



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA**
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón Empleado para Pavimentos Rígidos

INGENIERÍA CIVIL

Autor:

Tatiana Alejandra Urgiles Sarmiento

Director:

Ing. Florencio Geovanny González

Julio de 2018

AGRADECIMIENTO

A Dios por las bendiciones y por la oportunidad de cumplir mis objetivos.

A mi padre por su amor, apoyo absoluto, confianza, su gran esfuerzo y sacrificio para que siga con mis estudios.

A mi madre por su cariño, consejos y apoyo especialmente en estos años de estudios.

A mi hermana por su amor incondicional y por estar a mi lado siempre que lo he necesitado.

A mi abuelita Judith Espinoza por sus enseñanzas y por haberme formado con valores.

Al ingeniero Geovanny Gonzalez y al ingeniero Jorge Crespo, tutor académico y asesor de mi trabajo de titulación, por su disposición, sugerencias, conocimientos brindados y por su colaboración para culminar este estudio.

Agradezco al Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues, de manera especial al laboratorista Pablo Saenz por sus sugerencias, guía y colaboración en el proceso experimental de mi trabajo de titulación.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación principalmente a mis padres por el apoyo incondicional a lo largo de mis años de estudio y por su gran ejemplo de lucha, aunque en estos momentos no estén junto a mi, esto es por ustedes.

A mi hermana Joselin Urgiles por creer en mi y por estar siempre conmigo, apoyándome y siendo una fuerza incondicional en mi vida, demostrándome día a día su amor y confianza.

A mi abuelita Judith Espinoza y a mis tíos por el cariño y apoyo que siempre me han brindado.

INDICE GENERAL

A. PÁGINAS PRELIMINARES

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII

CAPITULO I

1. MARCO PROBLEMÁTICO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. HORMIGÓN.....	4
2.1.1. Cemento.....	4
2.1.2. Áridos	5
2.2. HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA	6
2.3. FIBRAS	7
2.3.1. Descripción de las fibras.....	7

2.3.2.	Fibras de acero.....	7°
2.4.	HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	8
2.4.1.	Definición	8
2.4.2.	Dosificación y mezclado.	9
2.4.2.1.	Agregados.....	9
2.4.2.2.	Cemento y Agua.....	10

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS	11
3.1.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	11
3.1.1.	Agregados.....	11
3.1.1.1.	Ensayo Granulometrico.....	12
3.1.1.1.1.	Agregado fino.....	13
3.1.1.1.2.	Agregado Grueso	14
3.1.1.2.	Ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y capacidad de absorción.....	15
3.1.1.2.1.	Agregado Grueso	15
3.1.1.2.2.	Agregado Fino.....	17
3.1.1.3.	Ensayo de determinación de la masa unitaria (peso volumétrico).....	19
3.1.2.	Cemento.....	21
3.1.2.1.	Cementos Guapán Tipo IP	21
3.1.2.2.	Cemento Holcim Tipo GU	22
3.1.3.	Fibras de acero.....	23
3.2.	DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	24
3.2.1.	Selección del asentamiento.....	24

3.2.2.	Selección del contenido del aire	24
3.2.3.	Cantidad de agua en la mezcla	25
3.2.4.	Determinación de la resistencia de diseño.....	26
3.2.5.	Relación agua cemento	26
3.2.6.	Selección de la cuantía de cemento	27
3.2.7.	Estimación de las proporciones de los agregados	27
3.2.7.1.	Método ACI 211.1.....	27
3.2.7.2.	Método Gráfico de Fuller y Thompson.....	29
3.2.8.	Corrección de la cantidad de agua.....	31
3.3.	CANTIDAD DE LAS FIBRAS DE ACERO.....	32
3.4.	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	33
3.4.1.	Propiedades del hormigón en estado fresco	33
3.4.1.1.	Consistencia	33
3.4.1.2.	Manejabilidad.....	34
3.4.1.3.	Homogeneidad	34
3.4.2.	Propiedades del hormigón en estado endurecido.	34
3.4.2.1.	Resistencia a compresión	34
3.4.2.2.	Resistencia a flexión.....	36

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
4.1.	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	40
4.1.1.	Ensayo Granulométrico	40
4.1.2.	Cálculo de la densidad, densidad relativa y capacidad de absorción de los agregados.	45

4.1.3.	Ensayo para determinar la masa unitaria compactada y suelta de los agregados.....	47
4.2.	DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	49
4.2.1.	Cantidad de materiales por m ³	49
4.2.1.1.	Cementos Guapan Tipo IP	49
4.2.1.2.	Cemento Holcim Tipo GU	51
4.2.2.	Corrección de agua por humedad	52
4.3.	DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO	52
4.3.1.	Cantidad de fibras de acero para cilindros.....	52
4.3.2.	Cantidad de fibras de acero para vigas	53
4.4.	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	54
4.4.1.	Propiedades del hormigón en estado fresco	54
4.4.2.	Propiedades del hormigón en estado endurecido	56
4.4.2.1.	Comportamiento del hormigón a compresión.....	56
4.4.2.1.1.	Cemento Holcim Tipo GU	56
4.4.2.1.2.	Cemento Guapan Tipo IP.....	64
4.4.2.2.	Comportamiento del hormigón a flexión	72
4.4.2.2.1.	Cemento Holcim Tipo GU	72
4.4.2.2.2.	Cemento Guapán Tipo IP.....	75
4.4.2.3.	Porcentaje óptimo de fibra de acero.....	78
4.4.2.3.1.	Comportamiento del hormigón a compresión.....	78
4.4.2.3.2.	Comportamiento del hormigón a flexión	79

CAPITULO V

5.1.	CONCLUSIONES.....	80
5.2.	RECOMENDACIONES.....	82

B. MATERIALES DE REFERENCIA

1.	BIBLIOGRAFÍA	83
2.	ANEXOS.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requisitos de gradación del árido fino	5
Tabla 2	Requisitos de gradación del árido grueso	6
Tabla 3	Gradaciones de agregados combinados recomendados para fibra de acero reforzado en el hormigón.....	10
Tabla 4	Ensayos realizados en los agregados	12
Tabla 5	Requisitos Físicos del Cemento Guapán IP	21
Tabla 6	Propiedades Físicas del Cemento Holcim GU	22
Tabla 7	Especificaciones técnicas de la fibra de acero	23
Tabla 8	Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción	24
Tabla 9	Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado	25
Tabla 10	Requisitos de mezclado aproximado de agua para diferentes tamaños máximos nominales de agregados.	25
Tabla 11	Resistencia requerida de diseño.	26
Tabla 12	Relación agua cemento	26
Tabla 13	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón	28
Tabla 14	Limites de gradación de Fuller y Thompson	30

Tabla 15 Granulometría del agregado fino (Depósito Materiales de Construcción Bonilla-Sa).....	40
Tabla 16 Granulometría del agregado fino (Depósito 2).....	41
Tabla 17 Granulometría del agregado grueso (Depósito Materiales de Construcción Bonilla-Sa).....	42
Tabla 18 Granulometría Combinada de los Agregados	43
Tabla 19 Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso	45
Tabla 20 Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	46
Tabla 21 Densidad aparente compactada y suelta del agregado fino	47
Tabla 22 Densidad aparente compactada y suelta del agregado grueso	48
Tabla 23 Dosificación del hormigón con agregados no gradados	49
Tabla 24 Dosificación del hormigón con agregados gradados	50
Tabla 25 Dosificación del hormigón con agregados gradados	51
Tabla 26 Corrección de agua	52
Tabla 27 Dosificación de fibra de acero en cilindros de hormigón para $f'c=300$ kg/cm ² ..	52
Tabla 28 Dosificación de fibra de acero en vigas de hormigón para $f'c=300$ kg/cm ²	53
Tabla 29 Propiedades del hormigón en estado fresco para $f'c= 300$ kg/cm ² con cemento Holcim Tipo GU.....	54
Tabla 30 Propiedades del hormigón en estado fresco para $f'c= 300$ kg/cm ² con cemento Guapán Tipo IP.....	55
Tabla 31 Ensayo de Compresión de cilindros $f'c= 300$ kg/cm ²	56

Tabla 32 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado.	59
Tabla 33 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado	60
Tabla 34 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado	61
Tabla 35 Ensayo de Compresión de cilindros $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$	64
Tabla 36 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado	67
Tabla 37 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado	68
Tabla 38 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado	69
Tabla 39 Determinación del esfuerzo de flexión del hormigón a los 28 días de curado. ...	72
Tabla 40 Determinación del esfuerzo de flexión del hormigón a los 28 días de curado	75

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cuarteo para el agregado fino	13
Ilustración 2 Máquina tamizadora y balanza para determinar la masa retenida en cada tamiz	14
Ilustración 3 Máquina tamizadora para el agregado grueso.	14
Ilustración 4 Determinación de la masa en agua de la muestra en estado SSS.....	16
Ilustración 5 Determinación de la masa en aire de la muestra en estado SSS	16
Ilustración 6 Muestra sumergida en agua por 24 h	17
Ilustración 7 Determinación de la condición SSS de la arena	18
Ilustración 8 Método del picnómetro.	18
Ilustración 9 Densidad suelta de los agregados	20

Ilustración 10 Cemento Portland uso general Tipo Gu.....	22
Ilustración 11 Fibra de acero.....	23
Ilustración 12 Medición del asentamiento por el método de “Cono de Abrams”.....	33
Ilustración 13 Probetas cilíndricas	35
Ilustración 14 Curado inicial y final de los cilindros	35
Ilustración 15 Máquinas de ensayo a compresión de cilindros	36
Ilustración 16 Encofrado de vigas de 15x15x53 cm	37
Ilustración 17 Curado inicial y control de temperatura en vigas	37
Ilustración 18 Preparación de la viga antes del ensayo.....	39
Ilustración 19 Máquina de ensayo a flexión.	39
Ilustración 20 Fallas ubicadas dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos en vigas de hormigón	39
Ilustración 21 Rotura de vigas de hormigón sin fibra con cemento Holcim Tipo GU	74
Ilustración 22 Ensayo de flexión en vigas de hormigón con cemento Holcim Tipo GU y reforzado con fibras de acero.....	74
Ilustración 23 Rotura de vigas de hormigón con cemento Holcim Tipo GU incorporado fibras de acero	74
Ilustración 24 Rotura de vigas de hormigón sin fibra con cemento Guapan Tipo IP	77
Ilustración 25 Ensayo de flexión en vigas de hormigón con cemento Guapan Tipo IP y reforzado con fibras de acero.....	77
Ilustración 26 Rotura de vigas de hormigón reforzado con fibras de acero	77

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Relación agua cemento.	27
Fig. 2 Curva granulométrica del agregado fino (Depósito Materiales de Construcción Bonilla S.A).....	40
Fig. 3 Curva Granulométrica del agregado fino (Depósito 2).....	41
Fig. 4 Curva granulométrica del agregado grueso	42
Fig. 5 Granulometría Combinada de los agregados	43
Fig. 6 Curva de resistencia a la compresión del hormigón tradicional y hormigón reforzado con fibra en diferentes porcentajes vs tiempo de curado	57
Fig. 7 Porcentaje de resistencia a la compresión a los 28 días de edad utilizando cemento Holcim Tipo GU	57
Fig. 8 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado.....	62
Fig. 9 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado.....	62
Fig. 10 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado...	62
Fig. 11 Curva de resistencia a la compresión del hormigón tradicional y hormigón reforzado con fibra en diferentes porcentajes vs tiempo de curado	65
Fig. 12 Porcentaje de resistencia a la compresión a los 28 días de edad utilizando cemento Guapan Tipo IP	65
Fig. 13 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado.....	70
Fig. 14 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado...	70
Fig. 15 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado...	70

Fig. 16 Cuadro Comparativo de la resistencia a la flexión del hormigón simple y del hormigón con concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de acero a los 28 días de edad.....	73
Fig. 17 Cuadro Comparativo de la resistencia a la flexión del hormigón simple y del hormigón con concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de acero a los 28 días de edad.....	76
Fig. 18 Porcentaje óptimo de fibras analizado en dos tipos de cementos para $f'_c=300$ kg/cm ²	78
Fig. 19 Porcentaje óptimo de fibras analizado en dos tipos de cementos para $f'_c=300$ kg/cm ²	79

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Módulo de finura para el agregado fino	12
Ecuación 2 Módulo de finura para el agregado grueso	13
Ecuación 3 Porcentaje retenido	13
Ecuación 4 Porcentaje que pasa.....	13
Ecuación 5 Densidad del árido grueso.....	16
Ecuación 6 Densidad del árido grueso en estado (SSS).....	16
Ecuación 7 Densidad aparente del árido grueso	16
Ecuación 8 Capacidad de absorción del árido grueso	16
Ecuación 9 Densidad relativa (SH)	18
Ecuación 10 Densidad relativa (SSS).....	18
Ecuación 11 Densidad relativa aparente.....	18
Ecuación 12 Capacidad de absorción de agua del árido fino	19
Ecuación 13 Masa Unitaria Compactada (Mc).....	20
Ecuación 14 Masa Unitaria Suelta (Ms).....	20
Ecuación 15 Cuantía de cemento.....	27
Ecuación 16 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen compactada del agregado grueso.....	28
Ecuación 17 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	28
Ecuación 18 Volumen del agregado fino	28

Ecuación 19 Peso seco de los agregados en kg/m ³	29
Ecuación 20 Peso específico aparente de la mezcla de dos agregados.....	30
Ecuación 21 Contenido de Humedad	31
Ecuación 22 Corrección de agua	31
Ecuación 23 Masa del cilindro o viga de hormigón	32
Ecuación 24 Volumen de hormigón para muestras (VH).....	32
Ecuación 25 Masa de la fibra de acero en el hormigón.....	32
Ecuación 26 Cantidad de fibra de acero	32
Ecuación 27 Resistencia a compresión.....	36
Ecuación 28 Modulo de rotura (a)	38
Ecuación 29 Modulo de rotura (b).....	38

RESUMEN

El presente estudio se fundamenta en una comparación de las propiedades mecánicas en estado fresco y endurecido del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de acero en porcentajes de 0.5%, 1,0% y 1.5%. En el que se realizó el análisis de dos tipos de agregados procedentes de la cantera Santa Isabel y Cochancay para verificar si cumple con los límites de gradación establecidos en la Norma Ecuatoriana NTE INEN 872, para luego fijar un diseño de mezcla patrón empleando el método 211 del ACI para agregados bien gradados y el método gráfico de Fuller y Thompson para agregados que no cumplan las especificaciones granulométricas, utilizando el cemento Guapán Tipo IP y cemento Holcim Tipo GU.

Los resultados de los ensayos del comportamiento a compresión se realizó a los 7,14 y 28 días en probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, en donde se estimó que con la adición de 0.5 % de fibra de acero a la mezcla del hormigón se obtuvo un incremento del 17.5% para cementos Guapán Tipo IP y del 28% para cemento Holcim Tipo GU del valor de la resistencia a compresión del hormigón simple . En cuanto a los resultados obtenidos del comportamiento a flexión se ensayó en vigas prismáticas de 15*15*53 cm a los 28 días de curado, en el que en este trabajo de titulación se revela que los especímenes con la adición del 1% de fibra de acero alcanza una mayor resistencia a flexión del 34% en comparación al hormigón simple para cementos Guapán Tipo IP y para cemento Holcim Tipo GU con 1% de fibra de acero añadida al hormigón logra un 39.6% de la resistencia a flexión para hormigón simple.

Palabras clave: Hormigón simple, hormigón reforzado, fibras de acero, ensayos, propiedades mecánicas, resistencia.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos rígidos son una excelente alternativa en la construcción de carreteras debido a su durabilidad, capacidad y calidad, sin embargo el exceso de cargas repetidas de tránsito, el clima y principalmente la baja resistencia a flexión generan desgastes en la vía con altos costos de reparación. A causa de las exigencias que presenta el país de conseguir estructuras viales con mayor durabilidad y eficiencia, es necesario la búsqueda de nuevas técnicas que mejoren la composición de los elementos empleados para tal fin, como el hormigón.

El uso de nuevos cementos, las nuevas adiciones como los superplastificantes, las investigaciones de nuevas tecnologías para obtener hormigones más isótropos y el empleo de técnicas de puesta en obra que permitieran minimizar la relación agua-cemento; han sido los esfuerzos para conseguir que el hormigón salga de su sueño de siglos. Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentra el empleo de fibras de acero para reforzar o armar al hormigón (Fernandez, pág. 5).

con el hormigón reforzado con fibras de acero utilizando dos clases de cemento de mayor comerciabilidad en el medio. Cuenta con un primer capítulo denominado marco problemático en el que se puntualiza el problema de investigación, objetivos y justificación para cumplir con las metas trazadas. En los siguientes dos capítulos se desarrolla la parte teórica y experimental, se detallan conceptos, normas y procedimientos de ensayos para alcanzar resultados óptimos. Además cuenta con un cuarto capítulo denominado análisis e interpretación de resultados los mismos que serán obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio para en base a ello establecer los aportes positivos y negativos reflejando en un ultimo capítulo llamado conclusiones y recomendaciones

CAPITULO I

MARCO PROBLEMÁTICO

1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de la infraestructura vial en el Ecuador, sigue desafiando grandes retos, y uno de ellos es proveer estructuras de pavimentos ligados a la economía y a la eficacia. Sin embargo, hasta el día de hoy, las calles de pavimento rígido, presentan condiciones deficientes de transitabilidad, superficies con fisuras, con cortes y parches. Pese a la inversión solicitada y ejecutada no se consigue el objetivo trazado.

“El alto costo de reparación y mantenimiento de las estructuras de concreto es una de las razones para implementar estrategias preventivas desde la etapa de diseño, que logren disminuir estos costos” (Condori, 2016, pág. 2). En el Ecuador existe un gran número de profesionales dedicados a la la construcción que continúan utilizando materiales habituales para la ejecución de obras, sin aprovechar recursos innovadores, que permitiesen generar estructuras durables en el tiempo con un mantenimiento mínimo.

Han sido pocas las investigaciones relacionadas con este tipo de antecedentes en pavimentos rígidos, no obstante, existe mayor cantidad de estudios dedicados a reforzar el hormigón con la incorporación de diferentes materiales a su mezcla, como por ejemplo las fibras de acero. Estos estudios destacan las ventajas y desventajas que se pueden llegar a obtener con la adición de fibras de acero en el hormigón simple y aunque en varios países ya ha sido usado en diferentes campos como en túneles, losas industriales, pistas de aeropuertos, pavimentos de concreto, muelles, entre otros; el avance en nuestro país no ha sido significativo.

1.2.JUSTIFICACIÓN

En varias carreteras del Ecuador, se ha podido identificar el deterioro prematuro de los pavimentos rígidos, los mismos que generan incrementos de costos tanto en trabajos de mantenimiento como de reforzamiento; siendo una de las posibles causas el bajo comportamiento que tiene el hormigón frente a los esfuerzos de flexión. La industria de la construcción ha evolucionado a grandes pasos, investigando nuevos métodos y técnicas con el propósito de mejorar la durabilidad y el desempeño en pavimentos de concreto. Por ello, es de suma importancia estudiar el hormigón tradicional alterando su composición original, para ello es necesario incorporar un nuevo material como las fibras de acero.

Hoy en día el uso de fibras de acero como refuerzo del hormigón no es algo desconocido, en países como México, Colombia, Perú y Chile se han desarrollado proyectos investigativos, en donde manifiestan que la incorporación de estas fibras a la mezcla del hormigón lo convierte en un material más dúctil y de fisuración controlada y lo más importante, que brinda la posibilidad de disminuir el espesor de la losa del pavimento y aumentar la capacidad para resistir esfuerzos a la flexión.

Para evaluar dichas mejoras es necesario realizar el presente estudio, ya que además de lo anteriormente expuesto, es decisivo analizar el comportamiento de la fibra de acero, para conocer en qué magnitud mejora las propiedades del hormigón y de esta manera establecer conceptos capaces de justificar su uso en nuestro país.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la incidencia de las fibras de acero de tipo laminada corrugada, adicionadas a la mezcla en concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5%, en el comportamiento del estado fresco y endurecido del hormigón, elaborado con materiales de nuestro medio para pavimentos rígidos.

1.3.2. Objetivos Específicos

Realizar ensayos de compresión y flexión a las prototipos con un diseño de mezcla patrón y añadido fibra de acero a su mezcla, empleando el cemento Guapan Tipo IP y el cemento Holcim Tipo GU para la obtención de resultados sobre sus propiedades mecánicas.

Realizar un análisis comparativo entre el hormigón sin refuerzo y el hormigón reforzado con fibras de acero.

Determinar el porcentaje óptimo de fibras de acero que adicionada a la mezcla obtenga mayor incremento de resistencia del hormigón frente a esfuerzos de compresión y flexión.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.HORMIGÓN

La mezcla de ciertos porcentajes de cemento, agua, agregados y en ocasiones aditivos, forman un material artificial llamado hormigón. “Es un material homogéneo que está compuesto principalmente por agregados y por pasta. La pasta es una mezcla de agua y cemento que une a los agregados finos y gruesos es decir la arena y piedra, obteniendo un material muy resistente a la compresión”. (Montalvo, 2015, pág. 3).

A pesar de sus virtudes, el hormigón posee grandes desventajas como su peso, volumen y principalmente su baja resistencia a sollicitaciones de tracción .

2.1.1. Cemento

El cemento es calificado como componente de mayor importancia para la elaboración del hormigón. “Se define como un conglomerante compuesto por caliza y arcillas calcinadas, con adición de yeso, que posee la propiedad de fraguar y endurecer al contacto con el agua, adquiriendo resistencias considerables”. (Flores A. , 2017, pág. 5)

La norma técnica Ecuatoriana INEN 151 define al cemento portland como: “Cemento hidráulico derivado de la pulverización de Clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y que comúnmente está compuesto por sulfato de calcio, agua, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso” (p.2).

2.1.2. Áridos

La norma técnica ecuatoriana INEN 694 describe a los áridos como un “material granular de grava, arena, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se emplea en conjunto con un cementante para fabricar hormigón o mortero de cemento hidráulico” (p.2). Los agregados se clasifican en base de su forma, procedencia, densidad y principalmente por su tamaño. El procedimiento de ensayo para analizar la distribución granulométrica de los agregados, finos y gruesos lo establece la norma técnica ecuatoriana INEN 696. “Los agregados conforman cerca de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total de hormigón elaborado, al ser más económicos que el cemento se propicia emplear la cantidad adecuada de áridos que minimice el costo global del hormigón” (Flores A. , 2017, pág. 7).

La Tabla 1 indica los requisitos de gradación que debe cumplir los agregados para ser empleados en la elaboración de hormigones.

Tabla 1

Requisitos de gradación del árido fino

Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
600 μ m	25 a 60
300 μ m	10 a 30

Nota. Fuente: (NTE INEN 872: Requisitos de los Áridos para Hormigón, 2011)

Tabla 2*Requisitos de gradación del árido grueso*

(1) Tamiz	Porcentaje en masa que debe pasar por los tamices inen indicados en la columna (1) para ser considerado como arido grueso de grado:									
mm	90 - 37.5 mm	63 - 37.5 mm	53 - 4.75 mm	37.5 - 4.75 mm	26.5 - 4.75 mm	19 - 4.75 mm	13.2 - 4.75 mm	9.5 - 2.36 mm	53 - 26.5 mm	37.5 - 19 mm
106	100									
90	90-100									
75		100								
63	25-60	90-100	100						100	
53		35-70	95-100	100					90-100	100
37.5	0-15	0-15		95-100	100				35-70	90-100
26.5			35-70		95-100	100			0-15	20-55
19	0-5	0-5		35-70		90-100	100			0-15
13.2			10-30		25-60		90-100	100	0-5	
9.5				10-30		20-55	40-70	85-100		0-5
4.75			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30		
2.36					0-5	0-5	0-5	0-10		
1.18								0-5		

Nota. Fuente: (NTE INEN 872: Requisitos de los Áridos para Hormigón, 2011)

2.2.HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA

El hormigón reforzado con fibra es aquel hormigón simple en el que se incorpora fibras cortas ya sea de origen natural, metálica u orgánica y se distribuye aleatoriamente a su mezcla original. Sánchez (citado por López, 2015) considera que las fibras, al disminuir las pequeñas fisuras que constantemente se producen en la matriz del hormigón, incrementan la resistencia a la ductilidad del material, la fisuración y en grado pequeño el comportamiento a la flexión. Argumenta que la resistencia al impacto, a esfuerzos térmicos, su resistencia al desgaste y astillamiento y su elevada capacidad de absorción de energía son las ventajas primordiales que se obtiene al añadir fibras de acero en el hormigón. (p. 9)

En obra, la mejor forma de preparación de la mezcla es colocar el agregado grueso y fino dentro de la concretora; luego, a mano y en forma de lluvia situar las fibras, introducir el cemento y finalmente el agua.

2.3.FIBRAS

2.3.1. Descripción de las fibras

Hoy en día el uso de fibras como refuerzo del hormigón no es algo desconocido, a través de los años hemos observado el empleo de diferentes componentes a la mezcla del hormigón con el fin de mejorar algunas propiedades en el desempeño del material. Maccaferri define a las fibras como “filamentos discontinuos que presentan varias formas y dimensiones, propuestos específicamente para impedir el levantamiento y expansión de grietas”.

Por otro lado Kosmatka , Kerkhoff , Panarese, & Tanes (como se citó en López, 2015) menciona que las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas, con longitudes superiores al diámetro y que permanecen ubicadas a lo largo de un solo eje. 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. Añade que las fibras de polipropileno, materiales naturales, vidrio y acero se encuentran disponibles en una desarrollada variedad de tamaño, espesor y forma; pueden ser llanas, onduladas, cilíndricas, deformadas y conformadas en los extremos con un espesores de 0.005 mm a 0.75 mm y longitudes que varían de 50 mm a 150 mm. (p.23)

2.3.2. Fibras de acero

Como refuerzo para el hormigón se usan filamentos de origen mineral, como las fibras de carbono, de acero y de vidrio.

“Las fibras de acero se particularizan como pedazos pequeños discontinuos de acero, con la peculiaridad que presentan una dimensión superior respecto a las demás, su superficie puede ser labrada con el propósito de conseguir una mayor adherencia a la matriz cementante o simplemente lisa” (Silva, 2014, pág. 15).

De acuerdo al proceso de fabricación, la Norma ASTM 820 indica cuatro tipologías de fibras de acero: “las trefiladas que son fibras de alambre conformadas a frío, las fibras de extractos fundidos o las cortadas de chapas de acero.

2.4.HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

2.4.1. Definición

El Instituto Americano del Concreto (2014) afirma. “El hormigón reforzado con fibras de acero, no es más que un hormigón que contiene filamentos de acero corrugadas, discontinuas, dispersas, y colocadas aleatoriamente” (p. 38).

Los materiales de hormigones reforzados con fibra de acero se definen como compuestos con cemento hidráulico, agregados de diferentes tamaños, y complementados con fibras discontinuas discretas. En el hormigón con fibra, los filamentos pequeños y discontinuos, se encuentran distribuidos uniformemente en toda la matriz del hormigón, con orientaciones debidamente aleatorias. (López, 2015, p.9)

Debido a la disipación de energía, manifestada por el trabajo en la ruptura de la adherencia entre la fibra y la masa y posterior arrancamiento de los filamentos de acero, la fragilidad del hormigón se ve reducida. Se presenta una capacidad de resistencia después de la fisuración, lo cual genera una redistribución de esfuerzos. Esta particularidad es de gran beneficio para elementos de superficie continuos, como es el caso de pisos y pavimentos rígidos. (Sotil & Zegarra, 2015, pág. 50)

2.4.2. Dosificación y mezclado.

Como ya se sabe, el hormigón reforzado con fibras de acero está formado por los mismos materiales que un hormigón simple al que simplemente se le añade fibras de acero.

Lopez en su estudio sobre el análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de propileno, señala que la introducción de las fibras requiere condiciones en algunos de sus componentes que en los hormigones simples no son requeridas, a razón de que además de alterar el comportamiento del hormigón en estado endurecido, genera modificaciones en el estado fresco. De acuerdo a la geometría de la fibra y de la cantidad adicionada en la mezcla, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un hormigón convencional. (López, 2015)

Fernandez considera que no se presentan problemas formación de nidos ni de segregación cuando los diámetros de las fibras están comprendidos en longitudes entre 25 y 70 mm, y se utilizan en cuantías que no exceden del 1,5 % en volumen del hormigón (Fernandez, pág. 8). Con cantidades de fibra mayor al 2% reducen la trabajabilidad del hormigón por lo que se requiere un diseño especial de las mezclas o técnicas especiales de homogenización. Si se proporciona y coloca el hormigón de una forma correcta, resulta poca o ninguna corrosión de las fibras, sin embargo cualquier tipo de corrosión de las fibras en la superficie del hormigón es sencillamente un inconveniente de aspecto y no una condición estructural. (López, 2015, p. 27)

2.4.2.1. Agregados

Para la fabricación del hormigón reforzado con fibra, los agregados deben cumplir con un tamaño de partícula y granulometría establecida además de los requerimientos de resistencia, limpieza y durabilidad. Se pueden emplear agregados naturales o triturados, siendo más adecuado el empleo de los primeros (especialmente en la arena) ya que para

valores idénticos de relación agua/cemento se obtiene mejor trabajabilidad que con los agregados triturados (López, 2015, pág. 10). El Comité 544.1R-96 del ACI establece límites para el análisis granulométrico de agregados combinados con el objetivo de evitar la formación de erizos o nidos en mezcla.

Tabla 3

Gradaciones de agregados combinados recomendados para fibra de acero reforzado en el hormigón

	Tamiz	Tamaño Máximo del Agregado				
	mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
2"	61	100	100	100	100	100
1 1/2"	38	100	100	100	100	85-100
1"	25	100	100	100	94-100	65-85
3/4"	19	100	100	94-100	76-82	58-77
1/2"	13	100	93-100	70-88	68-76	50-68
3/8"	10	96-100	85-96	61-73	56-66	46-58
#4	5	72-84	58-78	48-56	45-53	38-50
#8	2.4	46-57	41-53	40-47	36-44	29-43
#16	1.1	34-44	32-40	32-42	29-38	21-34
#30	600 um	22-33	19-30	20-32	19-28	13-27
350	300 um	10-18	8-15	10-20	8-20	7-19
#100	150 um	2-7	1-5	3-9	2-8	2-8
#200	75 um	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2

Nota. Fuente: (ACI 544.1R-96)

2.4.2.2. Cemento y Agua

La preparación de un hormigón fibroreforzado no establece la utilización de un tipo de cemento definido. Esta depende de los mismos condicionantes que en otros diseños: tiempo de fraguado, resistencias requeridas, entre otros. Respecto al agua de amasado de igual manera no se imponen condiciones extras a la del hormigón simple, sin embargo es necesario aumentar el volumen de pasta. Este incremento puede obtenerse respetando la relación agua cemento por medio del incremento del volumen de conglomerante, ya sea con el uso de aditivos o aumentando la cantidad del cemento. (Silva, 2014, pág. 19)

CAPÍTULO III

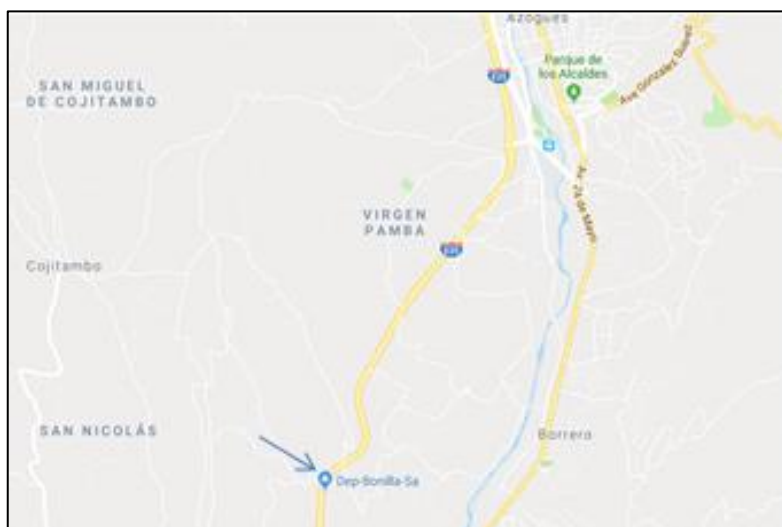
METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS

3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Es necesario analizar los componentes de la mezcla del hormigón con el objetivo de identificar que cumplan con los requisitos establecidos en las normas respectivas.

3.1.1. Agregados

La investigación se desarrollará en el Cantón Azogues perteneciente a la provincia del Cañar, en el que se analizará dos tipos de materiales comercializados en el medio. El primer material procede del depósito “Materiales de Construcción- Bonilla SA”, ubicado en la autopista Azogues Cuenca, cuya materia prima se deriva de la Cantera de Santa Isabel, siendo ésta su principal fuente de abastecimiento.



Nota. Fuente: Google Maps

El segundo material examinado se deriva de la cantera Cochancay y fue adquirido en el depósito ubicado en la carretera panamericana, vía a cojitambo del cantón Azogues perteneciente a la provincia del Cañar.



Nota. Fuente: Google Earth

En la Tabla 4 se especifica los ensayos necesarios a realizar en los agregados.

Tabla 4

Ensayos realizados en los agregados

Ensayos	Norma	Agregado Fino	Agregado Grueso
Análisis Granulométrico	NTE INEN 696 - NTE INEN 872	✓	✓
Peso Unitario Suelto y Compactado	NTE INEN 858	✓	✓
Capacidad de Absorción y peso específico	NTE INEN 856- NTE INEN 857	✓	✓

3.1.1.1. Ensayo Granulométrico

El procedimiento de ensayo lo establece la norma Ecuatoriana NTE INEN 696. Consiste principalmente en analizar mediante tamizado, la distribución de los tamaños de partículas de agregados, fino y grueso.

A través de este ensayo se determina el tamaño máximo del agregado, tamaño máximo nominal, porcentajes de finos así como también el módulo de finura. Las formulas necesarias para el análisis granulométrico se dan a continuación:

Ecuación 1 Módulo de finura para el agregado fino

$$M.F_{A.fino} = \frac{\sum \%retenido\ acumulado}{100} \quad (1)$$

Ecuación 2 Módulo de finura para el agregado grueso

$$M.F_{A.grueso} = \frac{\sum \%retenido\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{8}, 4, 8\right)}{100} \quad (2)$$

Ecuación 3 Porcentaje retenido

$$\% Retenido = \frac{W_i}{W_r} * 100 \quad (3)$$

Ecuación 4 Porcentaje que pasa

$$\% pasa = 100\% - \%Retenido \quad (4)$$

De acuerdo a la norma ASTM C-125 el módulo de finura debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1.

3.1.1.1.1. Agregado fino

Como primer paso se debe secar la muestra en el horno a 110°C por 24 horas. Luego es necesario homogenizarla y tomar ¼ mejor gradado y su opuesto para reducir el material a una cantidad apropiada obteniendo un tamaño de muestra igual a 700g.

Ilustración 1 Cuarteo para el agregado fino



Para este ensayo se ordenaron en la maquina tamizadora los siguientes tamices 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y se colocó la muestra por un periodo de 2 minutos para finalmente determinar en una balanza la masa retenida de cada tamiz.

Ilustración 2 Maquina tamizadora y balanza para determinar la masa retenida en cada tamiz



3.1.1.1.2. Agregado Grueso

Se trabajó con piedra triturada cuya procedencia es de la Cantera Santa Isabel. Se tomó referencia al procedimiento de la Norma Ecuatoriana NTE INEN 696. El tamaño de muestra utilizado es de 6000g para un tamaño de partícula de 19 mm y el orden de los tamices requeridos para este ensayo es el siguiente: 1½", 1", ¾", ½", 3/8", No.4.

Ilustración 3 Máquina tamizadora para el agregado grueso.



En el agregado grueso, el tamaño máximo se especifica como la abertura del menor tamiz que admite el paso del 100 % del árido y el Tamaño Máximo Nominal como aquel tamiz anterior al que se retuvo 15% o más del material.

3.1.1.2. Ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y capacidad de absorción.

La norma NTE INEN 857, expresa a la absorción como un porcentaje de masa seca y lo define como el aumento de la masa del árido debido a la introducción de agua en los poros de las partículas durante un período de tiempo determinado.

3.1.1.2.1. Agregado Grueso

El procedimiento para este ensayo se describe en la norma NTE INEN 857 y se fundamenta en: “determinar y registrar principalmente la masa en aire y en agua del agregado en estado saturado superficialmente seco y un registro de la masa en aire en estado seco” (p.1).

Procedimiento:

- Para lograr la saturación del agregado grueso se lava el material y éste se sumerge en agua durante 24 horas.
- Con una franela se realiza el secado superficial consiguiendo un estado SSS.
- Se determina la masa en aire de la muestra en estado SSS.
- Una vez pesada la canasta sumergida en agua se coloca la grava y se registra su masa.
- La muestra se coloca en un recipiente y se seca por un tiempo de 24 horas. Finalmente se determina en una balanza calibrada, la masa de la muestra en el momento que se encuentre seca.

Ilustración 4 Determinación de la masa en agua de la muestra en estado SSS



Ilustración 5 Determinación de la masa en aire de la muestra en estado SSS



Ecuación 5 Densidad del árido grueso

$$\rho_s = \frac{A}{B - C} \quad (5)$$

Ecuación 6 Densidad del árido grueso en estado (SSS).

$$\rho_{SSS} = \frac{B}{B - C} \quad (6)$$

Ecuación 7 Densidad aparente del árido grueso

$$\rho = \frac{A}{A - C} \quad (7)$$

Ecuación 8 Capacidad de absorción del árido grueso

$$\% \text{ absorción} = \frac{(B - A)}{A} * 100 \quad (8)$$

3.1.1.2.2. Agregado Fino

La Norma Ecuatoriana NTE INEN 856 señala el procedimiento para calcular el peso específico y absorción del árido fino. Como punto de partida es necesario preparar el material, para ello se tomó una muestra adecuada seca y se sumergió en agua durante 24 horas. Luego se retiró la muestra del agua y consecutivamente se secó el agua superficial mediante una corriente suave de aire caliente. Como siguiente paso la muestra de forma suelta se coloca en un molde con forma de cono truncado, compactándole con un pistillo hasta que cumpla con 25 golpes, desde una altura de 3.5 cm.

Ilustración 6 Muestra sumergida en agua por 24 h



En la Ilustración 7 se observa la técnica para comprobar que la muestra alcanzó un estado de superficie saturada seca. Consiste en retirar el cono de tronco de la arena y éste se debe desmoronar levemente.

Como siguiente paso se debe pesar 500 g como muestra final y colocar en un picnómetro para hallar por este método el volumen de la masa.

Ilustración 7 Determinación de la condición SSS de la arena



Ilustración 8 Método del picnómetro.



Se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar sus resultados:

Ecuación 9 Densidad relativa (SH)

$$\rho (SH) = \frac{A}{B + S - C} \quad (9)$$

Ecuación 10 Densidad relativa (SSS)

$$\rho (SSS) = \frac{S}{B + S - C} \quad (10)$$

Ecuación 11 Densidad relativa aparente

$$\rho \text{ aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad (11)$$

Ecuación 12 Capacidad de absorción de agua del árido fino

$$\% \text{ absorción} = \frac{(S - A)}{A} * 100 \quad (12)$$

3.1.1.3. Ensayo de determinación de la masa unitaria (peso volumétrico)

La norma NTE INEN 858 establece el procedimiento de ensayo para calcular la masa unitaria del agregado fino y grueso tanto en estado seco como compactado.

- ➔ Se seca la muestra en el horno a una temperatura de 110°C
- ➔ 1er caso: Una vez pesado el molde, se llena colocando el material de manera suelta, seguidamente se nivela el molde y se fija su masa.
- ➔ 2do caso: Para determinar la densidad compactada se llena el molde en tres capas compactadas con 25 golpes de varilla y distribuidas uniformemente. Finalmente se toma su masa.
- ➔ Para ambos casos es necesario realizar de dos a tres veces el ensayo para determinar un promedio entre los valores obtenidos.

Ilustración 9 Densidad suelta de los agregados



Fórmulas a utilizar:

Ecuación 13 Masa Unitaria Compactada (M_c)

$$M_c = \frac{G_c - T}{V} \quad (13)$$

Ecuación 14 Masa Unitaria Suelta (M_s)

$$M_s = \frac{G_s - T}{V} \quad (14)$$

En donde:

G_c = Masa unitaria compactada del árido más el molde

G_s = Masa unitaria suelta del árido más el molde

T = masa del molde

V = volumen del molde

3.1.2. Cemento

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) especifica que se fabrican en el Ecuador 4 clases de cemento: cementos de acuerdo a los requisitos de diseño, cementos para mampostería, cementos portland del tipo I al V y cementos tipo IP. En este proyecto de investigación se utilizó dos tipos de cemento, el tipo IP de la cementera Guapán y el cemento Holcim tipo GU, con el objetivo de determinar su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

3.1.2.1. Cementos Guapán Tipo IP

La producción del Cemento Guapán tipo IP se fundamenta en la norma NTE INEN 490. Con una masa de 50 kg por saco está diseñado para obras de hormigón de uso común con las siguientes propiedades físicas.

Tabla 5

Requisitos Físicos del Cemento Guapán IP

Propiedad	Unidad	INEN 490	Resultado
Finura	cm ² /g	N/A	4050
Retenido en 45 um	%	N/A	3.69
Expansión en autoclave	%	0.8 máx.	-
Contracción en autoclave	%	0.2 máx.	0.006165
Fraguado inicial	minutos	45-420	154.2
Fraguado final	minutos	N/A	-
Contenido de aire en mortero	%	12 máz.	3.87

*(N/A) No aplica

Nota. Fuente: Departamento de control de calidad de la Unión Cementera Nacional C.E.M - Planta Guapán

3.1.2.2.Cemento Holcim Tipo GU

Holcim Ecuador S.A indica que el cemento hidráulico Holcim tipo GU se basa en la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2380 que corresponde a la norma ASTM C 1157 y se utiliza para la construcción en general. Permite diseñar hormigones para cualquier tipo de resistencias y tamaños de construcción. Principalmente está compuesto por clínker de cemento portland, sulfato de calcio y adiciones de puzolanas naturales.

Ilustración 10 Cemento Portland uso general Tipo Gu



Nota. Fuente https://www.holcim.com.sv/sites/elsalvador/files/images/FUERTE_1.png

Tabla 6

Propiedades Físicas del Cemento Holcim GU

Propiedad	Unidad	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave	%	0.8	-0.06
Fraguado inicial	minutos	45-420	154.2
Contenido de aire en mortero	%	N/A	3

Nota. Fuente (Holcim)

3.1.3. Fibras de acero

La fibra de acero utilizado para este trabajo de investigación es la fabricada a partir de alambre de acero trefilado en frío, su presentación es de tipo suelto, es decir que no están unidas como las de tipo encolada. La longitud de la fibra depende del tamaño máximo nominal del agregado y su valor se toma entre 2 a 2.5 veces el valor de su tamaño.

Ilustración 11 Fibra de acero



Tabla 7

Especificaciones técnicas de la fibra de acero

Fibras de acero	
Material	Acero trefilado en frío
Forma	Laminada-Corrugada
Presentación	Sueltas
Densidad	7.85 gr/cm ³
Longitud	50 mm
Módulo de Young	210000 N/mm ²

Nota. Elaborado por: Egdo. Tatiana A. Urgiles

3.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Una vez terminado los ensayos para obtener resultados sobre las propiedades de los componentes del hormigón, se procede a diseñar la mezcla. Para ello fue necesario trabajar con el método del comité 211 del ACI para agregados bien gradados y con el método gráfico de Fuller y Thompson para agregados que no cumplan con los requisitos de granulometría. Para ambos métodos se especifica los siguientes pasos:

3.2.1. Selección del asentamiento

La consistencia se conoce como la característica del hormigón en estado fresco, en base a este valor las mezclas se pueden clasificar en secas si su asentamiento es de 0 a 2”, en plásticas si este valor varía de 3 a 4” y fluidas si su asentamiento es mayor a 5”.

Tabla 8

Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción

Tipo de construcción	Asentamiento (pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3	1
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3	1
Vigas y muros reforzados	4	1
Columnas	4	1
Pavimentos y losas	3	1
Concreto ciclópeo y masivo	2	1

Nota. Elaborado por: Egdo. Tatiana A. Urgiles.

Fuente: Código (ACI 211.1-91, 2002)

Este estudio está enfocado en hormigones para pavimentos por lo que se seleccionó un valor de 70 mm (2.7”) como asentamiento para una consistencia media.

3.2.2. Selección del contenido del aire

El comité 211 del ACI señala tres condiciones de exposición a los que se somete el hormigón, entre las cuales se encuentra la exposición ligera, moderada y severa.

Para un tamaño máximo nominal igual $\frac{3}{4}$ " (19mm) el porcentaje de aire atrapado corresponde a 2 según la siguiente tabla:

Tabla 9

Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado

Tamaño máximo del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
		Aire atrapado	Aire Incluido		
pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9.5	3	4.5	6	7.5
1/2	12.5	2.5	4	5.5	7
3/4	19	2	3.5	5	6
1	25.4	1.5	3	4.5	6
1 1/2	38	1	2.5	4.5	5.5
2	50.8	0.5	2	4	4
3	76.1	0.2	1.5	3.5	4.5
6	152.4	0.2	1	3	4

Nota. Elaborado por: Egdo. Tatiana A. Urgiles.

Fuente: Código (ACI 211.1-91, 2002)

3.2.3. Cantidad de agua en la mezcla

Tabla 10

Requisitos de mezclado aproximado de agua para diferentes tamaños máximos nominales de agregados.

Asentamiento (mm)	Agua en kg/m ³ , para tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
	Sin aire incorporado							
25 – 50	207	199	190	179	166	154	130	113
70-100	228	216	202	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	...
	Con aire incorporado							
25 – 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154

Nota. Fuente: Código (ACI 211.1-91, 2002)

3.2.4. Determinación de la resistencia de diseño.

Se debe considerar una resistencia promedio f'_{cr} en kg/cm^2 para el diseño de acuerdo a la Tabla 11, siempre que no haya registros de ensayos de resistencia en donde se usaron materiales y condiciones similares a aquellas que serán empleadas. (Sanchez de Guzman, 2000, pág. 237).

Tabla 11

Resistencia requerida de diseño.

Resistencia especificada $f'c$ (kg/cm^2)	Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} (kg/cm^2)
< 210 kg/cm^2	$f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$
210-350 kg/cm^2	$f'c + 85 \text{ kg/cm}^3$
> 350 kg/cm^2	$f'c + 100 \text{ kg/cm}^4$

Nota. Fuente: Tecnología del concreto y del mortero (Sanchez de Guzman, 2000)

3.2.5. Relación agua cemento

La Tabla 12 muestra valores de la relación agua cemento, según la resistencia que se desea obtener a los 28 días de edad.

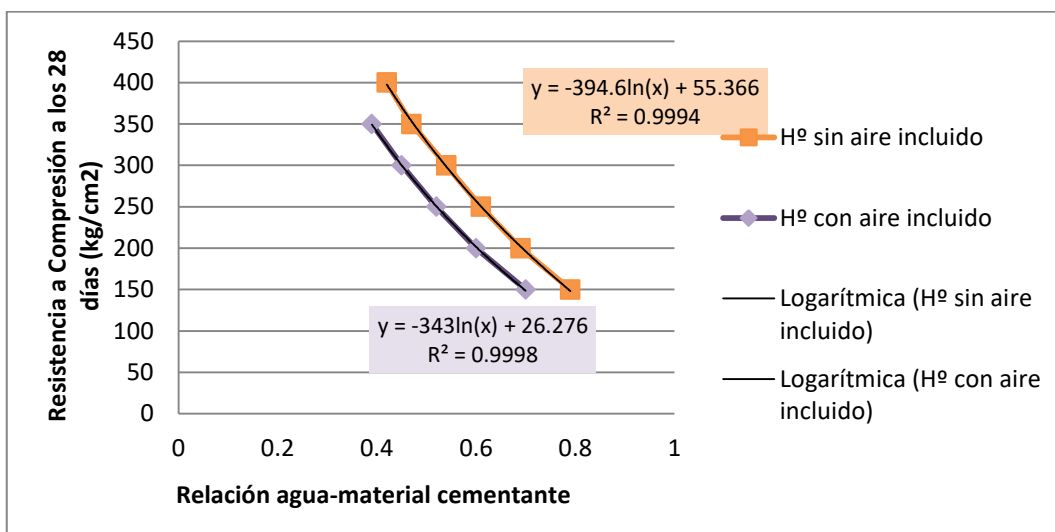
Tabla 12

Relación agua cemento

Resistencia a Compresión a los 28 días		Relación agua/cemento	
kg/cm^2	(Mpa)	H° sin aire incluido	H° con aire incluido
400	40	0.42	
350	35	0.47	0.39
300	30	0.54	0.45
250	25	0.61	0.52

Nota: Fuente: Código (ACI 211.1-91, 2002)

Fig. 1 Relación agua cemento.



Nota. Elaborado por: Egdo. Tatiana A. Urgiles.

La Fig. 1 presenta la relación agua cemento para cualquier valor intermedio de la resistencia promedio para el diseño (f'_{cr}) establecidos en la Tabla 12

3.2.6. Selección de la cuantía de cemento

Para calcular la cantidad de cemento necesario en el diseño de mezclas de hormigón, se utiliza la siguiente ecuación en la que se divide la cantidad de agua para la relación agua cemento.

Ecuación 15 Cuantía de cemento

$$C = \frac{A}{A/C} \tag{15}$$

3.2.7. Estimación de las proporciones de los agregados

3.2.7.1. Método ACI 211.1

En base al módulo de finura de la arena y el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el comité ACI establece la Tabla 13 para obtener el volumen del agregado grueso.

Tabla 13

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón

TMN del agregado	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino								
	Módulo de finura de la arena								
	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.4	0.38	0.36	0.4
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.5
1	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
2	0.78	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66	0.64	0.62
3	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66
6	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71

Nota. Fuente: Código (ACI 211.1-91, 2002)

Fórmulas necesarias:

Ecuación 16 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen compactada del agregado grueso

$$b_o = \frac{\text{Masa unitaria compacta}}{\text{Densidad aparente seca}} \quad (16)$$

Ecuación 17 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

$$b = b_o * V \quad (17)$$

Ecuación 18 Volumen del agregado fino

$$V_{a.fino} = 1 - (\text{vol a. grueso} + \text{vol cemento} + \text{vol. aire} + \text{vol. agua}) \quad (18)$$

3.2.7.2.Método Gráfico de Fuller y Thompson

A continuación se detalla el procedimiento para calcular la proporción de los agregados en la mezcla:

- a. Se dibuja una cuadrícula 10x10
- b. En el eje de las ordenadas se numera porcentajes de 0 a 100 de orden ascendente. En el sector izquierdo se ubica el porcentaje que pasa del agregado fino con su tamiz correspondiente y en el lado derecho, de igual manera se ubica el porcentaje pasante del agregado grueso.
- c. En el eje de la abscisa superior estará ubicado el porcentaje de agregado fino en el que se ordenó de derecha a izquierda porcentajes de 100 a 0. En la abscisa inferior se ubicará el porcentaje del agregado grueso referido al agregado total numerando porcentajes de 0 a 100 (izquierda a derecha)
- d. Los tamices de igual abertura tanto en el agregado fino como en el grueso se unen en una línea recta.
- e. La tabla 14 para el tamaño máximo nominal del arido grueso muestra los limites porcentuales máximos y mínimos que deberán ser marcados en la gráfica.
- f. Se representa con una paralela vertical a las ordenadas el porcentaje de agregado referente al agregado total. (Ver Anexo 3)

Formulas necesarias:

Ecuación 19 Peso seco de los agregados en kg/m³

$$Pr = Vr * Ga \quad (19)$$

Dónde:

Vr= Volumen absoluto de los agregados

Ecuación 20 Peso específico aparente de la mezcla de dos agregados

$$G_a = \frac{(G_{ag} * G_{af})}{(G_{ag}^n + G_{af}^m)} \quad (20)$$

G_{ag} , G_{af} = Peso específico aparente de los agregados grueso y fino respectivamente

n = Proporción del agregado fino.

m = Proporción del agregado grueso.

Tabla 14

Limites de gradación de Fuller y Thompson en porcentajes que pasa para distintos tamaños máximos de agregado

Tamiz		Tamaño máximo nominal				
pulg	mm	50 mm	38mm	25 mm	19mm	12.5 mm
2	50.8	100	-	-	-	-
1 1/2	30.1	85-90	100	-	-	-
1	25.4	68-78	80-87	100	-	-
3/4	19	58-71	68-79	85-90	100	-
1/2	12.5	46-61	55-68	68-78	80-87	100
3/8	9.5	40-56	47-62	58-71	68-79	85-90
N 4	4.8	27-44	32-48	40-56	47-62	58-71
N 8	2.4	19-34	22-38	27-44	32-48	40-56
N 16	1.2	13-27	15-30	19-34	22-38	27-44
N 30	0.6	9-21	10-23	13-27	15-30	19-34
N 50	0.3	6-16	7-18	9-21	10-23	13-27
N 100	0.15	4-13	5-14	6-16	7-18	9-21

Nota: Fuente: Tecnología del concreto de Sanchez de Guzman, 2000

3.2.8. Corrección de la cantidad de agua

Se debe tomar en cuenta la capacidad de absorción de los agregados ya que originalmente no se tomó en cuenta el agua que absorben los agregados al estar secos. La cantidad resultante dependiendo el signo positivo o negativo equivale al agua en exceso o faltante respectivamente y se le suma o resta a la cantidad inicial estimada.

Ecuación 21 Contenido de Humedad

$$H = \frac{P_{hs} - P_s}{P_s} * 100 \quad (21)$$

Donde:

H= Contenido de humedad en porcentaje

P_{hs} = peso húmedo del agregado

P_s = peso del agregado en estado seco

Ecuación 22 Corrección de agua

$$A = -\left(\frac{P_s * (\text{Contenido de humedad} - \text{Capacidad de absorción})}{100}\right) \quad (22)$$

En donde:

A= Cantidad de agua corregida en ml

H= Contenido de humedad

Ca= Capacidad de absorción de los agregados

3.3. CANTIDAD DE LAS FIBRAS DE ACERO

El código 544-1 del ACI recomienda para el hormigón reforzado con fibras, porcentajes típicos de fibra con valores de 0.25 a 1.5% del volumen del hormigón. Razón por la cual en este estudio se consideró partir con un porcentaje de 0.5%, 1% y un extremo de 1.5%. Para determinar la dosificación de fibras de acero para cilindros o vigas se requirió los siguientes datos:

- ✓ Volumen del cilindro o viga dependiendo el caso.
- ✓ Número de cilindros o vigas a ensayar.
- ✓ Porcentaje de fibra de acero.
- ✓ Densidad de la fibra. (ρ_{fa})
- ✓ Densidad del hormigón (ρ_{H^o})

Fórmulas a utilizar:

Ecuación 23 Masa del cilindro o viga de hormigón

$$MH^o_{cilindro\ o\ viga} = V_{cilindro\ o\ viga} * \rho_{H^o} * \#_{muestras\ cilíndricas\ o\ vigas} \quad (23)$$

Ecuación 24 Volumen de hormigón para muestras (VH)

$$VH = \frac{MH^o_{cilindro\ o\ viga}}{\rho_{H^o}} \quad (24)$$

Ecuación 25 Masa de la fibra de acero en el hormigón

$$Masa_{fa} = Volumen_{fa} * \rho_{fa} \quad (25)$$

Ecuación 26 Cantidad de fibra de acero

$$Cantidad_{fa} = Masa_{fa} * VH \quad (26)$$

3.4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

3.4.1. Propiedades del hormigón en estado fresco

3.4.1.1. Consistencia

A la consistencia se le conoce como la facilidad que posee el hormigón en ajustarse a una forma definida. La granulometría de los agregados, cantidad de agua y el tamaño máximo del agregado son los factores que condicionan la consistencia del hormigón. La norma NTE INEN 1578 describe el procedimiento de ensayo para fijar el asentamiento.

Procedimiento:

- ➔ Se humedece el molde con forma de cono truncado y se ubica sobre un espacio plano.
- ➔ Se completa el molde con una muestra de hormigón recién mezclado en tres capas y con una varilla en un total de 25 golpes se compacta cada capa.
- ➔ Se levanta el molde y se coloca el cono invertido a un lado de la muestra para finalmente medir la distancia entre la altura del cono invertido y el centro del descenso de la masa de hormigón.

Ilustración 12 Medición del asentamiento por el método de “Cono de Abrams”



3.4.1.2. Manejabilidad

La manejabilidad también conocida como trabajabilidad es la facilidad que proporciona la mezcla de hormigón para ser colocado, amasado y transportado sin segregación perjudicial. Sanchez de Guzman define a la manejabilidad como la cantidad de trabajo interno necesario para originar una compactación completa, debido a que la fricción interna es una característica específica de la mezcla y no depende de un sistema específico de construcción” (Sanchez de Guzman, 2000, pág. 111).

3.4.1.3. Homogeneidad

Es una propiedad que posee el hormigón en estado fresco mediante el cual su masa se encuentra totalmente uniforme es decir una mezcla bien distribuida. La homogeneidad reduce por factores como una sobre cantidad de agua y por la falta de regularidad de amasado.

3.4.2. Propiedades del hormigón en estado endurecido.

3.4.2.1. Resistencia a compresión

En este estudio se elaboraron 3 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, para un hormigón tradicional con una resistencia de 300 kg/cm² y para un hormigón reforzado con fibras de 5 cm de longitud en porcentajes de 0.5, 1 y 1.5 %. Para moldear los cilindros se basa en el procedimiento que especifica la norma NTE INEN 1576.

- Una vez colocado los cilindros en un lugar cercano a donde serán almacenados, se revistió los moldes cilíndricos con una capa de aceite.
- Se colocó la mezcla de hormigón en el cilindro en dos capas compactando con 25 golpes mediante el uso de una varilla con punta redondeada de diámetro igual a 10mm.

- En la parte exterior de los cilindros, por cada capa se debe generar 12 golpes uniformemente utilizando un martillo de hule.

Ilustración 13 Probetas cilíndricas



- Se niveló los cilindros y se procedió al curado inicial en el que se almacenó los prototipos por un periodo de 48 horas a una temperatura entre 16°C y 27°C.
- Luego del curado inicial y dentro de los 30 min se desmoldó los cilindros y se procedió al curado final en un tanque de almacenamiento.
- Finalmente los prototipos son retirados del tanque de almacenamiento a los 7, 14 y 28 días para ser ensayados.

Ilustración 14 Curado inicial y final de los cilindros



Para determinar la resistencia a compresión de los prototipos cilíndricos a los 7, 14 y 28 días se utilizó la norma NTE INEN 1573 que señala que “este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen” (p.2).

Ecuación 27 Resistencia a compresión

$$f'_c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{Area_{cilindro}} \quad (27)$$

En donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima obtenida en el ensayo, kg

f'_c = Resistencia a compresión, kg/cm²

Ilustración 15 Máquina de ensayo a compresión de cilindros



3.4.2.2. Resistencia a flexión

Para este ensayo se elaboraron vigas de 15*15*53cm, para hormigones tradicionales con una resistencia de 300 kg/cm² y para hormigones reforzados con fibras de 5 cm de longitud en porcentajes de 0.5, 1 y 1.5 %.

De igual manera se fundamentó en la norma NTE INEN 1576 para la elaboración y curado en obra. Se sigue el procedimiento mencionado para cilindros con la diferencia que para vigas se compactó en 5 líneas horizontales, con 15 golpes de extremo a extremo.

Ilustración 16 Encofrado de vigas de 15x15x53 cm



Ilustración 17 Curado inicial y control de temperatura en vigas



A los 28 días se ensayaron dos prototipos por cada muestra de hormigón simple y hormigón añadido fibra de acero en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5%. Su procedimiento se describe a continuación: “Se debe girar el prototipo de ensayo sobre su lado a como fue moldeado y ubicarlo en los elementos de soporte. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Ubicar los dispositivos de aplicación de carga en contacto con

la superficie del espécimen en los tercios de la luz y emplear una carga entre 3 % y 6 % de la última carga estimada. Encabezar, usar bandas de cuero o esmerilar, la superficie de contacto para eliminar cualquier vacío en exceso de 0,10 mm". (ASTM C78, pág. 7) .

Cabe mencionar que la Ecuación 28 se utiliza cuando la falla ocurre entre el tercio medio de la longitud entre apoyos se debe utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 28 Modulo de rotura (a)

$$Mr = \frac{P_*L}{b * h^2} \quad (28)$$

Donde:

Mr= Modulo de rotura expresado en kg/cm²

P= Carga máxima en kg

b= ancho del espécimen, en cm.

h= altura del espécimen, en cm.

En caso de que la falla ocurre fuera tercio medio de la longitud entre apoyos por no mas del 5% , se debe utilizar la Ecuación 29.

Ecuación 29 Modulo de rotura (b)

$$Mr = \frac{3 * P_*a}{b * h^2} \quad (29)$$

En donde:

a= distancia entre la línea de falla y el soporte mas cercano , en cm

Ilustración 18 Preparación de la viga antes del ensayo



Ilustración 19 Máquina de ensayo a flexión.



Ilustración 20 Fallas ubicadas dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos en vigas de hormigón



CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

4.1.1. Ensayo Granulométrico

Tabla 15

Granulometría del agregado fino (Depósito Materiales de Construcción Bonilla-Sa)

Tamiz		Retenido Parcial (Gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites (INEN 872)		
pulg.	mm					Lim. Inferior	Lim. Superior	
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	Cumple
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	Cumple
#4	4.75	63.93	9.14	9.14	90.86	90	100	Cumple
#8	2.36	180.44	25.79	34.92	65.08	80	100	No Cumple
#16	1.18	141.43	20.21	55.14	44.86	50	85	No Cumple
#30	0.59	121.14	17.31	72.45	27.55	25	60	Cumple
#50	0.297	100.98	14.43	86.88	13.12	10	30	Cumple
#100	0.149	57.56	8.23	95.11	4.89	2	10	Cumple
Fondo		34.23	4.89	100.00	0.00	-	-	-
Total (g)		699.71						
Peso de la muestra			700.00	g				
% de pérdidas			0.041	%				
Módulo de finura			3.54					

Fig. 2 Curva granulométrica del agregado fino (Depósito Materiales de Construcción Bonilla S.A)

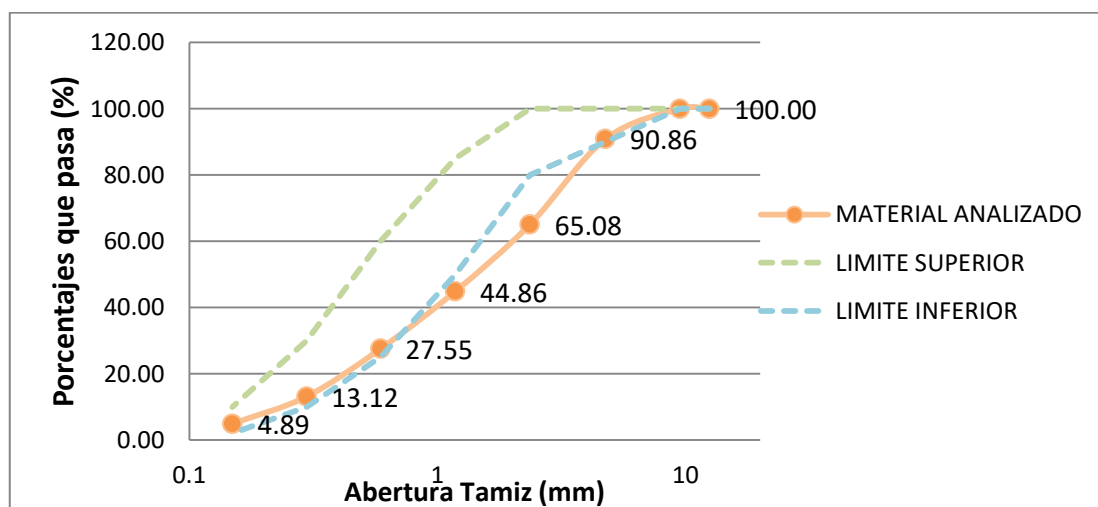


Tabla 16*Granulometría del agregado fino (Depósito 2)*

Tamiz		Retenido Parcial (G)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites (INEN 872)		
Pulg.	Mm					Lim. Inferior	Lim. Superior	
1/2 "	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	Cumple
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	Cumple
#4	4.76	10.76	1.54	1.54	98.46	95	100	Cumple
#8	2.38	50.02	7.15	8.68	91.32	80	100	Cumple
#16	1.19	82.04	11.72	20.40	79.60	50	85	Cumple
#30	0.59	212.76	30.40	50.80	49.20	25	60	Cumple
#50	0.29	187.52	26.79	77.59	22.41	10	30	Cumple
#100	0.14	116.18	16.60	94.19	5.81	2	10	Cumple
Fondo		40.70	5.81	100.00	0.00	-	-	-
Total		699.98						
Peso de la muestra			700.00	g				
% de pérdidas			0.003	%				
Módulo de finura			2.53					

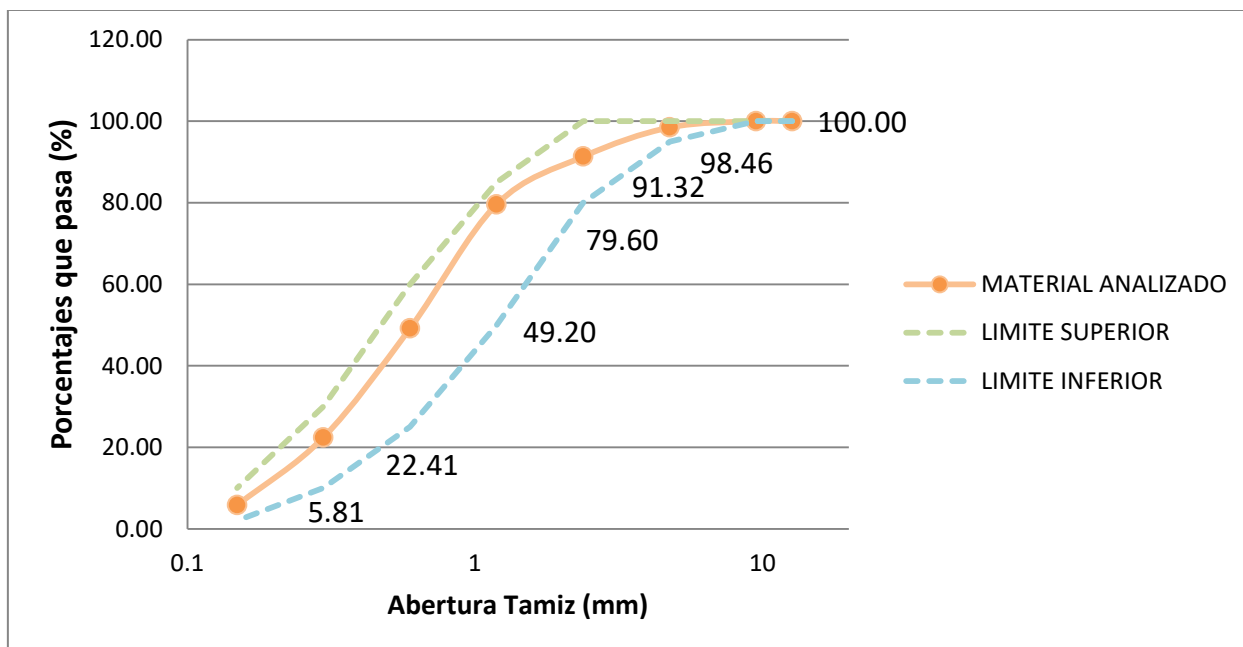
Fig. 3 Curva Granulométrica del agregado fino (Depósito 2)

Tabla 17

Granulometría del agregado grueso (Depósito Materiales de Construcción Bonilla-Sa)

Tamiz		Retenido Parcial (Gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites (INEN 872)			
pulg.	mm					Lim. Inferior	Límite Superior		
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100	Cumple	
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100	Cumple	
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.0	95	100	Cumple	
3/4"	19	852.00	14.20	14.20	85.80				
1/2"	12.7	2,428.00	40.48	54.68	45.32	25	60	Cumple	
3/8"	9.51	1,202.00	20.04	74.72	25.28				
#4	4.76	1,319.00	21.99	96.72	3.28	0	10	Cumple	
Fondo		197.00	3.28	100.00	0.00	-	-		
Total (g)		5998							
Peso de la muestra			6000.00	g					
% de pérdidas			0.03	g					

Fig. 4 Curva granulométrica del agregado grueso

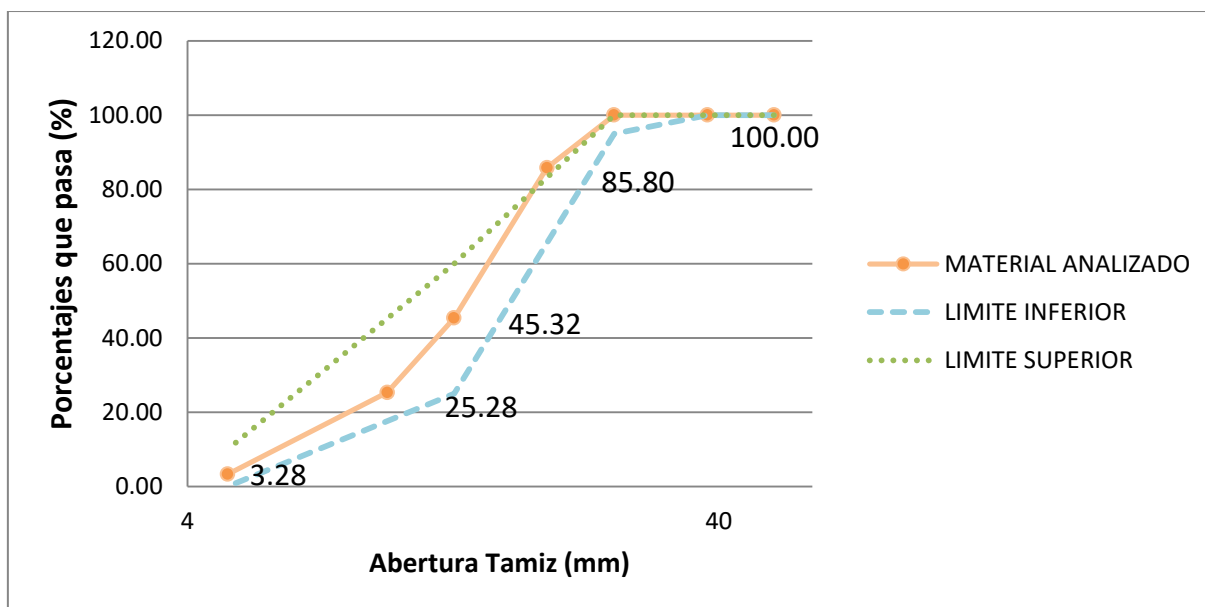


Tabla 18

Granulometría Combinada de los Agregados


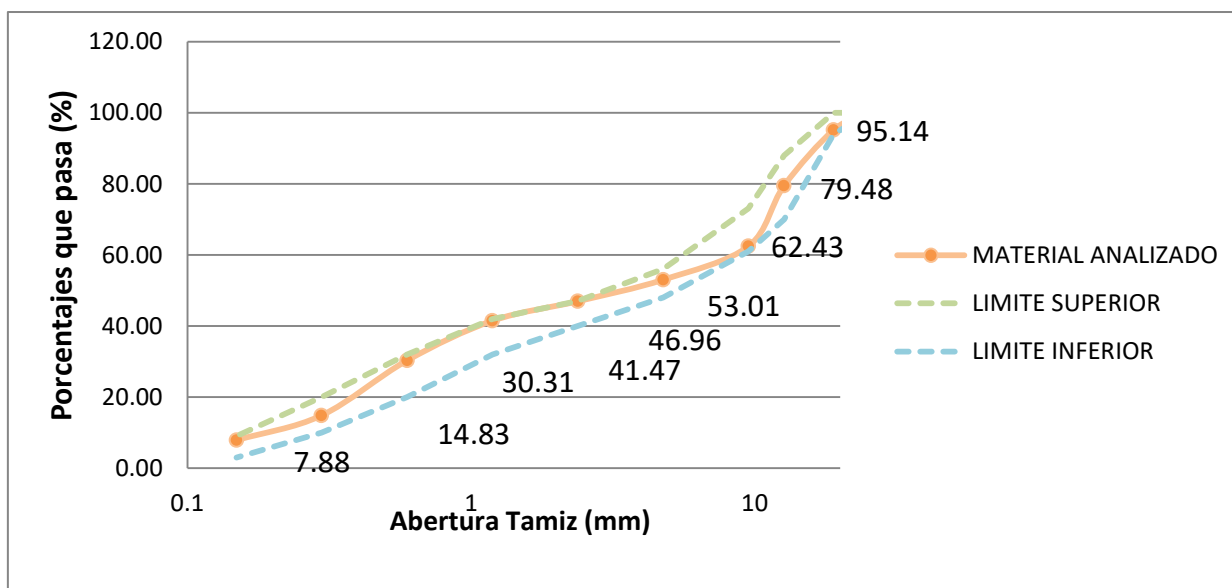
		Tema: Incidencia De La Adición De Fibras De Acero En El Hormigón Empleado Para Pavimentos Rígidos						
		ENSAYO: Granulometría Combinada						
		Norma:			ACI 544.1			
		Ensayado por:			Egdo. Tatiana Urgiles S	FECHA:	09/04/18	
Tamiz		Retenido Parcial (G)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites (ACI 544)		
Pulg	Mm					LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR	
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19	250.54	4.86	4.86	95.14	94	100	Cumple
1/2 "	12.7	1057.95	20.52	20.52	79.48	70	88	Cumple
3/8"	9.51	878.56	17.04	37.57	62.43	61	73	Cumple
#4	4.76	485.70	9.42	46.99	53.01	48	56	Cumple
#8	2.38	311.90	6.05	53.04	46.96	40	47	Cumple
#16	1.19	283.03	5.49	58.53	41.47	32	42	Cumple
#30	0.6	575.43	11.16	69.69	30.31	20	32	Cumple
#50	0.3	797.80	15.48	85.17	14.83	10	20	Cumple
#100	0.15	358.53	6.96	92.12	7.88	3	9	Cumple
Fondo		155.48	3.02	95.14	4.86	-	-	-
TOTAL		5154.92	g					
W Inicial		5155.00	g					
% Pérdidas		0.0016	%					

Fig. 5 Granulometría Combinada de los agregados



Interpretación de resultados

Al analizar los resultados obtenidos en la Tabla 17 se determinó que el tamaño máximo del agregado grueso es igual a 1" y su tamaño máximo nominal es de 3/4". El porcentaje que pasa se encuentra dentro de los límites de gradación establecidos por la norma Ecuatoriana NTE INEN 872 para agregados gruesos. El módulo de finura igual a 2.40 cumple con el rango de 2.3 y 3.1 que establece la norma ASTM C-125 y la masa total de la muestra luego de ser tamizado es similar a la muestra inicial con un porcentaje de pérdida igual a 0.03% valor que se encuentra dentro del 0.3% permitido para que el ensayo sea aceptable.


En cuanto al agregado fino, el primer material analizado corresponde a la cantera Santa Isabel, el mismo que no cumple con los límites de gradación que establece la norma Ecuatoriana NTE INEN 872 como se puede observar en la Fig. 2 y el módulo de finura calculado de 3.54 se encuentra fuera del rango permitido. En cambio, en la Fig. 3 se observa que la distribución de partículas del agregado fino procedente de la cantera Cochancay cumple con los límites de gradación establecidos y el módulo de finura igual a 2.53 se encuentra dentro de lo permitido.

La Tabla 18 demuestra que los materiales analizados de la Cantera Santa Isabel para agregado grueso con un tamaño máximo nominal igual a 3/4" y para agregado fino el material procedente de la Cantera Cochancay se encuentran dentro de los límites de gradación que indica la Tabla 3 establecido por el Comité 544.1R-96 del ACI para agregados que se emplearán en la preparación de hormigones reforzados con fibra de acero.

4.1.2. Cálculo de la densidad, densidad relativa y capacidad de absorción de los agregados.

Tabla 19

Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES			
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción			
	Carrera de Ingeniería Civil			
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón Empleado para Pavimentos Rígidos			
	Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción			
	Ensayo: Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso			
	Norma:	NTE INEN 857	Origen:	Cantera Santa Isabel
	Ensayado Por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles	Fecha:	12/03/18

DATOS:			SIMBOLOS
A =	5684.00	g	A = Masa en el aire de la muestra seca al horno, g
B =	5861.37	g	B = Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca
C =	3562.00	g	C = Masa aparente en agua de la muestra, g

	g/cm ³
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	2.47
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	2.55
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	2.68
% absorción	3.12

Tabla 20*Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino*

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES			
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción			
	Carrera de Ingeniería Civil			
	TEMA: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón Empleado para Pavimentos Rígidos			
	Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción			
	Ensayo: Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino			
	Norma:	NTE INEN 856:2010	Origen:	Cantera Cochancay
Ensayado por:	Tatiana A. Urgiles	Fecha:	29/03/18	


DATOS:			SÍMBOLOS:
A =	468.15	g	A = Masa de la muestra seca al horno, g
B =	1207.52	g	B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g
C =	1506.55	g	C = Masa del picnómetro lleno con muestra y agua, g
S =	500.00	g	S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

	g/cm³
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	2.33
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	2.49
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	2.17
% absorción	6.8

4.1.3. Ensayo para determinar la masa unitaria compactada y suelta de los agregados.

Tabla 21

Densidad aparente compactada y suelta del agregado fino

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES		
	Unidad Académica Dd Ingeniería Industrias y Construcción		
	Carrera De Ingeniería Civil		
	TEMA: Incidencia De La Adición De Fibras De Acero En El Concreto Empleado Para Pavimentos Rígidos		
	Laboratorio De Materiales De Suelos Y Mecánica De Construcción		
	ENSAYO: Densidad Aparente Compactada Y Suelta Del Agregado Fino.		
	Norma:	Nte Inen 858:2010	
	Ensayado Por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles	Fecha: 30/03/18

DATOS:			SIMBOLOS
Gc =	4.523	kg	Gc= masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
	4.527	kg	
Gs=	4.032	kg	Gs= masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
	4.035	kg	
V =	0.00295	m ³	V= volumen del molde; m ³
			Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m ³
			Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m ³

	PESO DEL AGREGADO (g)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	PROMEDIO (kg/dm ³)
Mc	4.523	1533.220	1533.898
	4.527	1534.576	
Ms	4.032	1366.780	1367.288
	4.035	1367.797	

Tabla 22*Densidad aparente compactada y suelta del agregado grueso*

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES		
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción		
	Carrera de Ingeniería Civil		
	TEMA: Incidencia De La Adición De Fibras De Acero En El Concreto Empleado Para Pavimentos Rígidos		
	Laboratorio De Materiales De Suelos Y Mecánica De Construcción		
	ENSAYO: Densidad Aparente Compactada y Suelta del Agregado Grueso.		
	Norma:	Nte Inen 858:2010	
	Ensayado Por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles	Fecha: 13/03/18

DATOS:			SIMBOLOS
Gc =	13.267	kg	Gc= masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
	13.267	kg	
Gs=	12.535	kg	Gs= masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
	12.539	kg	
V =	0.009570	m3	V= volumen del molde; m3
			Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m3
			Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m3

	PESO DEL AGREGADO (g)	PESO UNITARIO (kg/m3)	PROMEDIO (kg/dm3)
Mc	13.267	1386.311	1386.31
	13.267	1386.311	
Ms	12.535	1309.82	1310.03
	12.539	1310.24	

4.2.DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

4.2.1. Cantidad de materiales por m³

Estudiadas propiedades de los agregados se procede al diseño de mezclas de hormigones para una resistencia $f^c = 300 \text{ kg/cm}^2$, con cemento Guapán Tipo IP y cemento Holsim Tipo GU teniendo los siguientes resultados:

4.2.1.1.Cementos Guapan Tipo IP

Tabla 23

Dosificación del hormigón con agregados no gradados



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES				
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción				
	Carrera de Ingeniería Civil				
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el hormigón empleado para Pavimentos Rígidos				
	Método		Método Gráfico de Fuller y Thompson		
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
Agregado fino			Agregado grueso		
Módulo de Finura	3.54		Tamaño Máximo Nominal	3/4	"
Contenido de Humedad	2.28	%	Contenido de Humedad	1.10	%
Capacidad de Absorción	4.76	%	Capacidad de Absorción	3.12	%
Peso específico de la masa	2.5	g/m ³	Peso específico de la masa	2.55	g/m ³
Peso seco compactado	1567.8	kg/m ³	Peso seco compactado	1386.31	kg/m ³
Cemento			Resistencia a la compresión		
Cemento	C. Guapán		.Requerida (f^c)	300	kg/cm ²
Tipo de cemento	Tipo IP		Promedio (f^{cr})	385	kg/cm ³
Densidad	2890	kg/m ³			
DISEÑO DE MEZCLAS					
Consistencia			Media	Asentamiento	70 mm
Tipo de hormigón a diseñar		Hormigón sin aire incluido			
Volumen Unitario de agua		195	lt/m ³		
n		55	%		
m		45	%		
Porcentaje de aire atrapado		2	%		
Relación Agua/Cemento		0.43			
Contenido de cemento:		453.49	kg/m ³		
Volumen del cemento		0.157	m ³		
Cantidad de ripio		8868.58	kg/m ³		
Cantidad de arena		710.65	kg/m ³		

Tabla 24*Dosificación del hormigón con agregados gradados*

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES	
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción	
	Carrera de Ingeniería Civil	
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el hormigón empleado para Pavimentos Rígidos	
	Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción	
	Diseño de mezclas de hormigón	
	Método	M. ACI 211.1

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
Agregado fino			Agregado grueso		
Módulo de Finura	2.53		Tamaño Máximo Nominal	3/4	"
Contenido de Humedad	0.29	%	Contenido de Humedad	1.10	%
Capacidad de Absorción	6.8	%	Capacidad de Absorción	3.12	%
Peso específico de la masa	2.49	g/m ³	Peso específico de la masa	2.55	g/m ³
Peso seco compactado	1533.89	kg/m ³	Peso seco compactado	1386.31	kg/m ³


Cemento		
Cemento	C. Guapán	
Tipo de cemento	Tipo IP	
Densidad	2890	kg/m ³

DISEÑO DE MEZCLAS				
Resistencia a la compresión requerida	F'c	300	kg/cm ²	
Resistencia promedio	F'cr	385	kg/cm ³	
Consistencia	Media	Asentamiento	70	mm
Tipo de hormigón a diseñar	Hormigón sin aire incluido			
Volumen Unitario de agua	195	lt/m ³		
Contenido de cemento:	453.49	kg/m ³		
Cantidad de ripio	889.96	kg/m ³		
Cantidad de arena	690.12	kg/m ³		

4.2.1.2.Cemento Holcim Tipo GU

Tabla 25

Dosificación del hormigón con agregados gradados

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES	
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción	
	Carrera de Ingeniería Civil	
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el hormigón empleado para Pavimentos Rígidos	
	Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción	
	Diseño de mezclas de hormigón	
	Método	<i>M. ACI 211.1</i>

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
Agregado fino			Agregado grueso		
Módulo de Finura	2.53		Tamaño Máximo Nominal	3/4	"
Contenido de Humedad	0.29	%	Contenido de Humedad	1.10	%
Capacidad de Absorción	6.8	%	Capacidad de Absorción	3.12	%
Peso específico de la masa	2.49	g/m ³	Peso específico de la masa	2.55	g/m ³
Peso seco compactado	1533.89	kg/m ³	Peso seco compactado	1386.31	kg/m ³

Cemento		
Cemento	Holcim	
Tipo de cemento	Tipo Gu	
Densidad	2940	kg/m ³

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3				
Resistencia a la compresión requerida	F'c	300	kg/cm ²	
Resistencia promedio	F'cr	385	kg/cm ³	
Consistencia	Media	Asentamiento	70	mm
Tipo de hormigón a diseñar	Hormigón sin aire incluido			
Volumen Unitario de agua	195	lt/m ³		
Porcentaje de aire atrapado	2	%		
Relación Agua/Cemento	0.43			
Contenido de cemento:	453.49	kg/m ³		
Volumen del cemento	0.154	m ³		
Cantidad de ripio	889.96	kg/m ³		
Cantidad de arena	696.75	kg/m ³		

4.2.2. Corrección de agua por humedad para $f'c=300$ kg/cm²

Tabla 26
Corrección de agua


Agregado Fino			Agregado Grueso		
Humedad			Humedad		
	Muestra 1	Muestra 2		Muestra 1	Muestra 2
Phs (g)	54.64	57.12	Phs (g)	999.05	1180
Ps (g)	54.47	56.97	Ps (g)	983.6	1172.66
H (%)	0.31	0.26	H (%)	1.57076047	0.62592738
H promedio	0.288 (%)		H promedio	1.10 (%)	
Absorción			Absorción		
Pss	500	g	Pss	5861.37	g
Ps	468.15	g	Ps	5684	g
CA	6.8	%	CA	3.12051372	%
Corrección			Corrección		
A	0.034	lt	A	0.14	lt

4.3.DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE ACERO

4.3.1. Cantidad de fibras de acero para cilindros

Tabla 27

Dosificación de fibra de acero en cilindros de hormigón para $f'c=300$ kg/cm²


	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES	
	Carrera de Ingeniería Civil	
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el hormigón empleado para Pavimentos Rígidos	
	Realizado por:	Egdo. Tatiana Urgiles S.

Fibra de acero (%)	Masa de Hormigón (kg)	Volumen de hormigón (m ³)	Volumen de Fibra de acero (m ³)	Masa de la fibra de acero en H° (kg/m ³)	Cantidad de fibra de acero (kg)
0.5	10.53	0.00471	0.005	39.25	0.18
1	10.53	0.00471	0.01	78.5	0.37
1.5	10.53	0.00471	0.015	117.75	0.55

4.3.2. Cantidad de fibras de acero para vigas

Tabla 28

Dosificación de fibra de acero en vigas de hormigón para $f'c=300$ kg/cm²

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES			
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción			
	Carrera de Ingeniería Civil			
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos			
	f'c	300 kg/cm ²	Elemento:	Viga
	Realizado por:		Egdo. Tatiana Urgiles S.	

Longitud de la viga (Lv)	0.53	m
Ancho de la viga (Av)	0.15	m
Alto de la viga (HV)	0.15	m
Volumen	0.0120	m ³
# de vigas	2.00	u
Densidad Fa	7.85	g/cm ³
Densidad H°	2235.19	g/cm ⁴

Fibra de acero (%)	Masa de Hormigón (kg)	Volumen de hormigón (m ³)	Volumen de Fibra de acero (m ³)	Masa de la fibra de acero en H° (kg/m ³)	Cantidad de fibra de acero (kg)
0.5	53.61	0.024	0.005	39.25	0.94
1	53.61	0.024	0.01	78.5	1.88
1.5	53.61	0.024	0.015	117.75	2.82

4.4.PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

4.4.1. Propiedades del hormigón en estado fresco

Tabla 29

Propiedades del hormigón en estado fresco para $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Holcim Tipo GU.



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES									
	Unidad Académica De Ingeniería Industrias Y Construcción									
	Carrera De Ingeniería Civil									
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigon empleado para Pavimentos Rígid									
	Ensayo		Cono de Abrams			Elemento		Cilindro -Vigas		
	Ensayado por:		Egdo. Tatiana A. Urgiles			f'c (kg/cm ²)		300		
Identificación	Fecha de Elaboración	% de Fibra	# Días	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Asentamiento (mm)	Trabajabilidad-Homogeneidad
Agregados gradados	24/04/18	0.00	7	20.1	9.90	3.732	0.002	2412.04	70	Media
Agregados gradados	25/04/2018	0.50	7	20.2	9.9	3.780	0.002	2430.97	66	Media
Agregados gradados	02/05/2018	1.00	7	20.3	9.9	3.795	0.002	2428.60	55	Media
Agregados gradados	03/05/2018	1.50	7	20.3	9.9	3.855	0.002	2466.99	48	Poca

Tabla 30

Propiedades del hormigón en estado fresco para $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Guapán Tipo IP.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES									
	Unidad Académica De Ingeniería Industrias Y Construcción									
	Carrera de Ingeniería Civil									
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos									
	Ensayo	Cono De Abrams					Elemento		Cilindro- Vigas	
	Ensayado por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles					F'c (Kg/Cm2)		300	
Identificación	Fecha de Elaboración	% de Fibra	# Días	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (kg)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Asentamiento (mm)	Trabajabilidad-Homogeneidad
Agregados gradados	08/05/18	0.00	7	20.3	9.90	3.660	0.002	2342.2	72	Media
Agregados no gradados	14/05/2018	0.00	7	20.3	9.90	3.665	0.002	2345.4	70	Media
Agregados gradados	22/05/2018	0.50	7	20.3	9.90	3.737	0.002	2391.5	68	Media
Agregados gradados	23/05/2018	1.00	7	20.2	9.90	3.831	0.002	2463.8	57	Media
Agregados gradados	24/05/2018	1.50	7	20.3	9.90	3.895	0.002	2492.6	49	Poca

4.4.2. Propiedades del hormigón en estado endurecido

4.4.2.1. Comportamiento del hormigón a compresión

4.4.2.1.1. Cemento Holcim Tipo GU

Tabla 31

Ensayo de Compresión de cilindros $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

# Muestra	Identificación	Fecha de elaboración	% Fibra	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	CARGA (kg)	Esfuerzo Compresion (kg/cm ²)	EDAD (Días)	Valor obtenido (%)
1	Agregados gradados	24/04/18	0	20.1	9.90	76.98	0.002	3.732	2412.04	11640	151.21	7	50.40
2				20.1	9.90	76.98	0.002	3.723	2406.23	14500	188.37	14	62.79
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.714	2376.76	16930	219.94	28	73.31
1	Agregados gradados	25/04/18	0.5	20.2	9.90	76.98	0.002	3.780	2430.97	15900	206.56	7	68.85
2				20.1	9.90	76.98	0.002	3.745	2420.45	18160	235.92	14	78.64
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.722	2381.88	21760	282.68	28	94.23
1	Agregados gradados	02/04/18	1	20.3	9.90	76.98	0.002	3.795	2428.60	11100	144.20	7	48.07
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.861	2470.83	16390	212.92	14	70.97
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.866	2474.03	19670	255.53	28	85.18
1	Agregados gradados	03/05/18	1.5	20.3	9.90	76.98	0.002	3.855	2466.99	11080	143.94	7	47.98
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.920	2508.59	14820	192.53	14	64.18
3				20.4	9.90	76.98	0.002	3.949	2514.76	17880	232.28	28	77.43

Fig. 6 Curva de resistencia a la compresión del hormigón tradicional y hormigón reforzado con fibra en diferentes porcentajes vs tiempo de curado

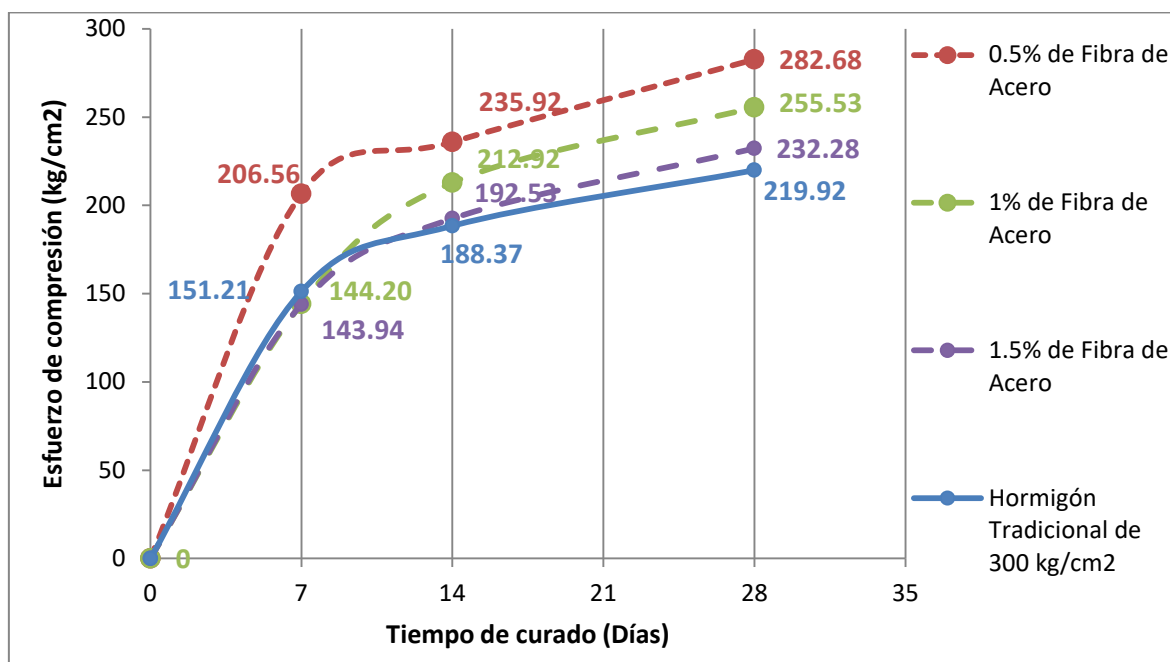
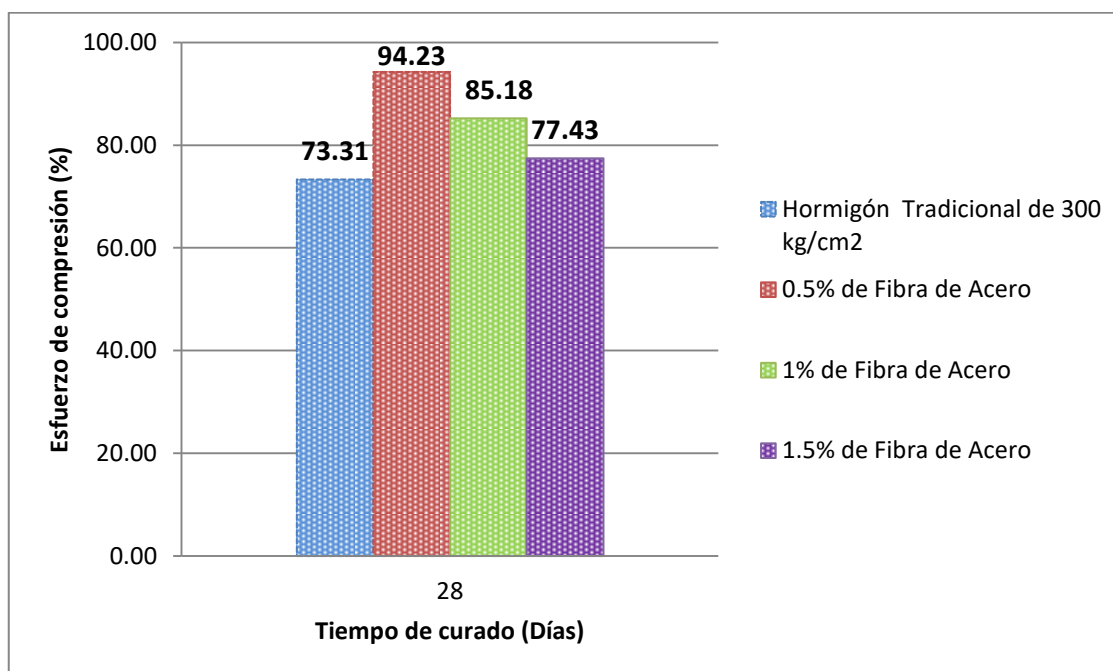


Fig. 7 Porcentaje de resistencia a la compresión a los 28 días de edad utilizando cemento Holcim Tipo GU



Interpretación de Resultados

En la Fig. 6 el comportamiento de la curva de resistencia a la compresión del hormigón simple y hormigón reforzado con fibra en porcentajes de 0.5% , 1% y 1.5% para un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Holsim Tipo GU en función del tiempo de curado, tiene una tendencia lineal pese a adquirir los 28 días. Se observa además que adicionando 0.5% de fibra de acero a la mezcla de hormigón adquiere una mayor resistencia a compresión alcanzando el 94.23% en porcentaje de resistencia, seguido de las dosificaciones con 1% y 1.5% de fibra de acero, en cambio el hormigón sin fibra obtuvo la menor resistencia a compresión con 219.92 kg/cm^2 (73.31%).

En cuanto a la homogeneidad y trabajabilidad del hormigón, en la Tabla 29 para cementos Holsim Tipo GU, se revela que mientras mayor sea el porcentaje de fibra adicionado éste tiende a reducirse. Se puede apreciar por ejemplo que el hormigón sin fibra mantiene los 70 mm de asentamiento con el que se consideró para el diseño de mezclas y que al adicionar 0.5% de fibra de acero a la mezcla del hormigón reduce un 6% el grado de trabajabilidad y homogeneidad. En cuánto a la mezcla con 1.5% de fibra de acero se observa que se obtiene un asentamiento igual a 46 mm consiguiendo una mezcla poco trabajable con una pérdida de revenimiento igual a 2.4 cm.

Tabla 32

Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado.


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES															
								Carrera de Ingeniería Civil							
								Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón Empleado para Pavimentos Rígidos							
								Carga Vs Deformación							
								Cemento		HOLCIM Tipo GU				Elemento	
Elaborado por:		Egdo. Tatiana A. Urgiles				f'c		300 kg/cm ²							
Hormigón simple (agregados gradados)				0.5 de fibra de acero											
Carga	Area	Esfuerzo	Deformación	Carga	Area	Esfuerzo	Deformación								
kgf	mm ²	Mpa	mm	kgf	mm ²	Mpa	mm								
0	0	0	0	0	0	0	0								
320	7697.69	0.408	0.254	1850	7697.687	2.356	0.254								
1030	7697.69	1.312	0.508	4090	7697.687	0.000	0.508								
2140	7697.69	2.726	0.762	7200	7697.687	9.170	0.762								
4410	7697.69	5.617	1.016	10640	7697.687	13.551	1.016								
6600	7697.69	8.406	1.27	14100	7697.687	17.958	1.27								
8960	7697.69	11.412	1.524	15900	7697.687	20.251	1.524								
10950	7697.69	13.946	1.778	13840	7697.687	17.627	1.778								
11640	7697.69	14.825	2.032												
10250	7697.69	13.055	2.286												
4440	7697.69	5.655	2.54												
1.% de fibra de acero				1.5% de fibra de acero											
Carga	Area	Esfuerzo	Deformación	Carga	Area	Esfuerzo	Deformación								
kgf	mm ²	Mpa	mm	kgf	mm ²	Mpa	mm								
0	0	0	0	0	0	0	0								
390	7697.69	0.497	0.254	150	7697.687	0.191	0.254								
940	7697.69	1.197	0.508	480	7697.687	0.611	0.508								
2480	7697.69	0.000	0.762	1340	7697.687	1.707	0.762								
4290	7697.69	5.464	1.016	2960	7697.687	3.770	1.016								
6680	7697.69	8.508	1.27	4690	7697.687	0.000	1.27								
8980	7697.69	11.437	1.524	6990	7697.687	8.903	1.524								
10120	7697.69	12.889	1.778	9130	7697.687	11.628	1.778								
11100	7697.69	14.137	2.032	10850	7697.687	13.819	2.032								
10340	7697.69	13.169	2.54	11080	7697.687	14.112	2.286								
9120	7697.69	11.615	2.794	8350	7697.687	10.635	2.54								
				9250	7697.687	11.781	2.794								
				10190	7697.687	12.978	3.048								
				7450	7697.687	9.488	3.302								

Tabla 33

Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado


 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES							
Carrera de Ingeniería Civil							
Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos							
Carga Vs Deformación							
Cemento		HOLCIM Tipo GU		ELEMENTO		Cilindro	
Elaborado por:		Egdo. Tatiana A. Urgiles		f'c		300 kg/cm ²	
Hormigón simple (agregados gradados)				0.5 de fibra de acero			
Carga	Area	Esfuerzo	Deformación	Carga	Area	Esfuerzo	Deformación
kgf	mm ²	Mpa	mm	kgf	mm ²	Mpa	mm
0	0	0	0	0	0	0	0
3430	7697.687	4.369	0.254	170	7697.69	0.217	0.254
6840	7697.687	8.712	0.508	560	7697.69	0.713	0.508
10310	7697.687	13.131	0.762	1500	7697.69	1.910	0.762
14500	7697.687	18.467	1.016	2840	7697.69	3.617	1.016
11110	7697.687	14.532	1.27	4590	7697.69	5.846	1.27
10990	7697.687	13.997	1.524	6610	7697.69	8.419	1.524
8720	7697.687	11.106	1.778	9140	7697.69	11.641	1.778
				11700	7697.69	14.901	2.032
				14780	7697.69	18.824	2.286
				18160	7697.69	23.129	2.54
				11640	7697.687	14.825	2.794
				12480	7697.687	15.895	3.048
				14100	7697.687	17.958	3.302
1% de fibra de acero				1.5 %de fibra de acero			
Carga	Area	Esfuerzo	Deformación	Carga	Area	Esfuerzo	Deformación
kgf	mm ²	Mpa	mm	kgf	mm ²	Mpa	mm
0	0	0	0	0	0	0	0
550	7697.69	0.700	0.254	1440	7697.69	1.834	0.254
1840	7697.69	2.343	0.508	4620	7697.69	0.000	0.508
3580	7697.69	4.560	0.762	6920	7697.69	8.813	0.762
6070	7697.69	7.731	1.016	9860	7697.69	12.558	1.016
8910	7697.69	11.348	1.27	12490	7697.69	15.908	1.27
11970	7697.69	15.245	1.524	14590	7697.69	18.582	1.524
15100	7697.69	19.232	1.778	14820	7697.69	18.875	1.778
15970	7697.69	20.340	2.032	13160	7697.69	16.761	2.032
16390	7697.69	20.875	2.286	9270	7697.69	11.806	2.286
14100	7697.69	17.958	2.54	8770	7697.69	11.170	2.54
15400	7697.69	19.614	2.794				
10800	7697.69	13.755	3.048				

Tabla 34

Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado


 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos							
Carga Vs Deformación							
Cemento		HOLCIM Tipo GU			Elemento	Cilindro	
Elaborado por:		Egdo. Tatiana A. Urgiles			f'c	300 kg/cm ²	
Hormigón simple (agregados gradados)				0.5 de fibra de acero			
Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
2920	7697.69	3.719	0.254	660	7697.69	0.841	0.254
5440	7697.69	6.928	0.508	2830	7697.69	3.604	0.508
8300	7697.69	0.000	0	5040	7697.69	6.419	0.762
11930	7697.69	15.194	1.016	7680	7697.69	9.781	1.016
15620	7697.69	19.894	1.27	11200	7697.69	0.000	1.27
16930	7697.69	21.562	1.524	14300	7697.69	18.213	1.524
13410	7697.69	17.079	1.778	18030	7697.69	22.963	1.778
8240	7697.69	10.495	2.286	20780	7697.69	26.466	2.032
				21760	7697.69	27.714	2.286
				19080	7697.687	24.301	2.794
				14610	7697.687	18.608	3.048
				14730	7697.687	18.760	3.302
				17840	7697.687	22.721	3.556
1% de fibra de acero				1.5 %de fibra de acero			
0	0	0	0	0	0	0	0
20	7697.69	0.025	0.254	50	7697.69	0.064	0.254
110	7697.69	0.140	0.508	190	7697.69	0.242	0.508
420	7697.69	0.535	0.762	520	7697.69	0.662	0.762
1100	7697.69	1.401	1.016	1180	7697.69	1.503	1.016
2670	7697.69	3.401	1.27	2760	7697.69	3.515	1.27
4200	7697.69	5.349	1.524	6060	7697.69	0.000	1.524
6900	7697.69	0.000	1.778	9720	7697.69	12.380	1.778
9180	7697.69	11.692	2.032	13660	7697.69	17.398	2.032
16740	7697.69	21.320	2.286	17100	7697.69	21.779	2.286
19670	7697.69	25.052	2.54	17880	7697.69	22.772	2.54
14590	7697.69	18.582	2.794	16060	7697.69	20.454	2.794
14360	7697.69	18.289	3.048	13100	7697.69	16.684	3.048
16220	7697.69	20.658	3.302				
14210	7697.69	18.098	3.556				
15050	7697.69	19.168	3.81				

Fig. 8 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado

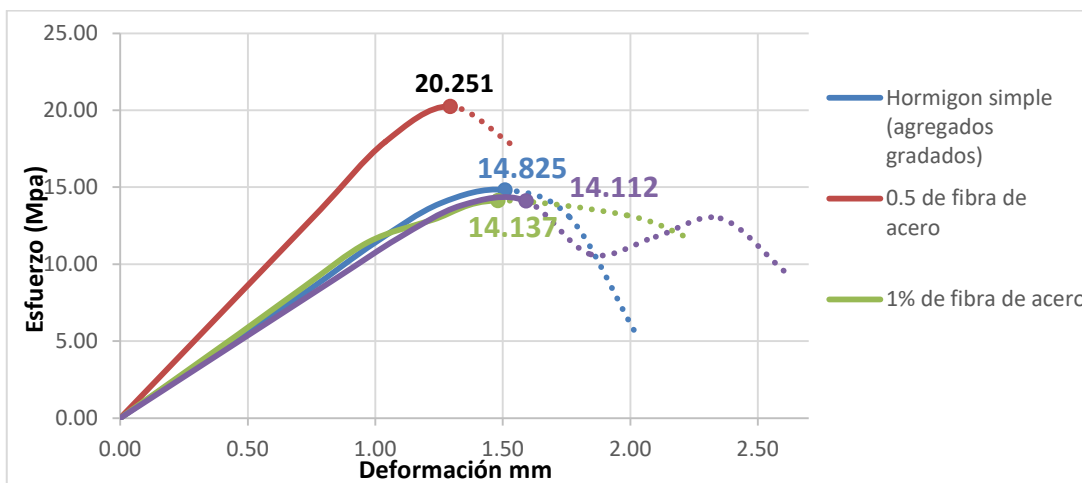


Fig. 9 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado

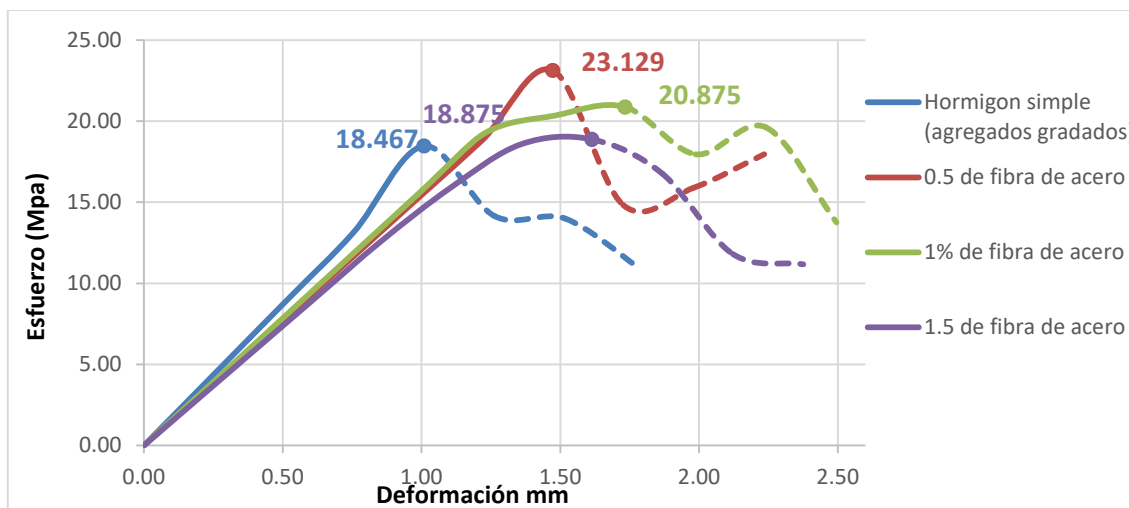
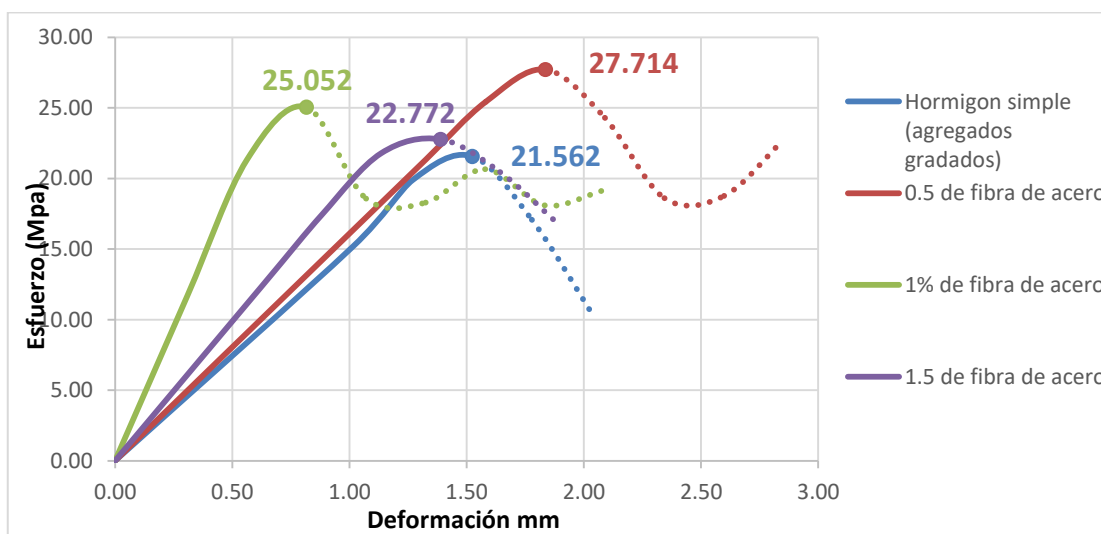


Fig. 10 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado



Interpretación de resultados

En las figuras 8, 9 y 10 se observa que las curvas de esfuerzo deformación de las dosificaciones estudiadas con cementos Holcim para $f'c=300\text{kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días de curado, tienen como rasgos generales que su tramo inicial es lineal, luego, al superar este rango elástico la curva crece de forma puntiaguda hasta alcanzar su resistencia máxima, que para los 28 días en el hormigón simple es de 21.562 Mpa, para un hormigón adicionado el 0.5% de fibra de acero logra la mayor resistencia ante las demás dosificaciones, es este caso de 27.714 Mpa notándose la influencia efectiva que otorga las fibras de acero, seguidamente del 1 y 1.5 % de fibras de acero incorporadas al hormigón ya que estas alcanzan resistencias máximas de 25.052 y 22.772 Mpa, respectivamente. Finalmente después de que el hormigón toma esfuerzos adicionales, se observa que la pendiente de la curva es negativa consiguiendo menores resistencias.

4.4.2.1.2. Cemento Guapan Tipo Ip

Tabla 35

Ensayo de Compresión de cilindros $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

# Muestra	Identificación	Fecha de elaboración	% Fibra	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	CARGA (kg)	Esfuerzo Compresion (kg/cm ²)	EDAD (Días)	Valor obtenido (%)
1	Agregados gradados	08 /05/18	0	20.3	9.90	76.98	0.002	3.660	2342.20	13550	176.03	7	58.68
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.652	2337.08	15390	199.93	14	66.64
3				20.2	9.90	76.98	0.002	3.648	2346.08	20280	263.46	28	87.82
1	Agregados no gradados	14/05/18	0	20.3	9.90	76.98	0.002	3.665	2345.40	12220	158.75	7	52.92
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.657	2340.28	14090	183.04	14	61.01
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.781	2419.64	18460	239.81	28	79.94
1	Agregados gradados	22/05/18	0.5	20.3	9.90	76.98	0.002	3.737	2391.48	15730	204.35	7	68.12
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.661	2342.84	19910	258.65	14	86.22
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.707	2372.28	23830	309.57	28	103.19
1	Agregados gradados	23/05/18	1	20.2	9.90	76.98	0.002	3.831	2463.77	14960	194.34	7	64.78
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.761	2406.84	17810	231.37	14	77.12
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.772	2413.88	21430	278.40	28	92.80
1	Agregados gradados	24/05/18	1.5	20.3	9.90	76.98	0.002	3.895	2492.59	11740	152.51	7	50.84
2				20.3	9.90	76.98	0.002	3.804	2434.36	16920	219.81	14	73.27
3				20.3	9.90	76.98	0.002	3.835	2454.19	20200	262.42	28	87.47

Fig. 11 Curva de resistencia a la compresión del hormigón tradicional y hormigón reforzado con fibra en diferentes porcentajes vs tiempo de curado

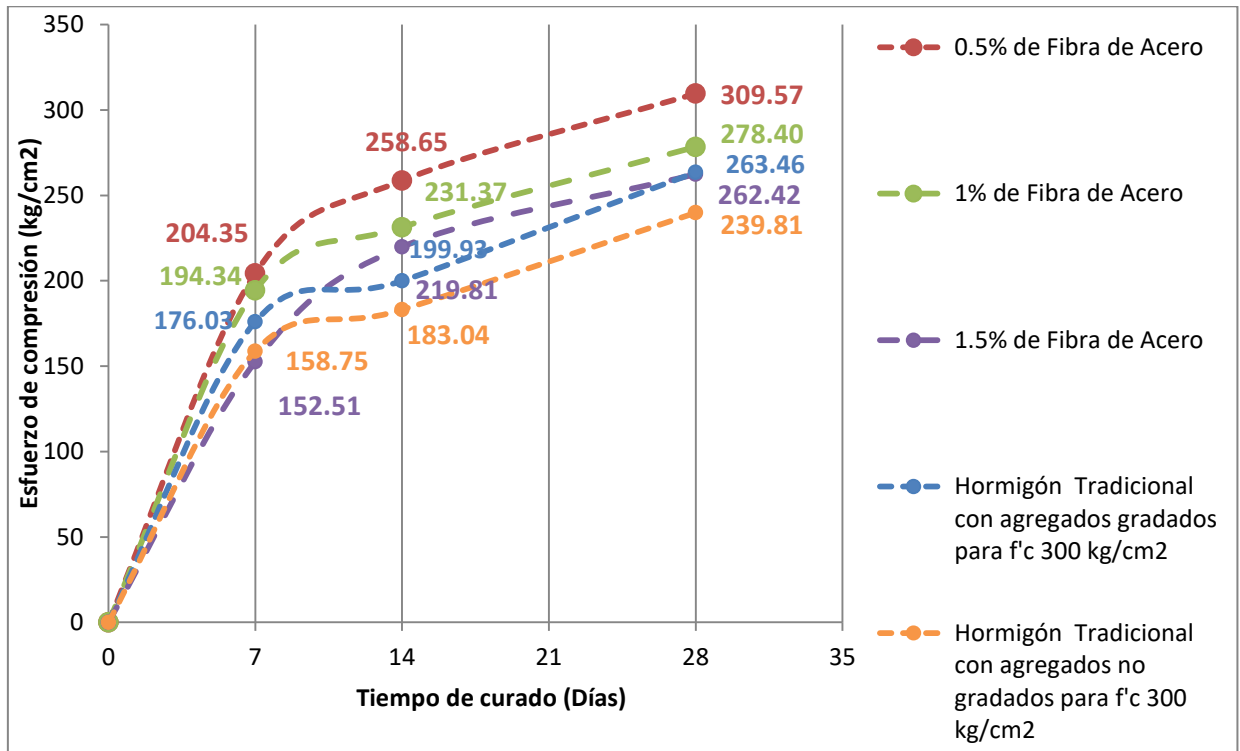
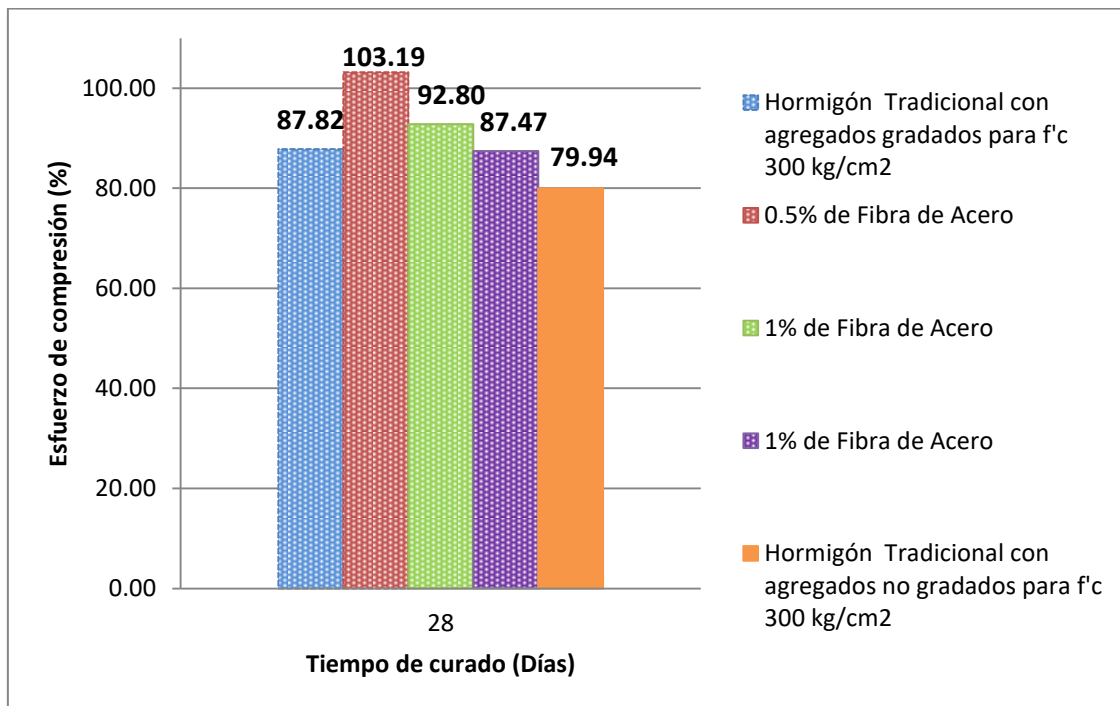


Fig. 12 Porcentaje de resistencia a la compresión a los 28 días de edad utilizando cemento Guapan Tipo IP



Interpretación de Resultados

La Fig. 11 muestra los resultados obtenidos del ensayo a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado analizado en 5 dosificaciones las cuáles son hormigón simple con agregados gradados, hormigón simple con agregados no gradados, hormigón incorporado el 0.5, 1 y 1.5 % de fibra de acero. Se observa que el comportamiento de la curva de resistencia en relación al tiempo es relativamente lineal pese a adquirir los 28 días. El mayor valor de resistencia obtenida se da en el hormigón con agregados gradados adicionando el 0.5 % de fibra de acero con 309.57 kg/cm², mientras tanto el hormigón simple con agregados no gradados alcanza la menor resistencia igual a 239.81 kg/cm² de las 5 dosificaciones analizadas.

En cuánto a los resultados obtenidos de la medición del revenimiento en el ensayo de Cono de Abrams, se puede notar en la Tabla 30 que el grado de trabajabilidad y homogeneidad de las dosificaciones excepto del hormigón añadido el 1.5% de fibra de acero, es media sufriendo una pérdida del revenimiento entre 0.2 a 1.3 cm. En hormigones incorporando el 1.5% de fibra de acero, la reducción del revenimiento es mayor, la mezcla sufrió una pérdida de 2.1 cm lo que demuestra que la mezcla es parcialmente seca con poco grado de trabajabilidad.

Tabla 36 Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado


 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES							
Carrera de Ingeniería Civil							
Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigon empleado para Pavimentos Rigidos							
Hormigon simple (agregados gradados)				Hormigon simple (agregados gradados)			
Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
210	7697.69	0.267	0.254	120	7697.687	0.153	0.254
600	7697.69	0.764	0.508	550	7697.687	0.700	0.508
2210	7697.69	2.815	0.762	1780	7697.687	2.267	0.762
3920	7697.69	4.993	1.016	2870	7697.687	3.655	1.016
6230	7697.69	7.935	1.27	5140	7697.687	6.546	1.27
9250	7697.69	11.781	1.524	7180	7697.687	9.145	1.524
12100	7697.69	15.411	1.778	9790	7697.687	12.469	1.778
13550	7697.69	17.258	2.032	11960	7697.687	15.232	2.032
13500	7697.69	17.194	2.286	12220	7697.687	15.564	2.286
11320	7697.69	14.417	2.54	10740	7697.687	13.679	2.54
12190	7697.69	15.525	2.794	11180	7697.687	14.239	2.794
12540	7697.69	15.971	3.048	8170	7697.687	10.405	3.048
7560	7697.69	9.629	3.302				
0.5 de fibra de acero				1% de fibra de acero			
0	0	0	0	0	0	0	0
70	7697.69	0.089	0.254	1170	7697.69	1.490	0.254
220	7697.69	0.280	0.508	2670	7697.69	3.401	0.508
510	7697.69	0.650	0.762	4330	7697.69	0.000	0.762
1250	7697.69	1.592	1.016	6530	7697.69	8.317	1.016
2050	7697.69	2.611	1.27	10110	7697.69	12.876	1.27
2960	7697.69	0.000	1.524	13010	7697.69	16.570	1.524
5290	7697.69	6.737	1.778	14850	7697.69	18.913	1.778
7530	7697.69	9.590	2.032	14960	7697.69	19.053	2.032
10080	7697.69	12.838	2.286	11150	7697.69	14.201	2.286
12360	7697.69	15.742	2.54	1.5 de fibra de acero			
14280	7697.69	18.187	2.794	0	0	0	0
15620	7697.69	19.894	3.048	380	7697.69	0.484	0.254
15730	7697.69	20.034	3.302	940	7697.69	1.197	0.508
10780	7697.69	13.730	3.556	1750	7697.69	2.229	0.762
				2630	7697.69	3.350	1.016
				3920	7697.69	4.993	1.27
				6170	7697.69	7.858	1.524
				9000	7697.69	11.463	1.778
				10940	7697.69	13.933	2.032
				11740	7697.69	14.952	2.54

Tabla 37

Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado


				UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES			
				Carrera de Ingeniería Civil			
				Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos			
Hormigón simple (agregados gradados)				Hormigón simple (agregados gradados)			
Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)
0	0	0	0	0	0.00	0	0
2130	7697.687	2.713	0.254	110	7697.69	0.140	0.254
4860	7697.687	6.190	0.508	420	7697.69	0.535	0.508
8580	7697.687	10.928	0.762	1490	7697.69	1.898	0.762
11350	7697.687	14.456	1.016	3450	7697.69	4.394	1.016
14790	7697.687	18.837	1.27	5460	7697.69	6.954	1.27
15390	7697.687	19.601	1.524	8380	7697.69	10.673	1.524
12340	7697.687	15.716	1.778	11070	7697.69	14.099	1.778
6620	7697.687	8.431	2.032	12320	7697.69	15.691	2.032
				14090	7697.69	17.945	2.286
				12550	7697.69	15.984	2.54
				7410	7697.69	9.438	2.794
0.5 de fibra de acero				1% de fibra de acero			
0	0.00	0	0	0	0	0	0
2860	7697.69	3.643	0.254	70	7697.687	0.089	0.254
4810	7697.69	6.126	0.508	250	7697.687	0.318	0.508
7540	7697.69	9.603	0.762	770	7697.687	0.981	0.762
10580	7697.69	13.475	1.016	1760	7697.687	2.242	1.016
14380	7697.69	18.315	1.27	3460	7697.687	4.407	1.27
17400	7697.69	22.161	1.524	5160	7697.687	6.572	1.524
19910	7697.69	25.358	1.778	7990	7697.687	10.176	1.778
14640	7697.69	18.646	2.032	9710	7697.687	0.000	2.032
17840	7697.687	22.721	2.286	12860	7697.687	16.379	2.286
				15090	7697.687	19.219	2.54
				16210	7697.687	20.645	2.794
1.5 de fibra de acero				17810	7697.687	22.683	3.048
0	0	0	0	12350	7697.687	15.729	3.302
1840	7697.69	2.343	0.254	12860	7697.687	16.379	3.556
4760	7697.69	6.062	0.508	11930	7697.687	15.194	3.81
8260	7697.69	0.000	0.762	12950	7697.687	16.493	4.064
12150	7697.69	15.474	1.016				
15510	7697.69	19.754	1.27				
16920	7697.69	21.550	1.524				
15870	7697.687	20.212	1.778				

Tabla 38

Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 28 días de curado


 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos							
Hormigón simple (agregados gradados)				Hormigón simple (agregados gradados)			
Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación(mm)	Carga (kgf)	Area (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
300	7697.687	0.382	0.254	1630	7697.687	2.076	0.254
950	7697.687	1.210	0.508	3690	7697.687	4.700	0.508
2750	7697.687	3.502	0.762	5660	7697.687	7.209	0.762
4510	7697.687	5.744	1.016	8080	7697.687	10.291	1.016
7180	7697.687	9.145	1.27	10850	7697.687	13.819	1.27
10150	7697.687	0.000	1.524	14390	7697.687	18.327	1.524
13670	7697.687	17.410	1.778	17860	7697.687	22.747	1.778
17050	7697.687	21.715	2.032	18460	7697.687	23.511	2.032
20280	7697.687	25.829	2.286	15910	7697.687	20.263	2.286
14210	7697.687	18.098	2.54	17260	7697.687	21.983	2.54
15700	7697.687	19.996	2.794	10670	7697.687	13.590	2.794
17180	7697.687	21.881	3.048				
0.5 de fibra de acero				1% de fibra de acero			
0	0	0	0	0	0	0	0
2390	7697.687	3.044	0.254	4050	7697.687	5.158	0.254
5630	7697.687	7.170	0.508	8330	7697.687	10.609	0.508
9680	7697.687	12.329	0.762	12780	7697.687	16.277	0.762
13770	7697.687	17.538	1.016	16940	7697.687	21.575	1.016
18580	7697.687	23.664	1.27	20310	7697.687	25.867	1.27
23830	7697.687	30.350	1.524	21430	7697.687	27.294	1.524
21180	7697.687	26.975	1.778	12120	7697.687	15.436	1.778
1.5 de fibra de acero				15920	7697.687	20.276	2.032
0	0	0	0	13500	7697.687	17.194	2.286
540	7697.687	0.688	0.254	14300	7697.687	18.213	2.54
1620	7697.687	2.063	0.508				
3120	7697.687	3.974	0.762				
4720	7697.687	6.011	1.016				
7040	7697.687	8.966	1.27				
9440	7697.687	12.023	1.524				
13270	7697.687	16.901	1.778				
16780	7697.687	21.371	2.032				
19920	7697.687	25.370	2.286				
20200	7697.687	25.727	2.54				
19080	7697.687	24.301	2.794				

Fig. 13 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 7 días de curado

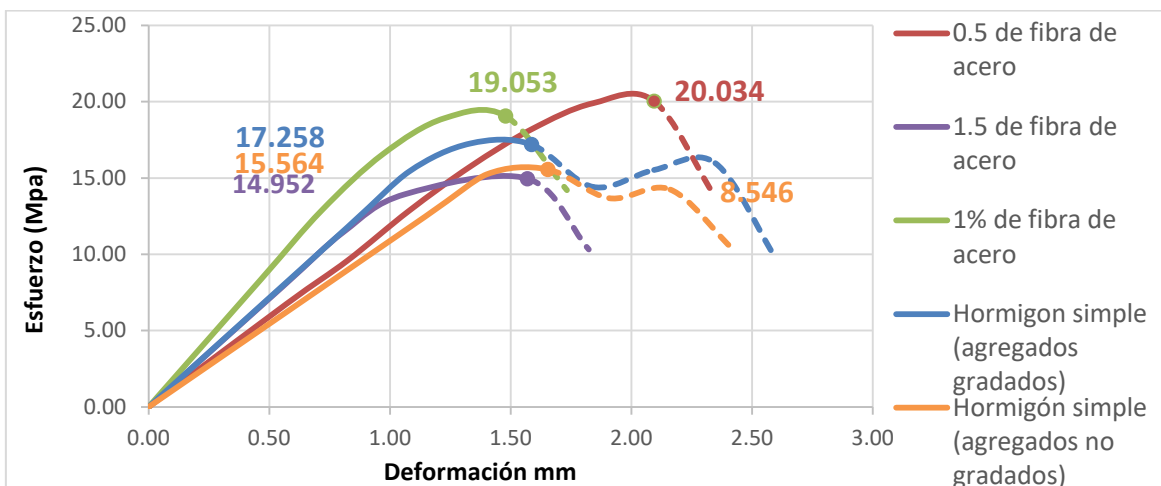


Fig. 14 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado

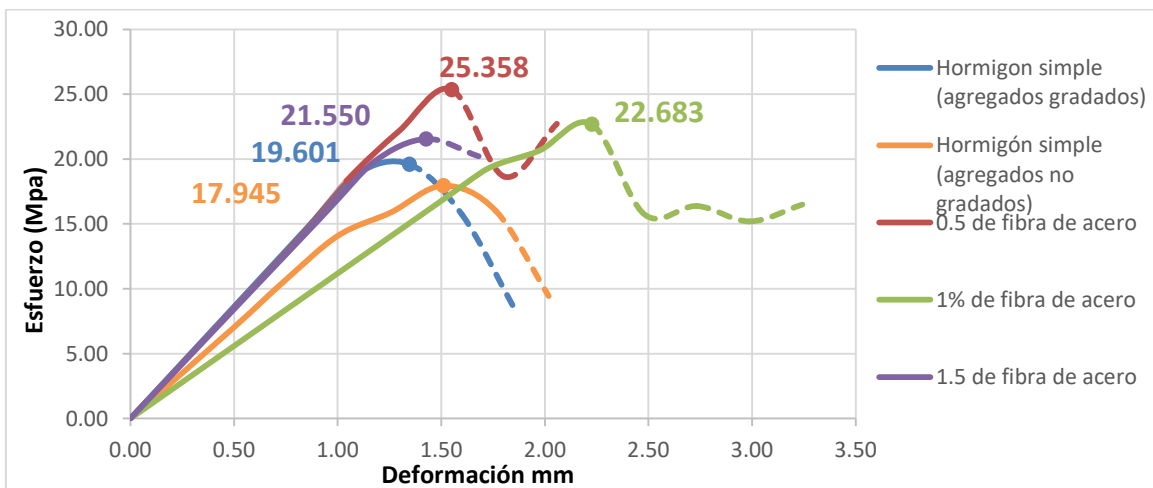
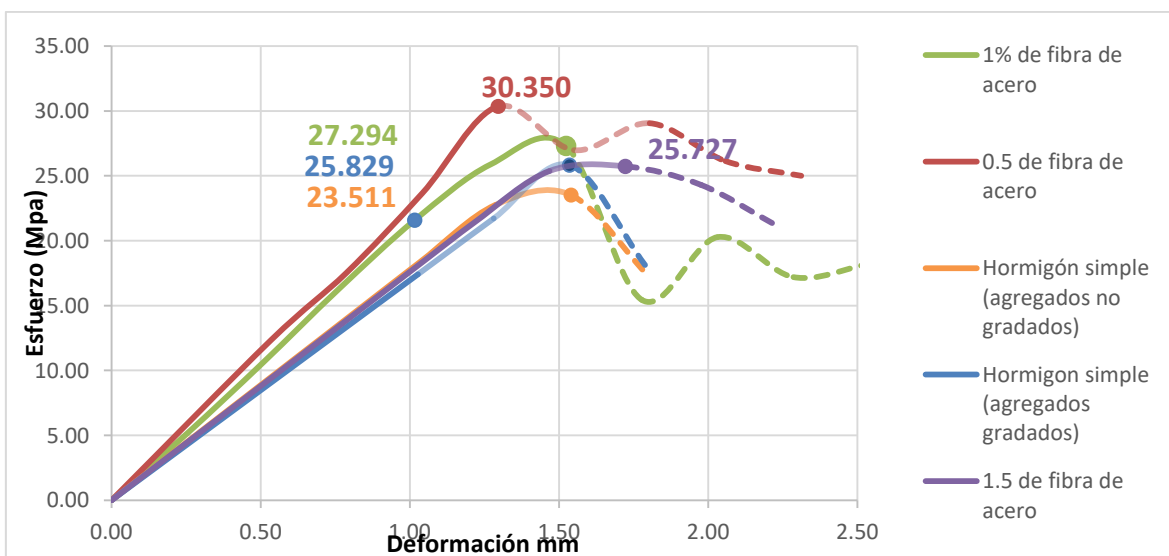


Fig. 15 Curva Esfuerzo-Deformación en cilindros de hormigón a los 14 días de curado



Interpretación de Resultados


En las figuras 13, 14 y 15 se observa que las curvas de esfuerzo deformación de las dosificaciones estudiadas con cementos Guapan Tipo IP para $f'_c=300\text{kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días de curado, tienen como rasgos generales que su tramo inicial es lineal, luego, al superar este rango elástico la curva crece de forma puntiaguda hasta alcanzar su resistencia máxima, que para los 28 días en el hormigón simple es de 25.829 Mpa, para un hormigón adicionado el 0.5% de fibra de acero logra la mayor resistencia ante las demás dosificaciones, es este caso de 30.350 Mpa notándose la influencia efectiva que otorga las fibras de acero, seguidamente del 1 y 1.5 % de fibras de acero incorporadas al hormigón ya que estas alcanzan resistencias máximas de 27.294 y 25.727 Mpa, respectivamente. Finalmente después de que el hormigón toma esfuerzos adicionales, la pendiente de la curva es negativa consiguiendo menores resistencias.

4.4.2.2. Comportamiento del hormigón a flexión

4.4.2.2.1. Cemento Holcim Tipo GU

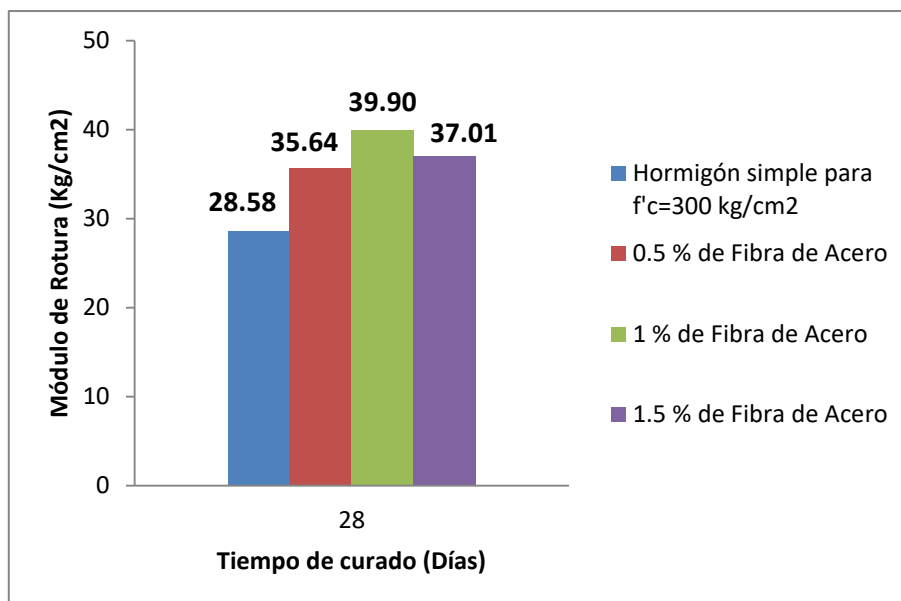
Tabla 39

Determinación del esfuerzo de flexión del hotmigón a los 28 días de curado.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES					
	Unidad Académica de Ingeniería Industrias y Construcción					
	Carrera de Ingeniería Civil					
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigon empleado para Pavimentos Rigidos					
	Laboratorio de Materiales de Suelos y Mecánica de Construcción					
	Ensayo: Determinación del Esfuerzo a la Flexión del Concreto					
	Norma:	ASTM C78	Elemento:	Viga	f _c	300 kg/cm ²
	Ensayado por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles Sarmiento	Fecha:			

Identificación	% De fibra de acero	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Longitud entre apoyos (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (KN)	Carga (kg)	Edad (Días)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)
Cementos Holsim	0	24/04/2018	22/05/2018	15.1	15.13	53.37	45	0.0122	26.704	2189.75	21.48	2191.84	28	28.58
	0.5	25/04/2018	23/05/2018	14.7	15.13	53.53	45	0.0119	27.025	2269.29	25.38	2589.80	28	35.64
	1	02/05/2018	30/05/2018	14.73	14.93	53.13	45	0.0119	27.205	2290.87	28.17	2874.49	28	39.90
	1.5	03/05/2018	01/06/2018	14.97	15.17	53.17	45	0.0119	27.775	2337.89	27.38	2793.88	28	37.01

Fig. 16 Cuadro Comparativo de la resistencia a la flexión del hormigón simple y del hormigón con concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de acero a los 28 días de edad.



Interpretación de Resultados

La Tabla 39 muestra los resultados obtenidos del ensayo a flexión en vigas de hormigón en donde todas las fallas ocurrieron dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos. La mayor resistencia se obtiene en el hormigón incorporado el 1% de fibra de acero alcanzando una resistencia de 39.9 kg/cm² a los 28 días de curado mientras que el hormigón simple logra una resistencia a la flexión igual a 28.58 kg/cm².

La resistencia a la flexión aumenta a medida de que se incrementa el porcentaje de fibra de acero, sin embargo se llega a un punto donde el porcentaje añadido de fibra de acero es demasiado grande que produce una pérdida de resistencia en el hormigón como se observa en la Fig. 16.

En la Ilustración 21 y 22 evidencia la diferencia del comportamiento de las vigas de hormigón simple y hormigón con fibra de acero. La rotura de la viga de hormigón simple fue súbita, en cambio la viga de hormigón con fibra no falló bruscamente, se observó un comportamiento dúctil a medida que aumentaba la carga.

Ilustración 21 Rotura de vigas de hormigón sin fibra con cemento Holcim Tipo GU



Ilustración 22 Ensayo de flexión en vigas de hormigón con cemento Holcim Tipo GU y reforzado con fibras de acero



Ilustración 23 Rotura de vigas de hormigón con cemento Holcim Tipo GU incorporado fibras de acero



4.4.2.2.2. Cemento Guapán Tipo IP

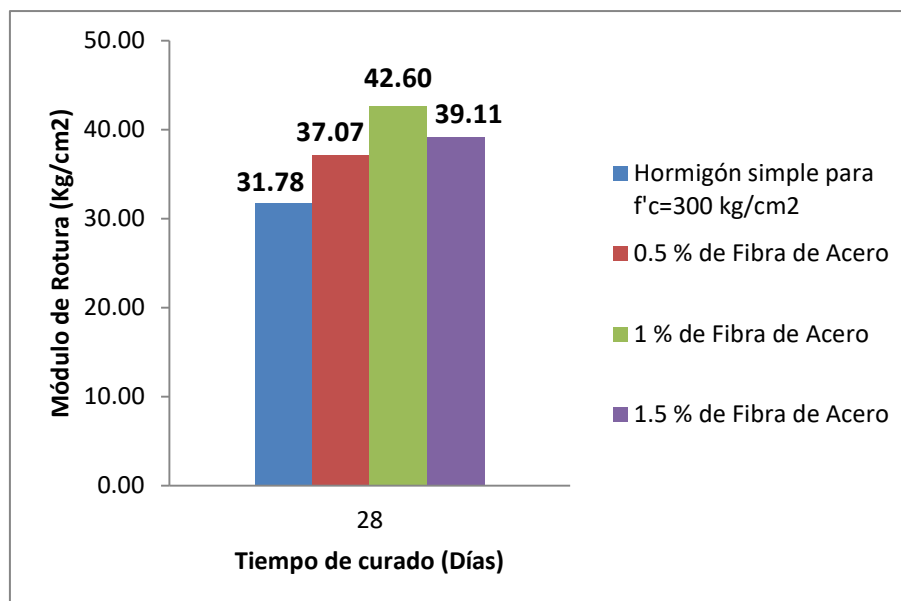
Tabla 40

Determinación del esfuerzo de flexión del hotmigón a los 28 días de curado

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES						
	UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAS Y CONSTRUCCIÓN						
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
	Tema: Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón empleado para Pavimentos Rígidos						
	LABORATORIO DE MATERIALES DE SUELOS Y MECÁNICA DE CONSTRUCCIÓN						
	Ensayo: Determinación del Esfuerzo a la Flexión del Concreto						
	Norma:	ASTM C78		Elemento:	Viga	f _c	300 kg/cm ²
	Ensayado por:	Egdo. Tatiana A. Urgiles Sarmiento		Fecha:			

Identificación	% De fibra de acero	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Longitud entre apoyos (cm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (KN)	Carga (kg)	Edad (Días)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)
Cementos Guapan	0	08/05/2018	05/06/2018	14.9	15.13	53.53	45	0.0121	27.062	2241.89	23.25	2372.45	28	31.78
	0.5	22/05/2018	19/06/2018	15.03	15.1	53.13	45	0.0121	27.143	2250.39	27.55	2811.22	28	37.07
	1	23/05/2018	20/06/2018	14.73	15.07	53.13	45	0.0118	27.220	2307.82	30.34	3095.92	28	42.60
	1.5	24/05/2018	21/06/2018	14.9	15.07	53.17	45	0.0119	28.010	2346.77	28.49	2907.14	28	39.11

Fig. 17 Cuadro Comparativo de la resistencia a la flexión del hormigón simple y del hormigón con concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de acero a los 28 días de edad.



Interpretación de Resultados

Todas las fallas se localizan en el tercio medio de la longitud entre apoyos por lo que se utilizó la ecuación 28 para calcular el módulo de rotura. Los ensayos fueron realizados a los 28 días de curado, en la que el hormigón reforzado con 1 % de fibra de acero alcanza la mayor resistencia igual a 42.60 kg/cm², seguido del hormigón reforzado con 1.5 % con una resistencia igual a 39.11 kg/cm² no muy lejos del hormigón con 0.5% de fibra de acero con 37.07 kg/cm² de resistencia, mientras que la menor resistencia recibe el hormigón simple con 31.78 kg/cm².

En el ensayo se evidenció la diferencia del comportamiento de las vigas de hormigón simple y hormigón reforzado con fibra de acero. La rotura de la viga de hormigón simple fue súbita, dividiéndola en dos pedazos como se puede observar en la Ilustración 24. En cambio la viga de hormigón con fibra no falló bruscamente, presentó una mayor capacidad de deformación (Ilustración 25).

Ilustración 24 Rotura de vigas de hormigón sin fibra con cemento Guapan Tipo IP



Ilustración 25 Ensayo de flexión en vigas de hormigón con cemento Guapan Tipo IP y reforzado con fibras de acero



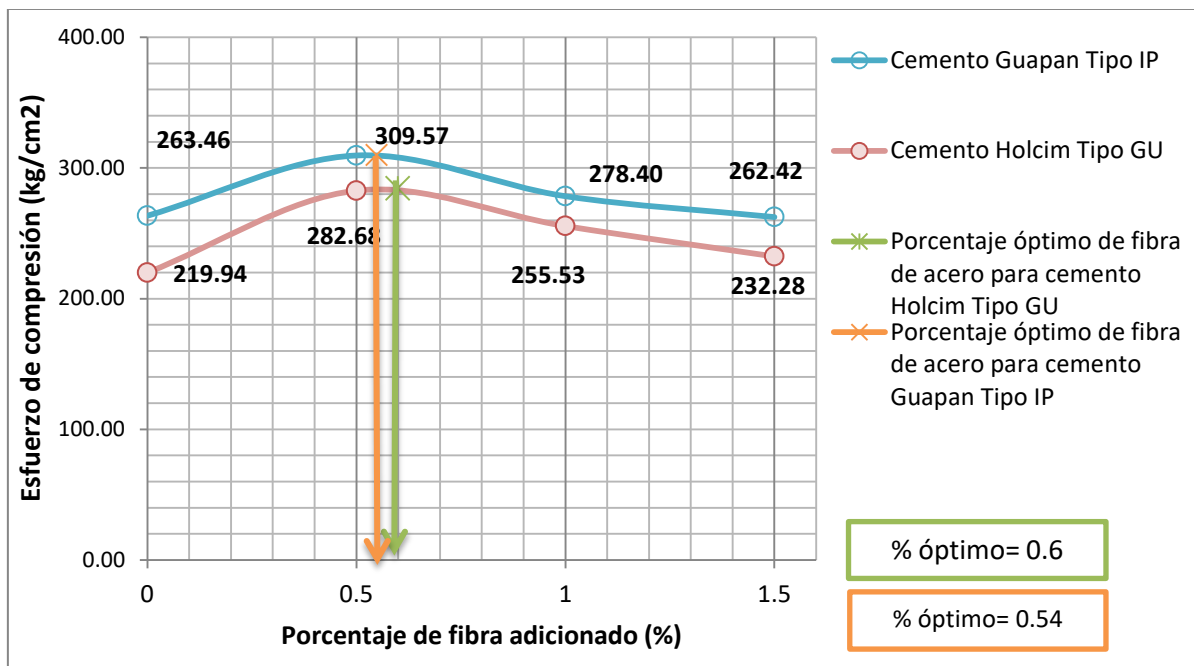
Ilustración 26 Rotura de vigas de hormigón reforzado con fibras de acero



4.4.2.3. Porcentaje óptimo de fibra de acero

4.4.2.3.1. Comportamiento del hormigón a compresión

Fig. 18 Porcentaje óptimo de fibras analizado en dos tipos de cementos para $f'c=300$ kg/cm²

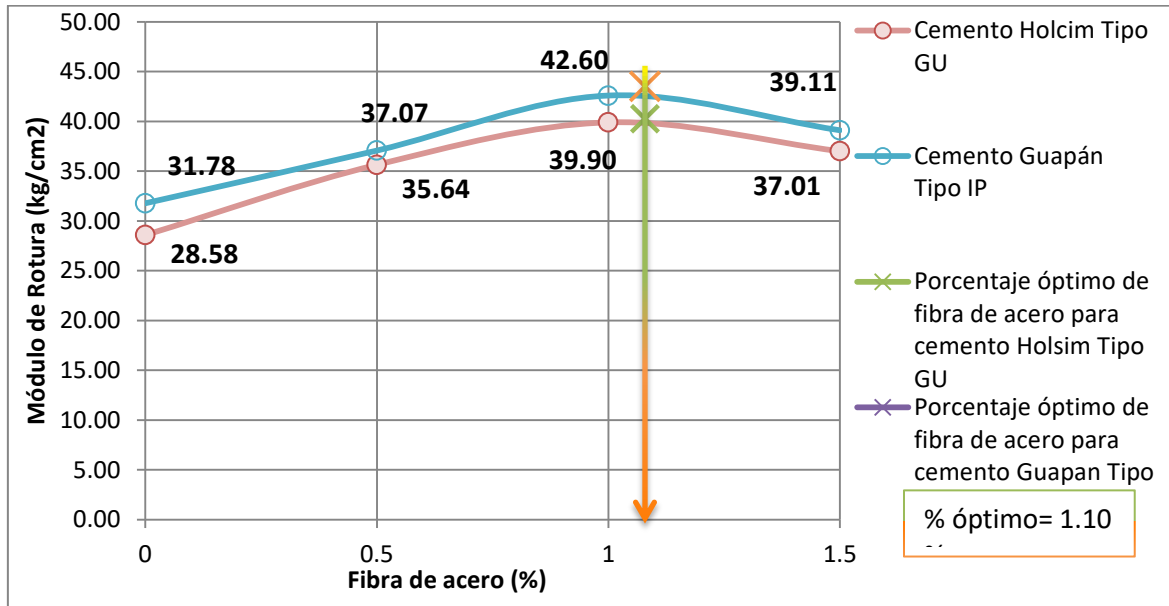


Interpretación de Resultados

En la Fig. 18 se puede apreciar que el porcentaje óptimo de fibra de acero para el hormigón de $f'c=300$ kg/cm² con cementos Holcim Tipo GU es de 0.6 % y 0.54% para cementos Guapán Tipo IP, valores que presentan un incremento en la resistencia a compresión. De igual manera se observa que a partir de estos valores la resistencia tiende a reducirse a medida de que el porcentaje de fibra aumenta.

4.4.2.3.2. Comportamiento del hormigón a flexión

Fig. 19 Porcentaje óptimo de fibras analizado en dos tipos de cementos para $f'c=300$ kg/cm²



Interpretación de Resultados

Finalizados los ensayos a flexión en vigas de hormigón simple y hormigón reforzado con 0.5% , 1% y 1.5% de fibra de acero, se puede observar según la Fig. 19 que el porcentaje optimo de fibra de acero para cementos Holcim Tipo GU y cementos Guapán Tipo IP corresponde a 1.10%. En la misma figura se puede observar que a mayor porcentaje de fibra incorporado a la mezcla del hormigón, éste tiende a reducir su resistencia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

El agregado grueso de la cantera Santa Isabel y el agregado fino procedente de la cantera Cochancay, son adecuados para la elaboración del hormigón ya que cumplen con los límites de gradación establecidos por la norma NTE INEN 872.

Los resultados obtenidos de los diseños de mezclas de hormigón simple, denotó que el diseño con agregados gradados alcanza una mayor resistencia a la compresión en un 7.88% en comparación al valor de la resistencia con agregados no gradados. Por lo que se consideró como diseño de mezcla patrón al hormigón elaborado con agregados gradados.

La incorporación de fibras de acero en la mezcla del hormigón mejora la resistencia a compresión. Los resultados de los ensayos a los 28 días de curado reveló que con la adición de 0.5% de fibra de acero en longitudes de 50 mm, presentaron incrementos en la resistencia a la compresión en un 17.5% con cementos Guapan Tipo IP y 28.5 % con cementos Holcim Tipo GU, en comparación al hormigón simple.

El grado de trabajabilidad de la mezcla disminuye a medida de que aumenta el porcentaje de fibra de acero; el hormigón pierde fluidez y se obtiene valores de asentamiento menores a los 7 cm planteado.

Los resultados de las densidades indicaron que el hormigón reforzado con 0.5% de fibra de acero es superior con un mínimo de 1% del valor de la densidad del hormigón simple.

En los ensayos a flexión en vigas de 15*15*53 cm, se evidenció mayor ductilidad del hormigón reforzado con fibras; la viga después de presentar el primer agrietamiento siguió soportando carga y la rotura no fue brusca como mostró la viga de hormigón simple.

La incorporación de 1% de fibra de acero en el hormigón, presentó un aumento del modulo de rotura en comparación al hormigón simple; el incremento es de 34% para cemento Guapán Tipo IP y 39% para cemento Holcim Tipo GU.

Una vez finalizado los estudios de las dosificaciones con 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de acero adicionados al hormigón, se concluye que el porcentaje óptimo mediante el análisis de las ecuaciones en las curvas de la Fig. 19 para la resistencia a flexión es de 1.10% tanto para cemento Guapán Tipo IP, como para cemento Holcim Tipo GU; generando incrementos de 37% y 41%, respectivamente, comparado al hormigón simple. En cuanto a la resistencia a la compresión, se analizaron las ecuaciones de las curvas de la Fig. 18 en las que se determinó que el porcentaje óptimo es de 0.54% para cemento Guapán Tipo IP y el 0.60 % para cemento Holcim Tipo GU, incrementando en un 18% y 29%, respectivamente, del valor de la resistencia en la condición sin fibra.

Finalmente se concluye que mientras se incrementa el porcentaje de fibra de acero en la mezcla del hormigón a partir de los valores del porcentaje óptimo determinados en este estudio, la resistencia frente a esfuerzos de flexión como a compresión tienden a reducirse.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuros proyectos de titulación se realicen mayores investigaciones para encontrar un valor adecuado de la relación agua cemento que permitiesen mejorar la trabajabilidad del hormigón reforzado con fibra.
- Desarrollar mayor numeros de ensayos de hormigones reforzados con diferentes porcentajes a los estipulados en este trabajo de titulación , incluido el porcentaje óptimo determinado, para obtener nuevos resultados del comportamiento a la flexión del hormigón.
- Los ensayos a flexion presentaron una variación en los resultados, básicamente por el material utilizado de las probetas prismáticas (madera y acero) para el encofrado en el curado inicial de las vigas, por lo tanto recomiendo utilizar un solo tipo de molde preferentemente de acero para un mejor control de perdida de humedad.
- A razón de que el modulo de rotura aumenta con la presencia de fibras, se recomienda dos puntos para próximas investigaciones: un estudio en donde se analice si el valor del espesor de la losa de pavimentos rígidos reduce y un estudio de análisis de costos ya que si se comprueba la hipótesis anterior, generaría una disminución del volumen del hormigón por ende una reducción de costos a pesar del costo de la fibra.

B. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.1-91, A. (2002). *American Concrete Institute. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*
- ACI 544.1 R-96 *Hormigón reforzado con fibra.*
- ACI 544.1R-96, A. (s.f.). *American Concrete Institute. Hprmigón Reforzado con Fibra de Acero.*
- ASTM C78, A. (s.f.). *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz).*
- Boada, M., & Pérez, E. (2011). *Comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-3.5MPa para pavimento con adición de fibras plásticas.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cadima, M., & Aguirre, F. (s.f.). *Hormigones reforzados con fibra. Beneficios y contratiempos.* Universidad Privada Boliviana.
- Condori, J. L. (2016). *Análisis de la incidencia de las fibras de acero Dramix en el comportamiento elástico del concreto empleando el cemento portland tipo Ip.* Juliaca: Universidad Andina "Nestor Cáceres Velazquez".
- De la cruz, W., & Quispe, W. (2014). *INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA AYACUCHO.* HUANCAVELICA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.
- Fernandez, M. (s.f.). *Hormigones reforzados con fibras de acero. Informes de Cnstrucción.*
- Figuroa, M. (2012). *Comparativa de la tenacidad entre hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras de acero y hormigón reforzado con fibras de polipropileno.* Universidad Politécnica de Madrid.

- Flores, A. M. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a flexión del hormigón armado adicionando fibras comerciales, virutas y limallas de acero*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Garcés, A., & Callejo, C. (2011). *Incidencia de la Fibra Metálica Dramix-65/35– bn en pavimentos rígidos de temprana edad*. Caracas: Universidad Nueva Esparta.
- Guevara, J. (2008). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO SIMPLE CON EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO WIRAND*. LIMA: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.
- Holcim. (s.f.). *Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*. Obtenido de https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf
- López, J. R. (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*. México D.F: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Montalvo, M. E. (2015). *Pavimentos Rígidos Reforzados Con Fibras De Acero Versus Pavimentos Tradicionales*. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Moreno, E., & Fernández, M. (1997). *Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero*. Universidad Politécnica de Madrid.
- (2010). *NTE INEN 1573 Hormigón de cemento hidráulico: Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*.
- (2011). *NTE INEN 1576 Hormigón de cemento hidráulico: Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayos*.
- (2010). *NTE INEN 1578 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*.
- (2011). *NTE INEN 696 Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
- (2010). *NTE INEN 856 Áridos: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*.
- (2010). *NTE INEN 857 Áridos: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso*.

- (2010). *NTE INEN 858 Áridos: Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.*
- (2011). *NTE INEN 872: Requisitos de los Áridos para Hormigón.*
- Ramos, H. (2012). *Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8.* Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Sanchez de Guzman, D. (2000). *Tecnología del Concreto y del Mortero.* Bogotá: Bhandar Editores Ltda.
- Silva, L. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.* Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Sotil, A. J., & Zegarra, J. E. (2015). *Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® FF4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido.* Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.

2. ANEXOS

ANEXO # 1

HOJAS DE TRABAJOS DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS, CONTENIDO DE
HUMEDAD, PESO VOLUMÉTRICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO: *Incidencia de la adición de fibras de acero en el hormigón empleado para pavimentos rígidos*

FISCALIZADOR: _____ T.L.F.= _____

CONSTRUCTOR: _____ T.L.F.= _____

MATERIALES: *Cantera Santa Isabel*

PARIGUELAS: _____

D. REQUERIDO: _____

UBICACIÓN: _____

FECHA: *06-03-18*

DISEÑO DE HORMIGÓN

NTE INEN 858

GRAVA:		ARENA:	
P.V. COMPACTADO		P.V. COMPACTADO	
P.1=	<i>13.182 g</i>	P.1=	<i>4.682 g</i>
P.2=	<i>13.207 g</i>	P.2=	<i>4.609 g</i>
P.3=	<i>13.269 g</i>	P.3=	<i>4.641 g</i>
P.V. SIN COMPACTAR		P.V. SIN COMPACTAR	
P.1=	<i>12.622</i>	P.1=	<i>4.451</i>
P.2=	<i>12.535</i>	P.2=	<i>4.457</i>
P.3=	<i>12.539</i>	P.3=	<i>4.417</i>

NTE INEN 872

G. GRUESA		G. GRUESA	
2"	_____	2"	_____
1.1/2"	_____	1.1/2"	_____
1"	_____	1"	_____
3/4"	<i>852 g</i>	3/4"	_____
1/2"	<i>2428 g</i>	1/2"	_____
3/8"	<i>1202 g</i>	3/8"	_____
4	<i>1319 g</i>	4	<i>63.93 g</i>
P.IN. =	<i>6000 g</i>	8	<i>180.44 g</i>
PFONDO =	<i>197 g</i>	16	<i>141.43 g</i>
		30	<i>121.14 g</i>
		50	<i>102.88 g</i>
		100	<i>57.56 g</i>
		P. IN=	<i>700 g</i>
		FONDO =	<i>34.23 g</i>

G. FINA

H. NATURAL ENSAYO

NTE INEN 862 - ASTM D2216

# T.=	<i>10</i>	<i>14</i>
P.H.+T=	<i>1073.49</i>	<i>1257.86 g</i>
P.S.+T=	<i>1058.04</i>	<i>1240.52 g</i>
P.T.=	<i>74.44</i>	<i>77.86 g</i>

P. ESPECIFICO

P.I.M.=	<i>5861.37 g</i>
P.C.=	<i>1605 g</i>
P.C.+A.+G.=	<i>5169 g</i>

ABSORCIÓN

P.I.M.=	<i>5861.37</i>
P.S.=	<i>5684</i>

NTE INEN 857

H. NATURAL ENSAYO

NTE INEN 862 - ASTM D2216

# T.=	<i>12</i>	<i>33</i>
P.H.+T=	<i>48.34</i>	<i>66.39</i>
P.S.+T=	<i>47.63</i>	<i>65.30</i>
P.T.=	<i>16.10</i>	<i>17.96</i>

P. ESPECIFICO

P.I.M.=	<i>500 g</i>
P.P.=	<i>418.01</i>
P.P.+A.=	<i>1209.15</i>
P.P.+A.+A.=	<i>1508.98</i>

ABSORCIÓN

P.I.M.=	<i>500 g</i>
P.S.=	<i>477.2 g</i>

NTE INEN 856

RESPONSABLE: *PABLO SAENZ*
AUXILIAR DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA
CUENCA SEDE AZOGUES
LABORATORIO DE
SUELOS Y MATERIALES
DE CONSTRUCCIÓN



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE ING. CIVIL
labsuelos

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO: *Incidencia de la adhesión de fibras de arena en el hormigón empleado para pavimentos rígidos.*

FISCALIZADOR: _____ T.L.F.= _____

CONSTRUCTOR: _____ T.L.F.= _____

MATERIALES: *Cochancay*

PARIGUELAS: _____

D. REQUERIDO: _____

UBICACIÓN: _____

FECHA: *28-03-18*

DISEÑO DE HORMIGÓN

NTE INEN 858

GRAVA:		ARENA:	
P.V. COMPACTADO		P.V. COMPACTADO	
P.1=	_____	P.1=	<i>10557 g</i> Proble + muestra
P.2=	_____	P.2=	<i>10638 g</i> "
P.3=	_____	P.3=	<i>10632 g</i> "
P.V. SIN COMPACTAR		P.V. SIN COMPACTAR	
P.1=	_____	P.1=	<i>10073 g</i> Proble + muestra
P.2=	_____	P.2=	<i>10137 g</i> "
P.3=	_____	P.3=	<i>10140 g</i> "

NTE INEN 872

G. GRUESA		G. GRUESA	
2"	_____	2"	_____
1.1/2"	_____	1.1/2"	_____
1"	_____	1"	_____
3/4"	_____	3/4"	_____
1/2"	_____	1/2"	_____
3/8"	_____	3/8"	_____
4	_____	4	<i>6.76 g</i>
P.IN. =	_____	8	<i>52.02 g</i>
PFONDO =	_____	16	<i>82.04 g</i>
H. NATURAL ENSAYO		H. NATURAL ENSAYO	
NTE INEN 862 - ASTM D2216		NTE INEN 862 - ASTM D2216	
# T.=	_____	30	<i>212.76 g</i>
P.H.+T=	_____	50	<i>187.52 g</i>
P.S.+T=	_____	100	<i>116.18 g</i>
P.T.=	_____	P. IN=	<i>700 g</i>
P. ESPECIFICO		FONDO =	
P.I.M.=	_____	<i>40.70 g</i>	
P.C.=	_____		
P.C.+A.+G.=	_____		
ABSORCIÓN			
P.I.M.=	_____		
P.S.=	_____		

H. NATURAL ENSAYO		
NTE INEN 862 - ASTM D2216		
# T.=	<i>33</i>	<i>12</i>
P.H.+T=	<i>72.60 g</i>	<i>73.22 g</i>
P.S.+T=	<i>72.43 g</i>	<i>73.07 g</i>
P.T.=	<i>17.96 g</i>	<i>16.10 g</i>
P. ESPECIFICO		
P.I.M.=	<i>500 g</i>	
P.P.=	<i>418.00 g</i>	
P.P.+A.=	<i>1207.52 g</i>	
P.P.+A.+A.=	<i>1506.55 g</i>	
ABSORCIÓN		
P.I.M.=	<i>500 g</i>	
P.S.=	<i>468.15 g</i>	

RESPONSABLE: PABLO SAENZ
AUXILIAR DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA
CUENCA SEDE AZOGUES
LABORATORIO DE
SUELOS Y MATERIALES
DE CONSTRUCCIÓN



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE ING. CIVIL
labsuelos

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO: *Incidencia de la adición de Fibras de acero en el hormigón empleado para pavimentos rígidos*

FISCALIZADOR: _____ T.L.F.= _____

CONSTRUCTOR: _____ T.L.F.= _____

MATERIALES: *A. grava - Cantera Santa Isabel / A. Fina - Cantera Cochacay*

PARIGUELAS: _____

D. REQUERIDO: _____

UBICACIÓN: *09-04-18*

FECHA: _____

DISEÑO DE HORMIGÓN

NTE INEN 858

GRAVA:		ARENA:	
P.V. COMPACTADO		P.V. COMPACTADO	
P.1=	_____	P.1=	_____
P.2=	_____	P.2=	_____
P.3=	_____	P.3=	_____
P.V. SIN COMPACTAR		P.V. SIN COMPACTAR	
P.1=	_____	P.1=	_____
P.2=	_____	P.2=	_____
P.3=	_____	P.3=	_____

NTE INEN 872

G. GRUESA		G. GRUESA	
2"	_____	2"	_____
1.1/2"	_____	1.1/2"	_____
1"	_____	1"	_____
3/4"	_____	3/4"	<i>350.54</i>
1/2"	_____	1/2"	<i>1037.98</i>
3/8"	_____	3/8"	<i>878.66</i>
4	_____	4	<i>485.70</i>
P.IN. =	_____	8	<i>311.90</i>
PFONDO =	_____	16	<i>283.03</i>
		30	<i>575.43</i>
		50	<i>797.80</i>
		100	<i>358.53</i>
		P. IN=	<i>5155</i>
		FONDO =	<i>155.48</i>

G. FINA

H. NATURAL ENSAYO
NTE INEN 862 - ASTM D2216

# T.=	_____
P.H.+T=	_____
P.S.+T=	_____
P.T.=	_____

P. ESPECIFICO		NTE INEN 857
P.I.M.=	_____	
P.C.=	_____	
P.C.+A.+G.=	_____	
ABSORCIÓN		
P.I.M.=	_____	
P.S.=	_____	

H. NATURAL ENSAYO
NTE INEN 862 - ASTM D2216

# T.=	_____
P.H.+T=	_____
P.S.+T=	_____
P.T.=	_____

P. ESPECIFICO		NTE INEN 856
P.I.M.=	_____	
P.P.=	_____	
P.P.+A.=	_____	
P.P.+A.+A.=	_____	

ABSORCIÓN	
P.I.M.=	_____
P.S.=	_____

RESPONSABLE: PABLO SAENZ
AUXILIAR DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE CUENCA
LABORATORIO DE
SUELOS Y MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN

ANEXO # 2

HOJA DE TRABAJO DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXION DE
CILINDROS Y VIGAS DE HORMIGÓN



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABSUELOS

ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

FORMATO DE ROTURA DE CILINDROS DE HORMIGÓN

NTE INEN 1573 - ASTM C39

PROYECTO: *Inspección de la adhesión de fibras de acero en el hormigón empleado para pavimentos rígidos*

FISCALIZADOR:

Telf:

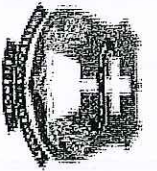
CONSTRUCTOR:

Telf:

UBICACIÓN:

# MUE.	FECHA ELBOR.	FECHA ENSAYO	DÍAS	PESO (gr)	D.1	D.2	AL.1	AL.2	CARGA KG	F.R. REQUE.	IDENTIFICACION
1	21-04-18	01-05	7	3732	9.9	10.0	20.1	20.1	11610	300	Cemento Hdsm Simple
2		08-05	14	3723	10.0	9.9	20.0	20.1	14500	300	Cemento Hdsm Simple
3		22-05	28	3714	9.3	9.3	20.2	20.3	16930	300	Cenab Hdsm Simple
1	25-04-18	01-05	7	2180	9.3	9.3	20.2	20.1	15900	300	Cemento Hdsm 0.5% Fa
2		09-05	14	2745	9.8	9.9	20.1	20.1	18160	300	C.H 0.5% Fa
3		23-05	28	2732	9.9	9.9	20.4	20.3	21760	300	C.H 0.5% Fa
1	02-05-18	09-05	7	3795	9.3	10.0	20.4	20.3	11100	300	C.H 1% Fa
2		16-05	14	3861	9.3	9.9	20.3	20.3	16330	300	C.H 1% Fa
3		30-05	28	3866	9.8	9.9	20.2	20.3	19670	300	C.H 1% Fa
1	03-05-18	10-05-18	7	3856	9.9	9.9	20.4	20.3	11080	300	C.H 1.5% Fa
2		17-05-18	14	3920	10.0	9.9	20.2	20.3	14820	300	C.H 1.5% Fa
3		01-06-18	28	3919	9.9	9.8	20.4	20.4	17880	300	C.H 1.5% Fa
1	08-05-18	15-05	7	3660	9.9	10.0	20.3	20.2	13550	300	C.6 con A. Juegados
2		22-05	14	2652	10.0	9.9	20.3	20.3	5330	300	C.6 con A. Juegados
3		05-06	28	6348	9.9	9.9	20.2	20.1	20280	300	C.6 con A. Juegados
1	14-05-18	21-05	7	3665	9.9	9.8	20.3	20.2	12220	300	C.6 A. no juegados
2		28-05	14	2657	10.0	9.9	20.2	20.3	14830	300	C.6 A. no juegados
3		11-06	28	3781	9.8	9.9	20.3	20.3	18460	300	C.6 A. no juegados
1	22-05-18	28-05	7	3737	9.9	9.9	20.3	20.2	15130	300	C.6 0.5% Fa
2		05-06	14	2601	9.9	9.8	20.3	20.4	19910	300	C.6 0.5% Fa
3		19-06	28	2707	9.8	9.9	20.3	20.4	23830	300	C.6 0.5% Fa
1	23-05-18	30-05	7	3831	9.9	9.9	20.2	20.1	14960	300	C.6 1% Fa
2		06-06	14	3761	9.9	9.9	20.3	20.4	17810	300	C.6 1% Fa
3		20-06	28	3772	10.0	9.9	20.2	20.3	21430	300	C.6 1% Fa
1	24-05-18	31-05	7	3895	9.9	10.0	20.3	20.2	11740	300	C.6 1.5% Fa
2		07-06	14	3804	9.8	9.9	20.1	20.3	16920	300	C.6 1.5% Fa
3		21-06	28	3835	9.9	10.0	20.2	20.3	20200	300	C.6 1.5% Fa

UNIVERSIDAD CATÓLICA
CUENCA SEDE ATAGUES
LABORATORIO DE
SUELOS Y MATERIALES
DE CONSTRUCCIÓN



UNIVERSIDAD
CATOLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
FACULTAD DE ING. CIVIL
LABORATORIOS

ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

FORMATO DE ROTURA DE VIGAS DE HORMIGÓN

NTE INEN 2554:2011

PROYECTO: *Instalación de la obra de Fibras de acero en el hormigón empleado para parrillos rígidos*

FISCALIZADOR:

Teléfono:

CONSTRUCTOR:

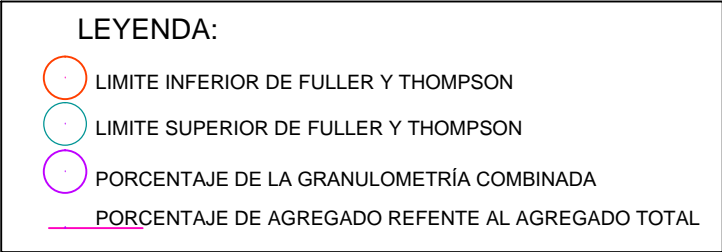
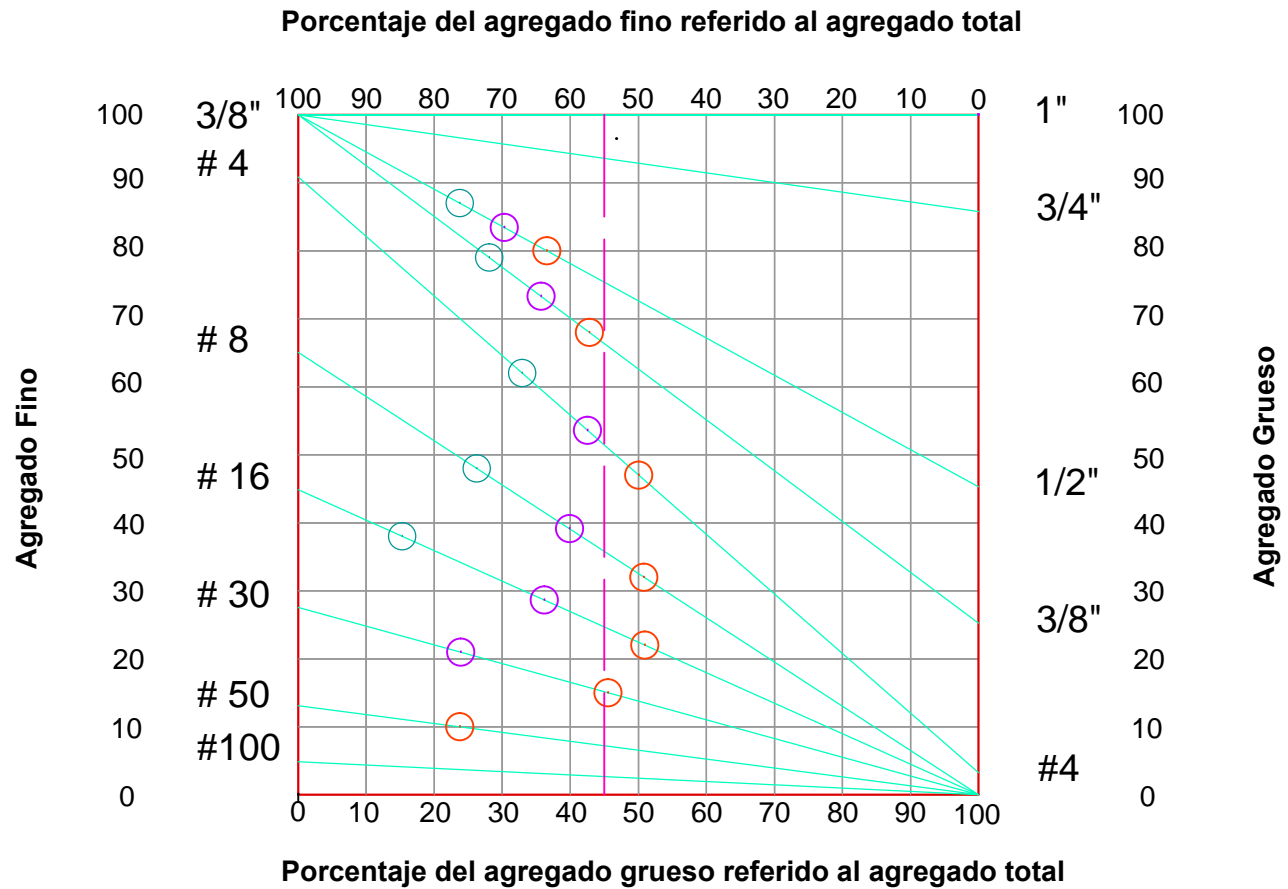
Teléfono:

UBICACIÓN:

# MUE.	FECHA ELBOR.	FECHA ENSAYO	DÍAS	L.1 cm	L.2 cm	L.3 cm	B.1 cm	B.2 cm	B.3 cm	AL.1 cm	AL.2 cm	AL.3 cm	L. APOYOS cm	CARGA KN	f'c MPa	F.R. REQUE.	IDENTIFICACION
1	24-04-18	22-05	28	53.3	53.2	53.3	15.1	15.1	15.1	15.1	15.2	15.1	45	21.48			C. Holstn sample (*)
2	21-04-18	22-05	28	53.6	53.8	53.6	15.0	15.2	15.1	15.1	15.0	15.2	45	20.35			C. Holstn sample (*)
1	25-04-18	23-05	28	53.5	53.6	53.5	14.7	14.8	14.7	15.1	15.2	15.1	46	25.38			C. Holstn 0.590 Fd
2	25-04-18	23-05	28	53.9	53.3	54.0	14.3	15.0	14.3	14.3	15.0	15.1	45	22.75			C. H 0.590 Fd (*)
1	02-05-18	30-05	28	53.6	53.8	53.6	15.2	15.4	15.0	15.0	15.0	15.1	45	25.80			C. H 190 Fd (*)
2	02-05-18	20-05	28	53.2	53	53.2	14.7	14.8	14.7	14.9	15.0	14.9	45	20.17			C. H 190 Fd
1	03-05-18	01-06	28	53.2	53.1	53.2	15.1	14.9	14.9	15.2	15.1	15.2	45	21.38			C. H 1590 Fd
2	03-05-18	01-06	28	53.6	53.6	53.6	15.2	15.3	15.2	15.3	15.3	15.3	45	25.95			C. H 1590 Fd (*)
1	08-05-18	05-06	28	53.1	53.1	53.1	15.0	14.9	14.8	15.1	15.2	15.1	45	23.25			C. Gupen D'imple
2	08-05-18	05-06	28	53.2	53.6	53.2	15.0	15.1	15.0	15.3	15.3	15.2	45	21.61			C. Gupen D'imple (*)
1	22-05-18	19-06	28	53.3	53.8	53.8	15.1	15.2	15.2	15.3	15.2	15.1	45	25.68			C. G 0.590 Fd (*)
2	22-05-18	19-06	28	53.1	53.1	53.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.3	15.3	45	27.55			C. G 0.590 Fd
1	23-05-18	20-06	28	53.2	53.0	53.2	14.8	14.8	14.8	15.1	15.0	15.1	45	30.34			C. G 190 Fd
2	23-05-18	20-06	28	53.7	53.8	53.8	14.8	15.2	15.2	15.1	15.1	15.1	45	28.0			C. G 190 Fd (*)
1	24-05-18	21-06	28	53.6	53.8	53.8	15.1	15.1	15.1	15.1	15.2	15.1	45	23.32			C. G 1590 Fd (*)
2	24-05-18	21-06	28	53.2	52.1	53.2	14.3	14.9	14.9	15.1	15.1	15.0	45	28.49			C. G 1590 Fd

ANEXO # 3

CURVA DE FULLER Y THOMPSON



ANEXO # 4

INFORME DE APROBACIÓN DEL PROTOCOLO AL TRABAJO DE
TITULACION.



INFORME DE LA REVISIÓN DEL PROTOCOLO AL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Carrera:	Ingeniería Civil
Título del Trabajo:	Incidencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos.
Estudiante:	Urgilés Sarmiento Tatiana Alejandra
Director:	Ing. Florencio Geovanny González Rodríguez
Fecha del informe:	11/01/2018

Señor Docente sírvase asignar SI o No a cada parte del trabajo.

En caso de necesidad, utilice la columna de observaciones o el espacio bajo cada tópico para ayudar al estudiante a realizar las correcciones.

CONTENIDOS	CUMPLE		
	SI	NO	
TÍTULO DEL PROYECTO			
¿Es concreto y preciso?	X		
¿Tiene la extensión solicitada? <i>Máximo 25 palabras</i>	X		
INTRODUCCIÓN			
¿Presenta una descripción general del problema?	X		
¿Describe brevemente los objetivos a alcanzar?	X		
¿Presenta una visión global de los resultados?	X		
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			
¿Contextualiza el problema en el cual se enmarca el proyecto? <i>No debe presentar la solución</i>	X		
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA			
¿Describe la forma en la que va abordar el problema? <i>Solución</i>	X		
¿Delimita el problema considerando teorías, normativas, reglamentos, leyes, etc.?	X		CON OBSERV.
DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO <i>Este apartado será evaluado únicamente para investigaciones aplicadas sobre un área en particular</i>			
¿Delimita claramente la zona en donde se realizará el estudio?	X		

[Handwritten signature]



<i>Esta delimitación puede ser administrativa o geográfica</i>			
JUSTIFICACIÓN			
¿Identifica claramente las razones por las cuales es necesario realizar el estudio? <i>Debe estipular la importancia, conveniencia, relevancia social, utilidad metodológica, aporte que se pretende, sean estos teóricos o prácticos, la novedad, interés o aplicación de los conocimientos que se obtengan para el medio</i>	X		
¿Determina la factibilidad del estudio? <i>Indica aspectos favorables para la ejecución del proyecto y la disponibilidad de recursos</i>	X		
OBJETIVOS			
¿Cuenta el proyecto con 1 objetivo general y varios específicos?	X		
¿El objetivo general tiene relación con el título del proyecto?	X		
¿Se encuentran los objetivos redactados de forma que inicie con el verbo en infinitivo?	X		
¿Los objetivos específicos contribuyen de forma directa a alcanzar el objetivo general?	X		CON OBSERV.
¿Los objetivos específicos están definidos en forma cronológica, presentándose como hitos para alcanzar el objetivo general?	X		CON OBSERV.
MARCO TEÓRICO			
¿Demuestra coherencia con el eje temático del proyecto y los objetivos de la investigación?	X		
¿Redacta de forma clara y lógica, fundamentando sus ideas con fuentes bibliográficas?	X		
¿Utiliza citas bibliográficas?	X		
METODOLOGÍA <i>No se debe contemplar como actividad dentro del proceso metodológico la redacción del trabajo escrito del proyecto</i>			
¿Describe adecuadamente los procesos a ejecutar que le permitan alcanzar cada uno de los objetivos específicos?	X		

624



¿Las actividades propuestas son suficientes para alcanzar el objetivo propuesto?	X		
¿Determina los instrumentos y las técnicas a emplear en cada uno de los procesos?	X		
POBLACIÓN Y MUESTREO <i>Apartado obligatorio solo en proyectos experimentales</i>			
¿Define claramente cuál es el universo o población que forma parte del estudio?			
¿Define claramente la muestra a utilizar en el estudio?			
¿Determina el tipo de muestreo aplicado?			
HIPOTESIS <i>Apartado obligatorio para investigaciones experimentales</i>			
¿Estipula claramente lo que se pretende comprobar con el estudio?	X		
¿Los objetivos del proyecto están orientados a satisfacer la hipótesis? <i>Los objetivos del proyecto deben llegar a demostrar si la hipótesis se cumple o no se cumple</i>	X		
RECURSOS			
¿Las actividades estipuladas en el cronograma corresponden con las actividades detalladas en la metodología?	X		
¿El cronograma cumple con el periodo límite establecido dentro de la Unidad de Titulación Especial?	X		
¿Cuenta con un detalle de presupuesto?	x		
BIBLIOGRAFÍA APROXIMADA			
¿Cuenta con un mínimo de 5 referencias bibliográficas?	X		
¿Se encuentran las referencias bibliográficas según lo estipula la norma APA?	x		
CONTEMPLACIONES GENERALES			
¿Se encuentra el proyecto dentro de una de las líneas y sub-líneas de investigación de la UCACUE?	X		
¿El documento cumple con el formato establecido por la Unidad Académica?	x		



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

¿Cuenta con el documento de aceptación por parte del director de tesis?	X		
¿PASA EL PROTOCOLO LA REVISIÓN DE FORMA?			
<i>Pasará esta fase si cumple con absolutamente todos los requerimientos estipulados o si tiene errores mínimos de forma.</i>			
SI: X NO:		Nota: Sujeto a observaciones.	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:			
El presente protocolo de trabajo de titulación cumple con las especificaciones requeridas.			

Atentamente,

ING. GEOVANNY GONZÁLEZ, ING. CRISTIAN VINTIMILLA, ING. RICARDO ROMERO
ÁREA DE TITULACIÓN UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

ANEXO # 5

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITIRIO
INSTITUCIONAL

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITIRIO INSTITUCIONAL

Yo Tatiana Alejandra Urgiles Sarmiento portadora de la cédula de ciudadanía Nro.,0302280409. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Incidencia de la Adición de Fibras de Acero en el Hormigón Empleado para Pavimentos Rígidos" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de Los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 10 de Julio de 2018

F: *Tatiana Urgiles*

Egdo. Tatiana Urgilés S.

CI: 0302280409