg y desengrasante industrial al 0,03 lts/kg de viruta de torno, en estos especímenes no se presentaron grietas visibles, pero su resistencia continuó por debajo de la resistencia requerida de 21 Mpa, se observa en la Gráfica: 7 el promedio de resistencia que presentó de 18,63 Mpa, registra un aumento del 15,6% respecto a los resultados promedio de la dosificación en la cual solo se implementó lavado con agua.

En los resultados de resistencia a compresión del concreto adicionado de viruta de torno se presenta una influencia debido a los siguientes factores; al módulo de elasticidad del acero es mayor al del concreto, la geometría, la forma y tamaño de las virutas, ya que las de tipo rizadas y onduladas grandes no son muy eficientes entre la adherencia de viruta con el resto de matriz cementante, las virutas con mejor desempeño son las tipo largas y lisas.

5.3.2.1.1 Control estadístico de la calidad del concreto.

5.3.2.1.1.1 Criterios de aceptación. Según la Norma colombiana de diseño y construcción sismo resistente (NSR-10), para evaluar las deficiencias en la resistencia final del concreto a la edad de 28 días, para poder satisfacer un determinado nivel de resistencia, para un concreto con las mismas características, es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

Criterio 1:

- Cuando el $f'c$ (resistencia a compresión) es menor o igual a 35 Mpa, ningún resultado del ensayo de resistencia a compresión (promedio de dos

cilindros), sea inferior a $f_c - 3.5$ Mpa.
 $(f_c \text{ aceptado} = 21 \text{ Mpa} - 3.5 \text{ Mpa})$
 $f_c \text{ aceptación} = 17.5 \text{ Mpa}$

- Cuando el f_c (resistencia a compresión) es mayor a 35 Mpa, ningún resultado del ensayo de resistencia a compresión (promedio de dos cilindros), sea inferior al 90% de f_c .

Criterio 2:

- Los promedios de todos los grupos de tres pruebas consecutivas igualen o excedan el valor especificado para f_c (resistencia a compresión).

5.3.2.1.2 Promedio de resistencia requerida. Como es imposible producir un concreto totalmente homogéneo debido a diferentes variaciones en sus propiedades, para diseñar una mezcla de concreto se requiere de una resistencia promedio de diseño f_{cr} (resistencia a compresión requerida) superior a la resistencia especificada f_c (resistencia a compresión). Es decir que entre más elevada sea la desviación estándar σ , el factor de sobrediseño será más alto y por consiguiente se eleva su costo, se toman dos criterios.

Criterio 1:

- Para concretos con $f_c \leq 35$ Mpa la fórmula se expresa así: $f_{cr} = f_c - 3.5 + (2.33 \times \sigma)$ -en Mpa
 $f_{cr} = 21.16 \text{ Mpa} - 3.5 + (2.33 \times 0.91)$
 $f_{cr} = 19.6 \text{ Mpa}$
- Para concretos con $f_c > 35$ Mpa la fórmula se expresa así: $f_{cr} = 0.9f_c + (2.33 \times \sigma)$

Criterio 2:

- En términos de desviación estándar la fórmula se expresa: $f_{cr} = f_c + (1.34 \times \sigma)$
 $f_{cr} = 21 \text{ Mpa} + (1.34 \times 0.91)$
 $f_{cr} = 22.2 \text{ Mpa}$
- Se debe tomar como promedio de resistencia requerido el mayor valor que resulte de la aplicación de los dos criterios.

5.3.2.1.3 Calificación del concreto. Para determinar cuál fue la f_c obtenida con el promedio de resistencia a los 28 días de edad (f_{cr} obtenido), se utilizan dos criterios:

Criterio 1:

- Para concretos $f_c \leq 35$ Mpa la ecuación se expresa $f_c \text{ obtenida} = f_{cr} \text{ obtenida} + 3.5 - (2.33 \times \sigma)$

$f'_{cr} = 22.5 \text{ Mpa}$

- Para concretos $f'_{cr} > 35 \text{ Mpa}$ la ecuación se expresa como $f'_{cr} \text{ obtenida} = (f'_{cr} \text{ obtenido} - (2.33 \times \sigma)) / 0.9$

Criterio 2:

- $f'_{cr} \text{ obtenida} = (f'_{cr} \text{ obtenido} - (1.34 \times \sigma))$

$f'_{cr} = 21.2 \text{ Mpa} - (1.34 \times 0.91)$

$f'_{cr} = 19.9 \text{ Mpa}$

5.3.2.1.4 Exceso de diseño. Exceso de diseño es la diferencia entre la resistencia promedio obtenida a la edad de 28 días ($f'_{cr} \text{ obtenida}$) y la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) es decir:

Exceso de diseño = $f'_{cr} \text{ obtenida} - f'_{cr}$

Exceso de diseño = $21.16 \text{ Mpa} - 22.2 \text{ Mpa}$

Exceso de diseño = -1.05 Mpa

Al finalizar el exceso de diseño se convierte en exceso de material cementante.

Factor de eficiencia de material cementante = $\text{material cementante} / f'_{cr} \text{ obtenida}$

Factor de eficiencia de material cementante = $352 \text{ kg/m}^3 / 211.6 \text{ kg/cm}^2 = 1.66$

Exceso de material cementante = $(\text{Factor de eficiencia de material cementante} / \text{kg/cm}^2) \times \text{exceso de diseño}$

Exceso de material cementante = $(1.66 / \text{kg/cm}^2) \times (-10.5 \text{ kg/cm}^2) = -17.43 \text{ kg/m}^3$

Se ha encontrado que el exceso de material cementante para el concreto evaluado es de -17.43 kg/m^3 de cemento, en conclusión, es necesario 17.4 kg es la cantidad aproximada en la que se debe aumentar el contenido de cemento por metro cubico, para mejorar el diseño de mezcla y de esta manera garantizar que el concreto califique para la resistencia especificada. Es decir que ninguna resistencia sea inferior a la resistencia especificada.

Tabla 20. Criterio de aceptación de concretos para $f'c < 35$ Mpa.

criterios de aceptación concretos para $f'c < 35$ Mpa		
$f'c < 3,5$ Mpa	$f'c \geq 175,0$	kg/cm ²

Fuente: Autores.

Tabla 21 Resultados análisis estadístico de los ensayos de resistencia a compresión de especímenes de las ocho mezclas de concreto realizados en la investigación.

Mezcla	% de fibra por m ³	$f'c$ Max. (Media). (Mpa)	Desviad. Estad. σ (kg/cm ²)	Promedio $f'cr$ obtenida ($f'c < 35$ Mpa)			Rediseño de mezcla					
				$f'cr$ kg/cm ²	Criterio 1 $f'c$ obtenida kg/cm ²	Criterio 2 $f'c$ obtenida kg/cm ²	Criterio 1	Criterio 2	Factor de sobre diseño (kg/cm ²)	Exceso de diseño (kg/cm ²)	Factor de eficiencia material cementante	Exceso de material cementante (kg/m ³)
CS.1	0	21.2	9.1	210	225.5	199.5	196.1	222.1	12.1	-10.51	1.66	-17.4
CRF.1.	0.03	21.0	8.0	210	226.9	199.8	193.5	220.7	10.7	-10.22	1.67	-17.1
CRF.2	0.05	20.6	10.3	210	217.4	192.6	199.0	223.8	13.8	-17.43	1.71	-29.7
CRF.3	0.11	20.1	9.1	210	214.8	188.8	196.2	222.2	12.2	-21.21	1.75	-37.1
CRF.4	0.05	16.1	9.7	210	172.9	147.5	197.7	223.0	13.0	-62.50	2.19	-137.0
CRF.5	1	14.4	9.6	210	156.3	130.8	197.4	222.9	12.9	-79.18	2.45	-193.9
CRF.6	1.3	16.1	6.9	210	180.3	152.0	191.0	219.2	9.2	-57.95	2.45	-126.5
CRF.7	1.6	18.6	9.4	210	199.3	173.7	197.0	222.6	12.6	-36.34	1.89	-68.6

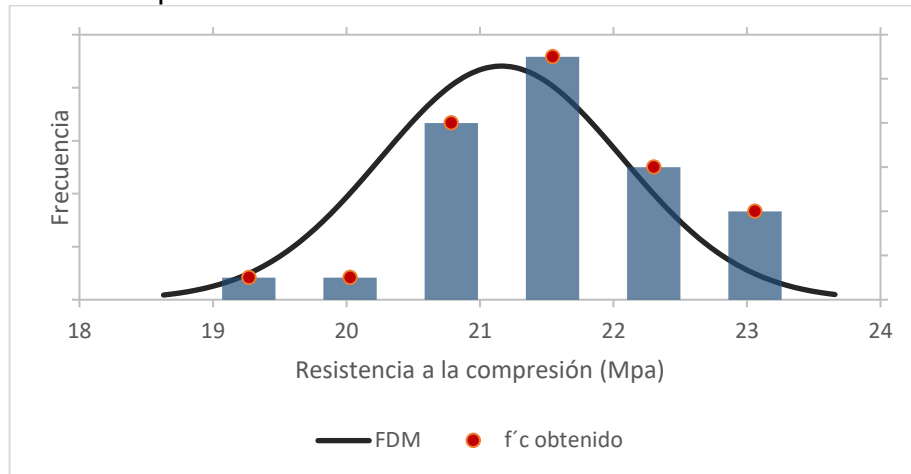
Fuente: Autores.

En los criterios de aceptación para concretos con $f'c < 35\text{Mpa}$ según la Norma Colombiana De Diseño Y Construcción Sismo Resistente (NSR10), para evaluar los defectos en la resistencia final del concreto a los 28 días de edad y considerar satisfactorio el cumplimiento de un determinado nivel de resistencia, para un mismo concreto el $f'c < 35\text{Mpa}$ ningún resultado individual de las pruebas de resistencia sea inferior a $f'c - 3.5\text{Mpa}$, en nuestro caso ningún resultado de resistencia debe estar por debajo de 17.5Mpa , para los resultados concreto sin fibras y en las tres dosificaciones de concreto con fibras de vidrio tipo AR se cumple este criterio. En los resultados de ensayos a compresión para los concretos con virutas de tornó y el concreto con fibra de vidrio tipo E no se cumplió este criterio de aceptación.

Como se es imposible producir un concreto totalmente homogéneo dadas las diferentes causas de variación en sus propiedades, en el diseño de una mezcla se requiere de una resistencia promedio de diseño $f'cr$ superior a la resistencia específica $f'c$, entre más elevada sea la desviación estándar se debe aumentar el factor de sobrediseño, para concretos con $f'c < 35\text{Mpa}$ en la calificación de resistencia obtenida se deben cumplir los siguientes criterios $f'c \text{ obtenida} = f'cr \text{ obtenida} + 35 - (2.33 * \text{desviación estándar})$ “o” $f'c \text{ obtenida} = f'cr \text{ obtenida} - (1.34 * \text{desviación estándar})$ y se adopta el dato menor según los criterios de la NSR10. Para el concreto sin fibras se obtuvo $f'cr = 225.5\text{kg/cm}^2$ y $f'cr = 199.5\text{kg/cm}^2$, por consiguiente la calificación del concreto es 199.5kg/cm^2 , este resultado indica que a pesar de haberse obtenido un promedio alto de 21.2Mpa el conjunto de datos no alcanzo a calificar para un $f'c = 21\text{Mpa}$, esto implica que se es necesario un rediseño de la mezcla, para aumentar el $f'cr$ se toma el valor más alto después de aplicar las siguientes formulas según la NSR10; criterio 1: $f'cr = f'c - 35 + (2.33 * \sigma)$, criterio 2: $f'cr = f'c + (1.34 * \sigma)$, se obtuvo 196.1kg/cm^2 para el criterio #1 y 222.1kg/cm^2 en el criterio respectivo, esto quiere decir que para garantizar al menos 210kg/cm^2 con una probabilidad de falla del 1% se debe diseñar una mezcla para un $f'cr = 22.1\text{kg/cm}^2$. Esto implica un factor de sobrediseño de 12.1kg/cm^2 .

También se analizó el desempeño estadístico del concreto sin fibras a través del exceso de diseño, donde obtuvimos un exceso de diseño de -10.5kg/cm^2 , esto quiere decir por el signo negativo que se obtuvo un defecto de diseño, es decir que se debe incrementar la resistencia promedio de diseño en 10.5kg/cm^2 . Además, se analizó el exceso de diseño de material cementante, en este caso para el concreto sin fibras se obtuvo un factor de eficiencia material cementante de 1.66kg/m^3 por cada kg/cm^2 de resistencia a los 28 días, el exceso de material cementante obtuvimos un -9.88kg/m^3 , cómo es negativo es un faltante de 9.88kg de material cementante por cada metro cubico de mezcla de concreto.

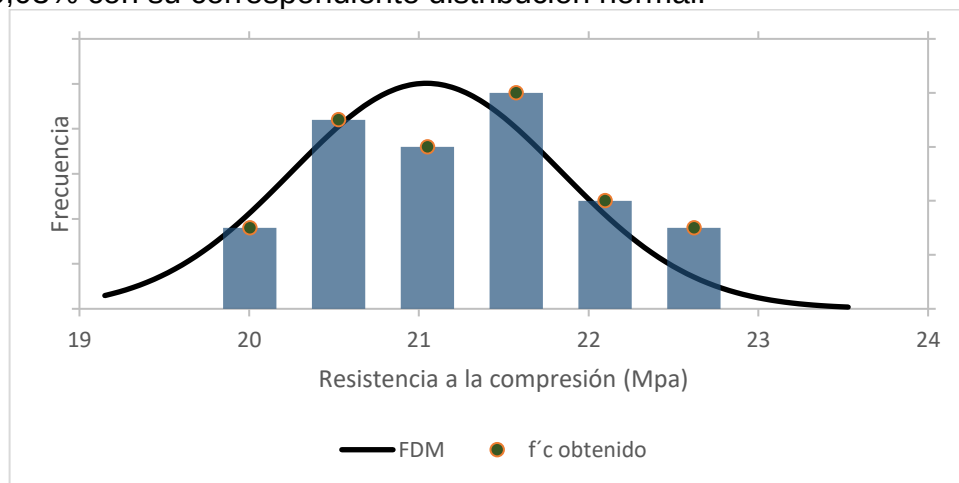
Gráfica: 8. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto sin fibras con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

En el análisis estadístico de los ensayos de resistencias a compresión de los especímenes de concreto sin fibras se presenta una desviación estándar de 9,1 kg/cm², una media de 21,2Mpa de un total de 31 ensayos, de los cuales el 67,7% se encuentra por encima de 21Mpa, estos resultados presentan buena uniformidad ya que tan solo dos resistencias se encuentran por debajo de 20,5Mpa y cuatro sobre los 22Mpa.

Gráfica: 9. Distribución de ensayos de resistencia del concreto con fibra de vidrio AR al 0,03% con su correspondiente distribución normal.

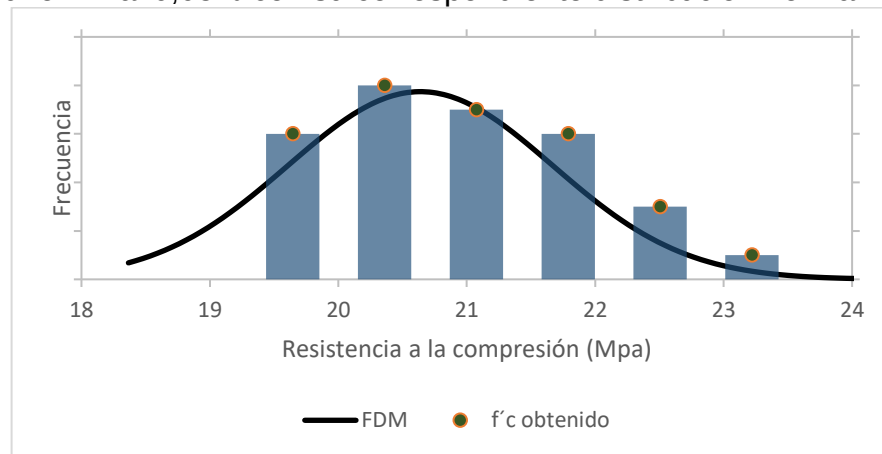


Fuente: Autores.

Los ensayos de resistencias a compresión de los cilindros de concreto con fibras de vidrio tipo AR en dosificación al 0,03%, dentro del análisis estadístico presentan una desviación estándar de 7,96 kg/cm², una resistencia a compresión promedio de

21,04Mpa de un total de 31 ensayos, en los cuales el 67,7% se encuentra dentro de la desviación estándar de los resultados.

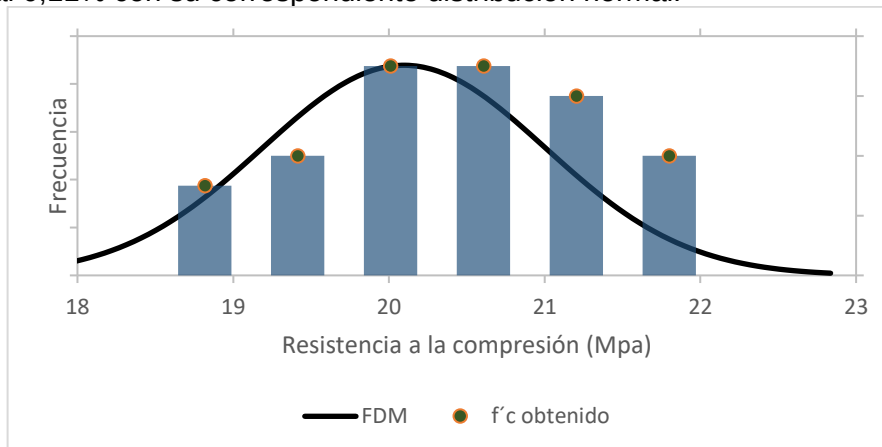
Gráfica: 10. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto con fibra de vidrio AR al 0,05% con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

El concreto con fibras de vidrio tipo AR en dosis del 0,05%, se observa en la Gráfica: 10 los resultados de los ensayos de resistencias a compresión de los 31 cilindros. El análisis estadístico presenta una desviación estándar de 10,3 kg/cm², con una media de la resistencia a compresión de 20,64 Mpa, este conjunto de resultados presenta una resistencia a compresión máxima de 23,2Mpa y una resistencia mínima de 18,9Mpa.

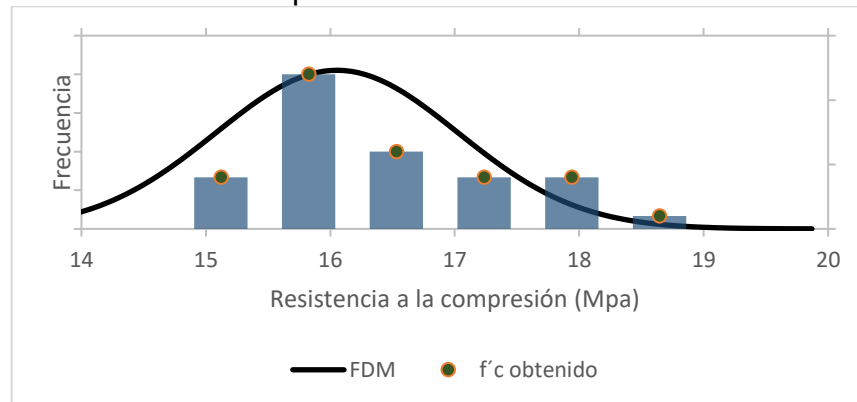
Gráfica: 11. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto con fibras de vidrio AR al 0,11% con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

El análisis estadístico en los resultados de los ensayos de resistencias a compresión del concreto con fibras de vidrio tipo AR en dosis del 0,11%, se observa en la Gráfica: 11, que el mayor conjunto de datos presenta una resistencia a compresión de 20,6Mpa, con una desviación estándar de 9,08 kg/cm², estos resultados presentan una media en la resistencia de 20,10Mpa, de los cuales el 77,4% se encuentra por encima de 20Mpa.

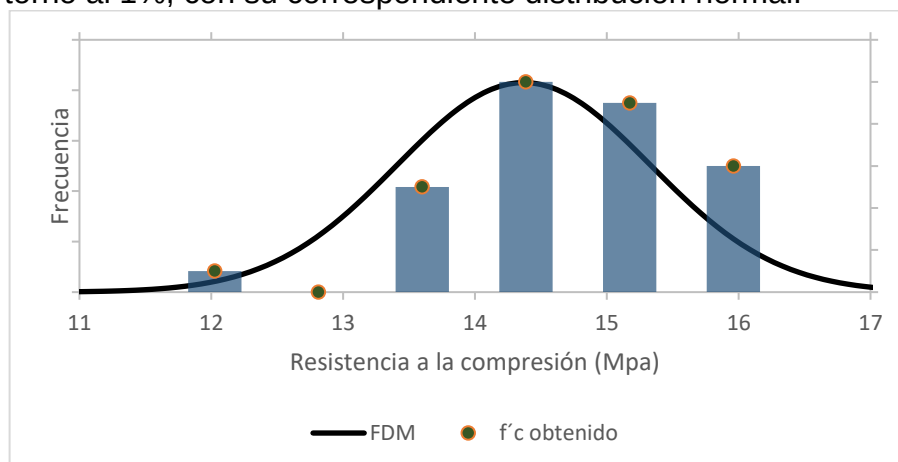
Gráfica: 12. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto con fibras de vidrio E con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

Se observa en la Gráfica: 12 los resultados de los ensayos de resistencias a compresión de los especímenes de concreto con fibras de vidrio tipo E en dosificación al 0,05%, el análisis estadístico presentan una desviación estándar de 9,7 kg/cm², con una media de resistencia a compresión de 16,05Mpa, este conjunto de datos presenta una resistencia mínima de 14,4Mpa y una máxima de 18,6Mpa.

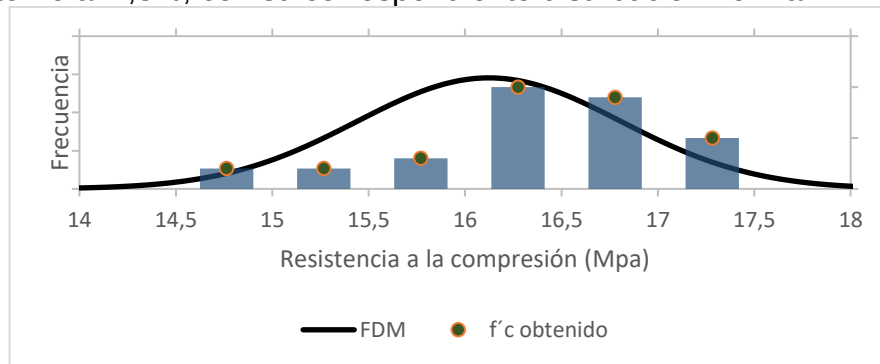
Gráfica: 13. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto con viruta de torno al 1%, con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

Este conjunto de resultados de ensayos de resistencia a compresión presenta una dispersión diferente a la distribución normal, se puede apreciar en la Gráfica: 13, que el 80,6% de los datos se encuentran por encima al promedio de las resistencias. El 48,4% se encuentra por encima de la media aritmética y el 19,4% de los resultados se encuentran por debajo de la media del total de los datos. El concreto con virutas de torno sin lavar presento una desviación estándar de 9,6kg/cm², estos resultados presentan un dato de una resistencia, la cual se encuentra muy alejada del conjunto de datos la cual es de 11,2Mpa.

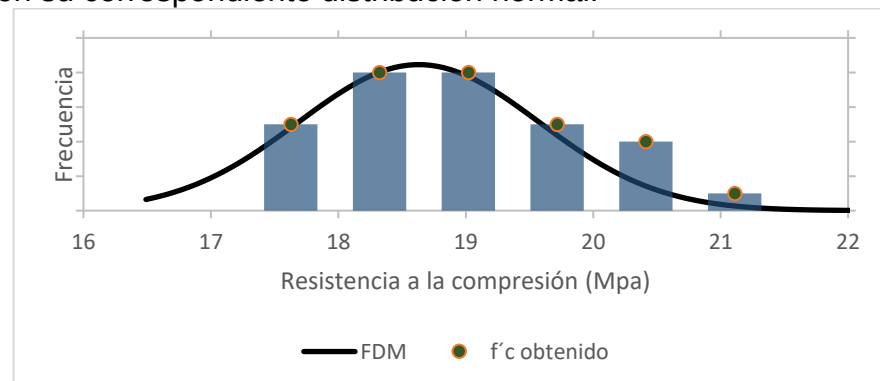
Gráfica: 14. Distribución de frecuencia de ensayos de resistencia del concreto con viruta de torno al 1,3%, con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

El concreto con una dosis de 1,3% de viruta de torno presenta una distribución de frecuencias diferente a la curva de frecuencia normal, se observa en la Gráfica: 14 un subgrupo de datos se encuentra por debajo de la media el cual equivale al 22,5%, mientras que el 45,2% de los datos la resistencia es superior a la media total y un 32,3% la resistencia a compresión se encuentra en la media la cual es equivalente a 16,12Mpa, se muestra una desviación estándar de 6,8kg/cm² con una resistencia máxima de 17,3Mpa y una mínima de 14,3Mpa.

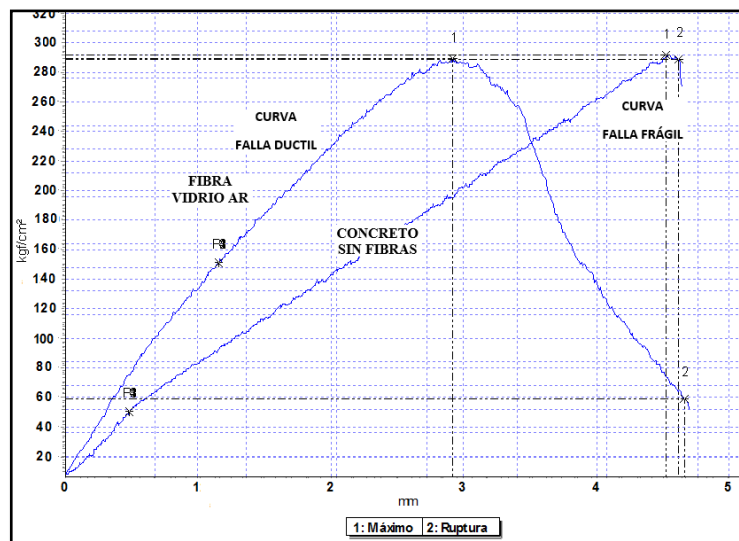
Gráfica: 15. Distribución de frecuencias de resistencia del concreto con viruta de torno 3, con su correspondiente distribución normal.



Fuente: Autores.

El análisis estadístico de los resultados de la prueba de resistencia a compresión de los cilindros de concreto con viruta de torno en dosificación del 1,6% a las cuales se les realizó una limpieza por medio de un lavado con agua, desengrasante industrial y gasolina, este conjunto de datos presentan una dispersión con similitud a la curva de frecuencia normal, con una desviación estándar de $9,4\text{kg/cm}^2$, con un rango de dispersión de $4,2\text{Mpa}$, estos resultados presentan una resistencia a compresión media de $18,63\text{Mpa}$.

Ilustración 14. Comparativa curva esfuerzo deformación (falla dúctil y falla frágil) (graficas arrojadas por software Elecav en el ensayo de resistencia a compresión).

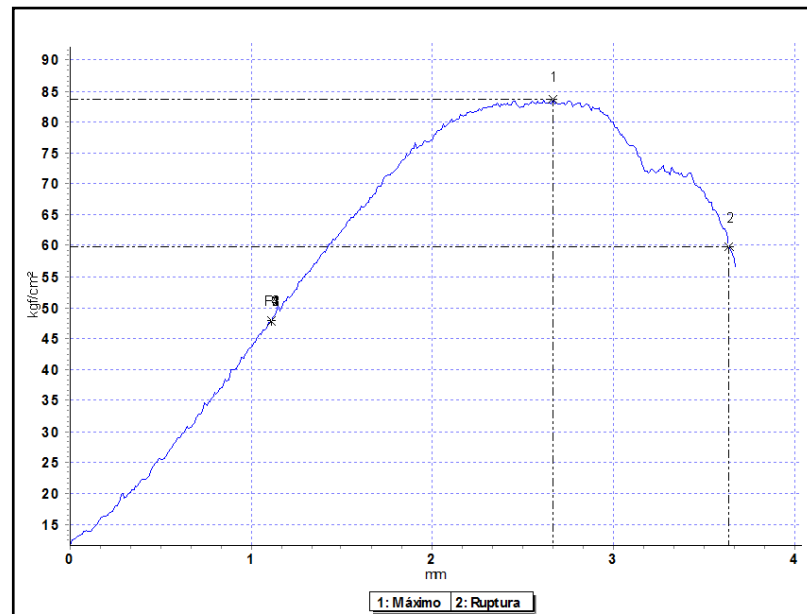


Fuente: Autores.

Se presenta en la Ilustración 14 una comparativa de tipo de falla del concreto sin fibras y concreto adicionado con fibras de vidrio tipo AR, se observa que el concreto con fibra de vidrio prolonga la resistencia, es decir que el espécimen continua soportando cargas aun después de haber llegado a su resistencia a compresión máxima y su ruptura se presenta mucho después de su máximo pico de resistencia. El concreto sin fibras presenta una tendencia de curva esfuerzo-deformación casi lineal, pero en cuanto llega a su punto de máxima resistencia inmediatamente ocurre la ruptura del espécimen de concreto, esto hace que la matriz del concreto se frágil, ver los ANEXO: 1 y ANEXO: 2.

Se puede observar la Gráfica: 16, en esta grafica se aprecia que la ruptura del concreto se presenta después del pico de resistencia a compresión máxima, la falla es dúctil pero no resiste la misma magnitud en deformación comparado con el concreto adicionado con fibras de vidrio AR. Este concreto soporta más carga después del punto de máxima resistencia respecto a la capacidad del concreto sin fibras.

Gráfica: 16. Curva esfuerzo deformación de concreto con virutas de torno. (Grafica arrojadas por software Elecav en el ensayo de resistencia a compresión).



Fuente: Autores.

5.3.3 Resistencia a tracción por compresión diametral. Para evaluar la resistencia a tracción se fabricaron 21 cilindros de concreto por cada mezcla de dimensiones de 10cm de diámetro x 20 cm de altura, esta prueba se realizó en el mismo equipo empleado en los ensayos de compresión.

El método de ensayo de tensión indirecta consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad que se encuentra dentro del intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial. (NTC 722, 2000)

Fotografía 14. Ensayo de compresión diametral.



Fuente: Autores.

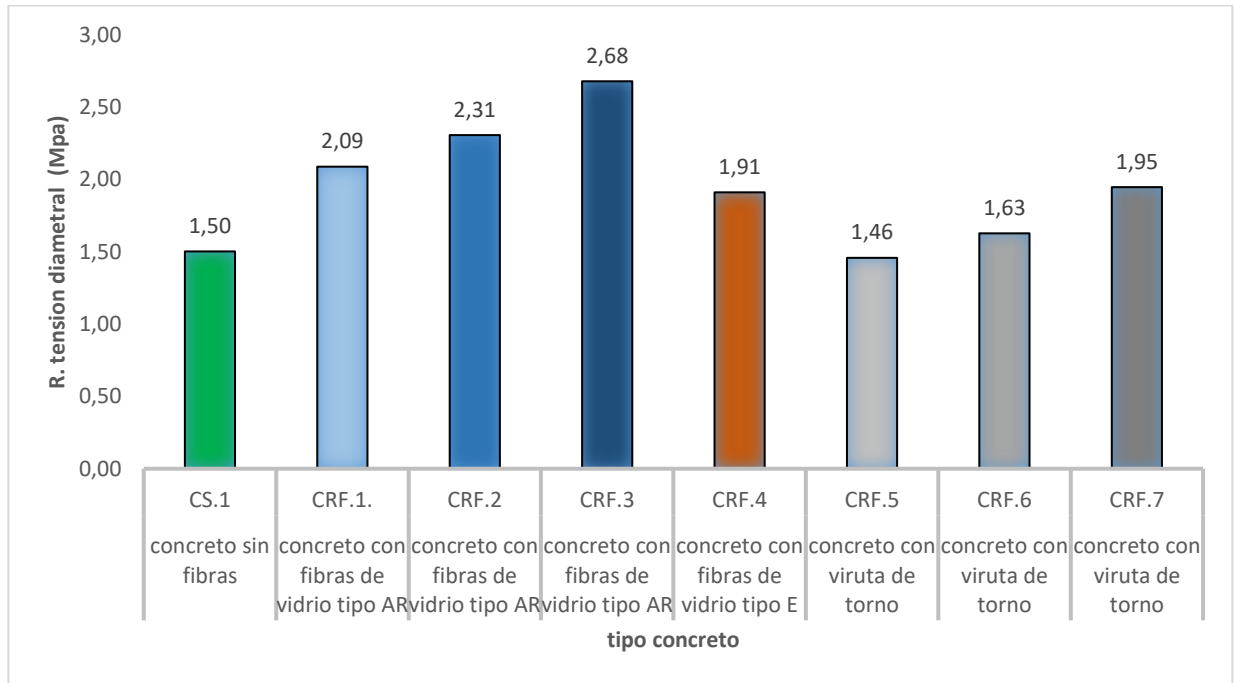
La resistencia de tensión se falló mediante el ensayo a tensión por compresión diametral a la edad de 28 días. Se muestran en la Tabla 22 los resultados promedio de los ocho concretos realizados en esta investigación. Se puede observar detalladamente los resultados obtenidos en los ensayos de tensión diametral en los ANEXOS: ANEXO: 44, ANEXO: 45, ANEXO: 46, ANEXO: 47, ANEXO: 48, ANEXO: 49 ANEXO: 50 y ANEXO: 51.

Tabla 22. Resultados promedio a tensión diametral.

Tipo de fibra	Mezcla	% de fibra por m ³	Edad cilindro (días)	Resistencia a tensión indirecta (kg/cm ²)
Concreto sin fibras	CS.1	0	28	15,03
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.1.	0,03	28	20,89
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.2	0,05	28	23,07
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.3	0,11	28	26,79
Concreto con fibras de vidrio tipo E	CRF.4	0,05	28	19,11
Concreto con viruta de torno	CRF.5	1	28	14,58
Concreto con viruta de torno	CRF.6	1,3	28	16,27
Concreto con viruta de torno	CRF.7	1,6	28	19,47

Fuente: Autores.

Gráfica: 17. Resistencia a tensión diametral.



Fuente: Autores.

Se observa en la Tabla 22 y en la Gráfica: 17 los resultados promedio de las ocho mezclas de la investigación, en donde el concreto sin fibras presentó una resistencia a tensión promedio de 15,03 kg/cm² que equivale a un 7,1% de la resistencia a compresión. El concreto con fibra de vidrio tipo AR presenta un aumento en su resistencia a tensión a medida que aumenta el concentrado de fibras en el concreto. En la dosificación del concreto con fibras de vidrio AR al 0,03% se presenta un aumento del 38,9%, en la dosificación del 0,05% se obtuvo un incremento del 53,4% y en la dosificación del 0,11% incrementó la resistencia a tensión un 78,2% respecto a la resistencia a tensión del concreto sin fibras.

El concreto con fibras de vidrio tipo E presenta una resistencia a tensión promedio de 19,11 kg/cm² un incremento del 27,1% respecto a la resistencia a tensión del concreto sin fibras. Mientras que el concreto adicionado de viruta de torno sin lavar en dosis del 1% se obtuvo una reducción del 2,9% de resistencia a tensión respecto a la obtenida del concreto sin fibras, a medida que aumenta el porcentaje de virutas dentro del concreto y además de implementar lavados a la viruta la resistencia tensión va en aumento, en la dosis del 1,3% de viruta lavada solo con agua se obtuvo un promedio de resistencia a tensión de 16,27kg/cm² que equivale a un aumento de 8,3% respecto al concreto sin adición de fibras y en la dosificación al 1,6% de virutas lavadas con más ingredientes se obtiene un promedio de 19,47kg/cm² en resistencia a tensión, la cual es equivalente a un 29,5% de incremento respecto a la resistencia a tensión del concreto sin fibras.

5.3.4 Módulo de elasticidad y relación de Poisson en concreto a compresión. El módulo de elasticidad del concreto influye en el cálculo de flechas (deflexión) y deformaciones en vigas, en el cálculo de rigidez en marcos múltiples y en estructuras hiperestáticas en general. El módulo de elasticidad está claramente definido en los materiales que tienen una zona inicial recta en su diagrama tensión-deformación unitaria y en ese caso es la tangente del ángulo de inclinación de esa recta, en el concreto el diagrama de esfuerzo-deformación es curvo desde el comienzo por lo consiguiente no cumple.

Fotografía 15. Anillos prueba módulo de elasticidad y relación de Poisson.



Fuente: Autores.

Se fabricaron cinco especímenes de 15cm de diámetro x 30 cm de altura, para cada una de las ocho mezclas realizadas, el ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson en concreto a compresión se desarrolló siguiendo la norma NTC 2045.

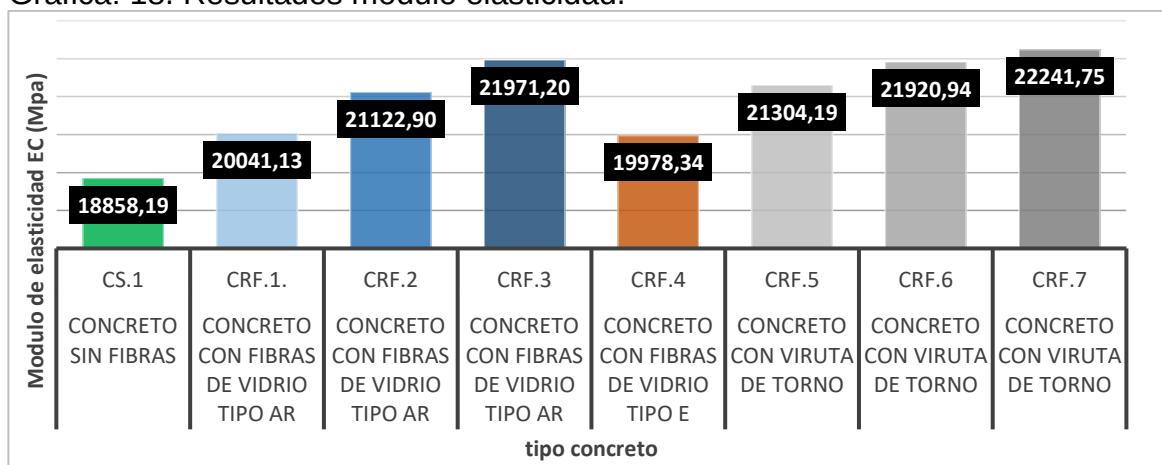
Se presentan los resultados promedio del ensayo del módulo de elasticidad y relación de Poisson en la Tabla: 23, estos resultados son el promedio del ensayo de cinco cilindros de 15cm X 30 cm para cada especialidad de concreto referente a esta investigación. Cabe destacar que cada cilindro se cargó tres veces hasta el cuarenta por ciento de su resistencia máxima a compresión. Los resultados obtenidos para módulo de elasticidad y relación de Poisson detalladamente se pueden observar en los ANEXOS: ANEXO: 52, ANEXO: 53, ANEXO: 54 y ANEXO: 55.

Tabla 23. Resultados del ensayo de Modulo de elasticidad y relación de Poisson.

Mezcla	Mezcla	% de fibra por m ³	f'c Max. (Media). (Mpa)	Módulo de elasticidad Ec (kg/cm ²)	Relación de Poisson (μ)
Concreto sin fibras	CS.1	0	21,16	188581,89	0,23
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.1.	0,03	21,04	200411,31	0,23
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.2	0,05	20,64	211228,99	0,24
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.3	0,11	20,10	219711,98	0,24
Concreto con fibras de vidrio tipo E	CRF.4	0,05	16,05	199783,41	0,20
Concreto con viruta de torno	CRF.5	1	14,37	213041,93	0,21
Concreto con viruta de torno	CRF.6	1,3	16,12	219209,45	0,22
Concreto con viruta de torno	CRF.7	1,6	18,63	222417,53	0,22

Fuente: Autores.

Gráfica: 18. Resultados módulo elasticidad.

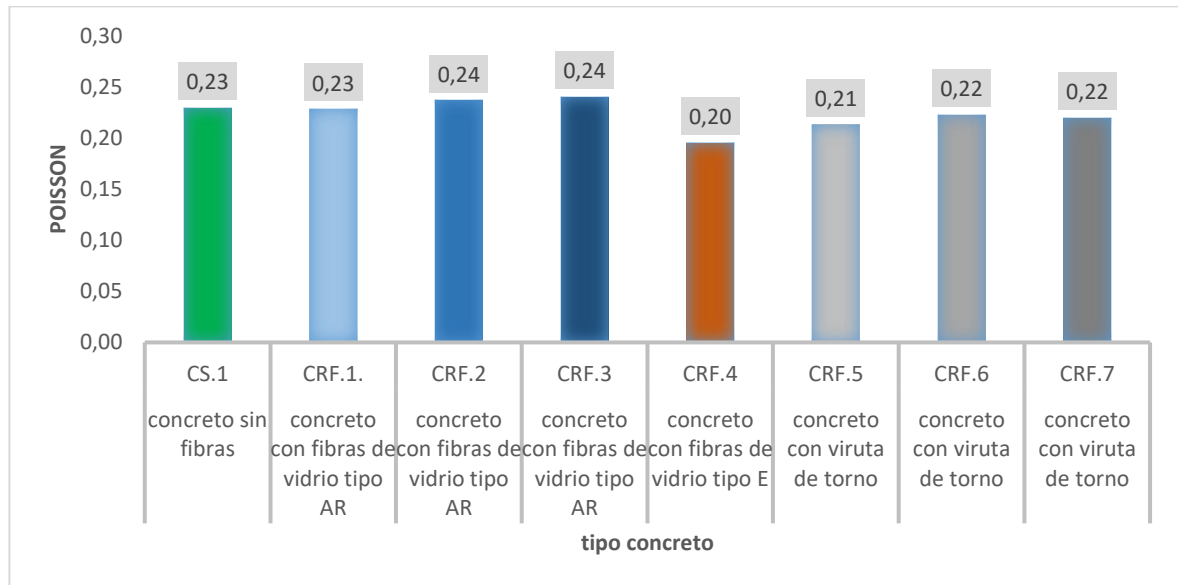


Fuente: Autores.

Se observa en la Gráfica: 18 y Tabla 23 los resultados promedio del módulo de elasticidad, en donde el concreto adicionado de fibras de vidrio tipo AR presenta un aumento a medida que el contenido de fibras en el concreto aumenta, también se presenta el mismo fenómeno en el concreto adicionado de virutas de metálicas, para el concreto de referencia se obtuvo un módulo de elasticidad de 188581kg/cm², el concreto que presento mayor módulo de elasticidad fue la mezcla CRF.7 con un consumo de 1,6% de virutas metálicas. Ninguna mezcla presenta valores de módulo de elasticidad inferiores al concreto sin fibras, el concreto con virutas CRF.7 presenta un módulo de elasticidad promedio de 222417,5kg/cm², es decir, un 17,9%

mayor que el concreto sin fibras, para el concreto con fibras de vidrio AR en dosificación del 0,11% tuvo un incremento del 16,5% en comparación del concreto sin fibras, mientras que el concreto con fibras de vidrio tipo E el módulo de elasticidad aumento un 5,9% en referencia al concreto sin fibras.

Gráfica: 19. Resultados Relación de Poisson.

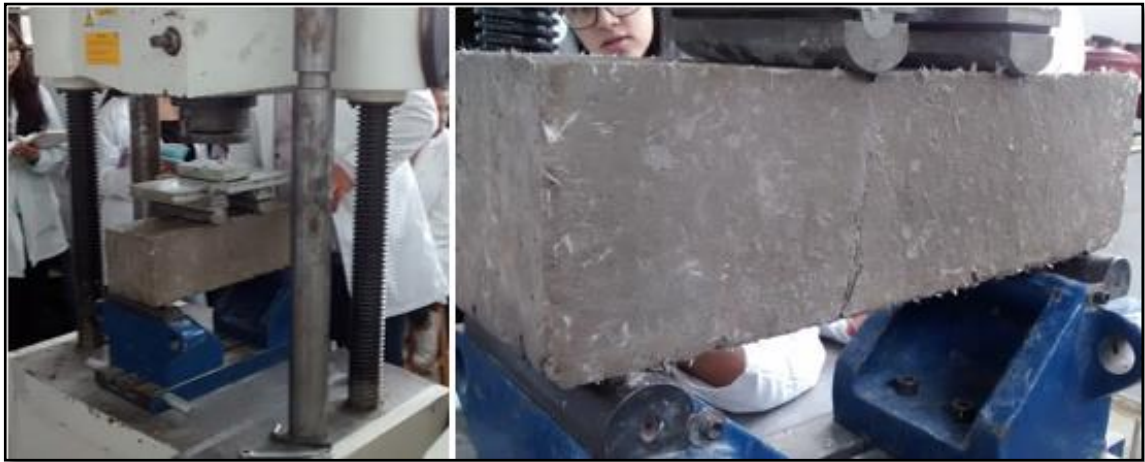


Fuente: Autores.

En la Gráfica: 19 y la Tabla 23 se observan los resultados promedio de las ocho mezclas de concreto del ensayo de relación de Poisson, en donde las mezclas con fibra de vidrio tipo AR CRF.2 y CRF.3 presentan un promedio en la relación de Poisson de 0.24 y la mezcla CRF.1 obtuvo una relación igual a la obtenida por el concreto sin fibras. Los concretos con viruta de torno presentaron una mejora en la relación de Poisson en las mezclas CRF.6 Y CRF.7 respecto de la mezcla CRF.5, es decir, que mejora a medida que aumenta el contenido de fibras y luego del proceso de limpieza de las virutas; Sin embargo se encuentran por debajo del valor de relación de Poisson del concreto sin fibras el cual presento un promedio de 0.23 y los concreto con viruta de torno presentaron una relación de Poisson de 0.21, 0.22, y 0.22 respectivamente. El concreto con fibras de vidrio tipo E también se encuentra por debajo de la relación de Poisson del concreto sin fibras con un 0.20.

5.3.5 Ensayo a Flexión. El ensayo de flexión es utilizado para determinar la tenacidad del concreto, se fabricaron cuatro vigas de 15 x 15 x 53 cm por cada mezcla de concreto realizado, este método consiste en colocar la viga en posición horizontal, apoyada en sus extremos con una separación 45 cm y a 15 cm se le transmite al ancho de la viga dos cargas iguales en los tercios de los claros.

Fotografía 16. Ensayo flexión a los tercios de la viga (realizado en el laboratorio de materiales UPTC).



Fuente: Autores.

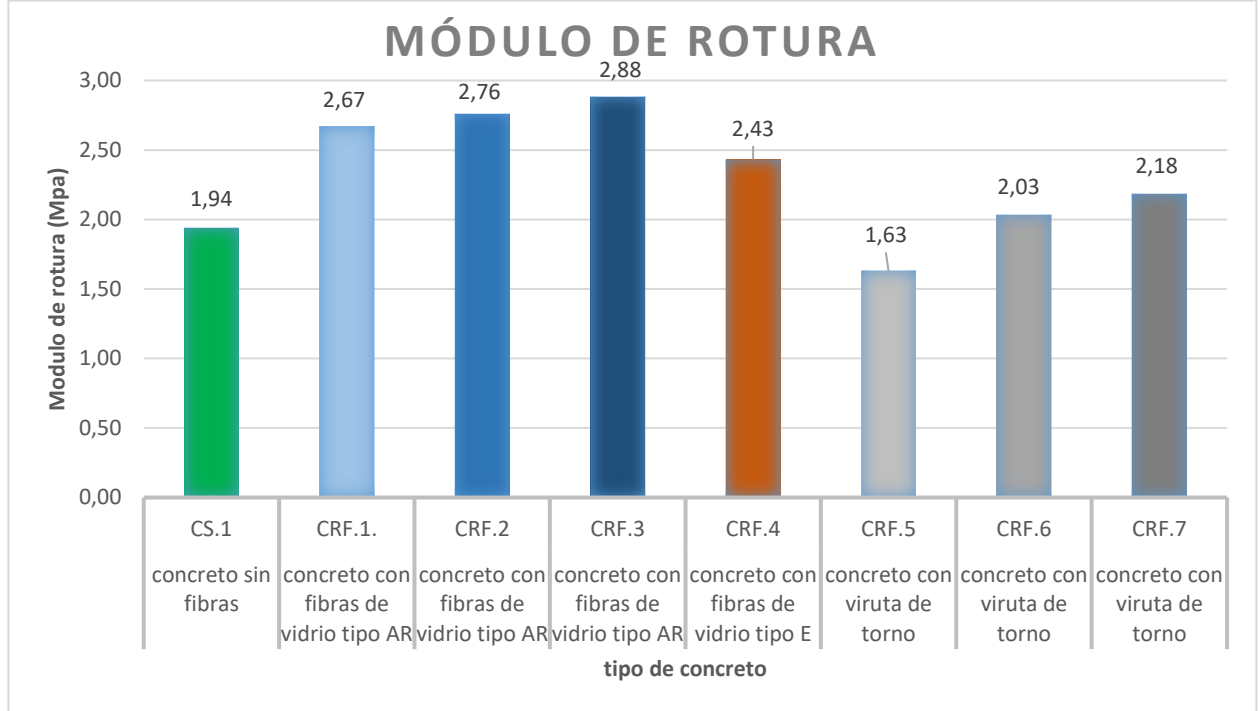
Los ensayos de flexión en vigas en los tercios de la luz se realizaron en las instalaciones del laboratorio de resistencia de materiales y estructuras de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja Sede Campus, además se fallaron dos vigas en los laboratorios de resistencia de materiales de la Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia seccional Tunja.

Tabla 24. Resultados módulo de rotura.

Mezcla	Mezcla	% de fibra por m ³	f _c (resistencia comp.) (Media). (Mpa)	Módulo de Rotura (Mpa)
Concreto sin fibras	CS.1	0	21,16	1,942
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.1.	0,03	21,04	2,671
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.2	0,05	20,64	2,760
Concreto con fibras de vidrio tipo AR	CRF.3	0,11	20,10	2,883
Concreto con fibras de vidrio tipo E	CRF.4	0,05	16,05	2,433
Concreto con viruta de torno	CRF.5	1	14,37	1,630
Concreto con viruta de torno	CRF.6	1,3	16,12	2,031
Concreto con viruta de torno	CRF.7	1,6	18,63	2,182

Fuente: Autores.

Gráfica: 20. Resultados promedio Módulo de rotura.



Fuente: Autores.

Se observa los resultados promedio del módulo de rotura de los ocho concretos elaborados en la investigación en la Tabla 24 y la Gráfica: 20. El concreto sin fibras arrojó un promedio en el módulo de rotura de 1,942Mpa, en comparación con este el concreto adicionado de fibras de vidrio arrojó un incremento significativo. El concreto con fibras de vidrio tipo AR en dosificación de 0,03% mostro un incremento del 37,5%, en dosificación de 0,05% registro un aumento del 42,1% y la dosificación mayor en fibra al 0,11% se incrementaron 48,4% el módulo de rotura en comparación al módulo de rotura del concreto sin fibras.

El concreto adicionado de fibra de vidrio tipo E muestra un incremento del módulo de rotura del 25,2% comparado al concreto sin fibras con un valor respectivo de 2,433Mpa. El concreto con virutas de torno arrojó un decremento en el valor del módulo de rotura en la mezcla CRF.5 del 16,1% también en referencia al concreto sin fibras, mientras que las mezclas CRF.6 y CRF.7 mostraron una mejora en el valor del módulo de rotura con valores de 2,031 Mpa y 2,182Mpa respectivamente. Los resultados detallados se pueden observar en los ANEXO: 56 y ANEXO: 57.

6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE VIRUTAS DE TORNO Y FIBRAS DE VIDRIO AR Y E EN EL CONCRETO

La inclusión de fibras metálicas recicladas (virutas de torno) y fibras de vidrio tipo AR y E, a la mezcla de concreto presentó las siguientes ventajas y desventajas:

Tabla 25. Ventajas y desventajas del uso de fibras en el concreto.

FIBRA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fibra de Vidrio tipo AR	Logran hacer del concreto un material dúctil. Mejoran notablemente la reducción de fisuras provocadas por la contracción plástica del concreto. Se obtiene mejoramiento de propiedades en el concreto con dosificaciones bajas en contenido de fibra. Reducen levemente el peso volumétrico del concreto, además al mejorar propiedades del concreto se disminuyen secciones de elemento así mismo el peso de la estructura u elemento disminuye. Aumentan el módulo de elasticidad del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Aumentan el módulo de rotura del concreto, respecto al concreto hidráulico simple.	Disminuyen la trabajabilidad de la mezcla de concreto, por lo que se recomienda un mayor vibrado del concreto para una distribución más uniforme, además de adición de plastificantes. Disminuyen levemente la resistencia a esfuerzos de compresión, respecto a al concreto hidráulico simple. Es una fibra que no es muy común comercialmente, hay que solicitarla por pedido anticipado.

	Aumentan la resistencia a esfuerzos de tensión del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Se logra una distribución uniforme aleatoria en toda la sección de la matriz del concreto (Ver anexo: 16).	
Fibra de Vidrio tipo E	Mejoran notablemente la aparición de fisuras provocadas por la contracción plástica del concreto. Reducen levemente el peso volumétrico del concreto. Aumentan el módulo de elasticidad del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Aumentan el módulo de rotura del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Aumentan la resistencia a esfuerzos de tensión del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Logran hacer del concreto un material dúctil. Se logra una distribución uniforme aleatoria en toda la sección de la matriz del concreto.	Disminuyen drásticamente la resistencia a compresión, respecto al concreto hidráulico simple, debido a que son fibras que, se degradan frente a los álcalis. Disminuyen la trabajabilidad de la mezcla de concreto, por lo que se recomienda un mayor vibrado del concreto para una distribución más uniforme, además de adición de plastificante.
	Mejoran sustancialmente la aparición de fisuras provocadas por la contracción plástica del	Las virutas de torno deben pasar por un tratamiento de descontaminación, para que la mezcla de concreto fragüe bien

Virutas de Torno	concreto. Al ser un material residual de la industria metalmeccánica, su costo es bajo. Aumentan el módulo de elasticidad del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. Aumentan el módulo de rotura del concreto, respecto al concreto hidráulico simple. (Si las virutas de torno, no reciben tratamiento de eliminación de grasas y aceites, el módulo de rotura disminuirá). Aumentan la resistencia a esfuerzos de tensión del concreto, respecto al concreto hidráulico simple.	y no se presenten fisuras en la matriz del concreto, debido a que el contenido de aceites inhibe la hidratación del material cementicio. Deben ser cortadas las virutas, esto conlleva a un coste adicional. Para un mayor beneficio en las propiedades mecánicas del concreto, deben ser clasificadas de acuerdo a su forma y geometría, debido a que algunas virutas (rizadas y onduladas) no presentan eficiencia en la adherencia fibra-matriz cementante. Al igual que el concreto reforzado con barras de acero, el concreto reforzado con virutas de torno, es susceptible a sufrir patologías que deterioran sus propiedades, como es el caso de la corrosión. Disminuyen la resistencia a esfuerzos de compresión, respecto al concreto hidráulico simple debido al grado de contaminación de las fibras.
------------------	--	---

Fuente: Autores.

6.1 COSTOS DE CONCRETOS SIN FIBRAS Y CRF

Tabla 26. Precios concretos comercialmente

Tipo concreto	Precio \$
C. Normal 21Mpa	\$288.000
C. Industrializado placa 21Mpa	\$310.000
C. Industrializado muro 21Mpa	\$310.000
C. Industrializado muro 28Mpa	\$333.000
C. Normal 28Mpa	\$303.000

Fuente: Hormigón Urbano.

Tabla 27. Análisis de costos de concretos adicionados de fibras de vidrio AR

Tipo concreto	Precio Normal	Precio CRF. (0,03 %)	Precio CRF. (0,05%)	Precio CRF. (0,11%)
C. Normal 21Mpa	\$288.000	\$304.000	\$320.000	\$352.000
C. Industrializado placa 21Mpa	\$310.000	\$326.000	\$342.000	\$374.000
C. Industrializado muro 21Mpa	\$310.000	\$326.000	\$342.000	\$374.000
C. Industrializado muro 28Mpa	\$333.000	\$349.000	\$365.000	\$397.000
C. Normal 28Mpa	\$303.000	\$319.000	\$335.000	\$367.000

Fuente: Autores & Hormigón Urbano.

Tabla 28. Costos de insumos empleados en limpieza de las virutas de torno

Tipo fibra	Mezcla	Fibra kg/m ³	Agua \$	Oíl \$	Desengras ante \$	Total \$
C. viruta de torno	CRF.5	21,5	2733,4	14547,8	5840	23121,2
C. viruta de torno	CRF.6	27,9	3547,1	19327,9	7759,2	30634,2
C. viruta de torno	CRF.7	34,5	4386,2	23900,1	9594,7	37881

Fuente: Autores & Hormigón Urbano.

Tabla 29. Análisis de costos de concretos adicionados de virutas de torno

Tipo concreto	Precio Normal	Precio CRF. (1 %)	Precio CRF. (1,3%)	Precio CRF. (1,6%)
C. Normal 21Mpa	\$288.000	\$311.121	\$318.634	\$325.881
C. Industrializado placa 21Mpa	\$310.000	\$333.121	\$340.634	\$347.881
C. Industrializado muro 21Mpa	\$310.000	\$333.121	\$340.634	\$347.881
C. Industrializado muro 28Mpa	\$333.000	\$356.121	\$363.634	\$370.881
C. Normal 28Mpa	\$303.000	\$326.121	\$333.634	\$340.881

Fuente: Autores & Hormigón Urbano.

7 CONCLUSIONES

- ❖ Se cumplió con los objetivos planteados al inicio de la investigación, el programa experimental permitió determinar a cada una de las mezclas sus propiedades en estado fresco; asentamiento, peso volumétrico, aire confinado e índice de grieta por contracción plástica. Además, en estado endurecido se determinó: resistencia a compresión, tensión indirecta, módulo de rotura, módulo elástico y relación de Poisson.
- ❖ Los agregados empleados en la investigación presentaron características ideales para el diseño de la mezcla de concreto.
- ❖ El asentamiento del concreto se reduce proporcionalmente al contenido de fibras, tanto de vidrio AR, E y virutas de torno; Sin embargo, el asentamiento en el concreto con virutas de torno es mayor que con inclusión de fibras de vidrio. Los concretos adicionados de fibras de vidrio su asentamiento se reduce abruptamente haciendo que la trabajabilidad se vea afectada, por consiguiente, se recomienda usar plastificantes para aumentar el asentamiento y mejorar la trabajabilidad de la mezcla.
- ❖ El contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto no registra mayor cambio con la inclusión de fibras de vidrio y virutas de torno. La mezcla de concreto con fibra de vidrio tipo E presenta el mayor porcentaje de contenido de aire atrapado con el 2,2% y la mezcla que registro menor porcentaje de aire atrapado es la mezcla de concreto con fibras de vidrio tipo AR en la dosificación menor (0,03%). Es decir, que la masa de concreto presenta buena homogeneidad, evitando que se formen vacíos de aire adicionales con lo cual se evita que se afecten las propiedades de resistencia en el concreto.
- ❖ La inclusión de virutas de torno y fibras de vidrio mejoran de forma efectiva el índice de grietas por contracción plástica, cabe resaltar que con el uso de fibras de vidrio se controló totalmente la aparición de grietas por contracción plástica, y con el uso de virutas de torno se logra disminuir sustancialmente el número, espesor y longitud de las grietas.
- ❖ La resistencia a compresión del concreto con diferentes contenidos fibras de vidrio Alkali-Resistente en comparación con el concreto sin fibras, a la edad de 28 días, el promedio de resistencia a compresión no sufre grandes cambios, inclusive a medida que se va incrementando el consumo de fibras la resistencia disminuye en promedio un 2,6% la resistencia a compresión, esto es un punto a favor del uso de estas fibras ya que no se ve afectada en gran medida la resistencia del concreto.
- ❖ Las mezclas de concreto con fibra de vidrio tipo E presentaron una reducción

en la resistencia a compresión a la edad de 28 días del 24,15% respecto a la resistencia del concreto sin fibras. Esto se debe a que las fibras de vidrio tipo E al momento de entrar en contacto con la matriz cementante presentan una degradación visible, se evidencio que dichas fibras se rompían con facilidad.

- ❖ Los especímenes de concreto con adición de virutas de torno en la dosis al 1% presentan un 32,09% de pérdida en la resistencia a compresión, esto se debe a que las virutas de torno presentan contenidos altos de impurezas, producto del proceso de torneado, en el que se agregan aceites especiales (taladrinas), que aceites inhiben el proceso de fraguado, induciendo a la matriz cementante a que se produzcan múltiples fracturas en el proceso de endurecimiento.
- ❖ En la mezcla de concreto con virutas de torno al 1,3%, se realizó un lavado con agua a las virutas de torno, estos cilindros presentaron un aumento promedio en la resistencia a compresión respecto al concreto con viruta de torno sin lavar del 12,18%; sin embargo, en este concreto se continuó afectado el proceso de fraguado, ya que la cantidad de grietas en la matriz del concreto disminuyó pero no en su totalidad, la resistencia promedio continuó estando por debajo de la resistencia a compresión del concreto sin fibras.
- ❖ Se presentó un aumento considerable en la resistencia a compresión de los cilindros de concreto con viruta de torno al 1,6%, al realizar un lavado más óptimo, utilizando mayor cantidad de agua en relación de 42lts/kg, además de gasolina en 0,3 litros/kg y desengrasante industrial al 0,03 litros/kg, estos especímenes no se presentaron grietas visibles, sin embargo, su resistencia continuó por debajo de la resistencia requerida de 21 Mpa, el promedio de resistencia fue de 18,63 Mpa, registra un aumento del 29,6% respecto a los resultados promedio de la mezcla en la cual no se implementó lavado de las virutas de torno (1,0%).
- ❖ En las resistencias a compresión del concreto con virutas de torno, influyen los siguientes factores: el módulo de elasticidad del acero es mayor al del concreto; la geometría, la forma y el tamaño de las virutas varían demasiado, ya que las de tipo rizadas y onduladas grandes no son muy eficientes entre la adherencia de viruta con el resto de matriz cementante, las virutas con mejor desempeño son las tipo largas y lisas.
- ❖ EL módulo de elasticidad del concreto adicionado de fibras de vidrio tipo AR presenta un aumento a medida que el contenido de fibras aumenta, también se presenta el mismo fenómeno en el concreto adicionado de virutas de torno, para el concreto hidráulico simple se obtuvo un módulo de elasticidad de 18858,1Mpa, el concreto que presento mayor módulo de elasticidad fue la mezcla CRF.7 con un consumo de 1,6% de virutas metálicas. Cabe

destacar que ninguna mezcla de CRF presenta valores de módulo de elasticidad inferiores al del concreto sin fibras. Los especímenes de concreto con virutas (CRF.7) presenta un módulo de elasticidad de 17,9% mayor que el concreto sin fibras; para el concreto con fibras de vidrio AR en la dosificación mayor presentó un incremento del 16,5% y el concreto con fibras de vidrio tipo E el módulo de elasticidad aumento un 5,9% en referencia al concreto sin fibras, entre mayor sea el módulo de elasticidad del concreto se mejoran algunas propiedades.

- ❖ La relación de Poisson de las ocho mezclas de concreto presenta muy poca variación, es una constante elástica, esta hace referencia al estrechamiento de las caras paralelas del concreto sometido a fuerzas normales y referencia la capacidad de soportar deformaciones transversales, en donde el concreto sin fibras presenta una relación de Poisson de 0,23 y el CRF de vidrio AR presentan un incremento del 4,3% la relación de Poisson respecto al concreto sin fibras, lo cual lo convierte en un material más deformable.
- ❖ El módulo de rotura se incrementa de forma proporcional al consumo de fibra en la mezcla, el concreto con fibras de vidrio tipo AR permite un incremento más importante que el que se alcanza con las virutas de torno. El mejor resultado de módulo de rotura se obtuvo con las fibras de vidrio AR en la dosificación del 0,11% en contenido de fibra, con un incremento del 48,5% respecto al módulo de rotura obtenido por el concreto sin fibras. En los concretos adicionados de virutas metálicas se presenta un aumento del módulo de rotura, en la mezcla CRF.7 se presenta un incremento de 12,4% comparado a la mezcla testigo.
- ❖ La resistencia a tensión diametral del concreto presenta incremento proporcionalmente al consumo de fibra, entre mayor consumo de fibras de vidrio AR mayor es la resistencia a tensión del concreto, con un incremento del 78,6% en la mezcla CRF.3 respecto a la resistencia a tensión del concreto sin fibras. Para porcentajes mayores de contenido de fibras en la mezcla, el desempeño del concreto con virutas de torno tiende a ser más eficiente. El concreto con fibras de vidrio tipo E presenta una reducción del 20,7% en la resistencia a tensión diametral respecto al concreto con fibras de vidrio tipo AR con igual dosificación de fibras.
- ❖ El uso de virutas de torno en la adición como refuerzo de concreto no es factible ambientalmente, debido a la cantidad de agua e ingredientes que son necesarios para poder descontaminar las virutas, por lo cual se estaría generando un mayor impacto ambiental del que se genera actual mente con este residuo.
- ❖ Las fibras de vidrio Álcali- Resistente como refuerzo del concreto son factibles, debido a sus propiedades, ya que mejoran considerablemente los

esfuerzos a flexo-tracción, además de modificar el tipo de falla del concreto sometido a esfuerzos de compresión, de falla frágil a una falla tipo dúctil, esto hace que el concreto tenga mayor capacidad de absorción de energía, es decir, presenta mayor deformación el concreto antes de la ruptura.

- ❖ Con una adecuada selección y recolección de las virutas de torno se lograría mejorar el desempeño del concreto adicionado de estas fibras, ya que las virutas presentan diferentes características de forma, tamaño y geometría, esto hace que su distribución no sea homogénea en la matriz del concreto.
- ❖ La longitud de las fibras de vidrio tiene influencia en la distribución de estas en la matriz del concreto, a mayor tamaño menor distribución en todos los sentidos y a menor tamaño mejor distribución en toda la matriz del concreto, pero reduce la longitud de anclaje entre fibra-matriz cementante.
- ❖ Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos efectuados permiten concluir que las fibras proporcionan incrementos importantes en la gran mayoría de las propiedades del concreto tanto en estado fresco, como en estado endurecido.
- ❖ Para poder conocer el desempeño de un tipo de fibra en específico en una mezcla de CRF, se debe realizar un estudio para determinar las propiedades en ambos estados del concreto y así verificar si cumple con los requerimientos específicos. Desde el punto de vista costo-beneficio el consumo de fibras de vidrio álcali-resistente obtuvo el mejor desempeño dentro de las dosificaciones estudiadas.

8 RECOMENDACIONES

- ❖ En los CRF se reduce abruptamente el asentamiento de la mezcla, haciendo que la trabajabilidad se vea afectada, por consiguiente se recomienda usar plastificantes para aumentar el asentamiento y mejorar la trabajabilidad de la mezcla.
- ❖ Se debe realizar una limpieza de las virutas de torno para no obtener pérdidas en la resistencia a compresión.
- ❖ Se recomienda en los estudios complementarios a esta investigación que se lleguen a realizar se utilicen agregados procedentes de la zona de estudio.
- ❖ Para poder conocer el desempeño de un tipo de fibra en específico en una mezcla de CRF, se debe realizar un estudio para determinar las propiedades en ambos estados del concreto y así verificar si cumple con los requerimientos específicos.
- ❖ Además se recomienda realizar ensayos para determinar las propiedades químicas del concreto reforzado con fibras, para determinar su desempeño a largo plazo.
- ❖ De los resultados obtenidos en la presente investigación y para lograr determinar más detalladamente las propiedades del CRF se recomiendan realizar los siguientes ensayos del concreto en estado endurecido: resistencia a cortante, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, permeabilidad del agua, tenacidad, contracción por secado, flujo plástico (CREEP), los cuales no se desarrollaron en este estudio debido a la falta de implementos y equipos necesarios.

9 GLOSARIO

Absorción: Proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra, incorporándose al volumen de la segunda fase.

Agregados: También llamados áridos. Son aquellos materiales de composición mineral, generalmente inertes, de forma granular, naturales o artificiales.

Agregado fino: Tipo de agregado del concreto, comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada. Material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 micras (0.074 mm).

Agregado grueso: Tipo de agregado del concreto, comúnmente consisten en grava o agregado triturado. Material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm.

Álcalis: Reciben el nombre de álcalis los óxidos de sodio (Na_2O) y los de potasio (K_2O) que se encuentran presentes en las margas y en las arcillas; también pueden ser aportados por las cenizas del carbón, si este se emplea como combustible para la combustión.

Arena: Materia constituida por pequeños granos de mineral desprendidos de las rocas y acumulados en playas, márgenes de ríos o formando capa sobre un terreno.
Asentamiento: Colocación o establecimiento de una cosa en un lugar de manera que quede firme.

Cemento Portland: Producto obtenido al pulverizar finamente el Clinker con adición de yeso.

Clinker: Sustancia resultante de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.

Compresión: Proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen. Se conoce como esfuerzo de compresión al resultado de estas tensiones o presiones.

Concreto: El concreto hidráulico simple es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente (roca artificial).

Concreto hidráulico simple: El concreto hidráulico simple es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos y agua, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.

Concreto reforzado: El concreto reforzado es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y diversos materiales de refuerzo, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.

Contracción plástica: Es el cambio volumétrico que se presenta en las superficies horizontales mientras el concreto está en estado fresco y por lo general generan grietas que aparecen brevemente después de que el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto; la principal causa de la aparición de estas grietas, es la evaporación extremadamente rápida del agua de la superficie del concreto.

Corrosión: Destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente o el micro ambiente donde se encuentra trabajando u operando el material.

CRF: Concreto Reforzado con Fibras. Es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y fibras de diversos materiales, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.

Curado: Proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y calor.

Deflexión: Deformación que registra un elemento a partir de la aplicación de una fuerza.

Deformación: Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

Desviación estándar (σ): Medida de dispersión de variables o datos, con respecto al valor promedio, es decir, la desviación estándar es la variación esperada con respecto a la media aritmética.

Diseño de mezcla: Es el proporcionamiento de los componentes de la mezcla de concreto, con el fin de encontrar la dosificación más económica de cemento, agregado grueso, arena y agua, para producir un material con la resistencia, manejabilidad, impermeabilidad y durabilidad requeridos por el diseño de la estructura y por el método constructivo a utilizar.

Dosificación: Graduar la cantidad o proporción de algo.

Ductilidad: Propiedad de un material que, bajo la acción de una fuerza, puede deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse. A los materiales que presentan esta propiedad, se les denomina dúctiles.

Durabilidad: Que puede durar una gran cantidad de tiempo. Un concreto durable es aquel que resiste la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

Esfuerzo: Fuerza que actúa sobre un cuerpo para deformarlo.

Espécimen: Muestra o ejemplar de una cosa.

Exudación: Se conoce también como sangrado y consiste en que parte del agua de mezclado tiende a subirse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

f'_c : Resistencia o esfuerzo máximo de compresión en el concreto, medido en carga por unidad de área.

f'_{cr} : Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto, empleada como base para la dosificación del concreto.

Falla: Fracturación de un elemento al momento de sobrepasar su resistencia máxima.

Fatiga: Disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos.

Fibra: Filamentos delgados de diversa naturaleza, ya sea de origen sintético, mineral u orgánico, utilizada en distintas aplicaciones industriales.

Fibra de Vidrio: Fibra mineral construida principalmente con insumos como: sílice, cal, alúmina y magnesita; y de diferentes óxidos dependiendo del tipo de vidrio.

Fibra de Vidrio AR: Fibra de vidrio álcali-resistente, posee un alto contenido de óxido de zirconio (ZrO_2) >15%, lo que hace que tenga muy buenas propiedades de resistencia a los compuestos alcalinos.

Fibra de Vidrio E: Fibra de vidrio polivalente, que se caracteriza por sus propiedades dieléctricas, no es resistente a los compuestos alcalinos.

Fisura: Grieta que se produce en un objeto.

Flexibilidad: Capacidad de un cuerpo de doblarse fácil y ampliamente, sin que exista peligro de que se rompa.

Fragilidad: Capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación. A los materiales que presentan esta propiedad, se les denomina frágiles.

Fraguado: Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto.

Fundir: Vertido del concreto en estado fresco en un molde para darle una forma deseada.

Granulometría: Es la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados, que se determina por análisis de tamices, que van desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección.

Grava: Material que se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. Su tamaño oscila entre 7.6 cm y 4.76 mm.

Hidráulico: Que funciona con ayuda del agua u otro fluido.

Material compuesto: Material que se forma por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

Matriz: Material intersticial, que rodea a otras partículas.

Módulo de elasticidad: Es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.

Módulo de finura: Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en una serie de tamices empleados al efectuar un análisis granulométrico.

Módulo de rotura: Es la medida del esfuerzo en la fibra extrema que se desarrolla al someter un elemento a la flexión.

Mortero: El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.

Patología estructural: Presencia o evidencia de fallas o comportamiento irregular de elementos una edificación, con las cuales, no se puede garantizar la seguridad de la misma.

Peso específico: Es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen.

Peso volumétrico: También llamado peso unitario, es la relación entre el peso de un material compuesto de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas

agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido.

Porcentaje volumétrico: Porcentaje de un material en determinado volumen.

Propiedades físicas: Son aquellas propiedades que se pueden medir u observar sin alterar la composición de la sustancia.

Propiedades mecánicas: Son aquellas propiedades de los materiales que están relacionadas con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre ellos.

Relación agua/cemento: Relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla de concreto y el peso del cemento. Es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del hormigón, pues influye grandemente en la resistencia final del mismo.

Relación de Poisson: Es una constante elástica, definida como la relación entre la deformación unitaria transversal y la longitudinal de un material.

Resistencia: Es la capacidad de un sólido para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, deformarse o dañarse.

Rigidez: Es una medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.

Segregación: La segregación del concreto es la separación de sus componentes una vez mezclado, provocando que la mezcla de concreto fresco presente una distribución no uniforme de sus partículas.

Taladrinas: La taladrina o aceite de corte es un producto compuesto por agua y aceites que se utiliza como lubricante y refrigerante en la industria del mecanizado mecánico, en operaciones de mecanizado por arranque de viruta.

Tenacidad: Es la capacidad de un material de absorber o acumular energía antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto.

Tensión indirecta: La tensión indirecta o compresión diametral, es el esfuerzo de compresión aplicado a un elemento en su plano longitudinal, provocando así que falle a tracción.

Tracción: Esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

Torno: Conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar, roscar, cortar, trapeciar, agujerear, cilindrar, desbastar y ranurar piezas de forma

geométrica por revolución.

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

Viruta de Torno: La viruta de torno es el material residual generado en la industria metalmecánica por el proceso de torneado del acero, es decir, el moldeo para la elaboración de piezas aceradas.

10 REFERENCIAS

- ACI211.1. (2009). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- ACI-544. (1996). *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete (ACI 544)*. American Concrete Institute.
- Águila, V. (2010). *Características Físicas y Mecánicas de Hormigones Reforzados con Fibras de: Vidrio, Carbono y Aramida*. Madrid.
- Bravo, J. P. (2003). *Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado*. Santiago.
- Cando, L. F. (2016). *Análisis de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Hormigón elaborado con Fibras de Acero Reciclado*. Quito.
- Carrillo, J., Aperador, W., & González, G. (2013). *Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero (Vol. Volumen XIV)*. Bogotá.
- Comino, P. I., Romero, J. C., & Vetrotex. (1996). *El GRC Material Compuesto de Matriz Cementicia reforzado con Fibra de Vidrio AR*.
- Cortes, E. A., & Perilla, J. E. (2014). *Estudio comparativo de las características físico-químicas de cuatro cementos comerciales Portland tipo I*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Flores, M. O., Jacome, G. A., Macías, W. M., & Martínez, C. V. (2015). *Diagnóstico e Implementación del Laboratorio de Química en el Tópico de Fenómenos Físicoquímicos para la Formación Científica en el Mejoramiento del Desempeño Profesional de los Estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí*. Portoviejo.
- Gacén, J. (2000). *Nuevos Desarrollos en Fibras Químicas*. España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- González, L. (2010). *Generalidades sobre las fibras artificiales*.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la construcción*.
- Johnston, C. (2000). *Fiber-Reinforced Cements and Concretes (Vol. 3)*. Calgary: Gordon and Breach Science Publishers.

- Juárez, C., Rodríguez, P., Rivera, R., & Rechy de Von Roth, M. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto*.
- Kastillo, Y. (2003). *Comportamiento del Grado de Degradación del Colorante Indigo en Denim 100 por Ciento Algodón Debido a un Lavado Industrial Enzimático Utilizando Variables Colorimétricas*. Ciudad de Guatemala.
- López Cruz, J. A. (2014). *Propiedades Mecánicas del Concreto Modificado a Base de Fibras de Nylon y Polipropileno Para su Uso en Elementos Estructurales*. Ciudad de Guatemala.
- López, J. (2015). *Análisis de las Propiedades del Concreto Reforzado con Fibras Cortas de Acero y Macrofibras de Polipropileno: Influencia del Tipo y Consumo de Fibra Adicionado*. Ciudad de México.
- Morales, S. (2008). *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones*.
- Muñoz, C. J. (2007). *Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio*. Valdivia.
- NTC 1032. (1994). *Método de Ensayo para la Determinación del Contenido de Aire en el Concreto Fresco. Método de Presión*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 174. (2000). *Especificaciones de los Agregados para Concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 176. (1995). *Método de Ensayo para determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 2871. (2004). *Método de Ensayo para Determinar la Resistencia del Concreto a la Flexión*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 30. (1966). *Cemento pórtland*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 3459. (2001). *Agua para la Elaboración de Concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas .
- NTC 396. (1992). *Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 673. (2010). *Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

- NTC 722. (2000). *Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tensión Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- NTC 92. (1995). *Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- Olivares, M., Galán, C., & Roa, J. (2003). *Los composites: Características y aplicaciones en la edificación*.
- Portland Cement Association . (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*.
- Riveros Jerez, C. (2016). *Estructuras de Hormigón*. Medellín: Universidad De Antioquia.
- Sánchez de Guzmán, D. (2010). *Tecnología del Concreto* (3 ed.). Bogotá.
- Sánchez, A. (1978). Los Hormigones Reforzados con Fibras. *Revista de Obras Públicas*.
- Trujillo Rodríguez, R. (2011). *Uso de agregado ligero como medio de curado interno en concretos de alto comportamiento fabricado con puzolanas*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (Parte 1). *Revista Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de Revista CyT.
- Villamudria, S. (2014). *Modificación de las Propiedades del Hormigón al ser reforzado con Fibra de Vidrio AR*. Oviedo, España.
- Villanueva, E., & Yaranga, H. (2015). *"Estudio De La Influencia De Fibras De Polipropileno Provenientes De Plasticos Reciclados En Concretos De $F'_{C}=210 \text{ Kg/Cm}^2$ En El Distrito De Lircay, Provincia De Angaraes, Region Huancavelica"*. Lircay, Perú.

11 WEBGRAFÍA

American Concrete Institute. (2008). *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber Reinforcing Concrete (ACI 544.3R)*. Recuperado el 09 de mayo de 2017, de: http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/5443r_93.pdf

Argos S.A. (2013). *Cemento gris de uso general*. Recuperado el 16 de mayo de 2017, de: <https://www.argos.co/Media/Panama/images/01%20CEMENTO%20USO%20GENERAL.pdf>

Argos. (s.f.). *Cemento gris de uso general*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de: <https://www.argos.co/Media/Colombia/images/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Cemento%20Gris%20de%20Uso%20General.pdf>

Asociación de Productores Colombianos de Concreto. (2007). *Explorando el Concreto Reforzado con Fibras (CRF)*. Noticreto (84). Recuperado el 23 de febrero de 2017, de: <http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/materia.htm>

Construsol S.A.S. (s.f.). *Fibras para Concreto*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <http://www.construsolmedellin.com/fibras-para-concreto.html>

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ETITC). (s.f.). *Proceso de Torneo*. Recuperado el 06 de Junio de 2017, de: <https://sites.google.com/site/procesosdemanufacturaetitic/tipos-de-procesos/proceso-de-torneado>

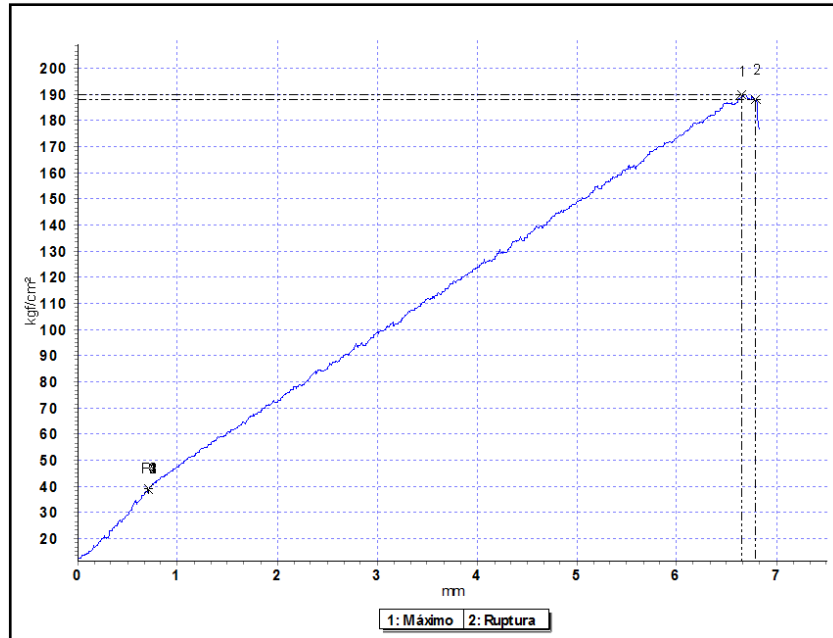
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCyC). (Febrero de 2007). *Concreto Reforzado con Fibras*. Recuperado el 30 de Mayo de 2017, de: <http://www.grupohym.com/wp-content/uploads/2016/03/Concreto-reforzado-con-fibras.pdf>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCyC). (2007). *Explorando el Concreto Reforzado con Fibras (CRF)*. Recuperado el 23 de febrero de 2017, de <http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/materia.htm>

SIKA Colombia. (02 de mayo de 2016). *Concreto Reforzado con Fibras*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de: <http://col.sika.com/es/produccion-de-concreto/sika-concrete-technology/noticias/concreto-reforzado-con-fibras.html>

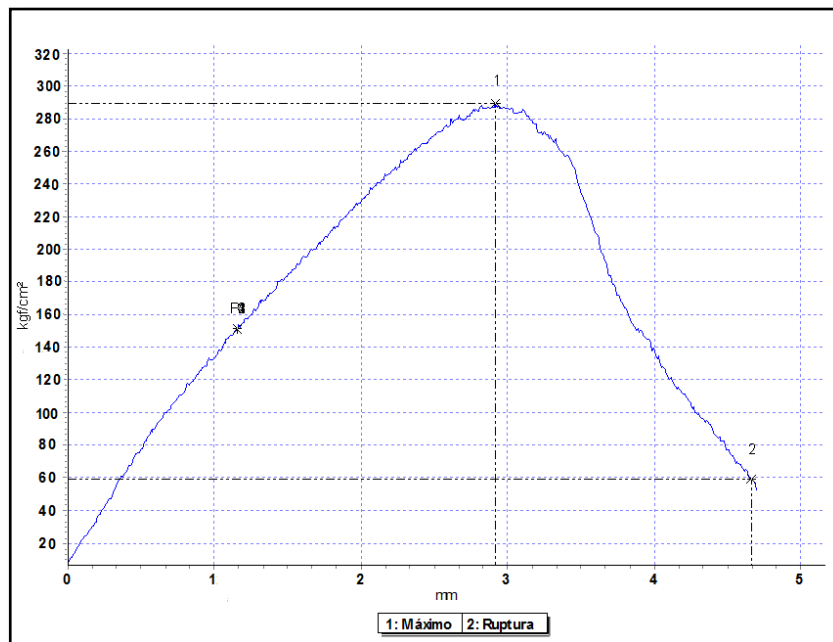
12 ANEXOS

ANEXO: 1 Curva esfuerzo deformación de concreto sin fibras.



Fuente: Autores.

ANEXO: 2 Curva esfuerzo deformación de concreto con fibras de vidrio AR.



Fuente: Autores.

ANEXO: 3 Incorporación fibras de vidrio AR a la mezcla de concreto



Fuente: Autores.

ANEXO: 4 Fibras de vidrio tipo AR.



Fuente: Autores.

ANEXO: 5 Prueba de cono de Abrams.



Fuente: Autores.

ANEXO: 6 Prueba de asentamiento fibra de vidrio AR



Fuente: Autores.

ANEXO: 7 Cilindro de concreto con viruta de torno al 1% (sin lavar).



Fuente: Autores.

ANEXO: 8 Fisuración en viga foto izquierda, la foto derecha fisuración anillo de contracción plástica (viruta sin lavar).



Fuente: Autores.

ANEXO: 9 Cilindro de concreto con viruta de torno al 1,3% (lavado con agua).



Fuente: Autores.

ANEXO: 10 Cilindros de concreto con fibras de vidrio AR 0,05% recién desencoformados.



Fuente: Autores.

ANEXO: 11 Especímenes de concreto con fibra de vidrio AR recién desencofrados.



Fuente: Autores.

ANEXO: 12 Piscinas de curado de especímenes de concreto.



Fuente: Autores.

ANEXO: 13 Falla de viga de concreto con fibras de vidrio AR en dosificación al 0,03%



Fuente: Autores.

ANEXO: 14 Ensayo de flexión viga de concreto con fibras AR.



Fuente: Autores.

ANEXO: 15 Ensayo de flexión de vigas de concreto con fibras de vidrio AR



Fuente: Autores.

ANEXO: 16 Viga de concreto con fibras de vidrio AR después del fallo (distribución de las fibras en la matriz de concreto).



Fuente: Autores.

ANEXO: 17 Cilindro de concreto con fibras de vidrio E (falla dúctil).



Fuente: Autores.

ANEXO: 18 Cilindro de fibra de vidrio AR (fallado hasta ruptura).



Fuente: Autores.

ANEXO: 19 Cilindro de concreto sin fibras “falla frágil” (antes y después de falla).



Fuente: Autores.

ANEXO: 20 Espécimen de concreto sin fibras (falla frágil)



Fuente: Autores.

ANEXO: 21 Falla de cilindro de concreto adicionado con fibra de vidrio AR a tensión indirecta.



Fuente: Autores.

ANEXO: 22 Espécimen de concreto con viruta de torno fallado a tensión indirecta.



Fuente: Autores.

ANEXO: 23 Espécimen de concreto adicionado de fibras de vidrio tipo E fallado a tensión indirecta.



Fuente: Autores.

ANEXO: 24 Falla de espécimen de concreto con fibras de vidrio tipo AR.



Fuente: Autores.

ANEXO: 25 Ensayo de tensión indirecta de especímenes de concreto sin fibras.



Fuente: Autores.

ANEXO: 26 Lavado de virutas de torno.



Fuente: Autores.

ANEXO: 27 Residuos de contaminantes que sobresalen sobre el agua de las piscinas de curado de especímenes.



Fuente: Autores.

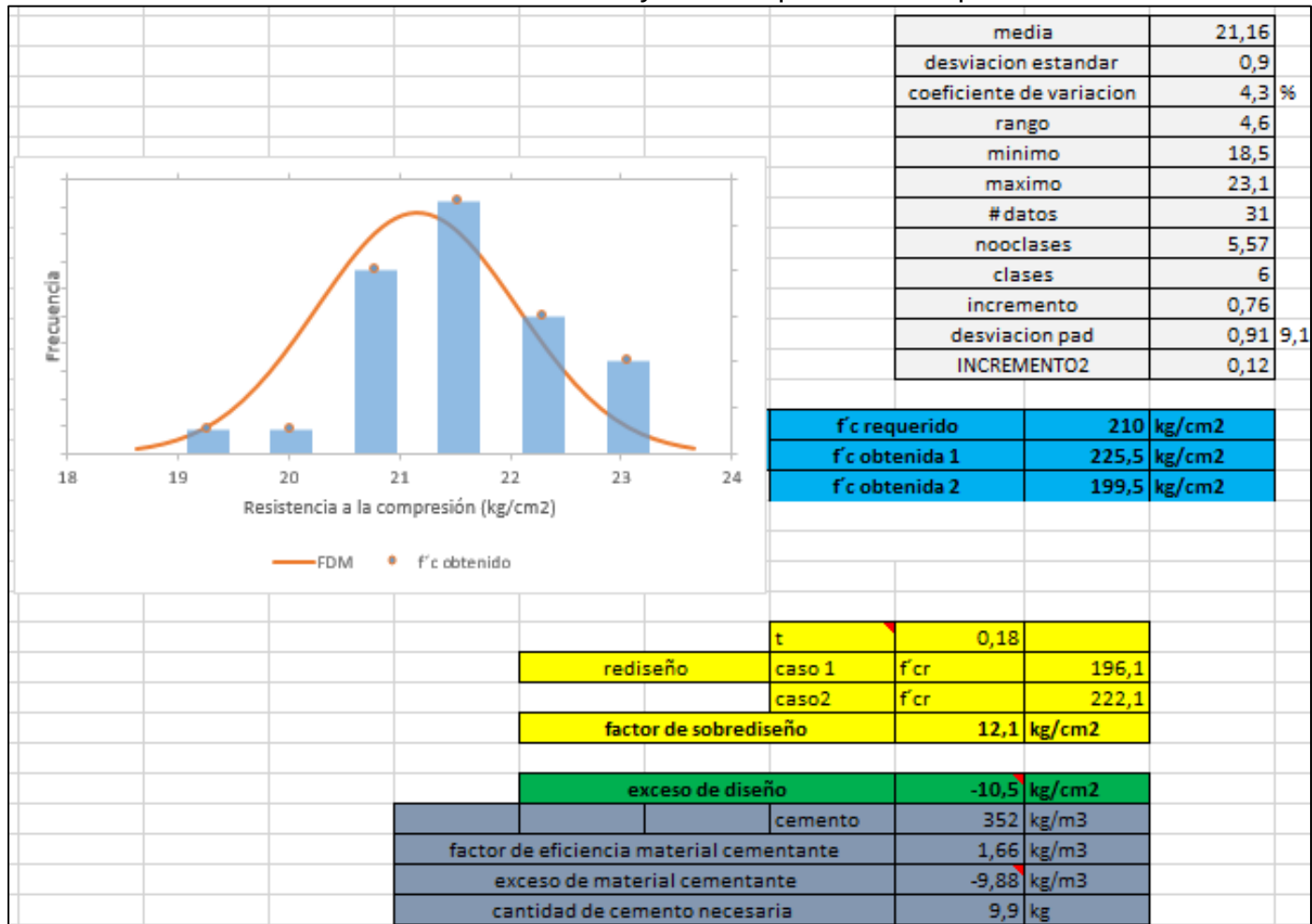
TABLAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE ESPECIMENES DE CONCRETO

ANEXO: 28 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto sin fibras.

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diámetro superior (CM)		Diámetro inferior (CM)		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la maquina	Esfuerzo maximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo maximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
concreto simple (sin fibras)	II S2	21/03/2017	18/04/2017	28	15,35	15,38	15,45	15,35	15,38	30,2	30,25	30,23	185,8	12,8	2285,2	6,4	38727	211,6	21,2	208,39
	S1	21/03/2017	18/04/2017	28	15,34	15,38	15,39	15,37	15,37	30,15	30,1	30,13	185,5	12,8	2281,1	4,2	38066	213,1	21,3	205,16
	S6	21/03/2017	18/04/2017	28	15,27	15,39	15,34	15,36	15,34	30,2	30,22	30,21	184,8	12,7	2281,1	23,7	32707	185,1	18,5	176,97
	S7	21/03/2017	18/04/2017	28	15,25	15,2	15,17	15,28	15,23	30,15	30,2	30,18	182,1	12,5	2280,9	9,2	39564	221,8	22,2	217,32
	S8	21/03/2017	18/04/2017	28	15,32	15,22	15,31	15,36	15,30	30,4	30,4	30,40	183,9	12,7	2279,0	8,4	38273	213,1	21,3	208,10
	S9	21/03/2017	18/04/2017	28	15,27	15,39	15,37	15,39	15,36	30,2	30,3	30,25	185,2	12,7	2269,3	14,3	35481	199,6	20,0	191,60
	S13	21/03/2017	18/04/2017	28	15,32	15,43	15,36	15,35	15,37	30,15	30,1	30,13	185,4	12,8	2285,5	1,3	38907	215,4	21,5	209,83
	S14	21/03/2017	18/04/2017	28	15,31	15,36	15,37	15,34	15,35	30,4	30,5	30,45	184,9	12,8	2268,4	7,5	39062	219,1	21,9	211,22
	S10	21/03/2017	18/04/2017	28	15,42	15,41	15,4	15,41	15,41	30,3	30,3	30,30	186,5	12,8	2270,0	8,2	40862	223,2	22,3	219,09
	S4	21/03/2017	18/04/2017	28	15,41	15,36	15,21	15,33	15,33	29,65	29,7	29,68	184,5	12,5	2281,8	4,6	38589	215,6	21,6	209,14
	S11	21/03/2017	18/04/2017	28	15,36	15,44	15,38	15,39	15,39	29,95	29,95	29,95	186,1	12,6	2265,8	31,9	35759	202,3	20,2	192,17
	S2	21/03/2017	18/04/2017	28	15,28	15,23	15,27	15,16	15,24	29,4	29,35	29,38	182,3	12,2	2286,5	7,1	40984	230,6	23,1	224,82
	S12	21/03/2017	18/04/2017	28	15,41	15,29	15,33	15,31	15,34	30,5	30,3	30,40	184,7	12,7	2266,9	5,9	36470	204,9	20,5	197,46
	S37	21/03/2017	18/04/2017	28	15,25	15,24	15,3	15,32	15,28	30,1	30,2	30,15	183,3	12,8	2311,2	1,6	35966	203,3	20,3	196,20
	S33	21/03/2017	18/04/2017	28	15,21	15,19	15,27	15,19	15,22	30,4	30,4	30,40	181,8	12,8	2316,9	5,7	39943	228,4	22,8	219,69
	S-15	21/03/2017	18/04/2017	28	15,35	15,34	15,44	15,41	15,39	29,8	29,8	29,80	185,9	12,8	2306,5	7,5	36718	212,8	21,3	197,51
	S22	21/03/2017	18/04/2017	28	15,22	15,17	15,16	15,24	15,20	29,9	29,8	29,85	181,4	12,7	2343,2	28,3	36883	208,6	20,9	203,33
	S26	21/03/2017	18/04/2017	28	15,18	15,19	15,21	15,22	15,20	30,1	30,11	30,11	181,5	12,3	2259,3	2,1	35928	201,5	20,2	198,00
	S-0.4	21/03/2017	18/04/2017	28	15,37	15,35	15,31	15,36	15,35	30,4	30,3	30,35	185,0	12,9	2294,0	0,3	35983	200,9	20,1	194,51
	S-14	21/03/2017	18/04/2017	28	15,25	15,53	15,35	15,26	15,35	30,5	30,6	30,55	185,0	12,8	2256,3	4,1	37858	211,3	21,1	204,64
	S38	21/03/2017	18/04/2017	28	15,27	15,19	15,34	15,23	15,26	30,1	30,29	30,20	182,8	11,8	2129,5	2,2	36793	208,9	20,9	201,24
	S21	21/03/2017	18/04/2017	28	15,19	15,23	15,26	15,18	15,22	30,2	30,1	30,15	181,8	12,7	2325,5	6,6	36778	207,2	20,7	202,28
	S-0.2	21/03/2017	18/04/2017	28	15,37	15,34	15,35	15,33	15,35	30,2	30,2	30,20	185,0	11,9	2122,5	21	37803	212,8	21,3	204,34
	S-0.3	21/03/2017	18/04/2017	28	15,32	15,33	15,3	15,33	15,32	30,25	30	30,13	184,3	12,8	2301,8	4,1	38683	211,5	21,2	209,85
	S25	21/03/2017	18/04/2017	28	15,19	15,19	15,16	15,2	15,19	30,36	30,24	30,30	181,1	12,8	2329,0	0,4	35978	206,4	20,6	198,66
	S34	21/03/2017	18/04/2017	28	15,37	15,26	15,3	15,22	15,29	30,15	30,1	30,13	183,6	12,8	2312,7	0,3	37007	216,5	21,7	201,61
	S39	21/03/2017	18/04/2017	28	15,27	15,32	15,28	15,26	15,28	30,25	30,2	30,23	183,4	12,8	2310,5	8,1	36516	210,2	21,0	199,07
	S-23	21/03/2017	18/04/2017	28	15,33	15,3	15,26	15,34	15,31	30,1	30,05	30,08	184,0	12,7	2298,2	1,8	38689	216,9	21,7	210,23
	S-12	21/03/2017	18/04/2017	28	15,34	15,36	15,32	15,28	15,33	30,24	30,35	30,30	184,5	12,7	2274,1	0,9	40128	223,5	22,4	217,55
	S-19	21/03/2017	18/04/2017	28	15,39	15,49	15,46	15,44	15,45	30,35	30,3	30,33	187,4	13,0	2281,1	2,2	36252	207,4	20,7	193,49
	S27	21/03/2017	18/04/2017	28	15,29	15,27	15,28	15,22	15,27	30,39	30,29	30,34	183,0	12,8	2297,3	0,9	37957	216,5	21,7	207,40

Fuente: Autores.

ANEXO: 29 Análisis estadístico de resultados del ensayo de compresión de especímenes de concreto sin fibras.



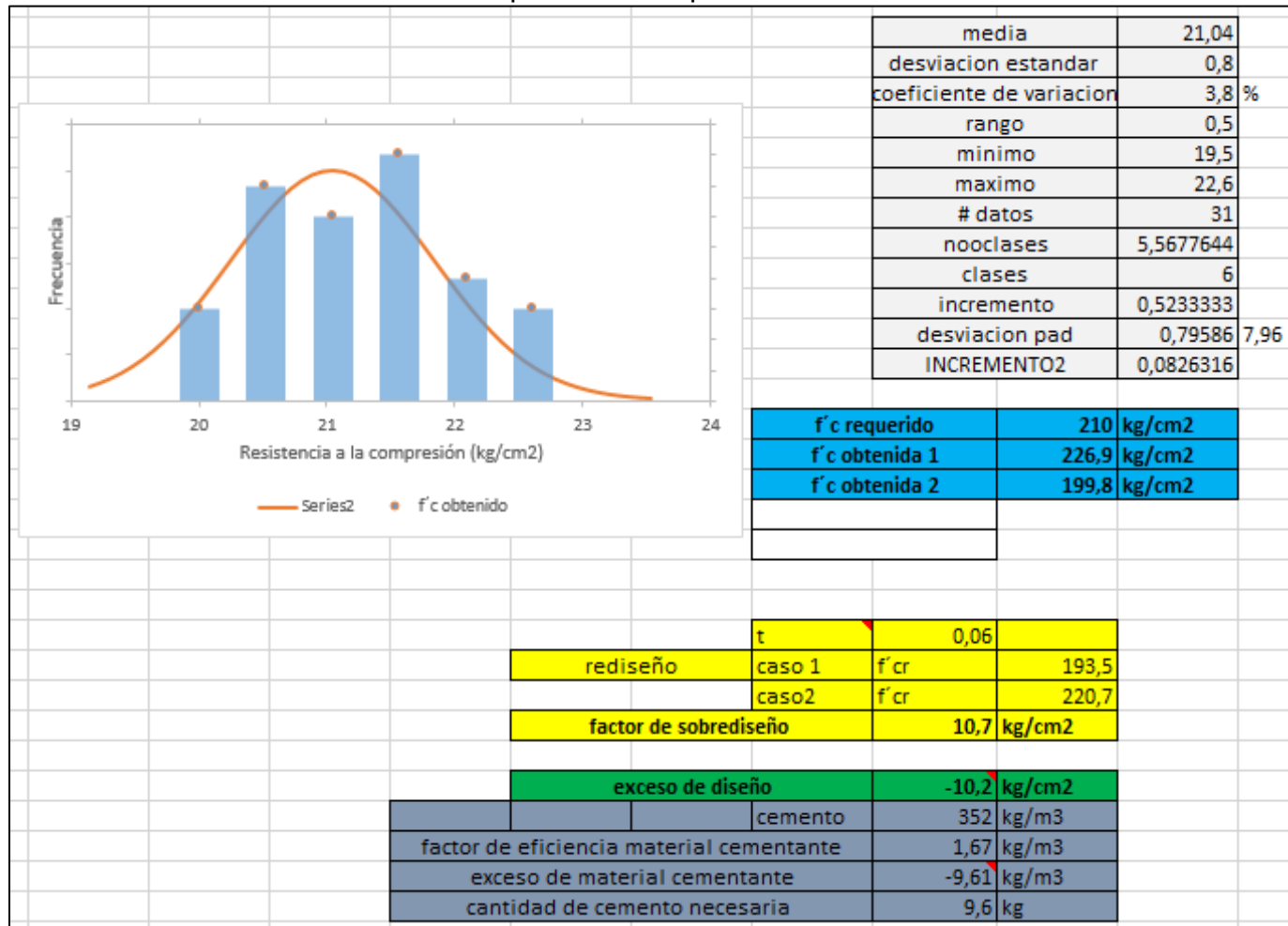
Fuente: Autores.

ANEXO: 30 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto adicionado con fibras de vidrio tipo AR al 0,03%.

Mezcla	# Cilindro	Fecha molde (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diámetro superior (CM)		Diámetro inferior (CM)		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Área del cilindro (cm ²)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m ³)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm ²)	Carga aplicada por la máquina	Esfuerzo máximo cilindro (kgf/cm ²)	Esfuerzo máximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm ²)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO AR	AR 12	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,2	15,3	15,3	15,3	30,2	30,1	30,2	182,7	12,6	2287,3	2,8	37873,0	210,2	21,0	207,3
	AR 11	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,4	15,3	15,3	15,3	30,2	30,2	30,2	183,3	12,6	2277,1	1,8	36653,0	201,5	20,1	200,0
	AR 20	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,2	15,3	15,1	15,2	30,3	30,3	30,3	181,2	12,6	2295,1	0,5	34867,0	198,9	19,9	192,5
	AR 14	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,2	15,2	15,2	15,2	30,3	30,3	30,3	182,2	12,6	2288,2	0,5	35966,0	205,1	20,5	197,4
	AR 19	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	30,5	30,5	30,5	181,6	12,7	2284,5	0,2	36336,0	206,9	20,7	200,1
	AR 17	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	30,3	30,4	30,4	181,5	12,6	2289,0	1,9	39937,0	224,9	22,5	220,1
	AR 18	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	30,5	30,4	30,5	181,4	12,6	2282,6	0,8	35758,0	203,6	20,4	197,1
	AR 13	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	30,1	30,2	30,2	181,3	12,6	2299,5	1,0	38954,0	218,1	21,8	214,8
	AR 15	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,3	15,2	15,2	30,0	30,1	30,1	181,9	12,6	2297,3	1,7	37561,0	208,3	20,8	206,5
	AR 21	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	30,4	30,4	30,4	181,6	12,6	2289,5	1,5	36812,0	206,2	20,6	202,7
	AR 16	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,3	15,2	15,3	15,3	30,3	30,3	30,3	183,0	12,7	2289,1	1,4	38265,0	210,9	21,1	209,1
	AR 5	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,4	15,3	15,3	15,3	30,3	30,3	30,3	184,4	12,2	2175,3	7,7	35851,0	194,8	19,5	194,4
	AR 3	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,4	15,3	15,4	15,4	15,4	30,6	30,6	30,6	185,4	12,3	2163,3	25,8	39637,0	215,7	21,6	213,8
	AR 10	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,4	15,3	15,3	15,3	15,3	30,5	30,5	30,5	184,3	12,3	2186,7	0,5	38453,0	209,7	21,0	208,6
	AR 6	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	30,4	30,3	30,4	181,6	11,9	2165,5	0,4	37916,0	211,2	21,1	208,7
	AR 10	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,4	15,5	15,5	15,5	15,5	30,4	30,4	30,4	188,4	12,5	2174,3	30,9	41517,0	226,2	22,6	220,3
	AR 7	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,3	15,4	15,3	15,3	30,5	30,4	30,5	184,6	12,2	2168,6	16,0	36094,0	197,7	19,8	195,5
	AR 8	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,4	15,4	15,4	15,4	30,5	30,3	30,4	185,1	12,2	2164,7	14,7	37809,0	205,2	20,5	204,3
	AR 2	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,3	15,2	15,3	15,2	30,4	30,4	30,4	181,8	12,0	2172,1	13,4	37145,0	206,6	20,7	204,4
	AR 4	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,4	15,3	15,5	15,3	15,4	30,5	30,4	30,5	186,0	12,3	2169,3	12,7	39876,0	219,5	22,0	214,4
	AR 9	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,4	15,3	15,5	15,4	30,5	30,5	30,5	185,5	12,3	2182,7	16,1	37031,0	204,8	20,5	199,6
	AR 22	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,2	15,2	15,3	15,2	30,7	30,7	30,7	182,2	12,6	2254,3	21,1	41096,0	225,8	22,6	225,5
	AR 30	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,2	30,4	30,6	30,5	180,9	12,7	2311,0	17,0	37655,0	212,5	21,3	208,2
	AR 31	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,2	15,1	15,2	15,2	15,2	30,4	30,4	30,4	180,9	12,8	2336,0	17,5	36119,7	203,9	20,4	199,6
	AR 28	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	30,5	30,5	30,5	183,6	12,6	2252,1	23,3	36830,0	203,3	20,3	200,6
	AR 23	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,3	15,2	15,2	15,2	30,5	30,5	30,5	182,2	12,7	2292,9	1,4	38678,0	215,6	21,6	212,2
	AR 29	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,2	15,3	15,2	15,3	30,7	30,4	30,6	182,9	12,7	2276,9	5,4	38812,0	215,7	21,6	212,2
	AR 27	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,1	15,3	15,3	15,4	15,3	30,4	30,6	30,5	183,2	12,7	2277,0	37,9	39230,0	216,8	21,7	214,1
	AR 24	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,4	15,3	15,3	15,3	15,3	30,6	30,6	30,6	184,4	12,7	2252,6	16,8	38767,0	210,9	21,1	210,2
	AR 26	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,4	15,4	15,3	15,3	30,5	30,5	30,5	184,6	12,7	2263,1	40,9	39343,0	213,3	21,3	213,2
	AR 25	24/03/2017	21/04/2017	28,0	15,3	15,3	15,3	15,2	15,3	30,4	30,3	30,3	183,0	12,8	2297,3	0,9	40157,0	220,2	22,0	219,4

Fuente: Autores.

ANEXO: 31 Análisis estadístico resultados a compresión de especímenes de concreto con fibras de vidrio AR al 0,03%.



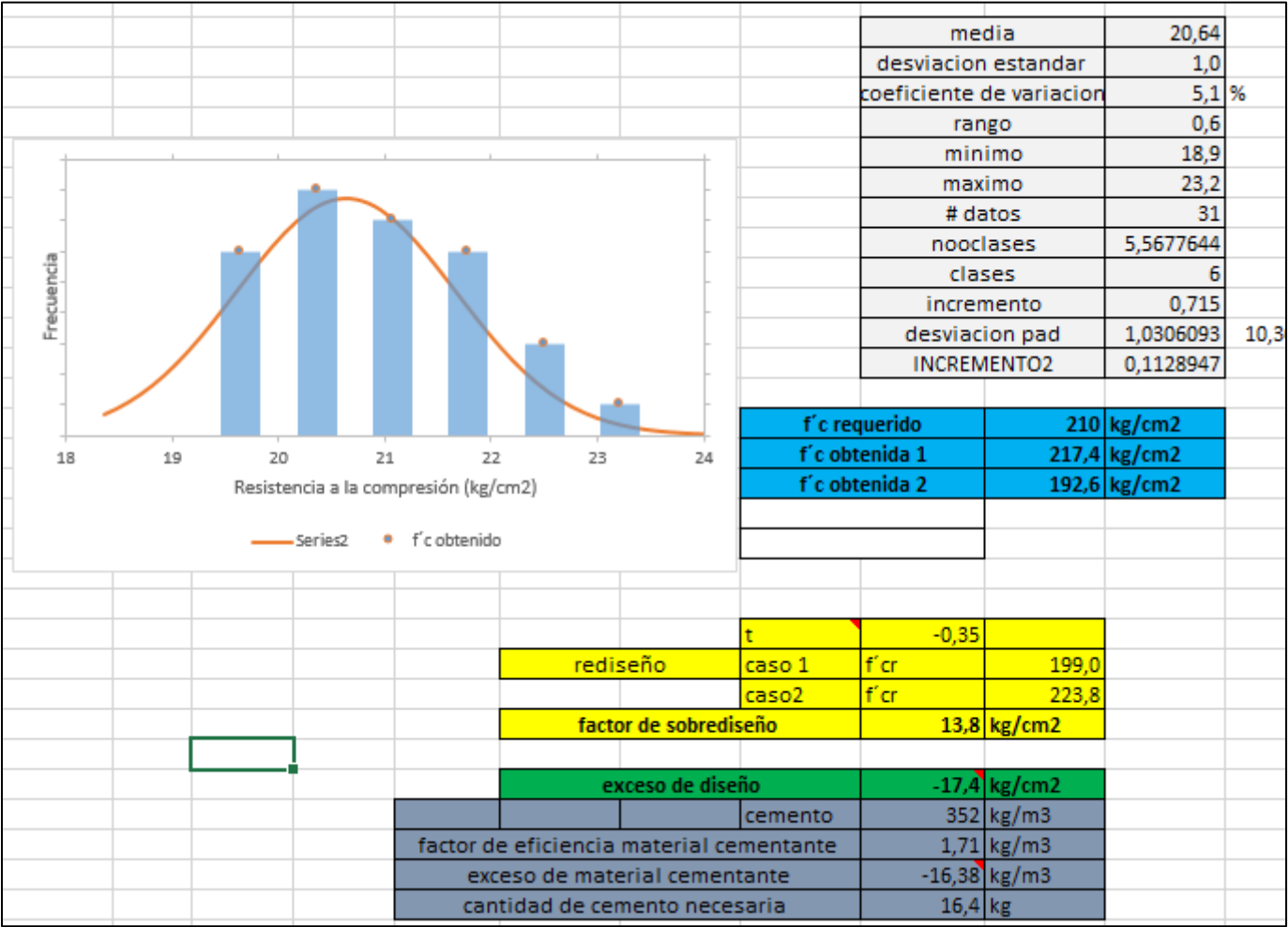
Fuente: Autores.

ANEXO: 32 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto con fibra de vidrio tipo AR al 0,05%.

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diametro superior		Diametro inferior (CM)		Diametro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la maquina	Esfuerzo maximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo maximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO TIPO AR	V.I. -38	30/03/2017	27/04/2017	28	15,2	15,3	15,1	15,31	15,23	30,3	30,4	30,35	182,12	12,6220	2283,6123	7	38707	216,3	21,6	212,54
	V.I. -31	30/03/2017	27/04/2017	28	15,1	15,35	15,4	15,3	15,29	30,3	30,3	30,30	183,55	12,7160	2286,3624	12,3	37465	209,8	21,0	204,11
	V.I. -44	30/03/2017	27/04/2017	28	15,2	15,3	15,32	15,32	15,29	30,2	30,1	30,15	183,49	12,7420	2303,1887	4,8	41933	232,2	23,2	228,53
	V.I. -25	30/03/2017	27/04/2017	28	15,15	15,19	15,18	15,11	15,16	30,3	30,2	30,25	180,45	12,7460	2335,0893	24,3	35271	196,3	19,6	195,47
	V.I. -22	30/03/2017	27/04/2017	28	15,31	15,21	15,22	15,21	15,24	30,1	30,1	30,10	182,35	12,6420	2303,2017	0,9	38172	212,4	21,2	209,33
	V.I. -32	30/03/2017	27/04/2017	28	15,24	15,4	15,41	15,36	15,35	30,3	30,4	30,35	185,12	12,8760	2291,7866	19,6	33993	197,7	19,8	183,63
	V.I. -30	30/03/2017	27/04/2017	28	15,23	15,26	15,1	15,2	15,20	30,45	30,4	30,43	181,40	12,7420	2308,7283	2,6	38245	219,5	22,0	210,83
	V.I. -24	30/03/2017	27/04/2017	28	15,3	15,3	15,35	15,34	15,32	30,6	30,5	30,55	184,40	12,7600	2265,1153	2,4	38314	216,3	21,6	207,78
	V.I. -33	30/03/2017	27/04/2017	28	15,21	15,3	15,11	15,12	15,19	30,24	30,5	30,37	181,10	12,8640	2338,9006	36,1	36106	201,7	20,2	199,37
	V.I. -37	30/03/2017	27/04/2017	28	15,3	15,21	15,31	15,3	15,28	30,5	30,6	30,55	183,37	12,8260	2289,5147	16,1	38048	214,9	21,5	207,49
	V.I. -36	30/03/2017	27/04/2017	28	15,4	15,39	15,4	15,3	15,37	30,5	30,6	30,55	185,60	12,8880	2272,979	16,8	37973	209,5	21,0	204,60
	V.I. -34	30/03/2017	27/04/2017	28	15,16	15,18	15,19	15,21	15,19	30,65	30,6	30,63	181,10	12,5420	2261,3679	11,8	38078	217,6	21,8	210,26
	V.I. -27	30/03/2017	27/04/2017	28	15,22	15,2	15,21	15,3	15,23	30,7	30,7	30,70	182,24	12,6120	2254,3084	21,1	34096	197,5	19,8	187,10
	V.I. -39	30/03/2017	27/04/2017	28	15,1	15,1	15,2	15,3	15,18	30,4	30,6	30,50	180,86	12,7480	2310,9733	17	37655	206,5	20,7	208,20
	V.I. -35	30/03/2017	27/04/2017	28	15,16	15,14	15,2	15,21	15,18	30,4	30,4	30,40	180,92	12,8480	2335,9932	17,5	37419,7	209,9	21,0	206,83
	V.I. -42	30/03/2017	27/04/2017	28	15,28	15,27	15,3	15,3	15,29	30,5	30,5	30,50	183,55	12,6080	2252,0786	23,3	33430	189,3	18,9	182,13
	V.I. -41	30/03/2017	27/04/2017	28	15,24	15,21	15,3	15,38	15,28	30,4	30,4	30,40	183,43	12,7240	2281,7675	23,2	38121	210,2	21,0	207,82
	V.I. -26	30/03/2017	27/04/2017	28	15,31	15,29	15,3	15,32	15,31	30,5	30,55	30,53	183,97	12,7280	2266,4594	9,4	33181	199,8	20,0	180,36
	V.I. -28	30/03/2017	27/04/2017	28	15,32	15,3	15,3	15,3	15,31	30,35	30,3	30,33	183,97	12,7060	2277,4639	18,1	34765	193,8	19,4	188,97
	V.I. -29	30/03/2017	27/04/2017	28	15,27	15,3	15,3	15,31	15,30	30,1	30,3	30,20	183,73	12,4500	2243,7453	2,4	35481	195,8	19,6	193,11
	V.I. 10	30/03/2017	27/04/2017	28	15,29	15,26	15,21	15,29	15,26	30,4	30,5	30,45	182,95	12,6920	2278,2508	8,1	33198	193,2	19,3	181,46
	V.I. -23	30/03/2017	27/04/2017	28	15,17	15,25	15,32	15,2	15,24	30,6	30,55	30,58	182,30	12,5300	2248,0699	14	35867	198,5	19,9	196,75
	V.I. 13	30/03/2017	27/04/2017	28	15,24	15,13	15,21	15,21	15,20	30,4	30,7	30,55	181,40	12,4460	2245,8689	6,5	38023	210,3	21,0	209,61
	V.I. 8	30/03/2017	27/04/2017	28	15,3	15,28	15,3	15,32	15,30	30,5	30,45	30,48	183,85	12,7600	2277,3733	9,8	35256	197,4	19,7	191,76
	V.I. -43	30/03/2017	27/04/2017	28	15,18	15,22	15,3	15,24	15,24	30,4	30,4	30,40	182,30	12,7020	2292,0481	13	35111	199,2	19,9	192,61
	V.I. 9	30/03/2017	27/04/2017	28	15,3	15,32	15,31	15,34	15,32	30,6	30,6	30,60	184,27	12,6300	2239,8362	12,4	38603	211,9	21,2	209,49
	V.I. 11	30/03/2017	27/04/2017	28	15,21	15,22	15,15	15,14	15,18	30,65	30,6	30,63	180,98	12,8180	2312,6544	22,7	39227	219,1	21,9	216,75
	V.I. 14	30/03/2017	27/04/2017	28	15,28	15,3	15,21	15,14	15,23	30,55	30,6	30,58	182,24	12,8620	2308,3932	123,8	37824	210,2	21,0	207,56
	V.I. 12	30/03/2017	27/04/2017	28	15,3	15,3	15,3	15,31	15,30	30,4	30,6	30,50	183,91	12,6740	2259,4316	20	33663	197,6	19,8	183,04
	V.I.13	30/03/2017	27/04/2017	28	15,26	15,23	15,22	15,23	15,24	30,4	30,35	30,38	182,30	12,7920	2210,1882	7,4	38275	221,3	22,1	209,96
	V.I. -40	30/03/2017	27/04/2017	28	15,26	15,21	15,27	15,3	15,26	30,4	30,4	30,40	182,89	12,6220	2270,1557	37,3	33793	192,2	19,2	184,77

Fuente: Autores.

ANEXO: 33 Análisis estadístico de resultados del ensayo a compresión del concreto con fibras de vidrio AR al 0,05%.



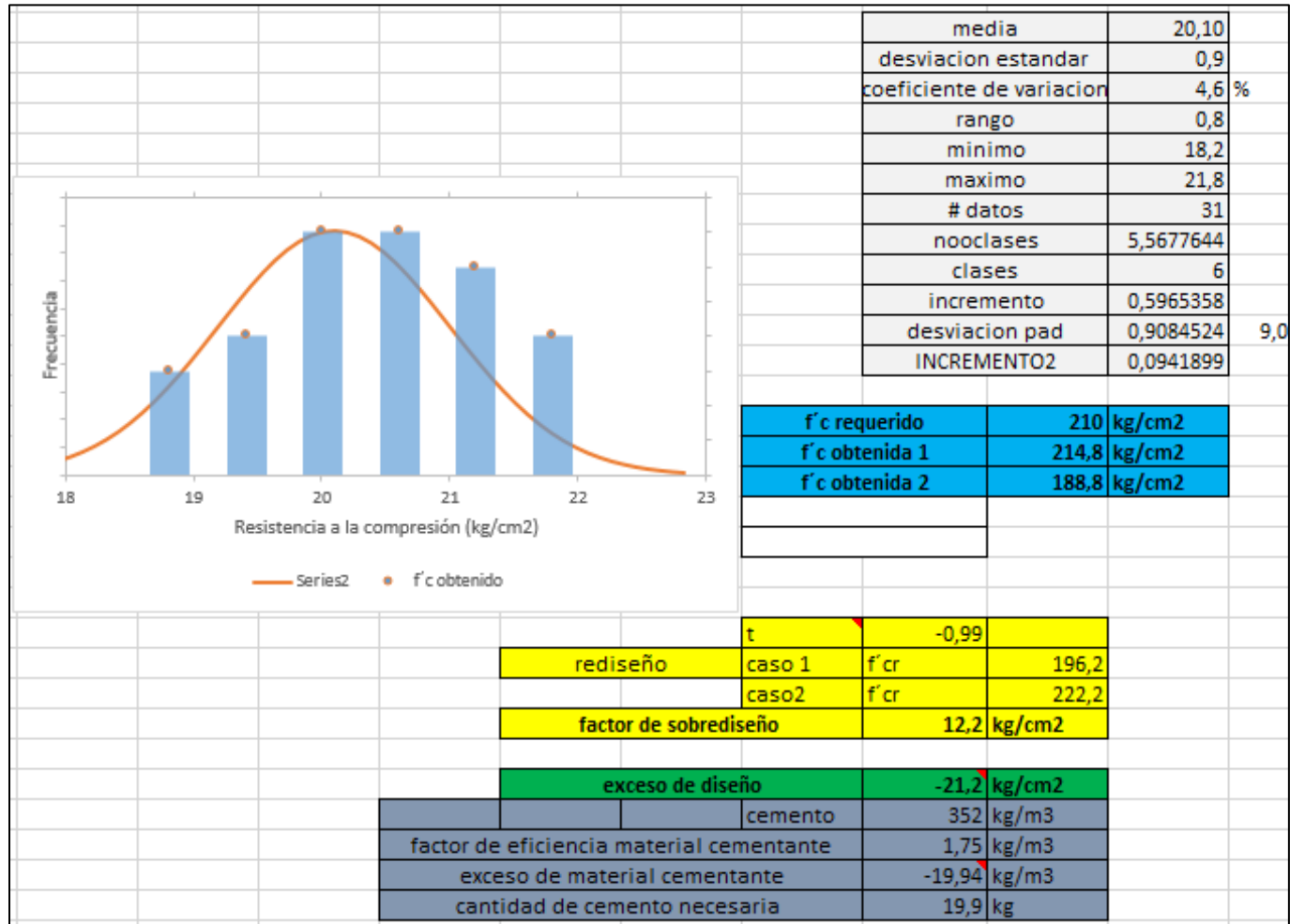
Fuente: Autores.

ANEXO: 34 Resultados ensayos de compresión de especímenes de concreto con fibra de vidrio AR al 0,11%.

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diametro superior (CM)		Diametro inferior (CM)		Diametro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la maquina	Esfuerzo maximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo maximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO AR	V II 11	27/03/2017	24/04/2017	28	15,14	15,195	15,18	15,21	15,18	30,2	30,2	30,20	181,01	12,698	2322,8621	19,7	34116	52,4	18,8	188,47
	V II 2	27/03/2017	24/04/2017	28	15,26	15,29	15,24	15,35	15,29	30,6	30,7	30,65	183,49	12,7060	2259,2152	16,8	39105	168,6	21,3	213,11
	V II 4	27/03/2017	24/04/2017	28	15,28	15,3	15,36	15,31	15,31	30,6	30,55	30,58	184,15	12,8620	2284,3358	10,1	35343	200	19,2	191,92
	V II 30	27/03/2017	24/04/2017	28	15,14	15,32	15,24	15,23	15,23	30,45	30,5	30,48	182,24	12,7340	2292,9199	1,4	33678	190,6	18,5	184,81
	V II 15	27/03/2017	24/04/2017	28	15,32	15,2	15,28	15,24	15,26	30,7	30,4	30,55	182,89	12,7220	2276,9067	5,4	35812	198,7	19,6	195,81
	V II 24	27/03/2017	24/04/2017	28	15,14	15,31	15,29	15,35	15,27	30,4	30,55	30,48	183,19	12,7120	2276,9842	37,9	34430	194,8	18,8	187,94
	V II 19	27/03/2017	24/04/2017	28	15,35	15,31	15,31	15,32	15,32	30,6	30,6	30,60	184,40	12,7100	2252,5528	16,8	38077	198,9	20,6	206,50
	VII 1	27/03/2017	24/04/2017	28	15,27	15,38	15,36	15,31	15,33	30,5	30,5	30,50	184,58	12,7400	2263,0565	40,9	37343	211,3	20,2	202,32
	VII 37	27/03/2017	24/04/2017	28	15,27	15,3	15,3	15,25	15,28	30,6	30,6	30,60	183,37	12,9240	2303,2386	10,7	36879	201,9	20,1	201,11
	VII 34	27/03/2017	24/04/2017	28	15,36	15,49	15,35	15,33	15,38	30,8	30,9	30,85	185,84	12,9940	2266,4386	11,9	39101	221,2	21,0	210,40
	VII 40	27/03/2017	24/04/2017	28	15,28	15,32	15,4	15,35	15,34	30,7	30,6	30,65	184,76	12,7540	2252,2516	14,7	35666	198,4	19,3	193,04
	VII 39	27/03/2017	24/04/2017	28	15,25	15,5	15,41	15,42	15,40	30,6	30,8	30,70	186,14	13,0360	2281,165	10,7	33917	189,6	18,2	182,21
	VII 35	27/03/2017	24/04/2017	28	15,19	15,33	15,17	15,21	15,23	30,9	30,8	30,85	182,06	12,6180	2246,6265	14	37966	211,4	20,9	208,54
	VII 2	27/03/2017	24/04/2017	28	15,34	15,39	15,42	15,35	15,38	30,5	30,6	30,55	185,66	12,8220	2260,6037	14,2	38218	215,7	20,6	205,85
	VII 33	27/03/2017	24/04/2017	28	15,38	15,55	15,44	15,51	15,47	30,6	30,7	30,65	187,96	13,1340	2279,7962	16,8	37897	211	20,2	201,62
	V II 38	27/03/2017	24/04/2017	28	15,25	15,19	15,09	15,39	15,23	30,8	30,9	30,85	182,18	12,5320	2229,8494	4,8	37690	190,6	20,7	206,89
	VII 3	27/03/2017	24/04/2017	28	15,44	15,38	15,3	15,41	15,38	30,6	30,6	30,60	185,84	12,9120	2270,5358	5,2	39806	202,6	21,4	214,19
	VII 7	27/03/2017	24/04/2017	28	15,36	15,44	15,38	15,39	15,39	29,95	29,95	29,95	186,08	12,6280	2265,8416	9,4	35771	202,4	19,2	192,23
	VII 23	27/03/2017	24/04/2017	28	15,28	15,23	15,27	15,16	15,24	29,4	29,35	29,38	182,30	12,2440	2286,4971	58,5	37750	207,4	20,7	207,08
	V II 31	27/03/2017	24/04/2017	28	15,41	15,29	15,33	15,31	15,34	30,5	30,3	30,40	184,70	12,7280	2266,8832	24,1	35966	187,1	19,5	194,73
	V II 32	27/03/2017	24/04/2017	28	15,25	15,24	15,3	15,32	15,28	30,1	30,2	30,15	183,31	12,7740	2311,2404	23,5	38673	196,2	21,1	210,97
	V II 17	27/03/2017	24/04/2017	28	15,21	15,19	15,27	15,19	15,22	30,4	30,4	30,40	181,82	12,8060	2316,8938	3,8	36251	199,5	19,9	199,38
	V II 21	27/03/2017	24/04/2017	28	15,35	15,34	15,44	15,41	15,39	29,8	29,8	29,80	185,90	12,7780	2306,544	5,8	37818	204,4	20,3	203,43
	V II 22	27/03/2017	24/04/2017	28	15,22	15,17	15,16	15,24	15,20	29,9	29,8	29,85	181,40	12,6880	2343,2285	22,8	39545	195,5	21,8	218,00
	V II 16	27/03/2017	24/04/2017	28	15,18	15,19	15,21	15,22	15,20	30,1	30,11	30,11	181,46	12,3420	2259,2789	15,8	35517	201	19,6	195,73
	V II 25	27/03/2017	24/04/2017	28	15,37	15,35	15,31	15,36	15,35	30,4	30,3	30,35	185,00	12,8800	2293,9925	10,2	37628	212,3	20,3	203,40
	V II 18	27/03/2017	24/04/2017	28	15,25	15,53	15,35	15,26	15,35	30,5	30,6	30,55	185,00	12,7520	2256,3264	5,4	36959	203,4	20,0	199,78
	V II 20	27/03/2017	24/04/2017	28	15,27	15,19	15,34	15,23	15,26	30,1	30,29	30,20	182,83	11,7560	2129,4522	30,7	35870	200,7	19,6	196,19
	V II 29	27/03/2017	24/04/2017	28	15,17	15,25	15,32	15,2	15,24	30,6	30,55	30,58	182,30	12,5300	2248,0699	32,8	36949	205,7	20,3	202,69
	V II 8	27/03/2017	24/04/2017	28	15,24	15,13	15,21	15,21	15,20	30,4	30,7	30,55	181,40	12,4460	2245,8689	2	35386	201,3	19,5	195,07
	S27	21/03/2017	18/04/2017	28	15,29	15,27	15,28	15,22	15,27	30,39	30,29	30,34	183,0	12,7560	2297,288	0,9	37957	216,5	21,7	207,39982

Fuente: Autores.

ANEXO: 35 Análisis estadístico de resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto de fibra de vidrio AR al 0,11%.



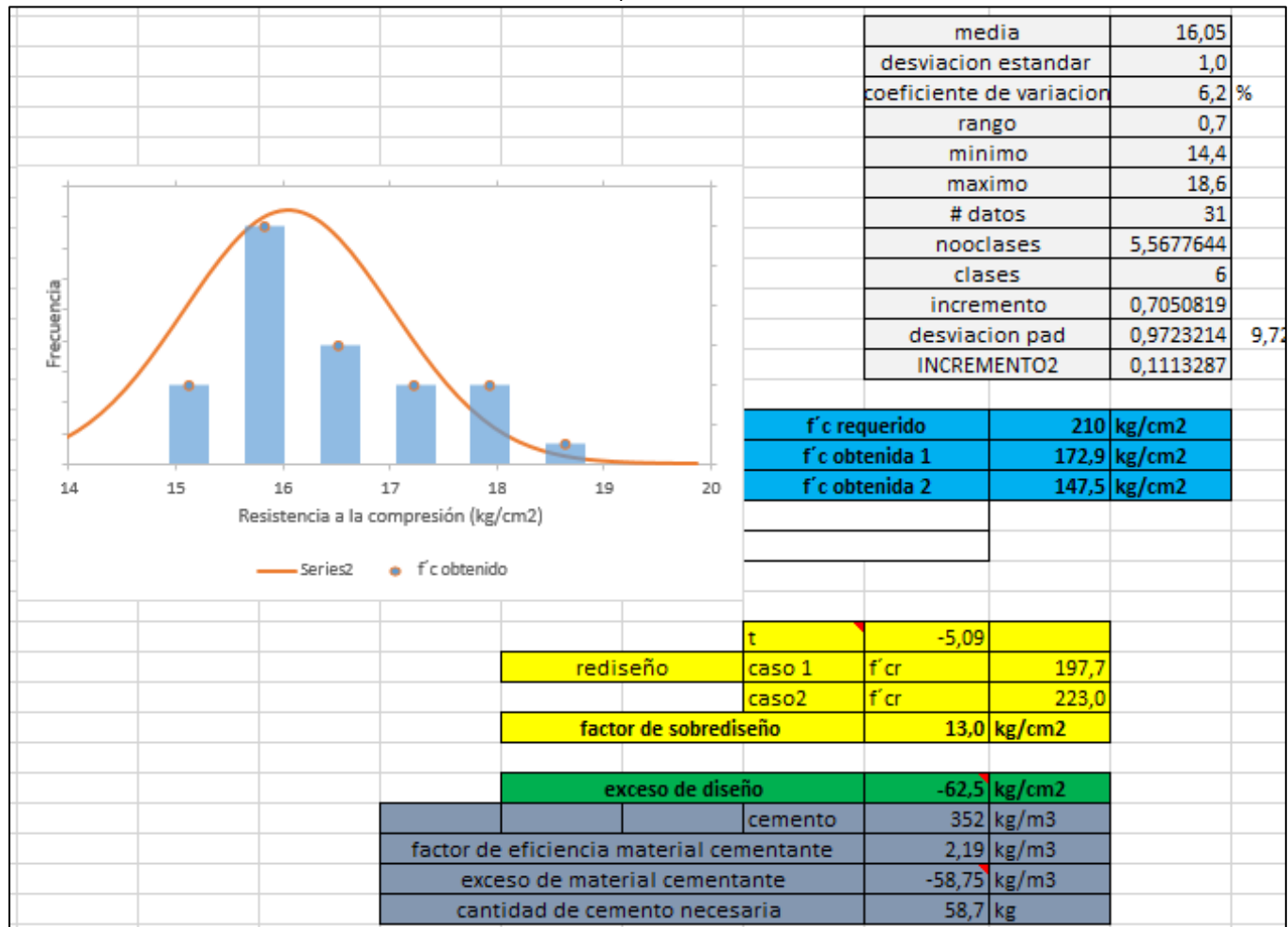
Fuente: Autores.

ANEXO: 36 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto con fibra de vidrio tipo E al 0,05%.

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diámetro superior (CM)		Diámetro inferior (CM)		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la máquina	Esfuerzo máximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo máximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO E	V. III. 20	25/04/2017	23/05/2017	28	15,27	15,28	15,34	15,29	15,30	30,5	30,4	30,45	183,73	12,54	2241,41	0,2	31825	177,8	17,3	173,21
	V. III. 25	25/04/2017	23/05/2017	28	15,22	15,33	15,35	15,32	15,31	30,3	30,4	30,35	183,97	12,41	2221,86	2,9	28856	157,4	15,7	156,85
	V. III. 13	25/04/2017	23/05/2017	28	15,32	15,44	15,38	15,37	15,38	30,5	30,5	30,50	185,72	12,94	2284,76	3,8	28623	154,4	15,4	154,12
	V. III. 7	25/04/2017	23/05/2017	28	15,36	15,44	15,42	15,36	15,40	30,4	30,3	30,35	186,14	12,32	2180,38	7,5	26833	145,9	14,4	144,15
	V. III. 40	25/04/2017	23/05/2017	28	15,19	15,19	15,16	15,31	15,21	30,5	30,4	30,45	181,76	12,58	2272,65	8,9	28313	155,7	15,6	155,77
	V. III. 17	25/04/2017	23/05/2017	28	15,36	15,38	15,23	15,33	15,33	30,4	30,4	30,40	184,46	12,32	2196,37	8,7	28307	154,6	15,3	153,46
	V. III. 11	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,28	15,26	15,23	15,27	30,4	30,3	30,35	183,07	12,26	2207,23	5,5	28914	158,4	15,8	157,94
	V. III. 29	25/04/2017	23/05/2017	28	15,28	15,32	15,4	15,35	15,34	30,7	30,6	30,65	184,76	12,75	2252,25	7,5	29169	157,8	15,8	157,88
	V. III. 33	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,28	15,3	15,32	15,30	30,5	30,45	30,48	183,85	12,76	2277,37	3,5	27065	148,2	14,7	147,21
	V. III. 38	25/04/2017	23/05/2017	28	15,26	15,21	15,26	15,21	15,24	30,1	30,9	30,50	182,30	12,71	2285,97	5	26787	147,7	14,7	146,94
	V. III. 35	25/04/2017	23/05/2017	28	15,44	15,36	15,41	15,44	15,41	30,6	30,5	30,55	186,57	12,77	2240,84	4,3	32983	177,6	17,7	176,79
	V. III. 34	25/04/2017	23/05/2017	28	15,11	15,29	15,08	15,19	15,17	30,5	30,4	30,45	180,68	12,45	2262,17	6,5	31405	173,2	17,4	173,81
	V. III. -32	25/04/2017	23/05/2017	28	15,29	15,34	15,27	15,26	15,29	30,8	30,6	30,70	183,61	12,72	2255,83	1,4	29619	162,4	16,1	161,31
	V. III. 37	25/04/2017	23/05/2017	28	15,34	15,41	15,37	15,39	15,38	30,6	30,9	30,75	185,72	12,99	2274,94	5,1	28385	152,3	15,3	152,84
	V. III. 10	25/04/2017	23/05/2017	28	15,36	15,49	15,35	15,33	15,38	30,8	30,9	30,85	185,84	12,99	2266,44	5	31660	171,3	17,0	170,36
	V. III. 28	25/04/2017	23/05/2017	28	15,28	15,32	15,4	15,35	15,34	30,7	30,6	30,65	184,76	12,75	2252,25	5,6	29723	160,6	16,1	160,88
	V. III. 26	25/04/2017	23/05/2017	28	15,41	15,37	15,29	15,33	15,35	30,5	30,5	30,50	185,06	12,72	2254,33	5,4	30833	166,9	16,7	166,61
	V. III. 6	25/04/2017	23/05/2017	28	15,24	15,22	15,14	15,25	15,21	30,5	30,7	30,60	181,76	12,63	2270,86	5	27963	154,5	15,4	153,85
	V. III. 5	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,32	15,34	15,35	15,33	30,65	30,5	30,58	184,52	12,81	2270,30	18,2	29296	158,7	15,9	158,77
	V. III. 41	25/04/2017	23/05/2017	28	15,4	15,35	15,41	15,35	15,38	30,8	30,6	30,70	185,72	12,78	2241,46	3,3	31220	169,4	16,8	168,10
	V. III. 22	25/04/2017	23/05/2017	28	15,34	15,41	15,35	15,32	15,36	30,8	30,9	30,85	185,18	13,03	2280,87	7,9	27478	148,2	14,8	148,39
	V. III. 31	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,38	15,35	15,33	15,34	30,4	30,5	30,45	184,82	12,74	2264,53	9,8	28953	157,1	15,7	156,66
	V. III. 16	25/04/2017	23/05/2017	28	15,35	15,3	15,31	15,32	15,32	30,5	30,7	30,60	184,33	12,79	2268,18	0,4	30181	164,6	16,4	163,73
	V. III. 2	25/04/2017	23/05/2017	28	15,4	15,45	15,44	15,38	15,42	30,5	30,6	30,55	186,69	12,95	2269,90	1,8	29036	155,4	15,6	155,53
	V. III. 15	25/04/2017	23/05/2017	28	15,4	15,31	15,42	15,37	15,38	30,5	30,4	30,45	185,66	12,79	2262,72	3,3	28134	152,9	15,2	151,53
	V. III. 19	25/04/2017	23/05/2017	28	15,17	15,25	15,32	15,2	15,24	30,6	30,55	30,58	182,30	12,53	2248,07	14	29867	164,5	16,4	163,84
	V. III. 8	25/04/2017	23/05/2017	28	15,24	15,13	15,21	15,21	15,20	30,4	30,7	30,55	181,40	12,45	2245,87	6,5	33823	186,3	18,6	186,46
	V. III. 30	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,28	15,3	15,32	15,30	30,5	30,45	30,48	183,85	12,76	2277,37	9,8	28256	153,4	15,4	153,69
	V. III. 14	25/04/2017	23/05/2017	28	15,18	15,22	15,3	15,24	15,24	30,4	30,4	30,40	182,30	12,70	2292,05	13	30111	165,2	16,5	165,18
	V. III. 4	25/04/2017	23/05/2017	28	15,3	15,32	15,31	15,34	15,32	30,6	30,6	30,60	184,27	12,63	2239,84	12,4	30603	166,9	16,6	166,07
	V. III. 32	25/04/2017	23/05/2017		15,3	15,3	15,3	15,2	15,3	30,4	30,3	30,3	183,0	12,76	2297,29	0,9	31957,0	174,5	17,5	174,62

Fuente: Autores.

ANEXO: 37 Análisis estadístico resultados del ensayo a compresión de especímenes de concreto con fibra de vidrio tipo E al 0,05%.



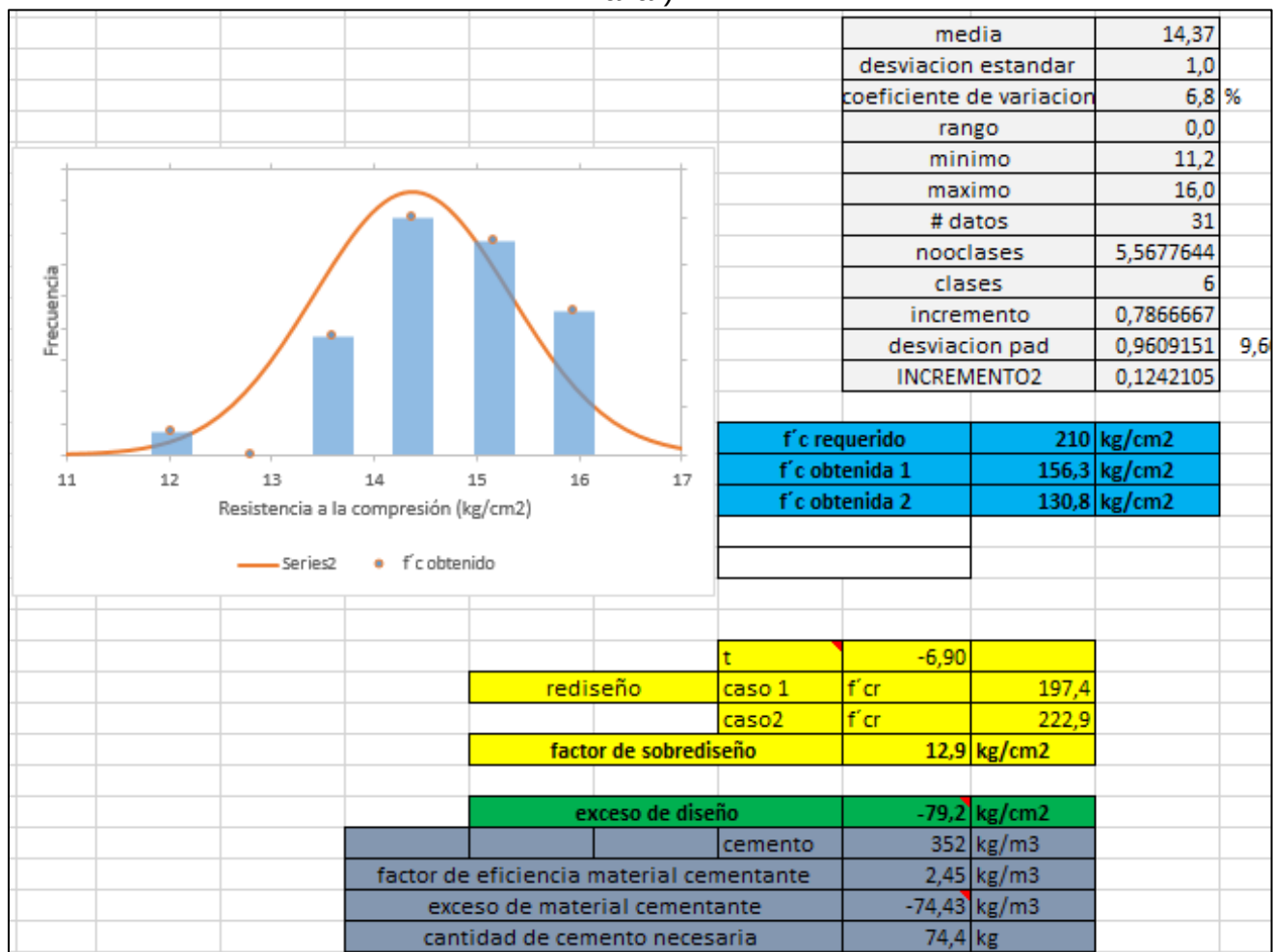
Fuente: Autores.

ANEXO: 38 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto con adición de virutas de torno al 1% (sin lavar).

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diametro superior (CM)		Diametro inferior (CM)		Diametro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la maquina	Esfuerzo maximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo maximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO	F I 29	3/04/2017	1/05/2017	28	15,24	15,19	15,21	15,23	15,22	30,6	30,45	30,53	181,88	13,00	2341,6	12,4	26533	146,5	14,65	145,88
	F I 24	3/04/2017	1/05/2017	28	15,16	15,15	15,15	15,14	15,15	30,6	30,6	30,60	180,27	12,56	2277,7	2,4	23203	130,7	13,07	128,71
	F I 3	3/04/2017	1/05/2017	28	15,31	15,34	15,3	15,33	15,32	30,8	30,7	30,75	184,33	13,07	2305,5	8,8	28163	154,8	15,48	152,78
	F I 37	3/04/2017	1/05/2017	28	15,31	15,4	15,2	15,25	15,29	30,6	30,65	30,63	183,61	12,95	2303,7	5	28695	158,8	15,88	156,28
	F I 39	3/04/2017	1/05/2017	28	15,31	15,11	15,34	15,25	15,25	30,5	30,55	30,53	182,71	12,85	2303,2	3,9	25712	142,9	14,29	140,72
	F I 26	3/04/2017	1/05/2017	28	15,39	15,4	15,29	15,3	15,35	30,7	30,6	30,65	184,94	12,83	2262,8	7,3	26128	145,3	14,53	141,28
	F I 10	3/04/2017	1/05/2017	28	15,36	15,28	15,25	15,26	15,29	30,4	30,5	30,45	183,55	12,68	2267,9	0,9	25284	139,5	13,95	137,75
	F I 41	3/04/2017	1/05/2017	28	15,35	15,4	15,35	15,36	15,37	30,4	30,5	30,45	185,42	12,82	2271,0	1,3	26036	143,7	14,37	140,42
	F I 21	3/04/2017	1/05/2017	28	15,31	15,34	15,26	15,25	15,29	30,5	30,7	30,60	183,61	12,80	2278,9	7,7	28568	159,1	15,91	155,59
	F I 6	3/04/2017	1/05/2017	28	15,26	15,29	15,24	15,35	15,29	30,6	30,7	30,65	183,49	12,71	2259,2	10,1	24244	134,6	13,46	132,12
	F I 32	3/04/2017	1/05/2017	28	15,28	15,3	15,36	15,31	15,31	30,6	30,55	30,58	184,15	12,86	2284,3	5,7	28660	155,6	15,56	155,63
	F I 35	3/04/2017	1/05/2017	28	15,14	15,32	15,24	15,23	15,23	30,45	30,5	30,48	182,24	12,73	2292,9	2,3	27076	147,7	14,77	148,58
	F I 33	3/04/2017	1/05/2017	28	15,32	15,2	15,28	15,24	15,26	30,7	30,4	30,55	182,89	12,72	2276,9	10,5	24301	135,9	13,59	132,87
	F I 15	3/04/2017	1/05/2017	28	15,14	15,31	15,29	15,35	15,27	30,4	30,55	30,48	183,19	12,71	2277,0	2,4	24290	136,9	13,69	132,59
	F I 38	3/04/2017	1/05/2017	28	15,35	15,31	15,31	15,32	15,32	30,6	30,6	30,60	184,40	12,71	2252,6	5,2	24059	134,5	13,45	130,48
	F I 34	3/04/2017	1/05/2017	28	15,25	15,28	15,25	15,26	15,26	30,6	30,5	30,55	182,89	12,74	2280,8	7,5	25631	144,4	14,44	140,14
	F I 17	3/04/2017	1/05/2017	28	15,39	15,3	15,34	15,33	15,34	30,4	30,5	30,45	184,82	12,84	2282,3	5,2	25677	142,7	14,27	138,93
	F I 20	3/04/2017	1/05/2017	28	15,36	15,4	15,4	15,37	15,38	30,3	30,45	30,38	185,84	12,77	2261,8	4,1	25712	141,9	14,19	138,35
	F I 11	3/04/2017	1/05/2017	28	15,27	15,38	15,36	15,31	15,33	30,5	30,5	30,50	184,58	12,74	2263,1	4,7	27157	145,1	14,51	147,13
	F I 12	3/04/2017	1/05/2017	28	15,27	15,3	15,3	15,25	15,28	30,6	30,6	30,60	183,37	12,92	2303,2	5,2	20036	112,4	11,24	109,26
	F I 32	3/04/2017	1/05/2017	28	15,09	15,28	15,3	15,08	15,19	30,2	30,1	30,15	181,16	12,67	2318,9	7,8	25365	142,9	14,29	140,01
	F I 40	3/04/2017	1/05/2017	28	15,29	15,28	15,27	15,09	15,23	30,45	30,4	30,43	182,24	12,49	2252,3	4,1	24752	139,5	13,95	135,82
	F I 5	3/04/2017	1/05/2017	28	15,2	15,19	15,17	15,24	15,20	30,8	30,8	30,80	181,46	12,68	2268,4	1,8	25955	146,3	14,63	143,04
	F I 14	3/04/2017	1/05/2017	28	15,38	15,36	15,35	15,38	15,37	30,6	30,5	30,55	185,48	12,89	2275,2	6,7	26972	147,5	14,75	145,42
	F I 23	3/04/2017	1/05/2017	28	15,37	15,36	15,38	15,36	15,37	30,5	30,5	30,50	185,48	12,71	2247,4	1,4	25469	141,5	14,15	137,31
	F I 13	3/04/2017	1/05/2017	28	15,09	15,31	15,19	15,28	15,22	30,6	30,7	30,65	181,88	12,64	2268,2	10,3	26278	146,1	14,61	144,48
	F I 27	3/04/2017	1/05/2017	28	15,36	15,35	15,47	15,35	15,38	30,6	30,6	30,60	185,84	12,83	2256,5	5,8	25215	138,1	13,81	135,68
	F I 9	3/04/2017	1/05/2017	28	15,29	15,29	15,39	15,3	15,32	30,4	30,6	30,50	184,27	12,75	2268,2	3,7	23793	134,56	13,456	129,12
	F I 30	3/04/2017	1/05/2017	28	15,17	15,27	15,29	15,19	15,23	30,7	30,6	30,65	182,18	12,74	2282,4	11,4	28013	158,9	15,89	153,77
	F I 36	3/04/2017	1/05/2017	28	15,44	15,4	15,39	15,37	15,40	30,5	30,3	30,40	186,27	12,44	2196,6	8,8	29019	159,6	15,96	155,79
	F I 4	3/04/2017	1/05/2017	28	15,41	15,37	15,29	15,33	15,35	30,5	30,5	30,50	185,06	12,72	2254,3	10,9	26209	146,7	14,67	141,63

Fuente: Autores.

ANEXO: 39 Análisis estadístico de resultados de ensayos a compresion de cilindros de concreto con viruta de torno al 1% (sin lavar).



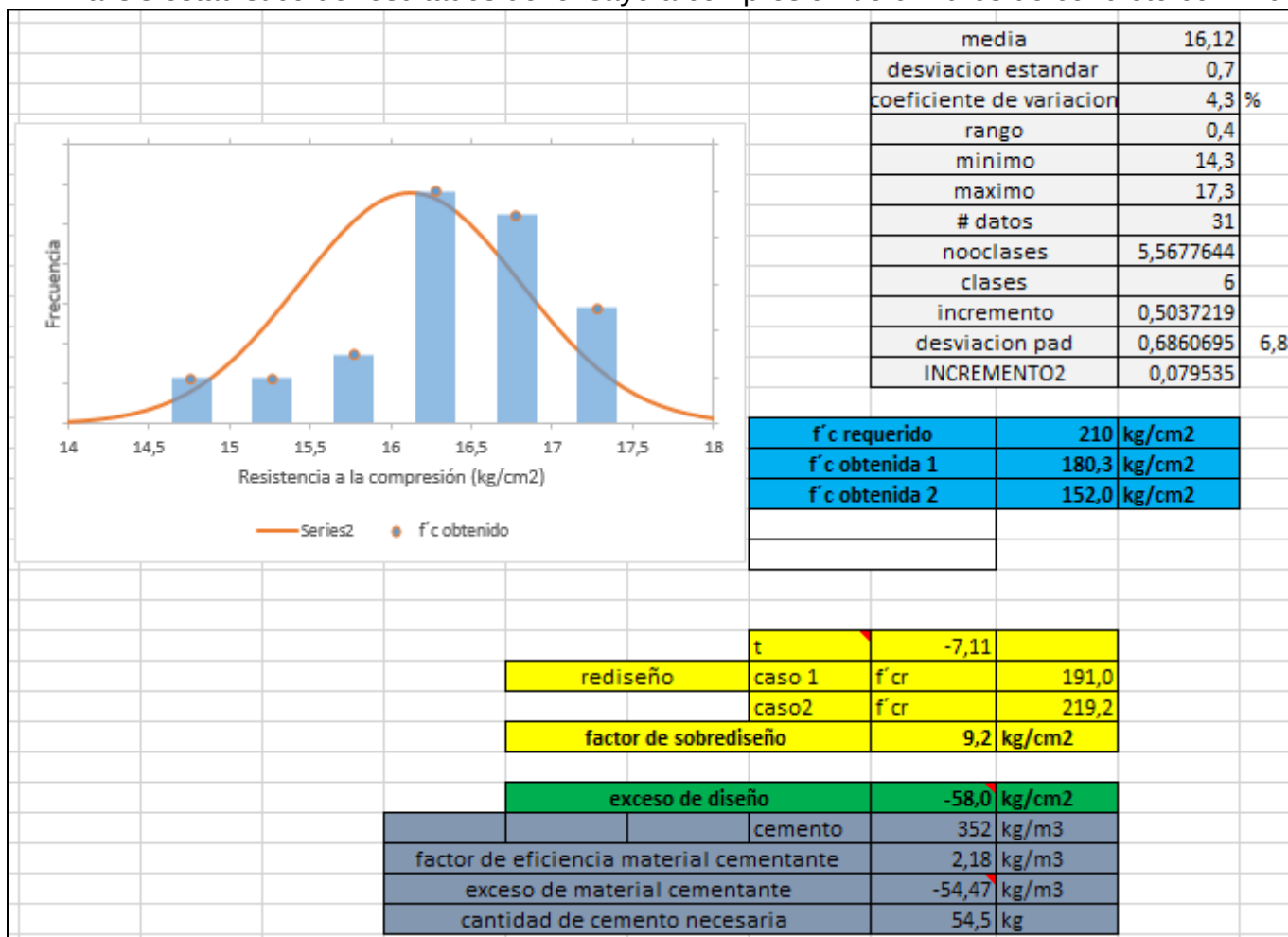
Fuente: Autores.

ANEXO: 40 Resultados de ensayos a compresión de cilindros de concreto con viruta de torno al 1,3% (lavado con agua).

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diámetro superior (CM)		Diámetro inferior (CM)		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la máquina	Esfuerzo máximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo máximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO	F II 32	5/04/2017	3/05/2017	28	15,44	15,49	15,39	15,47	15,45	30,7	30,7	30,70	187,42	12,95	2250,0	0,2	26725	142,4	14,3	142,6
	F II 38	5/04/2017	3/05/2017	28	15,17	15,26	15,19	15,25	15,22	30,6	30,6	30,60	181,88	12,52	2249,2	2,9	28556	158,4	15,7	157,0
	F II 15	5/04/2017	3/05/2017	28	15,39	15,4	15,39	15,4	15,40	30,4	30,3	30,35	186,14	12,66	2240,2	3,8	29423	159,4	15,8	158,1
	F II 41	5/04/2017	3/05/2017	28	15,38	15,31	15,39	15,38	15,37	30,7	30,4	30,55	185,42	12,75	2250,8	7,5	28833	157,9	15,6	155,5
	F II 27	5/04/2017	3/05/2017	28	15,32	15,34	15,31	15,3	15,32	30,5	30,5	30,50	184,27	12,63	2246,8	8,9	30313	165,7	16,4	164,5
	F II 29	5/04/2017	3/05/2017	28	15,31	15,38	15,36	15,42	15,37	30,5	30,6	30,55	185,48	12,78	2255,8	8,7	29307	159,6	15,8	158,0
	F II 10	5/04/2017	3/05/2017	28	15,31	15,37	15,41	15,7	15,45	30,7	30,8	30,75	187,42	12,92	2242,6	5,5	30914	166,4	16,5	164,9
	F II 34	5/04/2017	3/05/2017	28	15,31	15,38	15,4	15,43	15,38	30,6	30,9	30,75	185,78	12,75	2231,1	7,5	30169	162,8	16,2	162,4
	F II 28	5/04/2017	3/05/2017	28	15,37	15,12	15,2	15,19	15,22	30,6	30,8	30,70	181,94	12,55	2247,3	3,5	29065	160,2	16,0	159,8
	F II 40	5/04/2017	3/05/2017	28	15,26	15,21	15,26	15,21	15,24	30,1	30,9	30,50	182,30	12,71	2286,0	5	26487	145,7	14,5	145,3
	F II 13	5/04/2017	3/05/2017	28	15,44	15,36	15,41	15,44	15,41	30,6	30,5	30,55	186,57	12,77	2240,8	4,3	28693	154,6	15,4	153,8
	F II 39	5/04/2017	3/05/2017	28	15,11	15,29	15,08	15,19	15,17	30,5	30,4	30,45	180,68	12,45	2262,2	6,5	27405	153,2	15,2	151,7
	F II 31	5/04/2017	3/05/2017	28	15,29	15,34	15,27	15,26	15,29	30,8	30,6	30,70	183,61	12,72	2255,8	1,4	29619	162,4	16,1	161,3
	F II 22	5/04/2017	3/05/2017	28	15,34	15,41	15,37	15,39	15,38	30,6	30,9	30,75	185,72	12,99	2274,9	5,1	30955	169,3	16,7	166,7
	F II 4	5/04/2017	3/05/2017	28	15,36	15,49	15,35	15,33	15,38	30,8	30,9	30,85	185,84	12,99	2266,4	5	31160	170,3	16,8	167,7
	F II 36	5/04/2017	3/05/2017	28	15,28	15,32	15,4	15,35	15,34	30,7	30,6	30,65	184,76	12,75	2252,3	5,6	30723	169,6	16,6	166,3
	F II 17	5/04/2017	3/05/2017	28	15,25	15,5	15,41	15,42	15,40	30,6	30,8	30,70	186,14	13,04	2281,2	5,4	29833	164,9	16,0	160,3
	F II 20	5/04/2017	3/05/2017	28	15,19	15,33	15,17	15,21	15,23	30,9	30,8	30,85	182,06	12,62	2246,6	5	31463	175,5	17,3	172,8
	F II 4	5/04/2017	3/05/2017	28	15,34	15,39	15,42	15,35	15,38	30,5	30,6	30,55	185,66	12,82	2260,6	18,2	28296	155,7	15,2	152,4
	F II 23	5/04/2017	3/05/2017	28	15,38	15,55	15,44	15,51	15,47	30,6	30,7	30,65	187,96	13,13	2279,8	3,3	29920	163,4	15,9	159,2
	F II 21	5/04/2017	3/05/2017	28	15,25	15,19	15,09	15,39	15,23	30,8	30,9	30,85	182,18	12,53	2229,8	7,9	30278	169,2	16,6	166,2
	F II 8	5/04/2017	3/05/2017	28	15,44	15,38	15,3	15,41	15,38	30,6	30,6	30,60	185,84	12,91	2270,5	9,8	31053	169,1	16,7	167,1
	F II 1	5/04/2017	3/05/2017	28	15,34	15,27	15,49	15,35	15,36	30,7	30,8	30,75	185,36	12,87	2257,6	0,4	30481	168,6	16,4	164,4
	F II 30	5/04/2017	3/05/2017	28	15,29	15,41	15,27	15,38	15,34	30,7	30,6	30,65	184,76	12,72	2245,5	1,8	31036	169,4	16,8	168,0
	F II 26	5/04/2017	3/05/2017	28	15,35	15,38	15,33	15,38	15,36	30,5	30,6	30,55	185,30	12,74	2249,8	3,3	30134	166,9	16,3	162,6
	F II 3	5/04/2017	3/05/2017	28	15,32	15,28	15,32	15,37	15,32	30,6	30,5	30,55	184,40	12,81	2273,3	10,3	30278	169,1	16,4	164,2
	F II 6	5/04/2017	3/05/2017	28	15,43	15,38	15,35	15,31	15,37	30,5	30,5	30,50	185,48	12,79	2260,9	5,8	29815	164,1	16,1	160,7
	F II 24	5/04/2017	3/05/2017	28	15,22	15,26	15,24	15,26	15,25	30,5	30,55	30,53	182,53	12,66	2271,8	3,7	30793	169,3	16,9	168,7
	F II 2	5/04/2017	3/05/2017	28	15,34	15,29	15,35	15,36	15,34	30,5	30,4	30,45	184,70	12,86	2287,3	11,4	31213	172,9	16,9	169,0
	F II 19	5/04/2017	3/05/2017	28	15,38	15,28	15,31	15,29	15,32	30,5	30,6	30,55	184,21	12,98	2307,1	8,8	31019	170,6	16,8	168,4
	F II 11	5/04/2017	3/05/2017	28	15,31	15,32	15,3	15,25	15,30	30,55	30,5	30,53	183,73	12,83	2287,6	10,9	29209	162,7	15,9	159,0

Fuente: Autores.

ANEXO: 41 Análisis estadístico de resultados del ensayo a compresión de cilindros de concreto con virutas de torno al 1,3%.



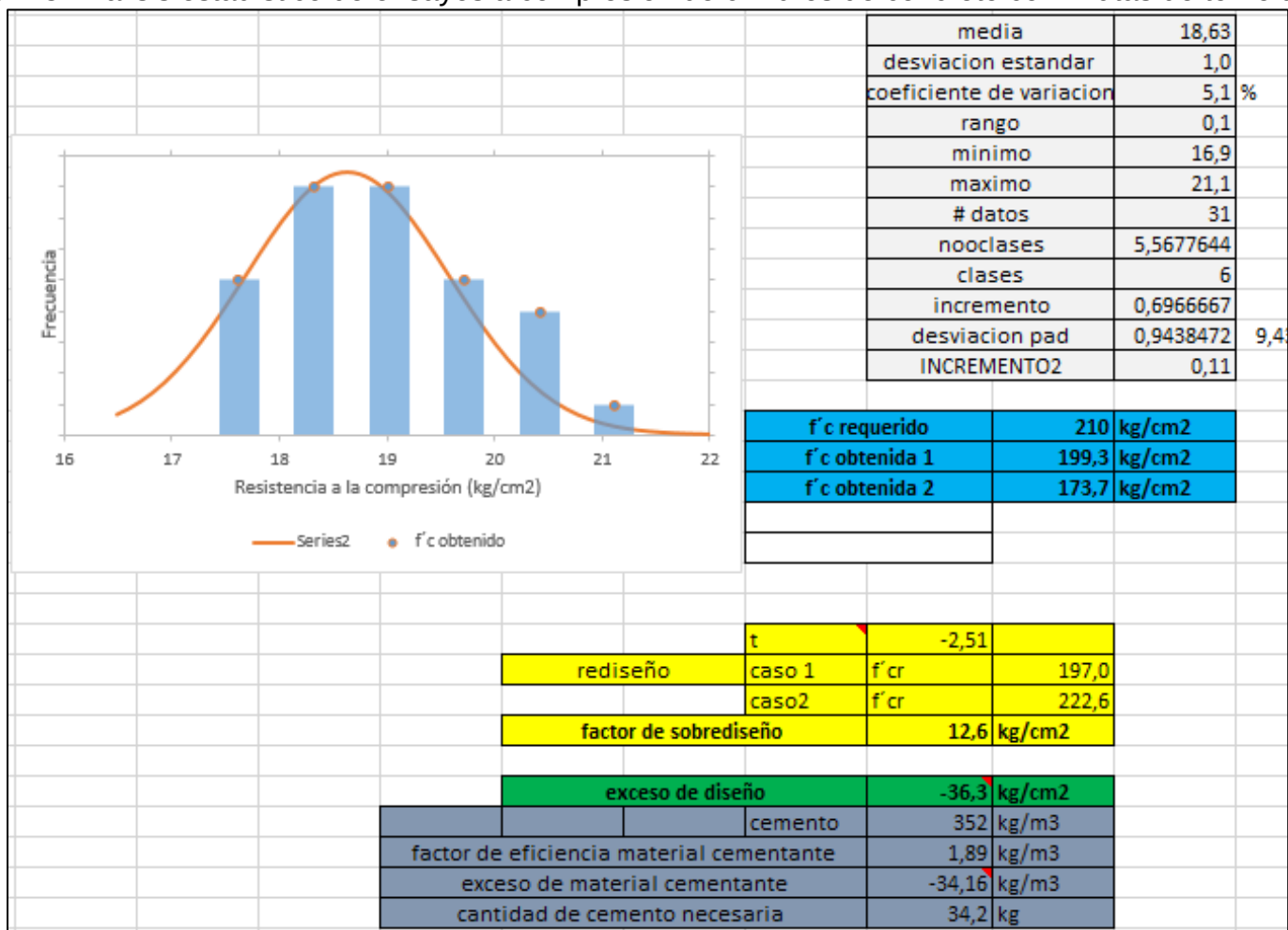
Fuente: Autores.

ANEXO: 42 Resultados de ensayos a compresión de especímenes de concreto con virutas de torno al 1,6%.

Mezcla	# Cilindro	Fecha moldeo (DD-MM-AAAA)	Fecha falla (DD-MM-AAAA)	Edad cilindro	Diámetro superior (CM)		Diámetro inferior (CM)		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)		Altura promedio cm	Area del cilindro (cm2)	Peso (kg)	γ concreto (kg/m3)	Velocidad de apl. Carga (kg/cm2)	carga aplicada por la maquina	Esfuerzo maximo cilindro (kgf/cm2)	Esfuerzo maximo cilindro (Mpa)	Esfuerzo Calculado (kg/cm2)
					D1	D2	D1	D2		h1	h2									
CONCRETO CON VIRUTA DE TORNO	F III 16	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,19	15,18	15,15	15,27	15,20	30,9	30,65	30,78	181,40	12,798	2292,5	1,6	33718	190,5	19,1	185,88
	F III 3	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,41	15,35	15,4	15,37	15,38	30,6	30,5	30,55	185,84	12,814	2257,0	6,3	35868	198,1	19,8	193,00
	F III 22	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,2	15,24	15,29	15,19	15,23	30,6	30,6	30,60	182,18	12,646	2268,5	9,95	32845	186,3	18,6	180,29
	F III 19	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,39	15,29	15,26	15,38	15,33	30,55	30,3	30,43	184,58	12,648	2252,3	5,9	32896	183,1	18,3	178,23
	F III 25	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,24	15,36	15,47	15,28	15,34	30,5	30,4	30,45	184,76	12,834	2281,3	1,1	34897	192,9	19,3	188,88
	F III 1	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,27	15,31	15,33	15,44	15,34	30,5	30,5	30,50	184,76	12,7480	2262,3	5,2	30550	169,9	17,0	165,35
	F III 9	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,4	15,47	15,3	15,5	15,42	30,5	30,55	30,53	186,69	12,8660	2257,7	9,1	36192	198,6	19,9	193,86
	F III 18	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,28	15,32	15,19	15,16	15,24	30,7	30,6	30,65	182,35	12,6340	2260,4	0,7	31936	179,7	18,0	175,13
	F III 20	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,4	15,44	15,45	15,46	15,44	30,5	30,6	30,55	187,17	12,8920	2254,6	11,1	32811	178,1	17,8	175,30
	F III 6	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,5	15,31	15,41	15,36	15,40	30,5	30,5	30,50	186,14	12,8540	2264,1	11,4	30984	171,7	17,2	166,45
	F III 4	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,25	15,29	15,26	15,38	15,30	30,5	30,4	30,45	183,73	12,7480	2278,6	5,7	33833	188,9	18,9	184,14
	F III 11	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,43	15,28	15,39	15,33	15,36	30,4	30,6	30,50	185,24	12,6960	2247,2	9,95	35945	199,3	19,9	194,05
	F III 24	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,19	15,28	15,25	15,08	15,20	30,65	30,7	30,68	181,46	12,7260	2286,3	4,6	31666	180,9	18,1	174,51
	F III 15	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,43	15,29	15,39	15,34	15,36	30,45	30,5	30,48	185,36	12,7960	2265,3	13,4	34643	190,8	19,1	186,90
	F III 12	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,47	15,29	15,47	15,42	15,41	30,6	30,5	30,55	186,57	12,9540	2272,8	6,4	33689	186,4	18,6	180,57
	F III 2	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,27	15,19	15,19	15,18	15,21	30,5	30,6	30,55	181,64	12,5620	2263,8	11,4	32672	184,6	18,5	179,87
	F III 14	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,5	15,31	15,49	15,5	15,45	30,7	30,7	30,70	187,48	13,2040	2294,1	7,5	33527	182,8	18,3	178,83
	F III 23	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,25	15,38	15,29	15,32	15,31	30,6	30,6	30,60	184,09	12,8020	2272,6	14,1	34354	189,1	18,9	186,61
	F III 10	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,34	15,39	15,4	15,37	15,38	30,6	30,6	30,60	185,66	12,8580	2263,2	8,9	38851	211,1	21,1	209,26
	F III 8	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,29	15,37	15,36	15,34	15,34	30,5	30,6	30,55	184,82	12,8540	2276,6	7,4	31741	175,4	17,5	171,74
	F III 21	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,25	15,27	15,38	15,43	15,33	30,5	30,6	30,55	184,64	12,5760	2229,5	11,8	32785	182,8	18,3	177,57
	F III 13	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,32	15,28	15,32	15,37	15,32	30,6	30,5	30,55	184,40	12,8060	2273,3	2,8	34925	193,7	19,4	189,40
	F III 5	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,43	15,38	15,35	15,31	15,37	30,5	30,5	30,50	185,48	12,7900	2260,9	14,9	34776	189,5	19,0	187,49
	F III 17	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,22	15,26	15,24	15,26	15,25	30,5	30,55	30,53	182,53	12,6580	2271,8	15,8	34718	192,8	19,3	190,20
	F III 7	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,34	15,29	15,35	15,36	15,34	30,5	30,4	30,45	184,70	12,8640	2287,3	9,1	32013	178,9	17,9	173,33
	F III 26	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,38	15,28	15,31	15,29	15,32	30,5	30,6	30,55	184,21	12,9840	2307,1	9,4	36630	200,2	20,0	198,84
	F III 28	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,31	15,32	15,3	15,25	15,30	30,55	30,5	30,53	183,73	12,8300	2287,6	8,2	32464	179,5	18,0	176,69
	F III 31	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,22	15,29	15,29	15,24	15,26	30,7	30,7	30,70	182,89	12,9740	2310,7	21,7	33123	186,6	18,7	181,11
	F III 27	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,3	15,39	15,36	15,35	15,35	30,7	30,5	30,60	185,06	12,8760	2273,8	6,8	31360	175,5	17,6	169,46
	F III 29	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,35	15,34	15,36	15,32	15,34	30,6	30,5	30,55	184,88	12,8180	2269,5	6,1	30857	169,3	16,9	166,91
	F III 30	7/04/2017	5/05/2017	28,0	15,41	15,29	15,32	15,31	15,31	30,8	30,65	30,73	184,01	12,9000	2281,6	7,7	33562	188,6	18,9	182,39

Fuente: Autores.

ANEXO: 43 Análisis estadístico de ensayos a compresión de cilindros de concreto con virutas de torno al 1,6%.



Fuente: Autores.

TABLAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA

ANEXO: 44 Resultados ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto sin fibras.

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm ² *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Prom (m)	Carga máxima aplicada (Kgf)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2						
Concreto Simple	S35	21/03/2017	18/04/2017	28	3,672	0,1	10,30	10,27	10,27	10,28	0,103	19,65	19,60	0,20	4417	43,318	1366,91	14,92	13,94
Concreto Simple	S-16	21/03/2017	18/04/2017	28	3,756	7,8	10,36	10,33	10,40	10,33	0,104	19,85	19,95	0,20	4587	44,985	1389,77	14,92	14,17
Concreto Simple	S-4	21/03/2017	18/04/2017	28	3,850	4,1	10,33	10,40	10,34	10,36	0,104	20,30	20,20	0,20	4578	44,896	1362,74	13,88	13,90
Concreto Simple	S-6	21/03/2017	18/04/2017	28	3,726	8,5	10,31	10,27	10,34	10,32	0,103	19,40	19,70	0,20	5353	52,497	1658,09	16,40	16,91
Concreto Simple	S-3	21/03/2017	18/04/2017	28	3,844	2,6	10,36	10,34	10,31	10,34	0,103	20,20	20,10	0,20	5013	49,162	1502,53	15,86	15,32
Concreto Simple	S24	21/03/2017	18/04/2017	28	3,764	0,6	10,21	10,18	10,23	10,22	0,102	20,30	20,25	0,20	5389	52,850	1625,32	16,80	16,57
Concreto Simple	S28	21/03/2017	18/04/2017	28	3,762	6,6	10,21	10,18	10,24	10,18	0,102	20,40	20,45	0,20	5873	57,597	1759,57	16,30	17,94
Concreto Simple	S30	21/03/2017	18/04/2017	28	3,508	4,3	10,19	10,23	10,15	10,30	0,102	18,90	18,85	0,19	4890	47,956	1583,05	16,80	16,14
Concreto Simple	S23	21/03/2017	18/04/2017	28	3,810	1,0	10,22	10,21	10,22	10,19	0,102	20,40	20,40	0,20	4875	47,809	1461,29	14,60	14,90
Concreto Simple	S38	21/03/2017	18/04/2017	28	3,808	4,3	10,21	10,18	10,26	10,19	0,102	20,40	20,40	0,20	4810	47,172	1441,80	14,20	14,70
Concreto Simple	S-22	21/03/2017	18/04/2017	28	3,842	6,3	10,33	10,36	10,26	10,34	0,103	19,25	20,10	0,20	4980	48,839	1530,90	15,90	15,61
Concreto Simple	S-9	21/03/2017	18/04/2017	28	3,808	6,8	10,34	10,32	10,31	10,41	0,103	19,90	20,15	0,20	4678	45,877	1409,85	14,30	14,38
Concreto Simple	S36	21/03/2017	18/04/2017	28	3,608	1,2	10,19	10,27	10,19	10,16	0,102	19,60	19,55	0,20	4019	39,414	1256,39	12,00	12,81
Concreto Simple	S-13	21/03/2017	18/04/2017	28	3,714	6,8	10,31	10,34	10,35	10,33	0,103	19,50	19,48	0,19	4683	45,926	1451,85	14,40	14,80
Concreto Simple	S-21	21/03/2017	18/04/2017	28	3,876	3,5	10,34	10,31	10,32	10,37	0,103	20,30	20,30	0,20	3986	39,091	1186,17	13,40	12,10
Concreto Simple	S-0.1	21/03/2017	18/04/2017	28	3,816	0,1	10,38	10,33	10,34	10,30	0,103	20,00	20,10	0,20	5480	53,742	1650,70	16,30	16,83
Concreto Simple	S-11	21/03/2017	18/04/2017	28	3,910	7,2	10,35	10,32	10,40	10,37	0,104	20,60	20,50	0,21	5088	49,898	1492,08	14,80	15,22
Concreto Simple	S29	21/03/2017	18/04/2017	28	3,796	6,3	10,23	10,25	10,24	10,18	0,102	20,40	20,30	0,20	4237	41,552	1271,30	13,20	12,96
Concreto Simple	S31	21/03/2017	18/04/2017	28	3,756	1,8	10,23	10,19	10,26	10,19	0,102	20,25	20,35	0,20	5456	53,507	1642,29	16,80	16,75
Concreto Simple	S-10	21/03/2017	18/04/2017	28	3,802	3,8	10,34	10,32	10,32	10,33	0,103	20,00	19,90	0,20	5790	56,783	1754,51	17,90	17,89
Concreto Simple	S-2	21/03/2017	18/04/2017	28	3,884	5,6	10,40	10,38	10,31	10,48	0,104	20,20	20,20	0,20	3856	37,816	1146,78	11,60	11,69

Fuente: Autores.

ANEXO: 45 Resultados ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto con fibra de vidrio AR al 0,03%.

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm2 *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom	Longitud (cm)			Carga máxima aplicada (Kgff)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2	Prom (m)					
Concreto Fibra Vidrio AR I	V. I -2	24/03/2017	21/04/2017	28	3,698	23,7	10,14	10,20	10,18	10,21	0,102	20,20	20,20	0,20	6694	65,648	2032,12	14,92	20,72
Concreto Fibra Vidrio AR I	V. I. 7	24/03/2017	21/04/2017	28	3,758	8,5	10,23	10,25	10,29	10,20	0,102	20,20	20,20	0,20	6156	60,372	1857,62	14,92	18,94
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. 6	24/03/2017	21/04/2017	28	3,744	10,5	10,22	10,21	10,18	10,19	0,102	20,30	20,20	0,20	6636	65,079	2005,85	13,88	20,45
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -13	24/03/2017	21/04/2017	28	3,770	4,7	10,19	10,19	10,29	10,22	0,102	20,40	20,30	0,20	7082	69,453	2125,45	16,40	21,67
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -8	24/03/2017	21/04/2017	28	3,774	5,2	10,27	10,19	10,16	10,24	0,102	20,40	20,40	0,20	7420	72,768	2223,06	15,86	22,67
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -17	24/03/2017	21/04/2017	28	3,706	3,7	10,16	10,22	10,03	10,21	0,102	20,00	19,95	0,20	6894	67,609	2121,88	16,80	21,64
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -9	24/03/2017	21/04/2017	28	3,766	2,6	10,25	10,30	10,29	10,25	0,103	20,20	20,25	0,20	6960	68,257	2091,51	16,30	21,33
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -4	24/03/2017	21/04/2017	28	3,760	6,3	10,15	10,23	10,18	10,15	0,102	20,30	20,30	0,20	7133	69,953	2155,52	16,80	21,98
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -14	24/03/2017	21/04/2017	28	3,756	6,1	10,17	10,18	10,20	10,18	0,102	20,25	20,30	0,20	6179	60,597	1868,61	14,60	19,05
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -16	24/03/2017	21/04/2017	28	3,768	3,1	10,19	10,24	10,22	10,17	0,102	20,50	20,45	0,20	6343	62,206	1895,28	14,20	19,33
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -19	24/03/2017	21/04/2017	28	3,760	2,1	10,13	10,18	10,19	10,15	0,102	20,40	20,45	0,20	6810	66,786	2048,33	15,90	20,89
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -7	24/03/2017	21/04/2017	28	3,710	0,7	10,25	10,24	10,22	10,13	0,102	20,25	20,15	0,20	7440	72,964	2252,23	14,30	22,97
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -3	24/03/2017	21/04/2017	28	3,760	2,5	10,24	10,35	10,26	10,15	0,103	20,25	20,20	0,20	6596	64,687	1986,48	12,00	20,26
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -15	24/03/2017	21/04/2017	28	3,780	2,8	10,25	10,31	10,31	10,24	0,103	20,20	20,15	0,20	7197	70,581	2167,04	14,40	22,10
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. 2	24/03/2017	21/04/2017	28	3,800	10,0	10,29	10,25	10,32	10,28	0,103	20,20	20,20	0,20	6630	65,020	1992,39	13,40	20,32
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -10	24/03/2017	21/04/2017	28	3,794	5,6	10,23	10,27	10,23	10,35	0,103	20,20	20,20	0,20	7810	76,593	2350,42	16,30	23,97
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. 1	24/03/2017	21/04/2017	28	3,766	27,8	10,25	10,21	10,31	10,33	0,103	20,20	20,25	0,20	6654	65,256	1999,07	14,80	20,38
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -11	24/03/2017	21/04/2017	28	3,838	4,1	10,24	10,22	10,20	10,19	0,102	20,50	20,45	0,20	6081	59,636	1815,66	13,20	18,51
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -12	24/03/2017	21/04/2017	28	3,780	4,4	10,18	10,21	10,17	10,15	0,102	20,40	20,40	0,20	7314	71,728	2199,38	16,80	22,43
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -5	24/03/2017	21/04/2017	28	3,736	0,6	10,19	10,21	10,25	10,20	0,102	20,25	20,35	0,20	6268	61,470	1887,63	17,90	19,25
Concreto Fibra Vidrio AR I	V.I. -18	24/03/2017	21/04/2017	28	3,788	2,8	10,22	10,28	10,19	10,33	0,103	20,30	20,30	0,20	6463	63,383	1938,29	11,60	19,77

Fuente: Autores.

ANEXO: 46 Resultados ensayos de tensión indirecta de especímenes de concreto con fibra de vidrio AR al 0,05%.

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm2 *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)			Carga máxima aplicada (KgF)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2	Prom (m)					
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 11	30/03/2017	27/04/2017	28	3,748	19,7	10,21	10,18	10,24	10,18	0,102	20,4	20,4	0,20	8124	79,672	2436,97	24,92	24,85
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 16	30/03/2017	27/04/2017	28	3,768	11,5	10,19	10,23	10,15	10,30	0,102	20,2	20,25	0,20	6916	67,825	2089,48	21,32	21,31
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 1	30/03/2017	27/04/2017	28	3,754	8,2	10,22	10,21	10,22	10,19	0,102	20,25	20,2	0,20	7960	78,064	2406,66	24,68	24,54
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 4	30/03/2017	27/04/2017	28	3,760	5,0	10,23	10,25	10,24	10,18	0,102	20,2	20,2	0,20	7047	69,110	2130,13	21,74	21,72
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 15	30/03/2017	27/04/2017	28	3,770	7,8	10,23	10,19	10,26	10,19	0,102	20,2	20,3	0,20	7341	71,993	2215,14	22,56	22,59
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 6	30/03/2017	27/04/2017	28	3,766	4,4	10,34	10,32	10,32	10,33	0,103	20	20	0,20	7526	73,807	2274,86	23,28	23,20
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 14	30/03/2017	27/04/2017	28	3,786	12,8	10,40	10,38	10,31	10,48	0,104	20,2	20,1	0,20	7867	77,152	2345,47	23,93	23,92
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 13	30/03/2017	27/04/2017	28	3,770	15,6	10,11	10,12	10,18	10,15	0,101	20,1	20,2	0,20	8023	78,682	2451,55	24,80	25,00
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 12	30/03/2017	27/04/2017	28	3,786	5,0	10,13	10,12	10,20	10,18	0,102	20,25	20,30	0,20	7838	76,867	2376,15	24,26	24,23
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 19	30/03/2017	27/04/2017	28	3,748	5,6	10,16	10,21	10,11	10,12	0,102	20,50	20,45	0,20	6630	65,020	1991,77	20,35	20,31
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 5	30/03/2017	27/04/2017	28	3,751	7,2	10,26	10,27	10,13	10,12	0,102	20,40	20,45	0,20	7382	72,395	2213,30	22,59	22,57
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 8	30/03/2017	27/04/2017	28	3,739	7,4	10,13	10,14	10,16	10,21	0,102	20,25	20,15	0,20	7393	72,503	2249,01	22,63	22,93
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 3	30/03/2017	27/04/2017	28	3,754	3,1	10,12	10,28	10,26	10,27	0,102	20,25	20,20	0,20	7052	69,159	2127,44	21,59	21,69
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 10	30/03/2017	27/04/2017	28	3,770	3,4	10,25	10,31	10,13	10,14	0,102	20,20	20,15	0,20	6752	66,217	2046,99	20,88	20,87
Concreto Fibra Vidrio AR II	V II 2	30/03/2017	27/04/2017	28	3,769	7,1	10,20	10,19	10,12	10,28	0,102	20	20	0,20	8469	83,055	2592,54	26,54	26,44
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 0.3	30/03/2017	27/04/2017	28	3,798	5,6	10,17	10,15	10,23	10,35	0,102	20,2	20,1	0,20	7746	75,965	2347,23	23,30	23,94
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 0.2	30/03/2017	27/04/2017	28	3,786	27,8	10,25	10,20	10,31	10,33	0,103	20	20	0,20	7654	75,063	2325,94	23,80	23,72
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 20	30/03/2017	27/04/2017	28	3,818	4,1	10,19	10,33	10,20	10,19	0,102	20,2	20,1	0,20	7081	69,443	2145,19	23,82	21,87
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 22	30/03/2017	27/04/2017	28	3,754	10,20	10,18	10,21	10,17	10,15	0,102	20,1	20,2	0,20	7511	73,660	2286,64	23,18	23,32
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 21	30/03/2017	27/04/2017	28	3,765	10,11	10,12	10,21	10,25	10,20	0,102	20,25	20,30	0,20	7228	70,885	2183,16	22,34	22,26
Concreto Fibra Vidrio AR II	V. II. 23	30/03/2017	27/04/2017	28	3,790	10,13	10,12	10,28	10,19	10,33	0,102	20,50	20,45	0,20	7630	74,827	2274,27	23,54	23,19

Fuente: Autores.

ANEXO: 47 Resultados de ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto adicionado de fibras de vidrio AR al 0,11%.

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm ² *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Prom (r)	Carga máxima aplicada (Kgf)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2						
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 12	27/03/2017	24/04/2017	28	3,596	2,81	10,14	10,39	10,27	10,25	0,103	20,20	20,10	0,20	8873	87,018	2678,91	27,40	27,32
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 11	27/03/2017	24/04/2017	28	3,602	1,81	10,25	10,23	10,30	10,27	0,103	20,20	20,20	0,20	8653	84,860	2606,02	26,50	26,57
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 20	27/03/2017	24/04/2017	28	3,588	0,45	10,14	10,39	10,28	10,12	0,102	20,30	20,25	0,20	7867	77,152	2367,46	24,20	24,14
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 14	27/03/2017	24/04/2017	28	3,620	0,54	10,11	10,24	10,22	10,21	0,102	20,25	20,30	0,20	8966	87,930	2708,11	27,60	27,62
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 19	27/03/2017	24/04/2017	28	3,652	0,21	10,26	10,23	10,21	10,20	0,102	20,50	20,50	0,21	8736	85,674	2602,03	26,26	26,53
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 17	27/03/2017	24/04/2017	28	3,6060	1,88	10,19	10,22	10,17	10,22	0,102	20,25	20,20	0,20	8937	87,645	2704,70	27,58	27,58
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 18	27/03/2017	24/04/2017	28	3,6080	0,80	10,21	10,20	10,22	10,19	0,102	20,20	20,15	0,20	8758	85,890	2655,80	27,30	27,08
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 13	27/03/2017	24/04/2017	28	3,5720	0,99	10,19	10,19	10,24	10,19	0,102	20,10	20,00	0,20	8954	87,812	2732,83	27,80	27,87
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 15	27/03/2017	24/04/2017	28	3,5600	1,74	10,14	10,21	10,25	10,17	0,102	20,20	20,10	0,20	9061	88,861	2754,46	28,00	28,09
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 21	27/03/2017	24/04/2017	28	3,6380	1,45	10,22	10,24	10,21	10,20	0,102	20,40	20,40	0,20	9612	94,265	2879,09	29,40	29,36
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 16	27/03/2017	24/04/2017	28	3,6940	1,36	10,22	10,19	10,19	10,31	0,102	20,30	20,30	0,20	8865	86,939	2665,81	27,18	27,18
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 22	27/03/2017	24/04/2017	28	3,588	0,45	10,14	10,39	10,28	10,12	0,102	20,25	20,15	0,20	8693	85,252	2625,75	26,80	26,78
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 27	27/03/2017	24/04/2017	28	3,620	0,54	10,11	10,24	10,22	10,21	0,102	20,25	20,20	0,20	8052	78,966	2438,06	24,86	24,86
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 31	27/03/2017	24/04/2017	28	3,770	3,40	10,25	10,31	10,13	10,14	0,102	20,20	20,15	0,20	8752	85,831	2653,33	27,06	27,06
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 23	27/03/2017	24/04/2017	28	3,769	7,10	10,20	10,19	10,12	10,28	0,102	20,00	20,00	0,20	8469	83,055	2592,54	26,54	26,44
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 30	27/03/2017	24/04/2017	28	3,798	5,60	10,17	10,15	10,23	10,35	0,102	20,20	20,10	0,20	8758	85,890	2653,89	27,08	27,06
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 29	27/03/2017	24/04/2017	28	3,786	27,80	10,25	10,20	10,31	10,33	0,103	20,20	20,10	0,20	8954	87,812	2700,74	27,60	27,54
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 24	27/03/2017	24/04/2017	28	3,596	2,81	10,14	10,39	10,27	10,25	0,103	20,50	20,40	0,20	8561	83,958	2546,80	25,90	25,97
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 28	27/03/2017	24/04/2017	28	3,602	1,81	10,25	10,23	10,30	10,27	0,103	20,10	20,20	0,20	7912	77,593	2388,77	24,36	24,36
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 25	27/03/2017	24/04/2017	28	3,5720	0,99	10,19	10,19	10,24	10,19	0,102	20,00	20,30	0,20	8628	84,615	2620,26	26,71	26,72
Concreto Fibra Vidrio AR III	AR 26	27/03/2017	24/04/2017	28	3,5600	1,74	10,14	10,21	10,25	10,17	0,102	20,40	20,40	0,20	8630	84,634	2591,29	26,45	26,42

Fuente: Autores.

ANEXO: 48 Resultados ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto adicionado de fibras de vidrio tipo E al 0,05%.

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm2 *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Prom (m)	Carga máxima aplicada (Kg)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)	Resistencia a tension ft (kg/cm2)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2						
Concreto Fibra Vidrio E	E 4	25/04/2017	23/05/2017	28	3,606	1,3	10,11	10,12	10,12	10,28	0,102	20,20	20,20	0,20	5873	57,597	1787,06	18,20	18,22
Concreto Fibra Vidrio E	E. 5	25/04/2017	23/05/2017	28	3,598	0,63	10,13	10,12	10,23	10,35	0,102	20,3	20,25	0,20	5653	55,439	1705,36	17,32	17,39
Concreto Fibra Vidrio E	E 12	25/04/2017	23/05/2017	28	3,602	12,5	10,16	10,21	10,31	10,33	0,103	20,2	20,2	0,20	4867	47,731	1467,22	14,88	14,96
Concreto Fibra Vidrio E	E10	25/04/2017	23/05/2017	28	3,600	0,45	10,26	10,27	10,27	10,25	0,103	20,2	20,2	0,20	5966	58,509	1796,78	18,44	18,32
Concreto Fibra Vidrio E	E17	25/04/2017	23/05/2017	28	3,601	6,6	10,13	10,14	10,30	10,27	0,102	20,1	20,15	0,20	6336	62,137	1925,17	19,26	19,63
Concreto Fibra Vidrio E	E19	25/04/2017	23/05/2017	28	3,548	0,16	10,12	10,28	10,24	10,19	0,102	20,3	20,2	0,20	4937	48,417	1491,20	15,28	15,21
Concreto Fibra Vidrio E	E1	25/04/2017	23/05/2017	28	3,598	0,26	10,16	10,18	10,25	10,17	0,102	20,15	20,2	0,20	5758	56,469	1748,64	17,83	17,83
Concreto Fibra Vidrio E	E13	25/04/2017	23/05/2017	28	3,680	0,28	10,14	10,17	10,24	10,19	0,102	20,2	20,3	0,20	5954	58,391	1802,35	18,48	18,38
Concreto Fibra Vidrio E	E16	25/04/2017	23/05/2017	28	3,620	0,75	10,18	10,17	10,25	10,17	0,102	20,35	20,3	0,20	5561	54,537	1675,94	17,26	17,09
Concreto Fibra Vidrio E	E2	25/04/2017	23/05/2017	28	3,567	0,68	10,22	10,24	10,21	10,20	0,102	20,40	20,40	0,20	6012	58,960	1800,78	17,32	18,36
Concreto Fibra Vidrio E	E8	25/04/2017	23/05/2017	28	3,583	0,61	10,22	10,19	10,19	10,31	0,102	20,30	20,30	0,20	5365	52,615	1613,32	16,46	16,45
Concreto Fibra Vidrio E	E6	25/04/2017	23/05/2017	28	3,550	0,47	10,14	10,13	10,28	10,12	0,102	20,1	20,15	0,20	7393	72,503	2255,73	22,73	23,00
Concreto Fibra Vidrio E	E17	25/04/2017	23/05/2017	28	3,606	0,02	10,15	10,21	10,22	10,21	0,102	20,3	20,2	0,20	7052	69,159	2132,11	21,70	21,74
Concreto Fibra Vidrio E	E9	25/04/2017	23/05/2017	28	3,660	0,07	10,1	10,14	10,13	10,14	0,101	20,15	20,2	0,20	6752	66,217	2063,16	20,90	21,04
Concreto Fibra Vidrio E	E15	25/04/2017	23/05/2017	28	3,578	0,91	10,11	10,26	10,12	10,28	0,102	20,2	20,3	0,20	8469	83,055	2561,79	26,40	26,12
Concreto Fibra Vidrio E	E21	25/04/2017	23/05/2017	28	3,598	0,99	10,13	10,11	10,24	10,19	0,102	20,35	20,3	0,20	5758	56,469	1739,58	17,81	17,74
Concreto Fibra Vidrio E	E18	25/04/2017	23/05/2017	28	3,620	0,68	10,13	10,14	10,25	10,17	0,102	20,40	20,40	0,20	5954	58,391	1791,30	18,38	18,27
Concreto Fibra Vidrio E	E14	25/04/2017	23/05/2017	28	3,512	0,84	10,21	10,24	10,21	10,20	0,102	20,30	20,30	0,20	5561	54,537	1674,31	16,82	17,07
Concreto Fibra Vidrio E	E3	25/04/2017	23/05/2017	28	3,584	0,56	10,16	10,16	10,19	10,31	0,102	20,25	20,15	0,20	6012	58,960	1820,84	18,80	18,57
Concreto Fibra Vidrio E	E20	25/04/2017	23/05/2017	28	3,591	0,05	10,24	10,21	10,28	10,12	0,102	20,25	20,20	0,20	7228	70,885	2184,81	22,90	22,28
Concreto Fibra Vidrio E	E7	25/04/2017	23/05/2017	28	3,569	0,42	10,13	10,11	10,25	10,17	0,102	20,20	20,15	0,20	7630	74,827	2322,84	23,36	23,69

Fuente: Autores.

ANEXO: 49 Resultados ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto adicionado de virutas de torno al 1% (sin lavar).

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm ² *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Prom (m)	Carga máxima aplicada (Kgf)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tension ft (kpa)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)	Resistencia a tension ft (kg/cm ²)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2		P	P	T	E	T
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 17	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7460	0,16	10,26	10,23	10,29	10,29	0,103	20,25	20,2	0,20	3642	35,717	1094,97	11,2	11,17
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 21	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7620	0,45	10,25	10,37	10,19	10,32	0,103	20,3	20,25	0,20	4255	41,729	1274,25	12,9	12,99
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 5	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7460	2,23	10,29	10,18	10,22	10,18	0,102	20,2	20,3	0,20	5434	53,291	1639,71	16,72	16,72
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 11	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7620	0,47	10,26	10,28	10,3	10,21	0,103	20,2	20,3	0,20	5052	49,545	1517,75	15,5	15,48
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 10	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7740	0,45	10,25	10,18	10,18	10,19	0,102	20,4	20,4	0,20	4174	40,934	1252,39	12,77	12,77
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 6	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7400	0,91	10,18	10,25	10,23	10,19	0,102	20,2	20,25	0,20	4567	44,789	1380,47	14,08	14,08
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 14	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7940	1,01	10,18	10,32	10,23	10,22	0,102	20,25	20,2	0,20	5873	57,597	1770,90	18,06	18,06
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 13	3/04/2017	1/05/2017	28	3,7220	1,55	10,21	10,25	10,24	10,16	0,102	20,2	20,2	0,20	4451	43,651	1346,74	13,74	13,73
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 16	3/04/2017	1/05/2017	28	3,756	0,99	10,22	10,19	10,18	10,2	0,102	20,2	20,3	0,20	3734	36,619	1128,94	11,53	11,51
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 15	3/04/2017	1/05/2017	28	3,686	2,58	10,15	10,24	10,3	10,11	0,102	20	20	0,20	5110	50,114	1563,89	15,95	15,95
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 18	3/04/2017	1/05/2017	28	3,74	0,16	10,19	10,17	10,16	10,22	0,102	20,2	20,1	0,20	4012	39,346	1220,51	12,53	12,45
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 4	3/04/2017	1/05/2017	28	3,732	0,02	10,13	10,13	10,16	10,15	0,101	20,1	20,2	0,20	4509	44,220	1377,45	14,05	14,05
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 7	3/04/2017	1/05/2017	28	3,782	1,08	10,27	10,11	10,12	10,13	0,102	20,4	20,5	0,20	4856	47,623	1459,54	14,8	14,88
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 9	3/04/2017	1/05/2017	28	3,79	1,1	10,12	10,11	10,11	10,12	0,101	20,5	20,4	0,20	4486	43,994	1353,99	13,84	13,81
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 2	3/04/2017	1/05/2017	28	3,736	1,06	10,15	10,18	10,19	10,18	0,102	20,2	20,2	0,20	5931	58,165	1801,60	18,4	18,37
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 8	3/04/2017	1/05/2017	28	3,764	0,49	10,11	10,12	10,28	10,16	0,102	20,2	20,15	0,20	4231	41,493	1287,75	13,15	13,13
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 19	3/04/2017	1/05/2017	28	3,724	1,36	10,11	10,27	10,16	10,1	0,102	20,3	20,3	0,20	5596	54,880	1693,96	17,3	17,27
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 20	3/04/2017	1/05/2017	28	3,78	1,15	10,2	10,21	10,18	10,19	0,102	20,3	20,2	0,20	4220	41,386	1276,19	13,05	13,01
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 1	3/04/2017	1/05/2017	28	3,794	1,01	10,13	10,15	10,11	10,19	0,101	20,4	20,45	0,20	4890	47,956	1473,37	15,03	15,02
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 3	3/04/2017	1/05/2017	28	3,808	2,44	10,28	10,29	10,17	10,26	0,103	20,4	20,5	0,20	5457	53,517	1625,37	16,6	16,57
Concreto Viruta Torno (Dosis I)	F I 12	3/04/2017	1/05/2017	28	3,8	0,91	10,12	10,14	10,12	10,1	0,101	20,5	20,45	0,20	4948	48,525	1490,88	15,2	15,20

Fuente: Autores.

ANEXO: 50 Resultados de ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto adicionado de virutas de torno al 1,3% (lavado con agua).

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																			
Mezcla	# Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Edad cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm ² *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Prom (m)	Carga máxima aplicada (Kg)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tensión ft (kpa)	Resistencia a tensión ft (kg/cm ²)	Resistencia a tensión ft (kg/cm ²)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2						
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 20	5/04/2017	3/05/2017	28	3,78	0,42	10,25	10,18	10,18	10,19	0,102	20,2	20,2	0,20	6470	63,451	1960,51	17,2	19,99
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 17	5/04/2017	3/05/2017	28	3,784	1,24	10,24	10,2	10,21	10,28	0,102	20,6	20,3	0,20	5775	56,635	1723,03	15,9	17,57
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 1	5/04/2017	3/05/2017	28	3,81	0,99	10,24	10,26	10,33	10,25	0,103	20,2	20,5	0,20	4416	43,308	1319,20	13,1	13,45
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 16	5/04/2017	3/05/2017	28	3,788	0,09	10,21	10,17	10,28	10,2	0,102	20,3	20,2	0,20	5231	51,300	1578,84	18,12	16,10
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 14	5/04/2017	3/05/2017	28	3,776	0,73	10,18	10,21	10,19	10,2	0,102	20,5	20,5	0,21	5538	54,311	1654,35	13,2	16,87
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 18	5/04/2017	3/05/2017	28	3,78	0,66	10,2	10,26	10,18	10,25	0,102	20,6	20,4	0,21	6341	62,186	1889,14	15,2	19,26
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 19	5/04/2017	3/05/2017	28	3,824	0,14	10,24	10,17	10,18	10,23	0,102	20,3	20,4	0,20	5601	54,929	1683,85	17,45	17,17
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 2	5/04/2017	3/05/2017	28	3,806	0,49	10,3	10,25	10,29	10,24	0,103	20,5	20,4	0,20	6307	61,853	1874,89	11,88	19,12
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 21	5/04/2017	3/05/2017	28	3,834	0,16	10,33	10,2	10,19	10,24	0,102	20,3	20,3	0,20	5463	53,576	1640,78	12,93	16,73
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 4	5/04/2017	3/05/2017	28	3,814	0,52	10,32	10,3	10,29	10,28	0,103	20,5	20,5	0,21	5145	50,457	1521,65	17,28	15,52
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 3	5/04/2017	3/05/2017	28	3,678	1,52	10,23	10,16	10,18	10,34	0,102	20,3	20,3	0,20	4850	47,564	1458,45	14,6	14,87
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 12	5/04/2017	3/05/2017	28	3,776	0,26	10,21	10,24	10,19	10,25	0,102	20,1	20,1	0,20	4821	47,280	1464,87	12,66	14,94
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 5	5/04/2017	3/05/2017	28	3,748	0,89	10,15	10,34	10,36	10,14	0,102	20,5	20,5	0,21	5133	50,339	1525,51	12,8	15,56
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 6	5/04/2017	3/05/2017	28	3,734	0,21	10,22	10,17	10,16	10,25	0,102	20,3	20,2	0,20	4243	41,611	1282,52	14,3	13,08
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 10	5/04/2017	3/05/2017	28	3,798	0,89	10,13	10,18	10,19	10,23	0,102	20,3	20,3	0,20	4619	45,299	1395,13	16,6	14,23
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 15	5/04/2017	3/05/2017	28	3,788	1,41	10,18	10,17	10,18	10,15	0,102	20,3	20,3	0,20	5347	52,438	1617,00	11,7	16,49
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 11	5/04/2017	3/05/2017	28	3,794	0,09	10,3	10,17	10,31	10,28	0,103	20,3	20,4	0,20	4937	48,417	1475,56	13,18	15,05
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II 13	5/04/2017	3/05/2017	28	3,704	1,55	10,25	10,34	10,24	10,35	0,103	20,3	20,4	0,20	5723	56,125	1705,49	15,85	17,39
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II -6	5/04/2017	3/05/2017	28	3,774	0,14	10,22	10,34	10,31	10,2	0,103	20,2	20,4	0,20	4752	46,603	1423,42	15,5	14,51
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II -2	5/04/2017	3/05/2017	28	3,734	0,21	10,22	10,17	10,37	10,36	0,103	20,2	20,2	0,20	5301	51,987	1593,78	12,8	16,25
Concreto Viruta Torno (Dosis II)	F II -5	5/04/2017	3/05/2017	28	3,798	0,89	10,13	10,18	10,23	10,32	0,102	20,3	20,4	0,20	5746	56,351	1725,75	11,2	17,60

Fuente: Autores.

ANEXO: 51 Resultados de ensayos a tensión indirecta de especímenes de concreto adicionado de virutas de torno al 1,6% (desengrasadas).

ENSAYO RESISTENCIA A TENSION DIAMETRAL DE ESPECIMENES DE CONCRETO																		
Mezcla	Nombre Cilindro	Fecha de elaboración	Fecha de falla	Eda d cilindro	Peso cilindro (kg)	Velocidad de carga (kg/cm2 *s)	Diámetro Sup (cm)		Diámetro Inf (cm)		Diámetro Prom (m)	Longitud (cm)		Carga máxima aplicada (Kgf)	Carga máxima aplicada (kN)	Resistencia a tensión ft (kpa)	Resistencia a tensión ft (kg/cm2)	Resistencia a tensión ft (kg/cm2)
							D1	D2	D1	D2		L1	L2					
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 37	7/04/2017	5/05/2017	28	3,761	0,33	10,24	10,26	10,32	10,35	0,103	20,2	20,2	0,20	6218	60,980	1867,22	19,1
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 30	7/04/2017	5/05/2017	28	3,758	0,68	10,18	10,21	10,25	10,25	0,102	20,2	20,3	0,20	7139	70,012	2153,14	21,9
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 35	7/04/2017	5/05/2017	28	3,803	0,3	10,21	10,25	10,2	10,26	0,102	20,3	20,2	0,20	6260	61,392	1886,64	19,22
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 43	7/04/2017	5/05/2017	28	3,778	0,09	10,24	10,23	10,16	10,3	0,102	20,6	20,5	0,21	6983	68,482	2073,31	21,15
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 38	7/04/2017	5/05/2017	28	3,776	0,47	10,18	10,25	10,19	10,24	0,102	20,4	20,4	0,20	6312	61,902	1891,10	19,3
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 27	7/04/2017	5/05/2017	28	3,789	0,91	10,29	10,37	10,2	10,21	0,103	20,2	20,3	0,20	5960	58,450	1789,67	18,2
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 42	7/04/2017	5/05/2017	28	3,724	0,38	10,19	10,18	10,15	10,14	0,102	20,4	20,4	0,20	6671	65,422	2008,49	20,5
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 40	7/04/2017	5/05/2017	28	3,805	0,7	10,17	10,21	10,21	10,27	0,102	20,3	20,15	0,20	5850	57,371	1767,85	18,05
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 41	7/04/2017	5/05/2017	28	3,791	1,71	10,21	10,19	10,2	10,15	0,102	20,4	20,5	0,20	6226	61,058	1865,80	18,08
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 16	7/04/2017	5/05/2017	28	3,721	1,27	10,32	10,18	10,21	10,29	0,103	20,3	20,2	0,20	7125	69,875	2143,15	21,9
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 32	7/04/2017	5/05/2017	28	3,746	0,38	10,35	10,15	10,17	10,18	0,102	20,3	20,3	0,20	6763	66,325	2036,70	20,8
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 29	7/04/2017	5/05/2017	28	3,751	0,84	10,21	10,24	10,25	10,19	0,102	20,2	20,2	0,20	5093	49,947	1539,86	15,75
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 33	7/04/2017	5/05/2017	28	3,747	0,42	10,19	10,29	10,3	10,26	0,103	20,2	20,3	0,20	6174	60,548	1855,28	18,9
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 34	7/04/2017	5/05/2017	28	3,782	0,19	10,18	10,24	10,29	10,25	0,102	20,3	20,2	0,20	6148	60,293	1851,08	18,91
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 28	7/04/2017	5/05/2017	28	3,802	0,7	10,17	10,22	10,19	10,23	0,102	20,3	20,2	0,20	7076	69,394	2138,32	21,82
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 36	7/04/2017	5/05/2017	28	3,736	0,52	10,19	10,16	10,21	10,16	0,102	20,1	20,3	0,20	6404	62,804	1944,32	19,8
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 44	7/04/2017	5/05/2017	28	3,764	0,77	10,24	10,23	10,21	10,15	0,102	20,4	20,4	0,20	6301	61,794	1889,19	19,3
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 31	7/04/2017	5/05/2017	28	3,724	0,91	10,2	10,31	10,36	15,18	0,115	20,2	20,2	0,20	6781	66,501	1820,49	18,59
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III 39	7/04/2017	5/05/2017	28	3,781	0,61	10,44	10,37	10,27	10,32	0,104	20,7	20,5	0,21	7008	68,727	2052,12	20,95
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III -1	7/04/2017	5/05/2017	28	3,794	0,3	10,36	10,35	10,37	10,36	0,104	20,4	20,8	0,21	6301	61,794	1843,31	18,82
Concreto Viruta Torno (Dosis III)	F III -2	7/04/2017	5/05/2017	28	3,736	0,75	10,38	10,36	10,23	10,32	0,103	20,7	20,7	0,21	5746	56,351	1678,91	17,15

Fuente: Autores.

TABLAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DEL MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACION POISSON

ANEXO: 52 Resultados de ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson.

mezcla	# cilindro	f'c (kg/cm2)	f'c (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD						RELACION DE POISSON					
				S2 (Mpa)	S1 (Mpa)	E2 (%)	E1 (%)	E (Kg/cm2)	E promedio (Kg/cm2)	Et2 (%)	Et1 (%)	μ	μ	μ	
concreto sin fibras	S14	219,1	21,49	8,59	1,95	0,00035	0,00005	225852,62	187484,43	188581,89	0,00051	0,00043	0,27	0,23	0,23
				8,59	2,85	0,00038	0,00005	177510,02			0,0005	0,00044	0,18		
				8,59	2,51	0,00044	0,00005	159090,65			0,00049	0,00039	0,26		
	S2	211,6	20,75	8,30	0	0,0004	0,00005	241829,47	195601,74		0,00031	0,0004	0,26	0,23	
				8,30	1,98	0,00045	0,00005	161124,65			0,00038	0,00048	0,25		
				8,30	1,99	0,0004	0,00005	183851,10			0,00045	0,00039	0,17		
	S1	213,1	20,90	8,36	0,01	0,0005	0,00005	189196,32	183037,72		0,0004	0,0005	0,22	0,23	
				8,36	1,6	0,00045	0,00005	172311,99			0,00045	0,00037	0,20		
				8,36	1,92	0,0004	0,00005	187604,84			0,0005	0,00041	0,26		
	S11	202,3	19,84	7,94	1,85	0,0004	0,00005	177301,37	187725,64		0,00052	0,00046	0,17	0,23	
				7,94	2,01	0,00038	0,00005	183102,81			0,00043	0,00035	0,24		
				7,94	1,97	0,00035	0,00005	202772,72			0,0005	0,00042	0,27		
	S33	228,4	22,40	8,96	2	0,00048	0,00005	165037,07	189059,94		0,0004	0,00031	0,21	0,23	
				8,96	1,86	0,00038	0,00005	219374,39			0,00045	0,00033	0,36		
				8,96	1,79	0,00045	0,00005	182768,38			0,0005	0,00045	0,13		
concreto con fibras de vidrio AR 0,03%	AR18	203,6	19,97	7,99	1,6	0,0003	0,00005	260499,13	198701,74	200411,31	0,00045	0,0004	0,20	0,23	
				7,99	1,97	0,00036	0,00005	197909,09			0,00043	0,0005	0,23		
				7,99	1,91	0,0005	0,00005	137697,00			0,00042	0,0003	0,27		
	AR 16	210,9	20,68	8,27	0,96	0,00045	0,00005	186427,50	198283,89		0,00059	0,00045	0,35	0,24	
				8,27	1,4	0,00035	0,00005	233614,11			0,0005	0,00045	0,17		
				8,27	1,93	0,00042	0,00005	174810,05			0,00046	0,00038	0,22		
	AR 13	218,1	21,39	8,56	0,02	0,0005	0,00005	193414,18	199878,21		0,0001	0	0,22	0,22	
				8,56	0,86	0,00042	0,00005	212083,06			0,00032	0,0004	0,22		
				8,56	0,94	0,00045	0,00005	194137,39			0,0003	0,00039	0,23		
	AR 10	226,2	22,18	8,87	0,02	0,0005	0,00005	200614,20	188409,87		0,0001	0	0,22	0,22	
				8,87	0,82	0,00048	0,00005	190973,56			0,0003	0,0004	0,23		
				8,87	1,04	0,00051	0,00005	173641,84			0,00028	0,00037	0,20		
	AR 26	213,6	20,95	8,38	1,95	0,00045	0,00005	163889,44	216782,84		0,0005	0,00033	0,43	0,23	
				8,38	0,28	0,00041	0,00005	229403,06			0,0003	0,00035	0,14		
				8,38	0,06	0,00038	0,00005	257056,02			0,00046	0,0005	0,12		

Fuente: Autores.

ANEXO: 53 resultados de ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson.

mezcla	# cilindro	f'c (kg/cm2)	f'c (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD						RELACION DE POISSON					
				S2 (Mpa)	S1 (Mpa)	E2 (%)	E1 (%)	E (Kg/cm2)	E promedio (Kg/cm2)	Et2 (%)	Et1 (%)	μ	μ	μ	
concreto con fibras de vidrio AR 0,05%	V -41	210,2	20,61	8,25	1,93	0,00042	0,00005	174053,29	215118,56	211228,99	0	0,000054	0,15	0,21	0,24
				8,25	0,85	0,00031	0,00005	290048,82			0,00044	0,00038	0,23		
				8,25	0,78	0,00047	0,00005	181253,56			0,00058	0,00047	0,26		
	V -10	193,2	18,95	7,58	1,02	0,00044	0,00005	171484,98	204559,92		0,00046	0,0004	0,15	0,24	
				7,58	0,25	0,00032	0,00005	276781,43			0,0005	0,00042	0,30		
				7,58	1,09	0,00045	0,00005	165413,35			0,00046	0,00035	0,28		
	V -34	217,6	21,34	8,54	0,65	0,00046	0,00005	196127,18	220195,39		0,0006	0,00052	0,20	0,26	
				8,54	0,8	0,00037	0,00005	246508,01			0,00055	0,00046	0,28		
				8,54	0,2	0,00044	0,00005	217950,98			0,0005	0,00038	0,31		
	V -23	198,5	19,47	7,79	1,95	0,0003	0,00005	238063,02	214262,19		0,00044	0,0004	0,16	0,24	
				7,79	1,04	0,00039	0,00005	202338,84			0,00048	0,00058	0,29		
				7,79	0,84	0,0004	0,00005	202384,71			0,00052	0,00043	0,26		
	V.39	206,5	20,25	8,10	1,01	0,00041	0,00005	200836,49	202008,87		0,00048	0,00041	0,19	0,23	
				8,10	0,4	0,00042	0,00005	212220,07			0,00035	0,00044	0,24		
				8,10	0,72	0,00044	0,00005	192970,06			0,0004	0,0003	0,26		
concreto con fibras de vidrio AR 0,11%	V III 19	198,9	19,51	7,80	0,28	0,00036	0,00005	247435,74	232248,43	219711,98	0,00031	0,00025	0,19	0,22	0,24
				7,80	0,34	0,00034	0,00005	262390,51			0,0004	0,00047	0,24		
				7,80	0,47	0,00045	0,00005	186919,03			0,00033	0,00042	0,23		
	V III 22	218	21,38	8,55	1,39	0,00039	0,00005	214782,99	213166,33		0,00045	0,0005	0,15	0,24	
				8,55	0,74	0,00045	0,00005	199135,99			0,0004	0,0005	0,25		
				8,55	1,03	0,00039	0,00005	225580,02			0,00037	0,00048	0,32		
	V III 3	214,19	21,00	8,40	0,01	0,00045	0,00005	213935,87	206851,03		0,00018	0,0001	0,20	0,21	
				8,40	1,01	0,00042	0,00005	203722,02			0,0004	0,00048	0,22		
				8,40	1,04	0,00042	0,00005	202895,22			0,00046	0,00038	0,22		
	V III 20	200,7	19,68	7,87	0,2	0,00033	0,00005	279431,64	241785,40		0,00046	0,00054	0,29	0,28	
				7,87	0,41	0,00038	0,00005	230604,38			0,00046	0,00052	0,18		
				7,87	0,06	0,00042	0,00005	215320,18			0,00046	0,0006	0,38		
	V III 35	208,54	20,45	8,18	0,39	0,00044	0,00005	203690,77	204508,69		0,00046	0,00037	0,23	0,25	
				8,18	0,64	0,00036	0,00005	248032,59			0,00046	0,00053	0,23		
				8,18	1,04	0,0005	0,00005	161802,72			0,00046	0,00059	0,29		

Fuente: Autores.

ANEXO: 54 Resultados de ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson.

mezcla	# cilindro	f'c (kg/cm2)	f'c (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD						RELACION DE POISSON					
				S2 (Mpa)	S1 (Mpa)	E2 (%)	E1 (%)	E (Kg/cm2)	E promedio (Kg/cm2)	Et2 (%)	Et1 (%)	μ	μ	μ	
concreto con viruta de torno 1%	I F 5	146,3	14,35	5,74	0,60	0,00028	0,00005	227834,34	195225,80	199783,41	0,0003	0,00034	0,17	0,19	0,20
				5,74	0,85	0,0003	0,00005	199410,39			0,0001	0,00015	0,20		
				5,74	2,01	0,00029	0,00005	158432,69			0,00049	0,00044	0,21		
	I F 35	147,7	14,48	5,79	0	0,00028	0,00005	256870,52	211340,75		0,00031	0,00034	0,13	0,19	
				5,79	0,07	0,00037	0,00005	182395,05			0,00034	0,00039	0,16		
				5,79	1,21	0,00029	0,00005	194756,70			0,00045	0,00038	0,29		
	I F 9	134,6	13,20	5,28	0,6	0,00022	0,00005	280716,94	182456,09		0,0003	0,00026	0,24	0,18	
				5,28	0,82	0,00045	0,00005	113696,24			0,00041	0,00037	0,10		
				5,28	0,03	0,0004	0,00005	152955,10			0,00042	0,00049	0,20		
	I F 32	142,9	14,01	5,61	0,62	0,00032	0,00005	188288,70	191825,70		0,00052	0,00044	0,30	0,20	
				5,61	0,58	0,00033	0,00005	183020,84			0,00039	0,00035	0,14		
				5,61	0,6	0,0003	0,00005	204167,57			0,00046	0,00042	0,16		
	I F 4	146,7	14,39	5,75	0,92	0,00029	0,00005	205411,64	218068,70		0,00036	0,00031	0,21	0,21	
				5,75	1,42	0,00025	0,00005	221000,97			0,00037	0,00033	0,20		
				5,75	0,84	0,00027	0,00005	227793,50			0,0005	0,00045	0,23		
concreto con viruta de torno 1,3 %	II F 40	145,7	14,29	5,72	0,51	0,00023	0,00005	294886,91	214616,33	213041,93	0,00014	0,0001	0,22	0,26	
				5,72	0,3	0,00034	0,00005	190417,44			0,0004	0,00047	0,24		
				5,72	0,74	0,00037	0,00005	158544,65			0,0002	0,0003	0,31		
	II F 21	169,2	16,59	6,64	0,75	0,00023	0,00005	333513,06	219290,40		0,0002	0,00017	0,17	0,20	
				6,64	0,82	0,0004	0,00005	169481,56			0,00032	0,00042	0,29		
				6,64	0,41	0,00046	0,00005	154876,58			0,00025	0,00031	0,15		
	II F 6	164,1	16,09	6,44	0,81	0,0003	0,00005	229522,05	234092,56		0,0001	0	0,40	0,25	
				6,44	0,65	0,00029	0,00005	245883,60			0,00013	0,0001	0,13		
				6,44	0,43	0,00032	0,00005	226872,03			0,0003	0,00036	0,22		
	II F 11	162,7	15,96	6,38	0,53	0,0003	0,00005	238702,90	202616,03		0,00013	0,0001	0,12	0,23	
				6,38	0,29	0,0004	0,00005	177494,44			0,0003	0,0004	0,29		
				6,38	0,18	0,00038	0,00005	191650,74			0,00028	0,00037	0,27		
	II F 34	162,8	15,97	6,39	0,89	0,0004	0,00005	160127,81	194594,31		0,0005	0,00047	0,09	0,13	
				6,39	0,54	0,00032	0,00005	220791,68			0,0003	0,00035	0,19		
				6,39	0,02	0,00037	0,00005	202863,43			0,00046	0,0005	0,13		

Fuente: Autores.

ANEXO: 55 Resultados de ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson.

mezcla	# cilindro	f'c (kg/cm2)	f'c (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD							RELACION DE POISSON				
				S2 (Mpa)	S1 (Mpa)	E2 (%)	E1 (%)	E (Kg/cm2)	E promedio (Kg/cm2)	Et2 (%)	Et1 (%)	μ	μ	μ	
concreto con viruta de torno 1,6 %	III F 25	192,9	18,92	7,57	0,53	0,00032	0,00005	265762,11	249563,68	219209,45	0,00013	0,0001	0,11	0,22	0,22
				7,57	0,27	0,00032	0,00005	275581,64			0,00044	0,00038	0,22		
				7,57	0,45	0,0004	0,00005	207347,28			0,00058	0,00047	0,31		
	III F 11	199,3	19,54	7,82	0,53	0,00029	0,00005	309649,08	247605,96		0,00038	0,00032	0,25	0,22	
				7,82	0,51	0,00035	0,00005	248399,08			0,00027	0,00034	0,23		
				7,82	0,57	0,00045	0,00005	184769,73			0,00039	0,000458	0,17		
	III F 10	211,1	20,70	8,28	0,18	0,00047	0,00005	196678,14	203700,52		0,00045	0,00036	0,21	0,18	
				8,28	0,22	0,00045	0,00005	205492,32			0,00055	0,00046	0,23		
				8,28	0,29	0,00044	0,00005	208931,09			0,00026	0,0003	0,10		
	III F 17	192,8	18,91	7,56	0,08	0,00049	0,00005	173419,34	203810,20		0,00044	0,0004	0,09	0,22	
				7,56	1,01	0,00037	0,00005	208815,98			0,00048	0,00058	0,31		
				7,56	0,82	0,00035	0,00005	229195,27			0,00022	0,0003	0,27		
	III F 30	188,6	18,50	7,40	0,56	0,00047	0,00005	166023,45	191366,88		0,0004	0,00049	0,21	0,28	
				7,40	0,73	0,0005	0,00005	151102,94			0,00035	0,00044	0,20		
				7,40	0,09	0,00034	0,00005	256974,25			0,0005	0,00038	0,41		
concreto con fibras de vidrio E 0,05%	E 4	161,9	15,88	6,35	0,05	0,00033	0,00005	229465,64	226651,33	222417,53	0,0003	0,00024	0,21	0,20	0,22
				6,35	0,01	0,00038	0,00005	195934,15			0,00037	0,00042	0,15		
				6,35	0,11	0,0003	0,00005	254554,19			0,00043	0,00049	0,24		
	E 31	156,6	15,36	6,14	0	0,00033	0,00005	223715,12	217338,66		0,0005	0,00044	0,21	0,19	
				6,14	0,45	0,00037	0,00005	181410,91			0,00027	0,00031	0,13		
				6,14	0,09	0,0003	0,00005	246889,94			0,00047	0,00053	0,24		
	E 37	152,8	14,98	5,99	0	0,00034	0,00005	210759,40	248417,75		0,00017	0,00011	0,21	0,21	
				5,99	0,41	0,00022	0,00005	334937,50			0,00052	0,00048	0,24		
				5,99	0,71	0,00032	0,00005	199556,35			0,00028	0,00033	0,19		
	E 38	146,9	14,41	5,76	0,94	0,00033	0,00005	175624,47	193516,82		0,00048	0,00054	0,21	0,22	
				5,76	0,86	0,00028	0,00005	217350,55			0,00046	0,00052	0,26		
				5,76	0,06	0,00036	0,00005	187575,44			0,00017	0,00023	0,19		
	E 11	157,9	15,48	6,19	1,05	0,0003	0,00005	209812,70	226163,09		0,00016	0,00022	0,24	0,27	
				6,19	0,73	0,00027	0,00005	253255,81			0,00033	0,0004	0,32		
				6,19	0,49	0,00032	0,00005	215420,77			0,0004	0,00047	0,26		

Fuente: Autores.

TABLAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE VIGAS A FLEXION (MÓDULO DE ROTURA)

ANEXO: 56 Resultados de ensayos a flexión de vigas de concreto

ENSAYO RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO

Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia apoyos (mm)	Ancho especimen en la fractura (mm)				Alto especimen en la fractura (mm)				Carga Máxima (Kg)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa) *cuando falla dentro de tercio medio*	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Simple	Viga 2	21/03/2017	18/04/2017	28	28,22	450	154	155	155	154,667	153	153	153	153	1537	15072,82	1,87	19,13	19,10
Concreto Simple	Viga 1	21/03/2017	18/04/2017	28	28,96	450	153	154	153	153,333	154	154	155	154,3	1685	16524,21	2,04	21,35	20,76
Concreto Simple	Viga 3	21/03/2017	18/04/2017	28	28,08	450	153	153	153	153	154	154	154	154	1442	14141,19	1,75	18,32	17,88
Concreto Simple	Viga 4	21/03/2017	18/04/2017	28	29,24	450	153	154	153	153,333	154	153	153	153,3	1501	14719,78	1,84	18,88	18,74
																		19,42	19,12
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia entre	Ancho especimen en la fractura (mm)				Alto especimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Fibra Vidrio AR 0,03%	V.I. -1	24/03/2017	21/04/2017	28	28,44	450	155	155	155	155	154	154	154	154	2087	20466,48	2,51	26,4	25,55
Concreto Fibra Vidrio AR 0,03%	V.I. -3	24/03/2017	21/04/2017	28	28,72	450	154	154	154	154	154	154	154	154	2110	20692,03	2,55	26,53	26,00
Concreto Fibra Vidrio AR 0,03%	V.I. -2	24/03/2017	21/04/2017	28	28,86	450	153	153	153	153	155	155	155	155	2129	20878,36	2,56	27,56	26,06
Concreto Fibra Vidrio AR 0,03%	V.I. -4	24/03/2017	21/04/2017	28	29,08	450	153,5	154	153	153,333	154	154	154	154	2078	20378,22	2,52	26,33	25,71
																		26,71	25,83
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia entre	Ancho especimen en la fractura (mm)				Alto especimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Fibra Vidrio AR 0,05%	V.II. 1	30/03/2017	27/04/2017	28	28,46	450	156	156	156	156	153	153	153	153	2184	21417,72	2,64	27,62	26,91
Concreto Fibra Vidrio AR 0,05%	V.II. 3	30/03/2017	27/04/2017	28	28,36	450	153,5	154	154	153,5	154	154	154	154	2108	20672,42	2,56	26,6	26,06
Concreto Fibra Vidrio AR 0,05%	V.II. 2	30/03/2017	27/04/2017	28	28,90	450	153	153	153	153	153	153	153	153	2206	21633,47	2,72	27,63	27,72
Concreto Fibra Vidrio AR 0,05%	V.II. 4	30/03/2017	27/04/2017	28	28,82	450	154	154	154	154	153	153	153	153	2262	22182,64	2,77	28,53	28,24
																		27,60	27,23
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia entre	Ancho especimen en la fractura (mm)				Alto especimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Fibra Vidrio AR 0,11%	V.III. 1	27/03/2017	24/04/2017	28	29,82	450	153,5	154	154	153,5	155	155	155	155	2292	22476,84	2,74	28,3	27,97
Concreto Fibra Vidrio AR 0,11%	V.III. 3	27/03/2017	24/04/2017	28	28,44	450	153	153	153	153	155	155	155	155	2356	23104,47	2,83	29,3	28,84
Concreto Fibra Vidrio AR 0,11%	V.III. 2	27/03/2017	24/04/2017	28	28,32	450	153,5	154	154	153,5	155	155	155	155	2318	22731,81	2,77	28,1	28,28
Concreto Fibra Vidrio AR 0,11%	V.III. 4	27/03/2017	24/04/2017	28	28,92	450	153	153	153	153	154	154	154	154	2342	22967,17	2,85	29,6	29,04
																		28,83	28,53

Fuente: Autores.

ANEXO: 57 Resultados de ensayos de flexión en vigas de concreto

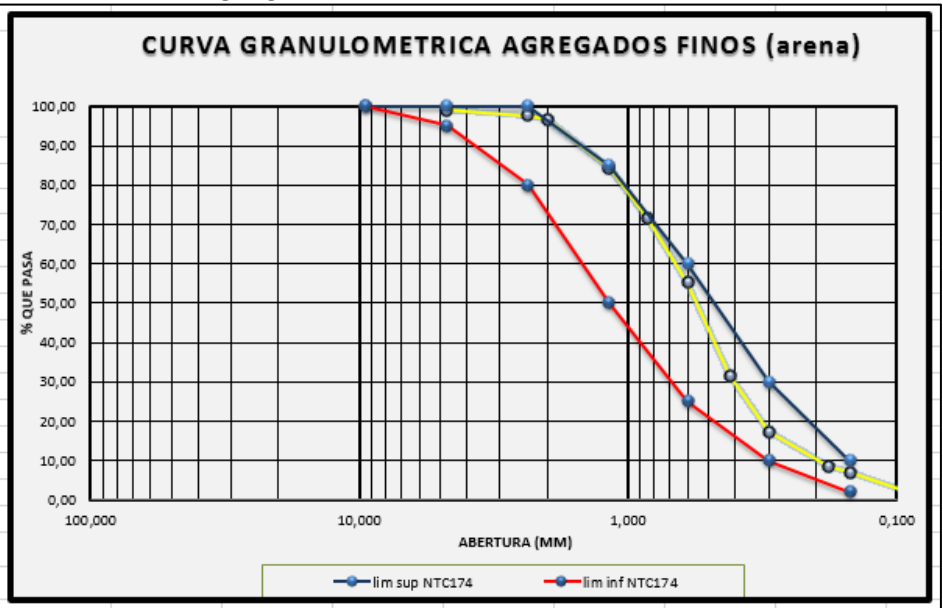
ENSAYO RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO

Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia a apoyos (mm)	Ancho espécimen en la fractura (mm)				Alto espécimen en la fractura (mm)				Carga Máxima (Kg)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa) *cuando falla dentro de tercio medio*	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Fibra Vidrio E	V.E. 1	25/04/2017	23/05/2017	28	29,82	450	153,5	154	154	153,5	155	155	155	155	1932	18946,45	2,31	24,3	23,57
Concreto Fibra Vidrio E	V.E. 2	25/04/2017	27/04/2017	2	28,44	450	153	153	153	153	155	155	155	155	2016	19770,21	2,42	25,3	24,68
Concreto Fibra Vidrio E	V.E. 3	25/04/2017	27/04/2017	2	28,32	450	153,5	154	154	153,5	155	155	155	155	1898	18613,02	2,27	24,1	23,16
Concreto Fibra Vidrio E	V.E. 4	25/04/2017	27/04/2017	2	28,92	450	153	153	153	153	154	154	154	154	1906	18691,47	2,32	23,6	23,64
																		24,33	23,76
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia a entre	Ancho espécimen en la fractura (mm)				Alto espécimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Viruta Torno 1%	F II 2	3/04/2017	1/05/2017	28	28,36	450	153,5	154	154	153,5	154	154	154	154	1584	15533,73	1,92	19,85	19,58
Concreto Viruta Torno 1%	F II 3	3/04/2017	1/05/2017	28	28,4	450	153,5	154	154	153,5	155	155	155	155	1179	11562,04	1,41	16,5	14,39
Concreto Viruta Torno 1%	F II 4	3/04/2017	1/05/2017	28	27,88	450	153	153	153	153	155	155	155	155	1364	13376,27	1,64	17,2	16,70
Concreto Viruta Torno 1%	F II 1	3/04/2017	1/05/2017	28	29,12	450	153	153	153	153	153	153	153	153	1156	11336,49	1,42	15,1	14,52
																		17,16	16,30
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia a entre	Ancho espécimen en la fractura (mm)				Alto espécimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Viruta Torno 1,3%	F III 4	5/04/2017	3/05/2017	28	28,7	450	153	153	153	153	156	156	157	156,3	1599	15680,83	1,89	19,7	19,24
Concreto Viruta Torno 1,3%	F III 3	5/04/2017	3/05/2017	28	28,34	450	153,5	154	154	153,5	154	154	154	154	1499	14700,17	1,82	18,7	18,53
Concreto Viruta Torno 1,3%	F III 1	5/04/2017	3/05/2017	28	29,36	450	153	153	153	153	155	155	155	155	1619	15876,97	1,94	20,01	19,82
Concreto Viruta Torno 1,3%	F III 2	5/04/2017	3/05/2017	28	28,54	450	153	153	153	153	156	156	156	156	1782	17475,45	2,11	22,83	21,54
																		20,31	19,78
Mezcla	Nombre Viga	Fecha elaboración	Fecha de falla	Edad Viga	Peso (kg)	Distancia a entre	Ancho espécimen en la fractura (mm)				Alto espécimen en la fractura (mm)				Carga Máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura (mPa) *cuando falla	Módulo de Rotura (kg/cm2)	Módulo de Rotura (kg/cm2)
						L	b1	b2	b3	b prom	d1	d2	d3	d prom	P	P	R	R	R
Concreto Viruta Torno 1,6%	F I 1	7/04/2017	5/05/2017	28	28,74	450	153	153	153	153	155	155	155	155	1758	17240,09	2,11	22,25	21,52
Concreto Viruta Torno 1,6%	F I 3	7/04/2017	5/05/2017	28	28,80	450	153,5	154	154	153,5	154	154	154	154	1750	17161,64	2,12	21,4	21,63
Concreto Viruta Torno 1,6%	F I 4	7/04/2017	5/05/2017	28	29,10	450	153	153	153	153	155	155	155	155	1742	17083,18	2,09	22,3	21,33
Concreto Viruta Torno 1,6%	F I 2	7/04/2017	5/05/2017	28	28,84	450	154	154	154	154	158	156	156	156,7	1757	17230,28	2,05	21,31	20,92
																		21,82	21,35

Fuente: Autores.

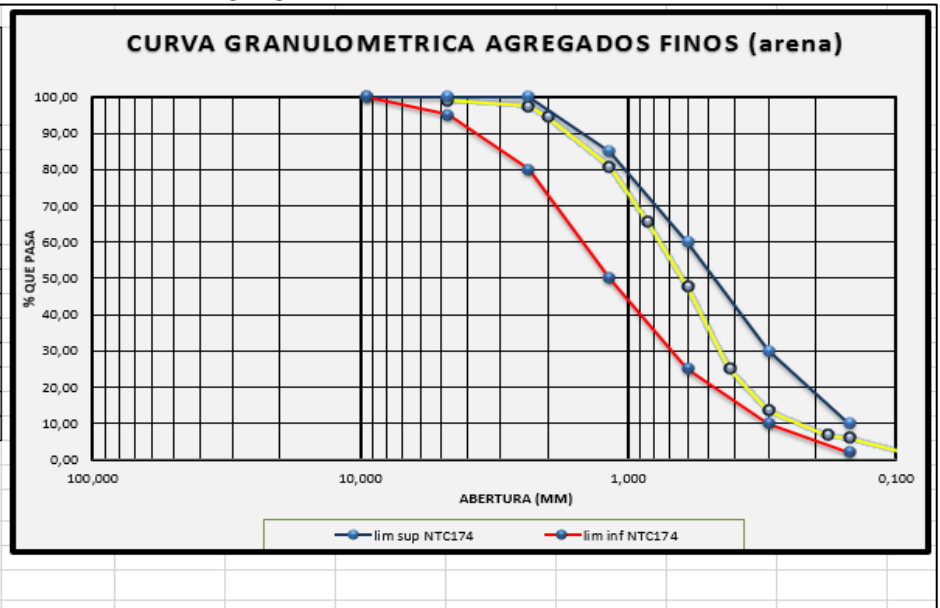
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO

ANEXO: 58 Granulometría y módulo de finura agregado fino.

[illegible]

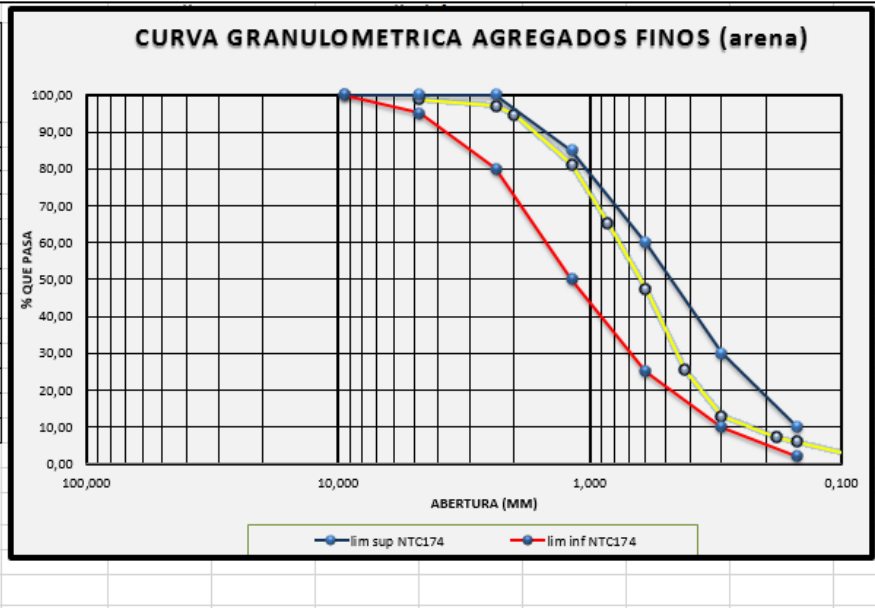
Fuente: Autores.

ANEXO: 59 Granulometría y módulo de finura agregado fino.

[illegible]

Fuente: Autores.

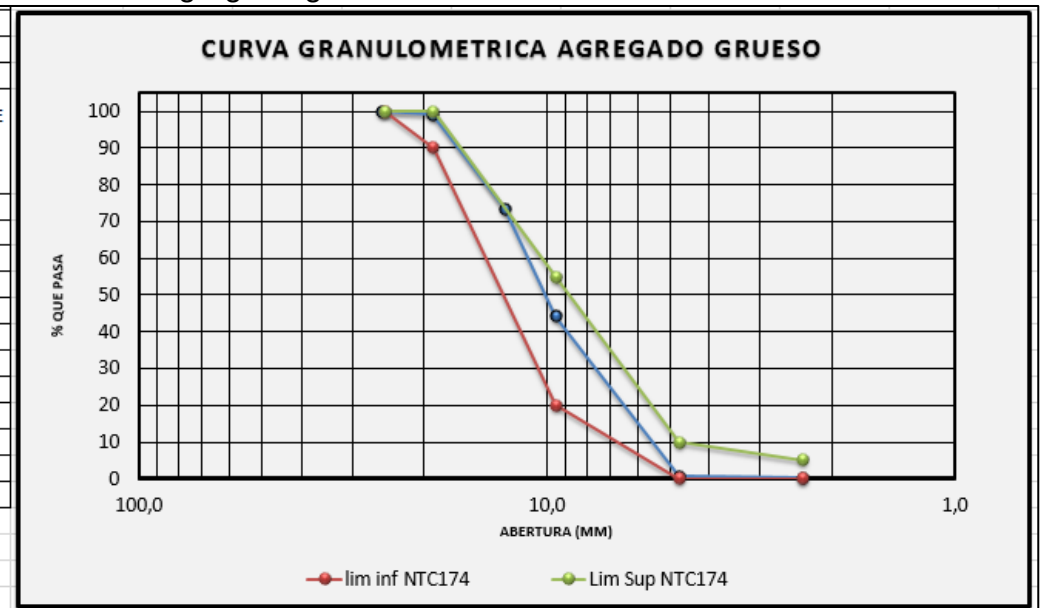
ANEXO: 60 Granulometría y módulo de finura agregado fino.

[illegible]

Fuente: Autores.

ANEXO: 61 Granulometría agregado grueso.

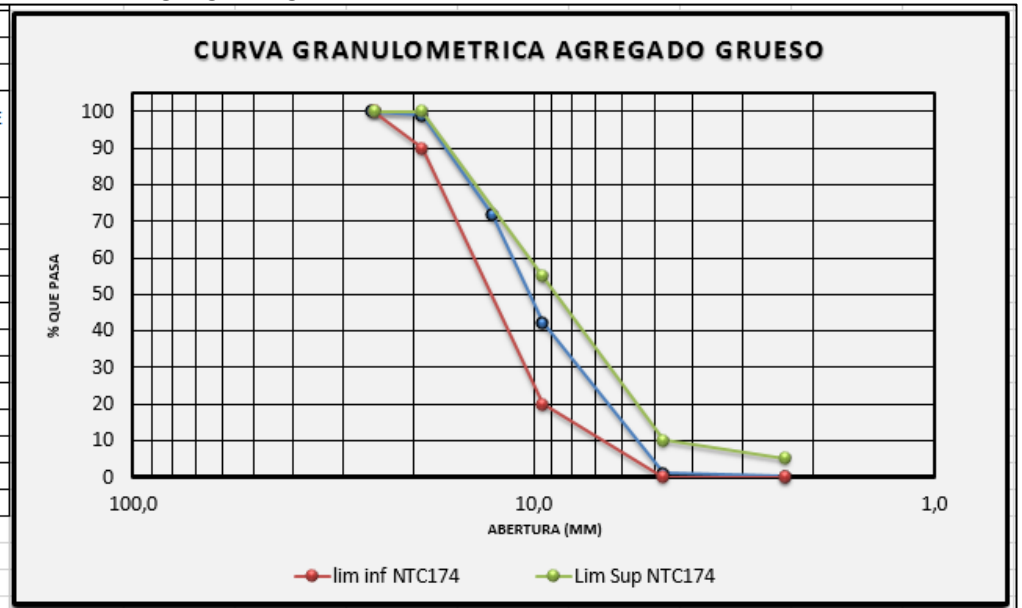
DESCRIPCION	GRAVA DE COLOR GRIS			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
	FECHA Ensayo:	25-mar-17		FECHA Informe:	1-abr.-2017		
	PESO SECO [grs]:			Después de Lavar=		5020,0	
MALLA	MASA RETENIDA (gr)	FACTOR DE CORRECCION	CORRECCION (g)	MASA RETENIDA CORREGIDA (g)	ABERTURA (m.m.)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3"	0,00	0,00	0,00	0,00	76,20	0,00	100,00
2 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	63,500	0,00	100,00
2"	0,00	0,00	0,00	0,00	50,800	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	38,100	0,00	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	0,00	25,400	0,00	100,00
3/4"	44,00	0,01	0,00	44,00	19,050	0,88	99,12
1/2"	1287,00	0,26	0,05	1287,05	12,700	25,64	73,48
3/8"	1468,00	0,29	0,06	1468,06	9,525	29,24	44,24
Nº4	2186,00	0,44	0,09	2186,09	4,750	43,55	0,69
Nº8	28,00	0,01	0,00	28,00	2,360	0,56	0,14
fondo	6,80	0,00	0,00	6,80	0,00	0,14	0,00
Σ =	5019,80	1,00	0,20	5020,00		100,00	
DIFERENCIA=	0,20	gr					
error =	0,00	%					



Fuente: Autores.

ANEXO: 62 Granulometría agregado grueso.

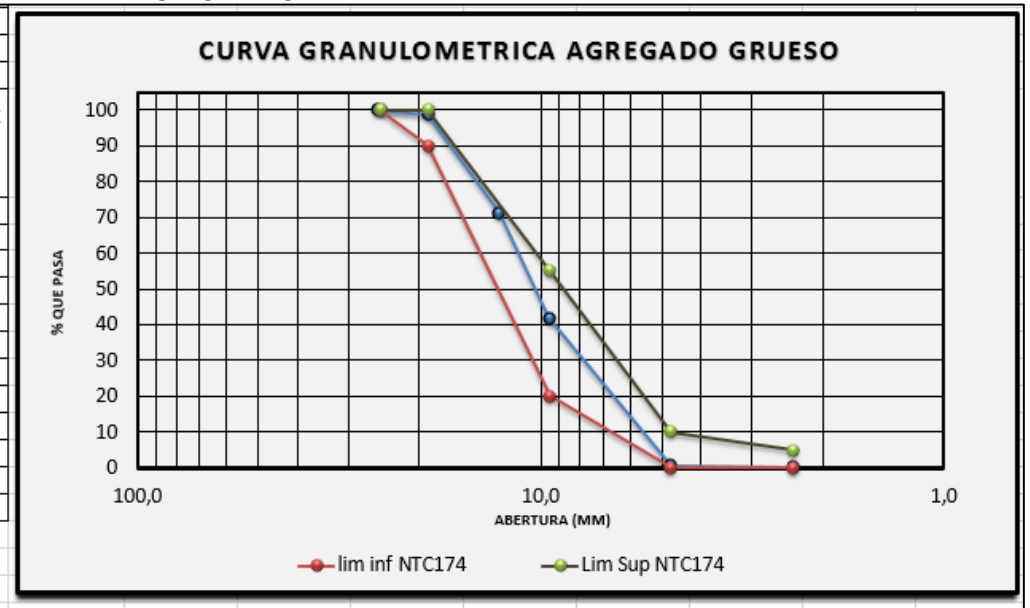
DESCRIPCION	GRAVA DE COLOR GRIS			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
	FECHA Ensayo:	25-mar-17		FECHA Informe:	1-abr.-2017		
	PESO SECO [grs]:			Después de Lavar=		5050,0	
MALLA	MASA RETENIDA (gr)	FACTOR DE CORRECCION	CORRECCION (g)	MASA RETENIDA CORREGIDA (g)	ABERTURA (m.m.)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3"	0,00	0,00	0,00	0,00	76,20	0,00	100,00
2 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	63,500	0,00	100,00
2"	0,00	0,00	0,00	0,00	50,800	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	38,100	0,00	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	0,00	25,400	0,00	100,00
3/4"	54,00	0,01	0,01	54,01	19,050	1,07	98,93
1/2"	1378,00	0,27	0,16	1378,16	12,700	27,29	71,64
3/8"	1484,00	0,29	0,18	1484,18	9,525	29,39	42,25
Nº4	2086,00	0,41	0,25	2086,25	4,750	41,31	0,94
Nº8	39,00	0,01	0,00	39,00	2,360	0,77	0,17
fondo	8,40	0,00	0,00	8,40	0,00	0,17	0,00
Σ =	5049,40	1,00	0,60	5050,00		100,00	
DIFERENCIA=	0,60	gr					
error =	0,01	%					



Fuente: Autores.

ANEXO: 63 Granulometría agregado grueso.

DESCRIPCION	GRAVA DE COLOR GRIS			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		3/4"	
	FECHA Ensayo:	25-mar-17		FECHA Informe:	1-abr.-2017		
	PESO SECO [grs]:			Después de Lavar=		5025,0	
MALLA	MASA RETENIDA (gr)	FACTOR DE CORRECCION	CORRECCION (g)	MASA RETENIDA CORREGIDA (g)	ABERTURA (m.m.)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3"	0,00	0,00	0,00	0,00	76,20	0,00	100,00
2 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	63,500	0,00	100,00
2"	0,00	0,00	0,00	0,00	50,800	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	38,100	0,00	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	0,00	25,400	0,00	100,00
3/4"	62,00	0,01	0,00	62,00	19,050	1,23	98,77
1/2"	1378,00	0,27	0,08	1378,08	12,700	27,42	71,34
3/8"	1484,00	0,30	0,09	1484,09	9,525	29,53	41,81
Nº4	2067,00	0,41	0,12	2067,12	4,750	41,14	0,67
Nº8	26,00	0,01	0,00	26,00	2,360	0,52	0,15
fondo	7,70	0,00	0,00	7,70	0,00	0,15	0,00
Σ =	5024,70	1,00	0,30	5025,00		100,00	
DIFERENCIA=	0,30	gr					
error =	0,01	%					



Fuente: Autores.

ANEXO: 64 Resultados propiedades agregados.

Contenido de Humedad			
Tipo de Agregado		Agregado Grueso (Grava)	Agregado Fino (Arena)
Peso platón	gr	114,6	38,0
Peso platón + Muestra húmeda	gr	2467,7	292,7
Peso platón + Muestra seca	gr	2416,4	253,3
Peso de la Muestra seca	gr	2301,8	215,3
Peso de la Muestra húmeda	gr	2353,1	254,7
Peso del Agua	gr	51,3	39,4
Humedad (%)		2,18	15,47
Absorción			
Tipo de Agregado		Agregado Grueso (Grava)	Agregado Fino (Arena)
Peso platón	gr	40,0	38,0
Peso platón + Muestra seca	gr	344,2	286,1
Peso platón + Muestra saturada	gr	345,7	286,2
Peso de la Muestra seca	gr	304,2	248,1
Peso de la Muestra saturada	gr	305,7	248,2
Peso del Agua	gr	1,5	0,1
Absorción (%)		0,50	0,02

Fuente: Autores.

ANEXO: 65 Resultados propiedades de los agregados

Peso específico			
Tipo de Agregado		Agregado Grueso (Grava)	Agregado Fino (Arena)
Peso platón	gr	114,6	-
Peso de la Muestra saturada	gr	2467,7	-
Peso de la Muestra saturada + Canasta	gr	2332,4	-
Peso de Canasta sumergida	gr	885,0	-
Peso de la Muestra sumergida	gr	1447,4	-
Peso de la Muestra seca + Platón	gr	2416,4	-
Peso de la Muestra seca	gr	2301,8	-
Volumen de la Muestra	cm ³	1020,3	-
Peso picnómetro + Agua	gr	-	655,2
Peso picnómetro + Agua + Muestra	gr	-	755,5
Peso Muestra seca	gr	-	170,0
Peso Muestra saturada	gr	-	100,3
Volumen Muestra	cm ³	-	69,7
Peso específico seco	gr/cm³	2,26	2,44
Peso específico SSS	gr/cm³	2,42	2,44

Peso volumétrico			
Tipo de Agregado		Agregado Grueso (Grava)	Agregado Fino (Arena)
Peso muestra suelta + Molde	kg	14,520	15,624
Peso muestra compactada + Molde	kg	15,336	15,800
Peso del Molde	kg	9,08	9,08
Peso muestra suelta	kg	5,440	6,544
Peso muestra compactada	kg	6,256	6,720
Volumen del Molde	m ³	0,00419	0,00419
Peso volumetrico seco suelto	kg/m³	1297,71	1561,07
Peso volumetrico seco compactado	kg/m³	1492,37	1603,05

Fuente: Autores.

RESULTADOS DE TEMPERATURAS DEL AGUA DE LA PISCINA DE CURADO DE LOS ESPECÍMENES

ANEXO: 66 Temperaturas del agua de las piscinas del proceso de curado de especímenes en concreto

Temperaturas del agua de tanques de curado de especímenes de concreto																				
Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)	Fecha	Hora	T (°C)
21/03/2017	8:00 a.m	14	28/03/2017	8:00 a.m	13	4/04/2017	8:00 a.m	12	11/04/2017	8:00 a.m	10	18/04/2017	8:00 a.m	10	25/04/2017	8:00 a.m	13	2/05/2017	8:00 a.m	13
	12:30 p.m	16		12:30 p.m	16		12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17
	5:30 p.m	16		5:30 p.m	12		5:30 p.m	14		5:30 p.m	16		5:30 p.m	13		5:30 p.m	17		5:30 p.m	15
22/03/2017	8:00 a.m	12	29/03/2017	8:00 a.m	14	5/04/2017	8:00 a.m	13	12/04/2017	8:00 a.m	9	19/04/2017	8:00 a.m	11	26/04/2017	8:00 a.m	12	3/05/2017	8:00 a.m	10
	12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17		12:30 p.m	15		12:30 p.m	16		12:30 p.m	16		12:30 p.m	18
	5:30 p.m	14		5:30 p.m	13		5:30 p.m	14		5:30 p.m	16		5:30 p.m	14		5:30 p.m	15		5:30 p.m	16
23/03/2017	8:00 a.m	11	30/03/2017	8:00 a.m	8	6/04/2017	8:00 a.m	14	13/04/2017	8:00 a.m	11	20/04/2017	8:00 a.m	8	27/04/2017	8:00 a.m	12	4/05/2017	8:00 a.m	12
	12:30 p.m	18		12:30 p.m	16		12:30 p.m	17		12:30 p.m	14		12:30 p.m	15		12:30 p.m	15		12:30 p.m	17
	5:30 p.m	16		5:30 p.m	14		5:30 p.m	13		5:30 p.m	16		5:30 p.m	14		5:30 p.m	14		5:30 p.m	14
24/03/2017	8:00 a.m	12	31/03/2017	8:00 a.m	11	7/04/2017	8:00 a.m	15	14/04/2017	8:00 a.m	8	21/04/2017	8:00 a.m	12	28/04/2017	8:00 a.m	11	5/05/2017	8:00 a.m	14
	12:30 p.m	17		12:30 p.m	18		12:30 p.m	16		12:30 p.m	13		12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	18
	5:30 p.m	15		5:30 p.m	14		5:30 p.m	16		5:30 p.m	15		5:30 p.m	16		5:30 p.m	14		5:30 p.m	13
25/03/2017	8:00 a.m	13	1/04/2017	8:00 a.m	13	8/04/2017	8:00 a.m	14	15/04/2017	8:00 a.m	11	22/04/2017	8:00 a.m	11	29/04/2017	8:00 a.m	13			
	12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17		12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	17			
	5:30 p.m	14		5:30 p.m	16		5:30 p.m	15		5:30 p.m	17		5:30 p.m	15		5:30 p.m	16			
26/03/2017	8:00 a.m	15	2/04/2017	8:00 a.m	11	9/04/2017	8:00 a.m	12	16/04/2017	8:00 a.m	12	23/04/2017	8:00 a.m	14	30/04/2017	8:00 a.m	12			
	12:30 p.m	17		12:30 p.m	17		12:30 p.m	18		12:30 p.m	15		12:30 p.m	16		12:30 p.m	18			
	5:30 p.m	16		5:30 p.m	15		5:30 p.m	15		5:30 p.m	16		5:30 p.m	15		5:30 p.m	14			
27/03/2017	8:00 a.m	14	3/04/2017	8:00 a.m	10	10/04/2017	8:00 a.m	13	17/04/2017	8:00 a.m	9	24/04/2017	8:00 a.m	14	1/05/2017	8:00 a.m	15			
	12:30 p.m	17		12:30 p.m	18		12:30 p.m	17		12:30 p.m	14		12:30 p.m	16		12:30 p.m	16			
	5:30 p.m	13		5:30 p.m	16		5:30 p.m	14		5:30 p.m	15		5:30 p.m	14		5:30 p.m	13			

Fuente: Autores.