

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto $F'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Juliaca

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

POR:

Midian Claudia Mamani Flores

ASESOR:

Ing. Juana Beatriz Aquise Pari

Juliaca, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“INFLUENCIA DE LA FIBRA DE CARBONO LAMINADO EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO $F'_{C}=210$ KG/CM² EN LA CIUDAD DE JULIACA**” constituye la memoria que presenta la Bachiller Midian Claudia Mamani Flores para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 17 días del mes de agosto del año 2020



Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari



087

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 31 día(s) del mes de julio del año 2020, siendo las 15:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Ouberty Pari busi, el secretario: Mg. Efraim Velazquez Mamani y los demás miembros: Mg. Arnaldo Cahua Balanza Ing. Jose Racion Racion y el asesor: Ing. Juana Beatriz Squisse Pari

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ en la ciudad de Juliaca"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Midian Claudia Mamani Flores
 b)
 conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil
 (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Midian Claudia Mamani Flores

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy bueno</u>

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente

 Asesor

 Candidato/a (a)

 Secretario

 Miembro

 Miembro

 Candidato/a (b)

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de investigación:

A Dios por darme esperanza, vida, amor incondicional y enseñarme que todo es posible.

A mis queridos padres Jaime Mamani Condori y Julia Flores Calderón, a mi Hermana Milagros Madelayne Mamani Flores que han sido un pilar fundamental durante toda mi etapa universitaria, por brindarme la confianza, incentivándome y brindando palabras de aliento en todo tiempo.

Agradecimiento

En primer lugar, doy gracias a Dios por la bendición brindada durante los cinco años de estudio.

A mis Padres por darme la vida, el amor y comprensión necesaria que me ayudaron a seguir adelante, enseñándome que el camino recto es el de la perseverancia, impulsándome a seguir adelante, poniendo todo su esfuerzo y apoyo incondicional para ver culminada mi carrera.

Finalmente quiero agradecer a mi asesora de tesis ingeniero Juana Veatriz Aquise Pari, por su aporte, colaboración y paciencia para el desarrollo del proyecto.

Índice general

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice general.....	vi
Índice de tablas	xii
Índice de figuras.....	xv
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
1. Capítulo I. El Problema.....	19
1.1. Situación problemática	19
1.2. Formulación del problema.....	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación de la investigación	21
2. Capítulo II. Marco teórico	22
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22

2.1.1.	Antecedentes internacionales	22
2.1.2.	Antecedentes nacionales:.....	23
2.1.3.	Antecedentes locales:	24
2.2.	Ubicación geográfica.....	25
2.3.	Resistencia a la flexión del concreto	25
2.3.1.	Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central	26
2.3.2.	Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo	28
2.3.3.	Ensayo de resistencia a la flexión.....	29
2.3.4.	Dimensiones de la muestra para la resistencia a flexión	30
2.3.5.	Correlación entre la resistencia a la flexión y las resistencias a la compresión y tensión	32
2.4.	El concreto.....	32
2.4.1.	Componentes del concreto.....	33
2.4.2.	Propiedades del concreto	37
2.5.	Fibra de carbono laminado	38
2.5.1.	Definición	38
2.5.2.	Estructura.....	39

2.5.3.	Proceso de obtención	39
2.5.4.	Proceso de fabricación.....	43
2.5.5.	Producción de la fibra de carbono laminado a nivel nacional.....	43
2.5.6.	Producción de la fibra de carbono laminado a nivel internacional.....	44
2.5.7.	Propiedades principales	46
2.5.8.	Características del reforzamiento de fibra de carbono laminado	48
2.5.9.	Importancia del reforzamiento de fibra de carbono laminado.....	49
2.5.10.	Ventajas de fibra de carbono laminado.....	49
2.6.	Cemento.....	49
2.6.1.	Clasificación del cemento portland	49
2.7.	Análisis estadístico	50
2.7.1.	Prueba de hipótesis	50
2.8.	Distribución t de Student	51
3.	Capítulo III: Materiales y métodos	55
3.1.	Metodología y tipo de investigación	55
3.1.1.	Diseño de Investigación.....	55
3.1.2.	Tipo de Investigación	55
3.1.3.	Nivel de investigación	55
3.1.4.	Metodología de Investigación	56

3.2.	Muestra de estudio.....	56
3.2.1.	Tamaño de muestra.....	57
3.3.	Formulación de Hipótesis.....	59
3.3.1.	Hipótesis General	59
3.3.2.	Hipótesis Específica	59
3.4.	Variables de estudios	59
3.4.1.	Variable independiente	60
3.4.2.	Variables dependientes	60
3.5.	Procedimiento de la investigación.....	61
3.5.1.	Materiales	62
3.6.	Diseño de Mezcla del Concreto.....	63
3.6.1.	Métodos de diseño del ACI	64
3.6.2.	Diseño de concreto patrón	64
3.6.3.	Diseño de mezcla de concreto para diferentes porcentajes de fibras de carbono laminado	69
3.6.4.	Elaboración de testigos	71
4.	Capítulo IV: Resultados y discusión	72
4.1.	Análisis y presentación de resultados	72
4.1.1.	Porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado	72

4.1.2.	Trabajabilidad.....	73
4.1.3.	Efecto del % de fibra de carbono laminado en el Slump.....	75
4.1.4.	Resistencia a la flexión.....	75
4.1.5.	Interpretación de resultados de la resistencia a la flexión	81
4.1.6.	Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 5% con respecto al peso del cemento.....	82
4.1.7.	Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 10% con respecto al peso del cemento.....	83
4.1.8.	Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 15% con respecto al peso del cemento.....	84
4.1.9.	Efecto del % de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto. 85	85
4.1.10.	Comparación general de la resistencia de muestras ensayadas Vs la resistencia teórica	85
4.2.	Análisis de costos	86
4.2.1.	Costos de producción del concreto normal y concreto agregado con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado.....	88
4.3.	Prueba de hipótesis	88
4.3.1.	Prueba de hipótesis para la resistencia a flexión del concreto.....	88
5.	Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	97

5.1.	Conclusiones.....	97
5.2.	Recomendaciones	98
	Referencias	99
	Anexos	102

Índice de tablas

Tabla 1: Consistencia de la mezcla de concreto	37
Tabla 2: Cuadro comparativo de fibra de carbono laminado.....	48
Tabla 3: Números de muestra a realizarse	58
Tabla 4: Selección de prueba de acuerdo al tipo de variable	60
Tabla 5: Operacionalización de variables	61
Tabla 6: Características de los agregados	63
Tabla 7: Resistencia Promedio	65
Tabla 8: Volumen unitario de agua.....	66
Tabla 9: Contenido de aire atrapado	66
Tabla 10: Relación agua /cemento.....	67
Tabla 11: Peso de agregado grueso por unidad de volumen del concreto	67
Tabla 12 : Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente	70
Tabla 13: Medidas de asentamiento en diferentes fechas del colocado de concreto .	73
Tabla 14: Medición del Slump.....	74
Tabla 15 : Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 100% de cemento + 0% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.	75
Tabla 16: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 100% de cemento + 0% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.	76
Tabla 17 : Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 95% de cemento + 5% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.	77

Tabla 18: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 95% de cemento + 5% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.	77
Tabla 19: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 90% de cemento + 10% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.	78
Tabla 20: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 90% de cemento + 10% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.	78
Tabla 21: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 85% de cemento + 15% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.	79
Tabla 22: Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm ² con 85% de cemento + 15% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.	80
Tabla 23: Evolución de la Resistencia a la flexión 210 kg/cm ²	80
Tabla 24: Costo unitario de materiales para el concreto patrón (cemento 95% + fibra de carbono 0%).....	86
Tabla 25: Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de láminas de fibra de carbono (cemento 95% + fibra de carbono 5%).....	87
Tabla 26: Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de láminas de fibra de carbono (cemento 90% + fibra de carbono 10%).....	87
Tabla 27: Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de láminas de fibra de carbono (cemento 85% + fibra de carbono 15%).....	87
Tabla 28: Resumen del costo unitario de materiales del concreto para diferentes dosificaciones.....	87

Tabla 29: Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto patrón	91
.....	
Tabla 30: Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 5% de fibra de carbono + 95% de cemento.....	92
Tabla 31: Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 10% de fibra de carbono + 90% de cemento.....	93
Tabla 32: Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 15% de fibra de carbono + 85% de cemento.....	94
Tabla 33: Resultados de media aritmética y desviación standard para el concreto patrón y diseño 01, 02 y 03 del concreto con fibra de carbono	94
Tabla 34: Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a la edad de 28 días.	96

Índice de figuras

Figura 1. Comparación de la carga puntual con la carga en los tercios de la luz	26
Figura 2. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.....	27
Figura 3. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.....	28
Figura 4. Detalle de la viga donde se aprecia que la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones.....	30
Figura 5. Partes de una viga para muestra de ensayo a flexión	31
Figura 6. Criterio de la normativa MTC E711, para que la viga sea dimensionada de acuerdo al reglamento.....	31
Figura 7. Sección de lámina de grafito	39
Figura 8. Poliacrilonitrilo.....	40
Figura 9. Piridínicos fusionados	40
Figura 10. Polímero de anillos fusionados.....	41
Figura 11. Micrografía de barrido electrónico de un tejido de mecha antes de la infiltración con resina (Hull 1987)	42
Figura 12. Micrografía de barrido electrónico de un tejido de mechas antes de la impregnación con resina.....	42
Figura 13. Fotogrametría de una sección pulida de un laminado de tejido de mechas paralelas a un conjunto de fibras	42
Figura 14. Capacidad porcentajes de fibra de carbono fabricantes mundiales de 2013 (basada en la capacidad de remolque de fibra de carbono)	44

Figura 15. Capacidad de fibra de carbono (2015) en TM por fabricante	45
Figura 16. Países en función de la capacidad de producción de fibra de carbono que lleva en el año 2016.....	45
Figura 17. Capacidad de fibra de carbono (2011)	46
Figura 18. Aspecto de los tejidos de fibra de carbono.....	48
Figura 19. Curva de distribución para hipótesis de dos colas.....	52
Figura 20. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la derecha	53
Figura 21. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la izquierda.....	53
Figura 22. Correlación de la resistencia a flexión, Slump y % de fibra de carbono laminado	72
Figura 23. Efectos del % de fibras de carbono laminado en el asentamiento de las mezclas de concreto.....	74
Figura 24. Evolución de la resistencia a flexión 7 y 28 días.	81
Figura 25. Efecto del 5% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.....	82
Figura 26. Efecto del 10% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.....	83
Figura 27. Efecto del 15% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.....	84
Figura 28. Comparación de la resistencia obtenida Vs la resistencia teórica a edad de 7 días.....	85
Figura 29. Comparación de la resistencia obtenida Vs la resistencia teórica a edad de 28 días.....	86
Figura 30. Grafico del estadístico de t para $\alpha = 0.05$ y 10 grados de libertad.....	95

Resumen

El principal propósito del presente trabajo de investigación surge con la necesidad de mejorar el concreto a un bajo costo, con el fin de optimizar la resistencia a flexión incorporando fibras de carbono laminado en 5%, 10% y 15% como sustituto parcial del cemento portland en peso. Esta investigación describe un estudio experimental con el propósito de conocer el efecto que tiene al incorporar fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión y el costo de producción. La norma técnica peruana NTP 339.078, presenta la metodología de su uso expresado en una ecuación para determinar el valor de MR en función de la carga máxima de rotura. Pero esta investigación revela la ecuación de correlaciones entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el cálculo de la resistencia teórica a flexión. Se realizaron ensayos comparativos entre el concreto patrón y el concreto con fibra de carbono laminado en diferentes porcentajes (5%, 10% y 15%). El concreto patrón se diseñó para lograr una resistencia a la flexión de 210 kg/cm² a una edad de 28 días. Las propiedades del concreto que se evaluaron fueron la trabajabilidad y la resistencia a flexión ensayados a edad de 7 y 28 días. Finalmente se logró obtener un concreto con fibra de carbono laminado en 5% y 10% de resistencia superior a un concreto sin fibra de carbono laminado a la edad de 7 y 28 días, así mismo el costo de producción incorporando fibra de carbono laminado disminuye en 4.09% y 6.14% respecto a un concreto patrón.

Palabras clave: fibra de carbono laminado, concreto normal, resistencia a flexión, variación del costo de producción.

Abstract

The main purpose of this research work arises with the need to improve concrete at a low cost, in order to optimize the flexural strength by incorporating 5%, 10% and 15% laminated carbon fibers as a partial substitute for portland cement in weigh. This research describes an experimental study with the purpose of knowing the effect it has when incorporating laminated carbon fiber in flexural strength and production cost. Peruvian technical standard NTP 339.078, presents the methodology of its use expressed in an equation to determine the MR value based on the maximum breaking load. But this research reveals the equation of correlations between flexural strength and compressive strength for the calculation of theoretical flexural strength. Comparative tests were performed between the standard concrete and the concrete with laminated carbon fiber in different percentages (5%, 10% and 15%). The standard concrete was designed to achieve a flexural strength of 210 kg / cm² at an age of 28 days. The concrete properties that were evaluated were workability and flexural strength tested at the age of 7 and 28 days. Finally, it was possible to obtain a concrete with laminated carbon fiber in 5% and 10% superior resistance to a concrete without laminated carbon fiber at the age of 7 and 28 days, likewise the cost of production incorporating laminated carbon fiber decreases in 4.09% and 6.14% regarding a standard concrete

Keywords: laminated carbon fiber, normal concrete, flexural strength, production cost variation.

Capítulo I. El Problema

1.1. Situación problemática

El Perú al encontrarse en una zona sísmica no está libre a sufrir un terremoto relativamente fuerte que puede ocasionar no solo pérdidas humanas, sino también en las edificaciones que por lo general están construidas sin las normas mínimas requeridas, es aquí donde se presenta el mayor de los problemas, en la falta de reforzamiento con láminas de fibra de carbono siendo un elemento muy importante en las construcciones en la actualidad (Peña, 2017, p.16).

Uno de los materiales que se está estudiando como reforzamiento al concreto es la fibra de carbono laminado. Sin embargo, los constructores utilizan esta fibra sin considerar sus propiedades, esto genera un alto grado de incertidumbre al momento de realizar el concreto, si no se conoce sus componentes no podemos garantizar cómo influirá la fibra en el concreto.

Es necesario el ensayo con nuevos materiales que puedan aportar soluciones a los problemas y mejorar la calidad de construcción. La incorporación de la fibra de carbono en el diseño de mezcla del concreto busca mejorar alguna de sus propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad, resistencia a la compresión y a la flexión. Por lo que se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP en la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'_c=210$ kg/cm² con agregados de la cantera Unocolla?

¿Cuál es la trabajabilidad en el concreto fresco al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?

¿Cuál es la resistencia a flexión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?

¿Cuál el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP en la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'_c=210$ kg/cm² con agregados de la cantera Unocolla.

Determinar la trabajabilidad en el concreto fresco al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla.

Determinar la resistencia a flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm² al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla.

Determinar el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla.

1.4. Justificación de la investigación

El propósito de esta tesis es mostrar la importancia y mejoras a los productos de una nueva alternativa de diseñar concreto con la adición de un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla, porque en el Perú cuenta con gran potencial de reservas de carbono, además que el carbono es una alternativa futura en la crisis energética en el Perú.

El reforzar al concreto con fibra de carbono laminado en el diseño de mezcla conlleva a un beneficio de alta resistencia, al tener una construcción que funcione durante su vida útil, y que las obras de concreto estén proyectadas a un largo plazo, se asume que el diseño de construcción es afectado por diversos factores que reducen o acaban con la vida útil de la estructura, sino también por fallas en el diseño o construcción; todo lo mencionado hace que sea necesario un refuerzo en la estructura, para lo cual se debe analizar la mejor alternativa.

Realizar un estudio experimental, acerca del comportamiento del concreto, sometido a flexión con material no convencionales, con el fin de determinar características que mejoren su comportamiento cuando el concreto este sometido a esfuerzos de compresión (Castiblanco y Carrero, 2015, p.14).

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castiblanco & Carrero (2015) en su investigación titulada. Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibra de vidrio y fibra de carbono, sometido a esfuerzos de compresión”. Bogotá, (2015) Cuando se estudian los procedimientos para dosificar mezclas de concreto, se recomienda hacer mezclas de prueba, con el fin de “determinar las proporciones del hormigón que cumpla con las características deseadas para ser empleado en la construcción, es necesario tomar las precauciones adecuadas para que la calidad del material producido sea aceptable. La medida final que informa sobre la calidad obtenida, es de acuerdo a los ensayos de resistencia.

Tolosa Alberto (2005) en el trabajo de su autoría, titulado “Recuperación de estructuras de hormigón en base a CFRP (polímeros reforzados con fibras de carbono)” Santiago – Chile. Cuyo objetivo principal fue el “determinar el nivel de recuperación que pueden presentar las estructuras de hormigón utilizando fibras de carbono en base a pruebas de campo, llegando a las siguientes conclusiones: que de acuerdo a lo analizado previamente se puede observar que las fibras de carbono CFRP son una gran alternativa como elemento de reforzamiento de las estructuras de concreto, además de ser mucho más ligeras en peso, Haciendo referencia a las posibles ventajas que tienen dichas láminas de fibras lo más importante sería la mayor resistencia que dan las estructuras ocasionado a las grandes capacidades mecánicas que tienen estas láminas de las fibras de carbono laminado.

Silva y Sánchez (2016), en su tesis, “Refuerzo Estructural con fibra de carbono”. Quito – Ecuador, 2016 cuyo objetivo general de este trabajo fue “comparar la resistencia teórica a

tracción calculada con ensayos experimentales de probetas de acero reforzados con fibra de carbono” (p.14), siendo la metodología de este trabajo de carácter investigativo, descriptivo. Sostuvo entre sus conclusiones”.

1. En los ensayos solo se utilizó la transferencia de los esfuerzos mediante la adherencia con pegamento epóxido. Se verificó la falla de laminación del material.

2. Se comprobó que durante los ensayos a tracción de los elementos reforzados hace que la resina alcance su límite máximo mucho antes de lo esperado, produciéndose la falla primero en el pegamento epoxi utilizado.

4. Se comprobó que la fibra de carbono tiene un elevado índice de resistencia a compresión a pesar de ser tan liviano.

2.1.2. Antecedentes nacionales:

San bartolome y Ríos (2013), en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se realizó un estudio sobre comportamiento a fuerzas cortantes de muros delgados de concreto reforzado en su zona central convencionalmente, afirma que a la primera fisura a flexión no fueron afectados por la fibra de polipropileno y de carbono a lo contrario ayudaron en el reforzamiento al concreto y disminuyeron las fisuras en ensayos a flexión.

Vásquez (2014), en la Universidad Nacional del Norte (UPN) – Trujillo, “realizó un estudio sobre influencia del incremento de volumen de fibra en la resistencia a la tracción, compresión y trabajabilidad en el concreto reforzado”, donde afirma que las micro-grietas pueden reducir utilizando las fibras de polipropileno, puesto que es un material de desecho, estas fibras pueden soportar tensiones altas a tracción pero siempre y cuando realizando mayores estudios para determinar las cantidades exactas.

H. Alfsen, quien describe el proceso para mejorar la resistencia a la tensión del hormigón, el cual consiste en mezclar uniformemente pedazos longitudinales de fibras, madera u otros materiales resistentes a la tracción. Además, sugiere que la superficie de estos materiales debe ser rugosa, con sus extremos ensanchados, para proveer una mejor adherencia.

Mendoza, Aire & Davila, (2011) en su tesis titulada influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estado plástico y endurecido cuyo estudio es la incorporación de fibra cortas en las propiedades del concreto en estados fresco y endurecido. Se ensayan en un estado de edades de 7 y 28 días. La presencia de la fibra en el concreto fresco modifica la consistencia de la mezcla y reduce el agrietamiento por contracciones plásticas, en estado endurecido, incrementa la tenacidad, y la resistencia al impacto.

2.1.3. Antecedentes locales:

Nayra (2017), en su tesis Reforzamiento estructural de edificaciones familiares para el uso de entidades financieras – caso de caja Arequipa – Puno de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, donde propone alternativas de reforzamiento estructural para mejorar la capacidad resistente de los elementos estructurales en viviendas familiares para el uso de entidades financieras.

Soncco (2017), en su tesis titulada Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, de la Universidad Peruana unión – Juliaca, da a conocer el efecto que tiene al adicionar la fibra de polipropileno en las propiedades del concreto en 10,25,40 y 55% respecto al peso del cemento a la resistencia a compresión.

García (2017), en su investigación titulada Efectos de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c=210$ Kg/cm² en la ciudad de Puno de la Universidad Nacional del Altiplano, dicha investigación está diseñada para conocer el efecto que tiene la incorporación de fibra de vidrio en la resistencia a compresión y el costo de producción del concreto.

2.2. Ubicación geográfica

Ubicación: La ciudad de Juliaca está ubicada en el norte de la provincia de San Román y al lado noreste del lago Titicaca, a 35 km.

El área geográfica del distrito de Juliaca ocupa la parte céntrica del departamento de Puno y la meseta del Collao.

Limites:

- Este: Provincia de Huancané y Provincia de Azángaro
- Oeste: Provincia de Lampa
- Norte: Provincia de Azángaro
- Sur: Provincia de Puno

2.3. Resistencia a la flexión del concreto

La resistencia a flexión, es conocida como el módulo de rotura o resistencia flexional, con mayor frecuencia se emplea la prueba flexional transversa, en la cual un espécimen de sección circular o rectangular se arquea hasta que se fractura o cede al someterlo a una prueba de carga puntual.

La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura.

La resistencia de diseño a la compresión es aplicable a la flexión. Por tanto, la mezcla deberá dosificarse para obtener un módulo de rotura promedio mayor que la resistencia a la flexión de diseño, con el fin de no disminuir el factor de seguridad de la estructura.

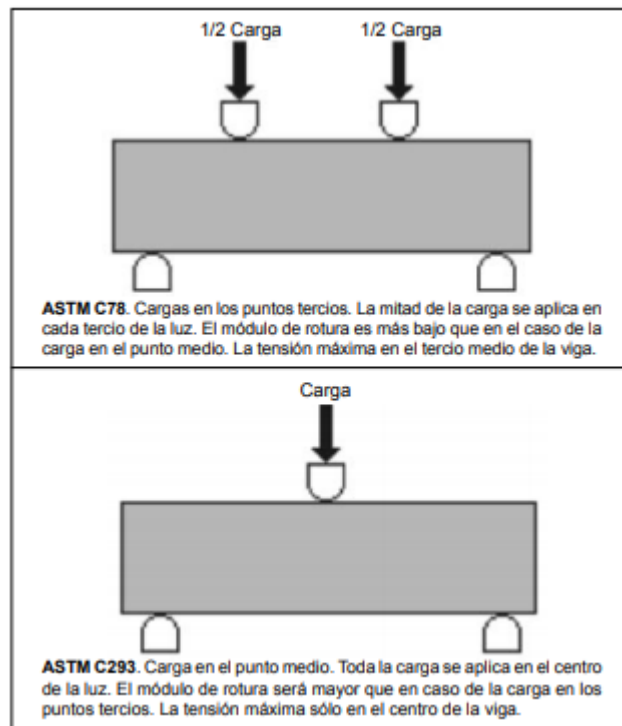


Figura 1. Comparación de la carga puntual con la carga en los tercios de la luz.

Fuente: Manual de ensayos de materiales Perú 2016

2.3.1. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central

Objetivo: establecer los procedimientos que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central.

Referencia normativa: NTP 339.0.59 Hormigón (concreto). Método para la obtención y ensayos de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto).

Muestra: debe de cumplir con el requisito señalado en la norma MTC E 702 aplicables a vigas debe de tener una luz libre de tres veces la altura, con una tolerancia del 2%. Los lados del espécimen deben formar ángulos rectos con la cara superior e inferior. Todas las superficies deben de ser suaves.

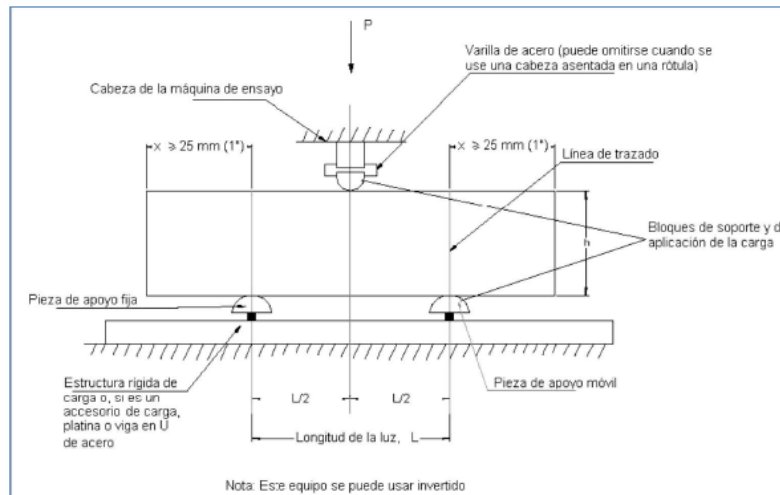


Figura 2. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.

Fuente: Manual de ensayos de materiales Perú 2016

Cálculo e informe:

Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R= módulo de rotura, (Mpa)

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

L=longitud de la luz (mm)

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

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

2.3.2. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Objetivo: establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

Referencia normativa: NTP 339.078 Hormigón (concreto), método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Muestra: las muestras deben tener una distancia libre entre apoyos de al menos, tres veces su altura, con una tolerancia de 2%. Los lados de la muestra deben formar ángulos rectos con las caras superiores e inferiores. Todas las superficies de contacto con los bloques de aplicación de carga y de soporte deben ser suaves y libres de grietas.

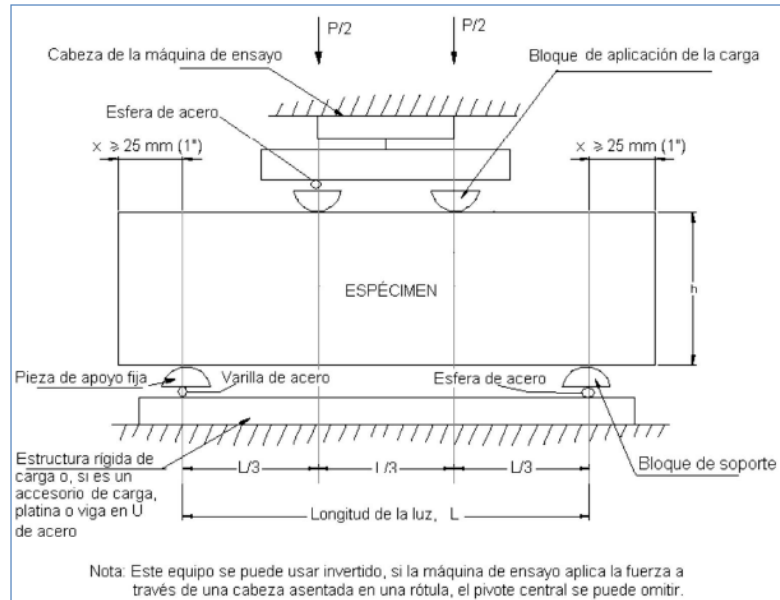


Figura 3. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.

Fuente: Manual de ensayos de materiales Perú 2016

Calculo e informe:

- a) Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

R= módulo de rotura, (Mpa)

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

L=longitud de la luz (mm)

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

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

- b) Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, a una distancia no mayor del 5% de la luz libre, se calcula el módulo de rotura de la siguiente forma:

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

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la zona de tensión de la viga (mm).

- c) Si la falla ocurre por fuera del tercio medio de la viga y a una distancia mayor de 5 % de la distancia entre apoyos, se deben descartar el resultado del ensayo.

2.3.3. Ensayo de resistencia a la flexión

El método más empleado para medir la resistencia a la flexión es usado una viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz, aunque en algunas partes se emplea

el método de la viga en voladizo o el de la viga simplemente apoyada con cargas en el punto medio; por lo que los resultados obtenidos difieren con el método empleado.

Los moldes más empleados tienen una sección de $15,2 * 15,2$ cm y de longitud 55,8 cm y se usara para concretos con agregado grueso de tamaño máximo < 5 cm. Se podrá utilizar otras dimensiones pero que cumplan los requisitos antes vistos.

Se utiliza la resistencia a flexión, para diseñar pavimentos y vigas, por lo que se requiere el diseño de mezcla en el laboratorio, basado en la resistencia a flexión o puede ser seleccionado un contenido de material cementante, basado en una experiencia pasada obtener el módulo de rotura de diseño. Se utiliza el módulo de rotura para el control de campo y de aceptación de la viga o pavimento.

2.3.4. Dimensiones de la muestra para la resistencia a flexión

Según la MTC E711 para la resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central, nos recomienda que las muestras deben de cumplir con los requisitos señalados en la norma MTC E702 aplicables a especímenes prismáticos y vigas que deben de tener una luz libre de tres veces la altura, con una tolerancia de 2%.

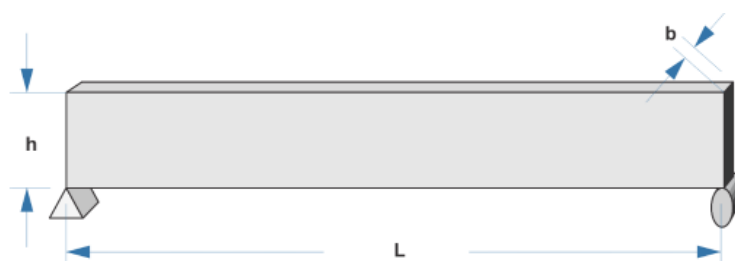


Figura 4. Detalle de la viga donde se aprecia que la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones.

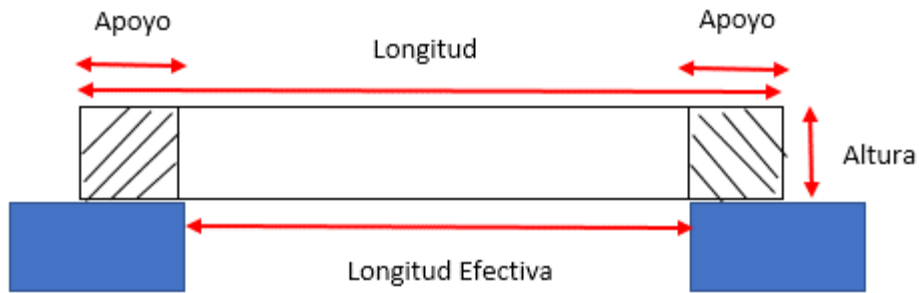


Figura 5. Partes de una viga para muestra de ensayo a flexión.

Apoyos: los apoyos de la viga serán no menor a 2.5 cm

Longitud efectiva: la viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalentes a las tres veces su altura con una tolerancia del 2%.

Longitud: es la longitud efectiva más la suma de los dos apoyos.

Altura: el peralte de la viga será la longitud efectiva entre tres.

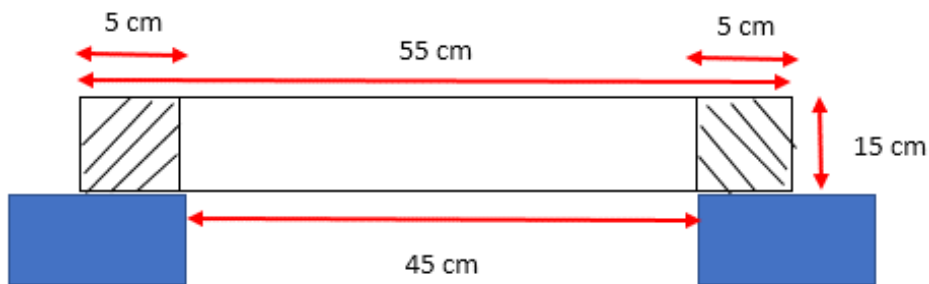


Figura 6. Criterio de la normativa MTC E711, para que la viga sea dimensionada de acuerdo al reglamento.

Por lo tanto, tendremos las siguientes medidas:

- Longitud efectiva: 45cm
- Longitud: 55cm
- Apoyos :5cm
- Altura: 15cm

2.3.5. Correlación entre la resistencia a la flexión y las resistencias a la compresión y tensión

El módulo de rotura presenta valores que varían entre un 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada, que pueda utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión, es la siguiente:

$$MR = K * (RC)^{1/2}$$

Donde:

MR= Modulo de rotura estimado para el concreto (kg/cm²)

RC= Resistencia a la compresión obtenidas en el concreto (kg/cm²)

K= Constante que varía normalmente entre 2.0 y 2.7, para resistencias en kg/cm² a 28 días.

La relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la tensión indirecta es de tipo lineal.

2.4. El concreto

La presente investigación se desarrolla con un concreto conformado con los siguientes materiales: agregado, cemento, agua y fibra de carbono laminado, por lo que es necesario conceptualizarlo, así también los factores que afectan su desarrollo y las propiedades del mismo.

El concreto es una mezcla homogénea compuesta por cemento portland, agregados fino, agregado grueso, aire y agua; colocando proporciones adecuadas para obtener propiedades prefijadas, especialmente de resistencia a la flexión.

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo, algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto (Abanto, 1995).

2.4.1. Componentes del concreto

Los ingredientes primordiales del concreto son el cemento y el agua, reaccionan químicamente en su proceso llamado hidratación para formar un material más endurecido y fuerte para que pueda soportar eventos sísmicos.

El endurecimiento del concreto no es el resultado del secado de la mezcla, es el colocado bajo el agua lo que hace que endurezca siempre que esté totalmente sumergido.

2.4.1.1. Cemento

El cemento Portland es considerado a nivel nacional como el material de construcción más importante en la arquitectura moderna, sus numerosas ventajas lo convierten en uno de los materiales más versátiles y económicos.

Se utiliza en puente, edificios, muros de contención y pavimentos, puede ser una estructura concreto normal o reforzados con diferentes aditivos que adhiere con el concreto, además se puede trabajar con diferentes sistemas de construcción moderna. En su estado fresco el concreto se puede moldear a cualquier tipo de trabajo.

Un concreto bien trabajado se deduce en una estructura durable, de apariencia agradable y que necesita poco mantenimiento.

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de fraguar y endurecer, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables (Rivva López, 2010).

Los principales cementales hidráulicos son las cales y los cementos hidráulicos, ciertos materiales con propiedades puzolánicas. Si nos referimos al concreto convencional, que se emplea en la construcción resultan excluidas las cales hidráulicas.

Se da el nombre de portland a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, aluminio y óxido de hierro, que son calentados a grandes temperaturas, para posteriormente moler el producto resultante; formándose aglomerante hidrófilo (Lao, 2007, p5).

Limitaciones:

En la fase de diseño, las limitaciones de la construcción en concreto evitaban ciertas debilidades y dificultades estructuras, las principales limitaciones y desventajas son:

- Poca resistencia a la tensión: Deberán de reforzarse con varillas de acero de alta resistencia o hacer pruebas de ensayo con reforzamientos al concreto para que alcance una resistencia a tensión.
- Contracción al secar y cambios en la humedad: El concreto en la construcción se contrae y se expande como todo material, en función de la variación de la humedad y/o temperatura.
- Permeabilidad: Los concretos de alta calidad no son ajenos a la penetración del agua. Puesto que este material contiene compuestos solubles, los cuales varían su graduación dependiendo a la cantidad de agua que nosotros podamos echar.

2.4.1.2. Agregados

(Rivva López, 2010) “El concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocido como agregado el cual ocupa del 65% al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto”.

(Rivva López, 2010) “Los agregados también son llamados áridos, que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros, es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta cemento”.

Se clasifican en:

- Agregados Finos

- Agregados Gruesos

- Hormigón: “corresponde a mezcla natural de Grava y Arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, algunos muros, etc. El emplear el hormigón en la elaboración del concreto este deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto” (Abanto Castillo, 1994).

Rivva López (2010) “Si se emplea, con autorización del proyectista, el agregado integral denominado "Hormigón" deberá cumplirse con lo indicado en el acápite anterior de la Norma Técnica E.060”.

Agregado fino

(Abanto Castillo, 1994) “Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8” (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N°200 (0.074mm) NTP400.037”.

Sin embargo, el Manual de ensayo de materiales (EM 2000) del MTC E 204-2000, el cual está basado según a las normas ASTM 136 y AASHTO T 27, los mismos 20 que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este Manual indica que para mezclas de agregados gruesos y finos la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (N°4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz N°4 para separar el agregados grueso y fino.

Agregado Grueso

Es el agregado que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C33. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

2.4.1.3. Agua

El agua que debe ser utilizada para la producción de concreto debe satisfacer los requisitos de la norma NTP 339.088, y ASTM C 109M. Considerándose como referente principal, la idoneidad del agua potable.

2.4.2. Propiedades del concreto

2.4.2.1. Propiedades en Estado Fresco

a) Trabajabilidad

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada, el equipo necesario para realizar la consistencia del concreto consiste en un tronco de cono, los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm (Abanto, 1995).

Tabla 1
Consistencia de la mezcla de concreto.

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración Ligera
Fluida	Mayor a 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Flavio Abanto Castillo, "Tecnología del concreto", Pág. 49

Rivva (2007) "La trabajabilidad es un término relativo, porque un concreto se podrá considerar trabajable bajo ciertas consideraciones y no trabajable para otras. Por ejemplo, un concreto podrá ser trabajable para un pavimento, pero será difícil de colocar en un muro delgado con refuerzo. La trabajabilidad debería definirse como una propiedad física del concreto fresco".

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizará la prueba de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrahams, siguiendo la norma ASTM C 143.

2.4.2.2. Propiedades en estado de endurecido

a) Resistencia a flexión

La resistencia a flexión también conocida como módulo de ruptura, es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (carga en el punto medio).

2.5. Fibra de carbono laminado

2.5.1. Definición

Este polímero se obtiene de calentar sucesivamente a altas temperaturas (hasta 1500 °C) otro polímero llamado poliacrilonitrilo. Este proceso de recalentamiento da lugar a la formación de unas cintas perfectamente alineadas de casi carbono puro en su forma de grafito, por ello su nombre de fibras de carbono.

La fibra de carbono laminado es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono, la alineación de la fibra de carbono le da alta resistencia en función del volumen, las fibras de carbono están trenzadas para formar un hilo de alta flexibilidad, alta resistencia, tolerancia a altas temperaturas (Ccollque, 2012, p.3).

Las propiedades de las fibras de carbono, tales como una alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica. La fibra de carbono laminado generalmente se combina con otros materiales para formar un compuesto. Cuando se combina con una resina plástica es moldeada para formar un plástico con fibra de carbono, el cual tiene una alta resistencia, extremadamente rígido. Sin embargo, la fibra de carbono también se combina con otros materiales, como por ejemplo con el grafito para formar compuestos que tienen una alta tolerancia térmica.

2.5.2. Estructura

La estructura atómica de la fibra de carbono laminado es similar a la del grafito, consistente en láminas de átomos de carbono ordenados en un patrón regular hexagonal. La diferencia está en que las hojas se entrelazan.

El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras de manera regular. Las uniones químicas de las hojas son débiles, lo que facilita al grafito su blandura y brillo característico.

La fibra de carbono laminado es un material amorfo: la integración de las minas de fibra de carbono laminado es responsable de su alta resistencia. La densidad de la fibra de carbono laminado es de 1.750 kg/m³. Es de baja conductibilidad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

2.5.3. Proceso de obtención

SINTESIS

La fibra de carbono laminado es un polímero de cierta forma de grafito. El grafito es una forma de carbono puro.

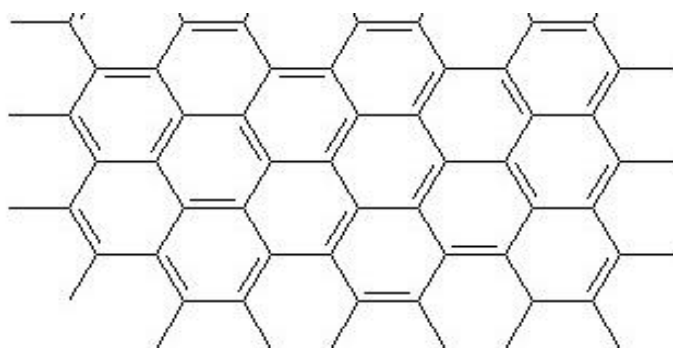


Figura 7. Sección de lámina de grafito.

Fuente: Gamboa Vila Tania. (2017) Tesis “Fibra de carbono y vidrio” Pag.46 Ingeniería Química.

“La fibra de carbono laminado se fabrica a partir de otros polímeros, llamado poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento. Una vez calentada el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades formen anillos”.

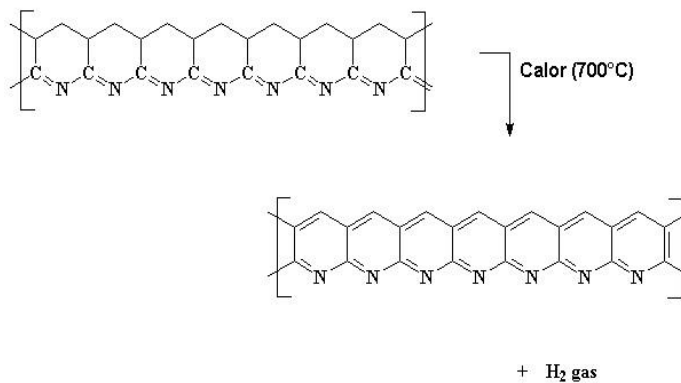


Figura 8. Poliacrilonitrilo.

Fuente: Gamboa Vila Tania. (2017) Tesis “Fibra de carbono y vidrio” Pag.46 Ingeniería Química.

Cuando se aumenta el calor, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos. Este polímero constituye una serie de anillos piridinicos fusionados.

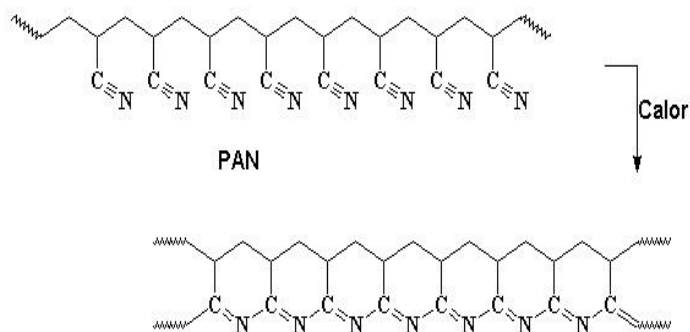


Figura 9. Piridinicos fusionados.

Fuente: Gamboa Vila Tania. (2017) Tesis “Fibra de carbono y vidrio” Pag.47 Ingeniería Química.

El calentamiento libera hidrogeno y da un polímero de anillos fusionados en forma de cintas. Incrementando aún más la temperatura de 600 hasta 1300 °C, nuevas cintas se unirán para formar cintas más anchas:

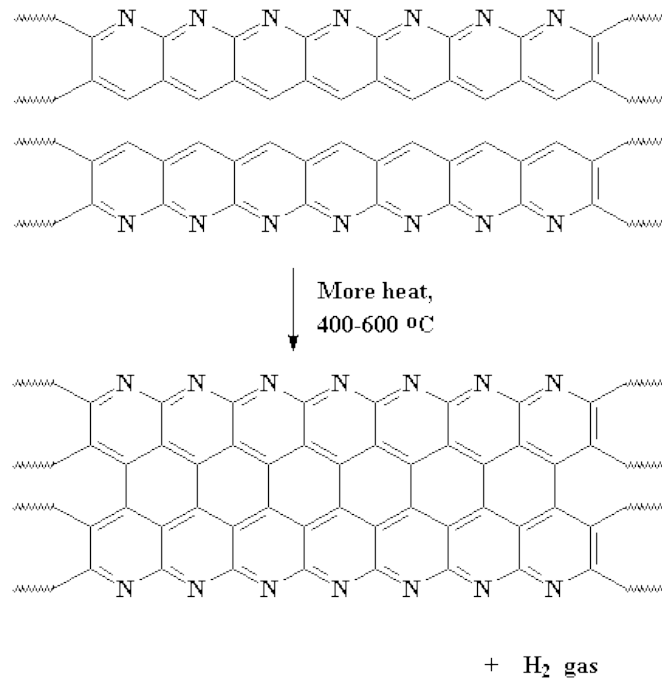


Figura 10. Polímero de anillos fusionados.

Fuente: Gamboa Vila Tania. (2017) Tesis “Fibra de carbono y vidrio” Pag.47 Ingeniería Química.

De tal modo se libera nitrógeno. Se observa que el polímero obtiene átomos de nitrógeno en los extremos, por lo que las cintas pueden unirse, a medida que ocurre esto se libera más nitrógeno.

Terminando el proceso, las cintas son anchas y la mayor parte del nitrógeno se liberó, quedando una estructura que es casi carbono puro en su forma de grafito.

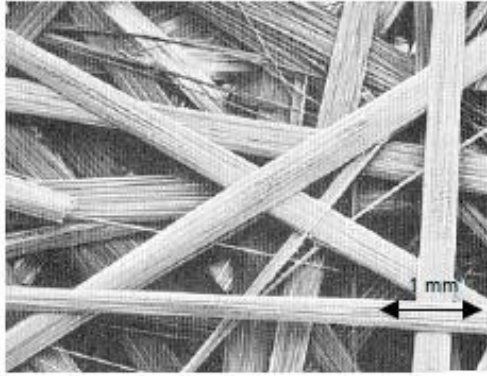


Figura 11. Micrografía de barrido electrónico de un tejido de mecha antes de la infiltración con resina (Hull 1987).

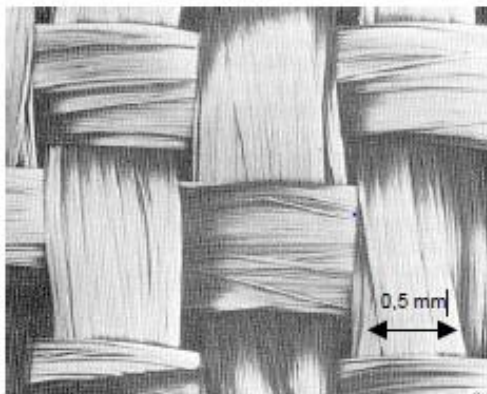


Figura 12. Micrografía de barrido electrónico de un tejido de mechas antes de la impregnación con resina.

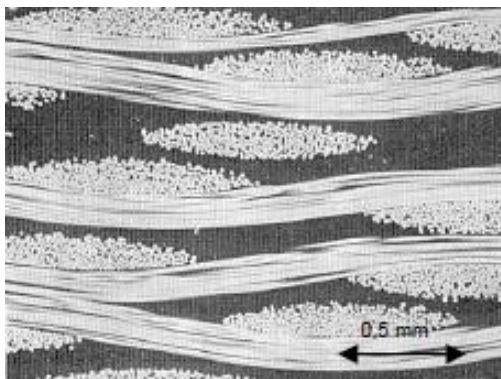


Figura 13. Fotogrametría de una sección pulida de un laminado de tejido de mechas paralelas a un conjunto de fibras.

2.5.4. Proceso de fabricación

La fibra de carbono laminado se fábrica a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, cuando se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades formen anillos, al aumentar el calor, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos.

Este polímero constituye una serie de anillos piridinicos fusionados, luego se incrementa la temperatura a unos 400-600 °C. De este modo, las cadenas adyacentes se unen, este calentamiento libera hidrogeno y da un polímero de anillos fusionados en forma de cinta.

2.5.5. Producción de la fibra de carbono laminado a nivel nacional

En el Perú no se produce fibra de carbono laminado, pero eso no quiere decir que no se comercialice, hay proveedores que ofrecen este producto vía internet o establecimiento pequeños, también hay empresas constructoras que usan este producto (fibra de carbono) para reforzar edificaciones brindando mayor tiempo de duración en la construcción.

Empresas constructoras que usan fibras de carbono en el Perú.

- FIBRWRAP PERU
- CCL PERU
- Z ADITIVOS S.A.
- CONSTRUCTORA RF SAC
- TOPCONSULT INGENIERIA

De los sistemas de reforzamiento estructural disponibles en el Perú, el que más ventas han tenido, por las ventajas que ofrece, son láminas de fibra de carbono. Una o varias capas de láminas de fibra de carbono dependiendo de la estructura y características de la fibra.

Cabe mencionar que este sistema esta normado por el American Concrete Institute (ACI) y por los fabricantes de la fibra.

2.5.6. Producción de la fibra de carbono laminado a nivel internacional

Los principales fabricantes de fibra de carbono son:

- Hexcel
- Cytec Industries
- fibras de EFT
- Formosa Plastics
- Mitsubishi Rayon
- Toray Industries
- Grupo de SGL
- Toho Tenax
- La fibra de carbono Toray

Los fabricantes suelen hacer diferentes grados de fibras para diferentes aplicaciones.

Fibra de carbono de modulo más alto son típicamente más caros.

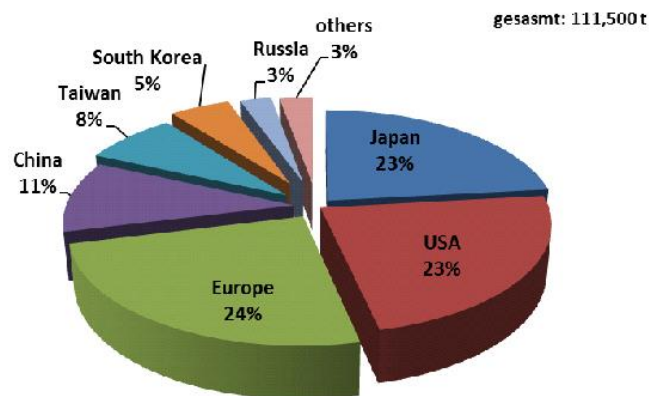


Figura 14. Capacidad porcentajes de fibra de carbono fabricantes mundiales de 2013 (basada en la capacidad de remolque de fibra de carbono)

Fuente: ResearchinChina

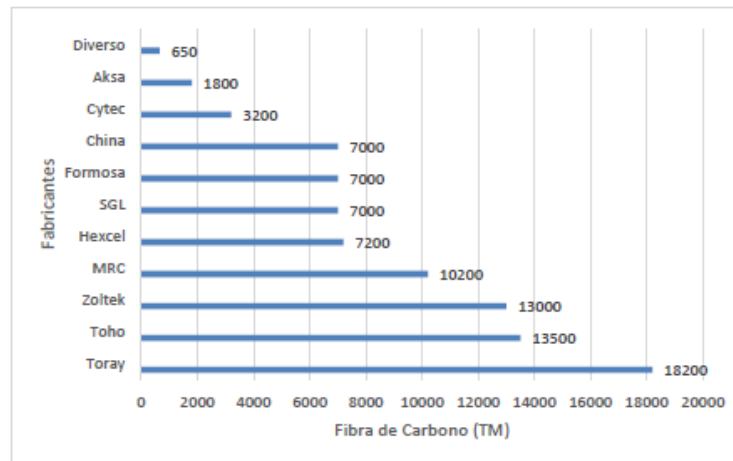


Figura 15. Capacidad de fibra de carbono (2015) en TM por fabricante.

Fuente: Revista de plásticos modernos

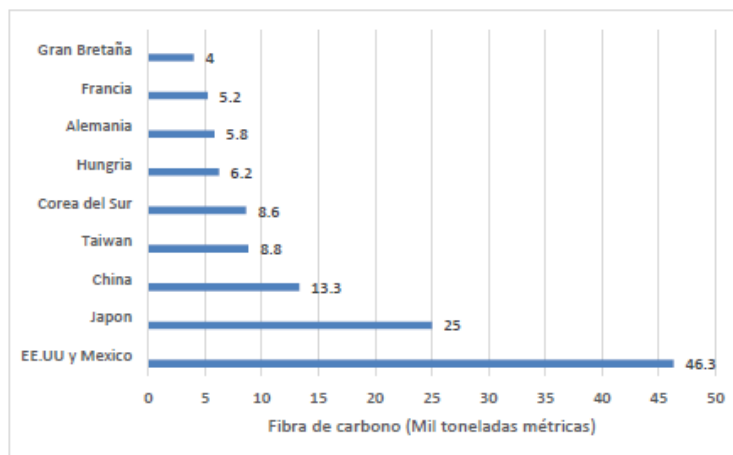


Figura 16. Países en función de la capacidad de producción de fibra de carbono que lleva en el año 2016.

Fuente: Statidta (El portal de estadística)

Esta estadística muestra los principales países de todo el mundo sobre la base de la capacidad de producción de fibra de carbono laminado en 2016. En ese año, la capacidad de producción de fibra de carbono laminado en los Estados Unidos y México juntos ascendió a 46.300 toneladas métricas.

La fibra de carbono laminado se compone de fibras extremadamente pequeñas que se derivan principalmente de átomos de carbono. Se espera que la demanda mundial para aumentar junto con su potencial de materiales tales como la sustitución de aluminio en el sector aeroespacial de refuerzo.

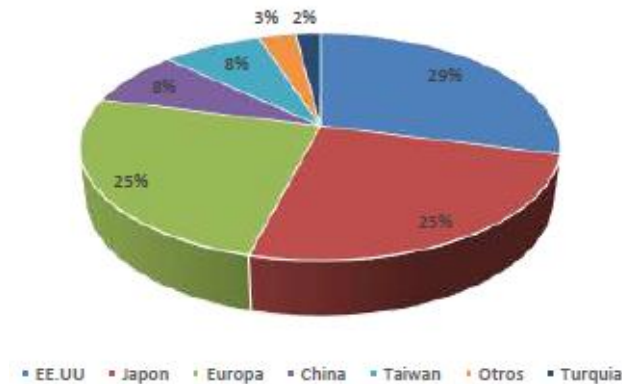


Figura 17. Capacidad de fibra de carbono (2011)
Fuente: Revista de plásticos modernos.

En 2011 la capacidad teórica máxima de fibra de carbono en el mundo era 90.000 TM, siendo el mayor fabricante EE. UU con un 29%, seguida por Europa y Japón con un 25% cada una y China un 8%. Todos los análisis predicen que China se expansionara notablemente en los próximos años.

2.5.7. Propiedades principales

- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, solo si se utiliza matriz termoestable.
- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Gran resistencia al aislamiento térmico.
- Resistencia a agentes externos.
- Baja densidad, en comparación con otros materiales.
- Elevado precio de producción

2.5.7.1. Propiedades del material

- Modo de elasticidad
 $E = 200 - 800 \text{ MPa}$
- Esfuerzo de rotura – tensión
 $F_u = (15 \text{ a } 40) \text{ kg/cm}^2$
- Deformación unitaria de falla
 M_{brace} y F_{yfe}
 $g_u = 0.016 \text{ mm/mm}$

2.5.7.2. Propiedades físicas

- Baja densidad
- Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica.
- Gran capacidad de aislamiento.
- Resistencia a ambientes alcalinos y externos susceptibles de corrosión.
- Inercia química y buenas propiedades ignífugas.
- Brillo superficial (según los procesos de fabricación)
- De sección delgada, pueden ser fácilmente cruzadas y traslapadas
- Facilidad de adaptar y modificar diseños.

2.5.7.3. Propiedades mecánicas

- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Alta rigidez (valores específicos del orden de 2-6 veces los del acero).
- Resistentes a fatiga.
- Buena resistencia al impacto

2.5.8. Características del reforzamiento de fibra de carbono laminado

Las definiciones sobre la característica del Reforzamiento de Fibra de carbono laminado dadas por el libro de Aplicaciones Anticipadas de los elementos concertados en obras civiles y en edificaciones donde se menciona: La lamina de fibra de carbono es el material compuesto resistente que tiene unas propiedades mecánicas comparables al acero. Los compuestos de fibra de carbono tienen un límite elástico mayor que el acero y una densidad mucho menor (Pérez, 2014, p.57).

Tabla 2

Cuadro comparativo de fibra de carbono laminado.

Material	Modulo elástico (Mpa)	Limite elástico a tracción (Mpa)	Densidad
Hormigón	20 – 40	1 – 3	2400
Acero	200 – 210	240 – 690	7800
Fibra de carbono	200 – 800	2500 - 7500	1750 – 1950

Fuente: Pérez Marco A. (2014) Tesis “Aplicación avanzada de los materiales compuesto en la obra civil y la edificación” Barcelona – España.



Figura 18. Aspecto de los tejidos de fibra de carbono.

Fuente: Gamboa Vila Tania. (2017) Tesis “Fibra de carbono y vidrio” Ingeniería Química.

2.5.9. Importancia del reforzamiento de fibra de carbono laminado

Los conceptos sobre la importancia de refuerzos de fibra de carbono laminado se convierten en opción a las diversas técnicas de un refuerzo estructural, la importancia que radica es el ahorro de tiempo, siendo una alternativa sumamente atractiva, además son muy fácil de manipular por presentar un peso liviano, por lo que tiene una buena resistencia a factores ambientales (Pérez, 2014, P.25).

2.5.10. Ventajas de fibra de carbono laminado

- Peso sumamente liviano
- Alta resistencia a tensión
- Muy Alta durabilidad, anticorrosivo y poca necesidad de un mantenimiento
- Rápida instalación, ahorro económico y tiempo de correcto procedimiento.
- Bajísimo aumento del espesor en geometría del bloque
- Alta flexibilidad, configurable a cualquier geometría del elemento

2.6. Cemento

Rivva (2010) “Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad por adición de una cantidad conveniente de agua, logrando formar una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como el aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y yesos”.

2.6.1. Clasificación del cemento portland

Abanto (1994) “El cemento portland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de normas para el cemento Portland ASTM c 150”.

TIPO I: Es usado en la construcción de obras de hormigón en general, viviendas, edificaciones, estructuras, etc. Es utilizado cuando en la construcción no se especifica el tipo de cemento.

TIPO II: Es cuando tiene una resistencia media a los ataques de sulfatos, con o sin calor moderado de hidratación. Por lo general es el cemento utilizado en la realización de tuberías de hormigón y puentes.

TIPO III: Alcanza una resistencia inicial alta, es usado cuando se necesita un hormigón que debe de ser desencofrado antes de los 28 días y que recibirá cargas muy pronto. Como en los casos de elementos prefabricados o construcciones de emergencia.

TIPO IV: Es usado cuando se necesita un bajo calor de hidratación sin producirse dilatación durante la etapa de fraguado. Es utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques.

TIPO V: Es usada en la construcción de elementos y obras que se necesite de una resistencia elevada al ataque concentrado de sulfatos y álcalis, canales de conducción e infraestructura portuarias.

2.7. Análisis estadístico

2.7.1. Prueba de hipótesis

La hipótesis en la estadística es una proporción que hace el investigador en base a uno o varios parámetros que permiten que esta sea aceptada o rechazada respecto a un solo número (estimador puntual), todo el procedimiento de toma de decisiones sobre la hipótesis se llama PRUEBA DE HIPÓTESIS.

No es posible saber con absoluta certeza la verdad o falsedad de una hipótesis estadística, pues tendría que trabajar con toda la población. En la práctica se toma una muestra aleatoria de la población de interés y se utilizan los datos que contiene la muestra para proporcionar evidencia que confirmen o no la hipótesis. Si la evidencia de la muestra es inconsciente con la hipótesis planteada, entonces esta se rechaza y si la evidencia apoya a la hipótesis planteada, entonces esta se acepta (Morales, 2012).

Para poder utilizar la prueba de hipótesis los datos deberán representar una distribución normal, lo cual se ha de comprobar en el análisis estadístico con la finalidad de evaluar la hipótesis planteada, se realizó la prueba de hipótesis de igualdad de dos medias y varianzas conocidas.

Cruz (2011) Prueba de hipótesis se realiza mediante un procedimiento de cinco pasos.

Paso N° 01: Plantear la hipótesis nula o alternativa de acuerdo al problema.

Paso N° 02: Escoger el nivel de significancia o riesgo.

Paso N° 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba.

Paso N° 04: Formular la regla de decisión.

Paso N° 05: Tomar una decisión

2.8. Distribución t de Student

Se utiliza para detectar la exigencia de diferencia significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

Requisitos

- Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo
- Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales
- Muestras independientes y menores a 30

a) Hipótesis de dos colas

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medias de los dos grupos considerados, sin presuponer cuál de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias.

$$H_1: \mu_{FC} \neq \mu_C, H_0: \mu_{FC} = \mu_C$$



Figura 19. Curva de distribución para hipótesis de dos colas.

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

b) Hipótesis de una cola

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medidas de los grupos considerados, presuponiendo que una de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medidas, o que las diferencias van en sentido contrario a como han sido expresadas en la hipótesis.

$$H_1: \mu_{FC} > \mu_C, H_0: \mu_{FC} \leq \mu_C \text{ o } H_1: \mu_{FC} < \mu_C, H_0: \mu_{FC} \geq \mu_C$$



Figura 20. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la derecha.

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution



Figura 21. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la izquierda.

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

Procedimiento de cálculo

El estadístico de prueba para una distribución t-student con $n_1 - 1$ grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum x - x^2}{n - 1}}$$

Donde:

n_1 y n_2 : Tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente.

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 : Medias de las muestras 1 y 2 respectivamente.

S^2_1 y S^2_2 :: Varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente.

Según la Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, (2005) a continuación se mide la significancia del estadístico t_p comparando ese valor con el valor de un estadístico t_{tabla} que se obtiene mirando las tablas correspondientes. Para identificar el t_{tabla} que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola o dos colas), en el nivel de significación (α) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula; y en los grados de libertad de test ($n_1 - 1$).

Si $t_p \geq t_{tabla} \rightarrow$ se rechaza H_0 y se acepta H_1 (las medias son diferentes)

Si $t_p < t_{tabla} \rightarrow$ se acepta H_0 y se rechaza H_1 (las medias son iguales)

Capítulo III: Materiales y métodos

3.1. Metodología y tipo de investigación

3.1.1. Diseño de Investigación

En esta investigación, se realizará un diseño de investigación EXPERIMENTAL.

Según nos señala (Sena, 2014, p.20). “Experimental conocido también como diseño de controles aleatorios o modelo experimental, en este tipo de diseño el investigador debe establecer un conjunto de situaciones y relaciones de causas y efectos bajo condiciones específicas y aplicar el método científico donde se observan, miden y evalúan los resultados teniendo en cuenta una variable y observando el comportamiento de las mismas”.

3.1.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación o alcance de investigación será de tipo: PRE-EXPERIMENTAL según Roberto Hernández Sampieri (2006), “la investigación pre-experimental es el tipo de diseño que se caracteriza por un bajo nivel de control, por una baja validez interna y externa”; el inconveniente es que no puedo saber con certeza los efectos producidos al relacionar y vincular entre si el comportamiento mecánico del concreto a flexión con la incorporación de un porcentaje de fibra de carbono como sustituto del cemento portland IP.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es explicativo según Roberto Hernández Sampieri (2006); la investigación explicativa pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian; la cual se determinara las causas que originan la variación de resultados al manipular la variable independiente.

3.1.4. Metodología de Investigación

La metodología que se aplicará en la presente tesis es del tipo CUANTITATIVO

Según (Roberto .H, 2010, p.4) El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa sigue a la otra y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase.

Según Hernández (2014) “Los planteamientos cuantitativos se derivan de la literatura y corresponden a una extensa gama de propósitos de investigación, como: describir tendencias y patrones, evaluar variaciones, identificar diferencias, medir resultados y probar teorías” (p.36).

3.2. Muestra de estudio

- El diseño de mezclas será para un concreto de resistencia a la flexión de $f'c=210$ kg/cm².
- El diseño para la dosificación del concreto la cantidad de agua será la misma para el concreto patrón y el concreto con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado.
- Se utilizará la relación de agua/ cemento / (cemento + fibra de carbono) para los concretos con diferentes porcentajes de fibra de carbono.
- Las muestras de concreto fueron vigas rectangulares con dimensiones de 150mm*150mm*550mm
- La cantidad total de vigas ensayadas fue de acuerdo a la tabla 3.

3.2.1. Tamaño de muestra

CALCULO DE TAMAÑO DE LA MUESTRA DESCONOCIDA EL TAMAÑO DE LA POBLACION

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población y para una investigación Cuantitativa es la siguiente:

$$n_{opt.} = \frac{Z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

Z= nivel de confianza

P= probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= probabilidad de fracaso

E= precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

Z: Valor estandarizado en función del grado de confiabilidad de la muestra calculada, si consideramos trabajar con un 95% de confiabilidad la muestra seleccionada, el valor estandarizado es igual a 1.96.

95% -----Z=1.96 (El más empleado)

E: Error asumido en el cálculo. Toda expresión que se calcula contiene un error de cálculo debido a las aproximaciones decimales que surgen en la división por decimales, error en la selección de la muestra, se puede asumir entre un 1 hasta un 10%, es decir que se asume en valores de probabilidad correspondiente entre un 0.01 hasta un 0.1. se propone la siguiente tabla para valores óptimos del error para el cálculo del número de elementos de una muestra:

Para $N > 10$ ----- se asume $E=0.05$ (un error del 5%)

σ^2 : Varianza de la población = $p \times q$

q: probabilidad de la población que no presenta las características

Este es un parámetro importante, se asume que proporción de la muestra no puede presentar las mismas características de la población debido a los diversos factores subjetivos y objetivos de los individuos u objetos que forman la población. Muchos autores plantean esta probabilidad entre un 0.1 hasta un 25%.

Para $80 < N < 159$ ----- se asume $q = 0.005$ hasta 0.010 (del 0.5 al 1%)

P: probabilidad de la población que presenta las características. Es decir, es la probabilidad que tiene la muestra en poseer las mismas cualidades de la población (homogeneidad) y está determinada por:

$$p + q = 1 \text{ (Probabilidad máxima), } p = 1 - q$$

$$n_{opt.} = \frac{1.96^2 * 0.993 * 0.007}{0.05^2} = 11$$

De acuerdo al cálculo desarrollado se tiene que el número de la muestra es de 11 probetas de las cuales se determinar la resistencia a flexión.

Tabla 3
Números de muestra a realizarse.

Muestra de Concreto		Pruebas a Flexión	
Lamina de Fibra de Carbono	Cemento Portland	Ensayo a 7 días	Ensayo a 28 días
0%	100%	11	11
5%	95%	11	11
10%	90%	11	11
15%	85%	11	11

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Formulación de Hipótesis

Según nos indica Grasseau P. (2003): La hipótesis no es más que la suposición de una realidad que todavía no se ha establecido, quiere decir, que es una conjetura que se realiza sobre el planteamiento que no se conoce y que se ha formulado justamente con el objetivo de llegar a descubrirla (p. 103).

3.3.1. Hipótesis General

La incorporación de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP mejora la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla.

3.3.2. Hipótesis Específica

La incorporación de un porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'c=210$ kg/cm² con agregados de la cantera Unocolla tiene un adecuado proceso de diseño de mezcla.

La incorporación de diferentes porcentajes de la fibra de carbono laminado con agregados de cantera Unocolla, mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso del mezclado.

La incorporación de la fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla mejora la resistencia a flexión del concreto 210 kg/cm² en edades de 7 y 28 días.

El costo del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla es más económico que el concreto convencional.

3.4. Variables de estudios

De acuerdo a esto Sabino (1980) “nos señala que “Entendemos por una variable a el tipo de característica de la realidad que es susceptible de adaptarse a cambios por consiguiente

es aquella que puede cambiar, y variar para un determinado fin u objeto predispuesto para tener un valor fijo” (p.45).

3.4.1. Variable independiente

Dosificación de la fibra de carbono laminado

3.4.2. Variables dependientes

Resistencia a flexión del concreto simple

Tabla 4
Selección de prueba de acuerdo al tipo de variable.

Variable Aleatoria Variable Fija		Nominal Dicotómica	Nominal Politómica	ORDINAL	Numérica
	Un grupo	χ^2 Bondad de Ajuste Binomial	χ^2 Bondad de Ajuste	χ^2 Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
Estudio Transversal	Dos Grupos	χ^2 Bondad de Ajuste corrección de Yates Exacto de Fisher	χ^2 de Homogeneidad	U mann-withney	T de Student (muestra independiente)
Muestras Independientes	Más de Dos Grupos	χ^2 bondad de Ajuste	χ^2 bondad de Ajuste	U mann-withney	ANOVA con un factor INTERsujetos
Estudio Longitudinal	Dos Medidas	MC Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestra Relacionadas)
Muestras Relacionadas	Más de Dos Medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas INTERsujetos

Fuente: Estadística Aplicada una visión instrumental, M. Gonzales y A. Pérez

Tabla 5
Operacionalización de variables.

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Tipo o diseño de la investigación
INDEPENDIENTE Dosificación de la fibra de carbono laminado	Para la dosificación se realizará un buen diseño de mezcla con la finalidad de tener proporciones adecuadas de los materiales.	% de fibra de carbono laminado Trabajabilidad	El estudio de investigación es descriptivo El diseño experimental
DEPENDIENTE: Resistencia a flexión del concreto simple	Es una propiedad material que se manifiesta como esfuerzos ocurridos justo antes de ceder a una prueba de flexión. Se le refuerza al concreto con la adición fibras de carbono laminado con la finalidad de dar una mayor resistencia a la flexión.	Módulo de rotura (kg/cm ²)	El análisis que se realizará será por medio de muestras (briquetas)

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Procedimiento de la investigación

La presente investigación de influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Juliaca se realizará muestras de vigas simples adicionándole al concreto con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado (5%,10% y 15%) de acuerdo al peso del cemento, la cual se desarrollará de la siguiente manera:

Primera etapa:

- Recopilación de la información: se procederá a realizar la revisión bibliográfica y la búsqueda de los antecedentes de la investigación.

- Elaboración del proyecto de tesis: pasa a través de la redacción de un informe escrito cuya presentación es la antesala de la sustentación de la tesis.
- Dimensionamiento: Se realizará a dimensionar las vigas simples de concreto adicionado con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado.

Segunda etapa:

- Elaboración de muestras de vigas simples: en este caso se realizará muestras de vigas para determinar la resistencia a flexión al adicionarle un porcentaje óptimo de fibra de carbono laminado (5%,10% y 15%).
- Experimentación y adquisición de datos: Se realizará a experimentar las muestras de las cuales se obtendrán datos.
- Análisis de datos y comparación de datos experimentales: Se procederá a analizar y comparar los datos obtenidos de la experimentación.
- Estimación del costo: Una vez finalizado el proyecto de investigación se hallará el costo del concreto adicionado con un porcentaje óptimo de fibra de carbono laminado.

3.5.1. Materiales

3.5.1.1. Cemento

Para la presente investigación se utilizará cemento portland tipo IP, marca RUMI con peso específico 2.82 gr/cm³.

3.5.1.2. Agregado Fino

El agregado fino que se utilizará para la investigación será extraído de la cantera Unocolla.

3.5.1.3. Agregado Grueso

El agregado grueso que se utilizará para la investigación será extraído de la cantera Unocolla, el tamaño estándar del agregado grueso según el ASTM C33.

Tabla 6
Características de los agregados.

Descripción	Unidad	Cemento	Agregados	
			Fino	Grueso
Descripción		Tipo IP Rumi	-	-
Tamaño máximo	pulg	-	N°8	3/4"
Peso específico	gr/cc	-	2.59	2.44
Peso unitario suelto	kg/m3	-	1603	1477
Peso unitario compacto	kg/m3	-	1740	1593
Contenido de humedad	%	-	5.20%	3.60%
Absorción	%	-	4.17%	2.85%
Módulo de fineza		-	2.69	6.27

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4. Fibra de Carbono Laminado

Los porcentajes adoptados de la fibra de carbono laminado que se considerara en la presente investigación son de 5%, 10% y 15% con respecto al peso de los materiales.

3.5.1.5. Agua

En la presente investigación se utilizará agua potable de la Ciudad Universitaria (Upeu - Juliaca), la misma que se viene utilizando para distintas construcciones en la misma universidad.

3.6. Diseño de Mezcla del Concreto

El diseño de mezcla que se utilizara por el comité 211 método del ACI, este método desarrolla un procedimiento de diseño de mezcla basada en algunas tablas. La resistencia a

la flexión de diseño se plantea 210 kg/cm² (a los 28 días), por lo que es considerado como la resistencia mínima en elementos estructurales.

Rivva (2007), el procedimiento para la selección de las proporciones que se presenta en este método es aplicable a concreto de peso normal.

3.6.1. Métodos de diseño del ACI

Pasquel (1993) Menciona que este método está basado que los agregados cumplan con los requisitos físicos y granulométricos establecidos por la norma ASTM C-33, define el agua de mezcla empíricamente en función del tamaño máximo del agregado y del Slump como medida de trabajabilidad, establece de manera empírica el volumen de agregados grueso compactado en seco en función del tamaño máximo de la piedra y el módulo de fineza de la arena exclusivamente y correlaciona la relación Agua/Cemento en peso con la resistencia a flexión.

Se realizo ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera unocolla, para poder realizar el diseño de mezcla, se tuvo que hacer los siguientes ensayos en los laboratorios:

Agregados

- Análisis granulométrico (NTP 400.037)
- Peso específico y absorción agregado fino (NTP 400.022)
- Peso específico y absorción agregado grueso (NTP 400.021)
- Peso unitario agregado fino y grueso (NTP 400.017)
- Contenido de humedad (NTP 400.016)

3.6.2. Diseño de concreto patrón

Se presenta la secuencia del diseño de mezcla del concreto patrón según las recomendaciones del comité 211 del ACI lo cual se muestra en el siguiente procedimiento:

a) cálculo de la resistencia promedio

Para realizar el diseño de mezcla y tener una adecuada resistencia se determinará por la siguiente tabla:

Tabla 7
Resistencia Promedio.

$f'c$	$F'cr$
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: Enrique Rivva López
"Diseño de mezcla". Pág. 46

La resistencia de diseño de 210 kg/cm², se considera el factor $f'c + 84$, obteniendo una resistencia promedio de 294 kg/cm².

b) Selección del tamaño máximo nominal del agregado

Montejo (2013) indica que la elección del TMN puede no estar limitada por las dimensiones mínima del elemento a construir, sino de otros factores como el equipo disponible para mezclar o el método de colocación del concreto requerido, recomienda el uso de agregados cuyo TMN varia 19mm (3/4") y 37.5mm (1 1/2").

En la investigación el tamaño máximo será de 1" y el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado es de 3/4".

c) Selección del asentamiento

Para el diseño de mezcla se considera con un asentamiento plástico de 3" a 4" para garantizar la trabajabilidad del concreto en la presente investigación.

d) Selección del volumen unitario de agua de diseño

Tabla 8

Volumen unitario de agua.

Asentamiento	Agua en Lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados								Condición
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"	
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125	
3" a 4"	225	215	200	193	175	170	160	140	Concreto sin aire incorporado
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	---	

Fuente: Enrique Rivva López, "Diseño de mezcla". Pág. 58

e) Selección del contenido de aire

Tabla 9

Contenido de aire atrapado.

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezcla"

El contenido de aire atrapado para un agregado grueso de TMN de 3/4" es de 2.0%.

f) Selección de la relación agua – cemento

Tabla 10
Relación agua /cemento.

F'cr (28 días)	C° sin aire incorporado	C° con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Fuente: Enrique Rivva López “Diseño de Mezcla”

Según la resistencia promedio correspondiente es de 294 kg/cm², en la tabla observamos los valores de un concreto sin aire incorpora, la relación de agua – cemento es de 0.56.

g) Factor cemento

$$FC = \frac{\text{Vol. unitario de agua}}{a/c}$$

$$FC = \frac{200}{0.56} = 357.14\text{kg/m}^3$$

h) selección de contenido de agregado grueso

Tabla 11
Peso de agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de fineza de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.61	0.60

1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Enrique Rivva López, "Diseño de Mezcla" Pág. 121.

El módulo de fineza del agregado fino es de 2.69 y el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/4" con un valor de 0.627 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto.

Para el peso del agregado grueso = $0.627 \times 1593 = 998.811 \text{ kg/m}^3$

i) cálculo de volúmenes absolutos

$$\text{cemento} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{P. e. del cemento}}$$

$$\text{cemento} = \frac{357.14}{3000 \text{ kg/m}^3} = 0.119 \text{m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Vol. unit. agua}}{\text{P. e. del agua}}$$

$$\text{Agua} = \frac{200}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.200 \text{m}^3$$

$$\text{Aire} = \% \text{ de aire atrapado} = 2.0\% = 0.02 \text{m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{\text{Peso Agregado Sec y compactado}}{\text{p. e. del agregado}}$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{998.811 \text{ kg}}{2440 \text{ kg/m}^3} = 0.409 \text{ m}^3$$

j) cálculo de contenido de agregado fino

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = 1 - \text{Vol. absoluto conocido}$$

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = 1 - 0.748 = 0.252 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.252 \text{ m}^3 * 2590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 652.68 \text{ m}^3$$

Cantidad de material

Cemento: 357.143 kg/m³

Agregado fino 652.68 kg/m³

Agregado grueso 998.811 kg/m³

Agua efectiva 200 lt/m³

3.6.3. Diseño de mezcla de concreto para diferentes porcentajes de fibras de carbono laminado

La incorporación de fibras de carbono laminado se realizó en 5%, 10% y 15% con respecto al peso de los materiales.

Para determinar el contenido de fibra de carbono laminado del ACI anota: “ los métodos para proporcionar y evaluar las mezclas de concreto que contienen fibras de carbono basándose en mezclas de prueba usando un rango de proporciones y evaluando sus efectos en la resistencia, los requerimientos de agua, y otras propiedades para determinar las cantidades óptimas de fibra de carbono, son basados en el porcentaje de fibra de carbono por el peso total de materiales: Clase F (15 al 25%) y Clase C (15 al 35%) ”.

Giraldo (2006) “La relación $a/(c+fc)$ se obtiene partiendo de la relación a/c , para esto el ACI recomienda el uso de equivalencia en volumen o equivalencias en peso”.

$$\frac{a}{c + fc} = \frac{a}{c}, \text{ equivalencia en peso}$$

3.6.3.1. Método por volumen absoluto equivalente

En los anexos se encontrará el proceso de diseño de mezcla por el método de volumen absoluto equivalente.

En la tabla siguiente se mostrará las proporciones obtenidas:

Tabla 12

Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente.

Descripción	Pesos kg/m ³			
	100%	95%	90%	85%
% Cemento	100%	95%	90%	85%
% Fibra de carbono	0%	5%	10%	15%
Relación a/(c+fc)	0.52	0.55	0.58	0.61
Cemento	357.14	339.283	321.426	303.569
Fibra de carbono	0.00	17.857	35.714	53.571
Agregado fino	652.68	652.68	652.68	652.68
Agregado grueso	998.811	998.811	998.811	998.811
Agua	200	200	200	200

Fuente: Elaboración Propia

Giraldo (2006), Aunque uno de los efectos de la fibra en el concreto fresco, notado por varios autores, consiste en la reducción del agua esto produce una mala trabajabilidad, se ha encontrado que la variación no es significativa por lo que la estimación del contenido inicial del agua se mantiene igual a lo señalado en el diseño del concreto patrón sin fibra de carbono.

3.6.4. Elaboración de testigos

En la presente investigación se utilizó vigas rectangulares de 150mm * 150mm * 550mm, luego se elaboró el concreto de acuerdo al diseño obtenido y finalmente se procedió con el curado de las respectivas vigas.

Equipos a utilizar

- Mezclador de concreto trompo de 9 pies³
- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco
- Molde rectángulas para viga simple de 0.15*0.15*0.55 metros.
- Cono de Abrans.
- Varilla 5/8 de pulgada x 60 cm de longitud.
- Balanza de Precisión.
- Bandeja y Badilejo.
- Wincha.
- Combo de goma de 0.5 Kg.
- Máquina de prueba a Flexión.

Moldeado de testigos de prueba

- Se utilizó petróleo para las paredes y base interior en los moldes rectangulares
- Se llenó el molde en tres capas iguales
- Se compactó cada capa con 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Finalmente se enrasó la parte superior con la plancha de albañil para obtener la superficie lisa y se procedió a colocar la fecha y el tipo de concreto vaciado.

Proceso de curado de testigos

- Los testigos de concreto deberán de estar expuestos a temperatura mínima de 23 °C, pero las condiciones donde estaban expuestos los testigos fueron a temperatura de agua del curado a 13°C, por lo que esta temperatura es la representativa en el departamento de Puno.

Capítulo IV: Resultados y discusión

4.1. Análisis y presentación de resultados

4.1.1. Porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado

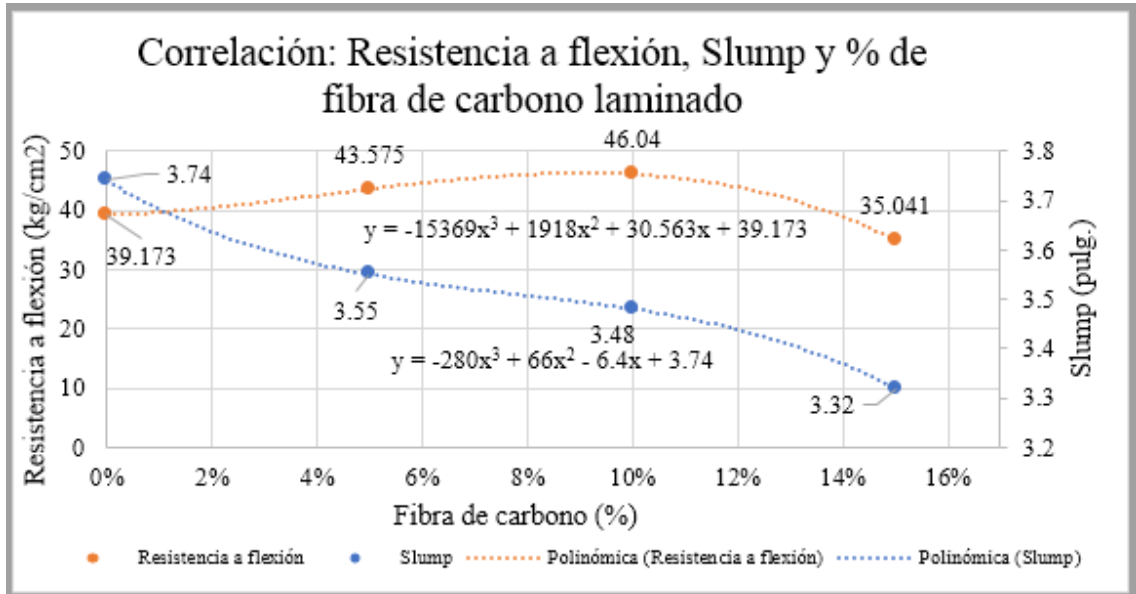


Figura 22. Correlación de la resistencia a flexión, Slump y % de fibra de carbono laminado.

Según la correlación que se presenta en la fig. 23, para la ecuación de la línea de tendencia se trabajó con un tercer grado de correlación, esto quiere decir que teniendo un concreto patrón la resistencia es de 39.173 kg/cm² con un Slump de 3.74”, incorporando 5%, 10% y 15% de fibra de carbono laminado la resistencia es de 43.575 kg/cm², 46.04kg/cm² y 35.041 kg/cm² a edad de 28 días con un Slump de 3.55”, 3.48” y 3.32”.

El análisis matemático te muestra la fórmula de la correlación para saber el máximo valor de “X”, como la resistencia a flexión y el Slump está en función de “X” que es el % de fibra de carbono laminado, calculado la ecuación con los resultados de ensayos obtenidos podremos tener el % óptimo de fibra de carbono laminado a utilizar.

Para obtener el porcentaje óptimo de fibra de carbono laminado se derivó la ecuación de resistencia a flexión, obteniendo así el porcentaje adecuado que es de 9% con una resistencia de 46.26 kg/cm² y un Slump de 3.49”.

4.1.2. Trabajabilidad

Para medir la trabajabilidad de la mezcla se utilizó la prueba del asentamiento en el cono de Abrahams, siguiendo la norma ASTM C 143. Con el ensayo de asentamiento se logra apreciar la presencia de fibra de carbono laminado en el concreto fresco.

Los resultados de los ensayos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13

Medidas de asentamiento en diferentes fechas del colocado de concreto.

Cemento	Fibra de Carbono	Asentamiento		Asentamiento	
		Centímetros	Pulgadas	Promedio (cm)	Promedio (Pulg)
Fecha de Medición: 02 de septiembre del 2019					
100%	0%	9.6	3.77 "	9.5	3.74 "
		9.2	3.62 "		
		9.7	3.82 "		
		9.5	3.74 "		
Fecha de Medición: 04 de septiembre del 2019					
95%	5%	9.1	3.58 "	9.0	3.55 "
		9.5	3.74 "		
		8.9	3.50 "		
		8.6	3.39 "		
Fecha de Medición: 05 de septiembre del 2019					
90%	10%	8.5	3.35 "	8.83	3.48 "
		8.7	3.43 "		
		9.7	3.82 "		
		8.4	3.31 "		
Fecha de Medición: 09 de septiembre del 2019					
85%	15%	8.2	3.23 "	8.43	3.32 "
		8.3	3.27 "		

8.7	3.43 "
8.5	3.35 "

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1. Comparación del Slump en el concreto

La consistencia de la mezcla es afectada por la adición de fibra de carbono laminado, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 14
Medición del Slump.

Cemento	Descripción Fibra de carbono	Asentamiento Medido (pulg)				Slum (Pulg)	Trabajabilidad
		1er ensayo	2do ensayo	3er ensayo	4to ensayo		
100%	0%	3.77"	3.62"	3.82"	3.74"	3.74"	trabajable
95%	5%	3.58"	3.74"	3.50"	3.39"	3.55"	trabajable
90%	10%	3.35"	3.43"	3.82"	3.31"	3.48"	trabajable
85%	15%	3.23"	3.27"	3.43"	3.35"	3.32"	trabajable

Fuente: Elaboración Propia

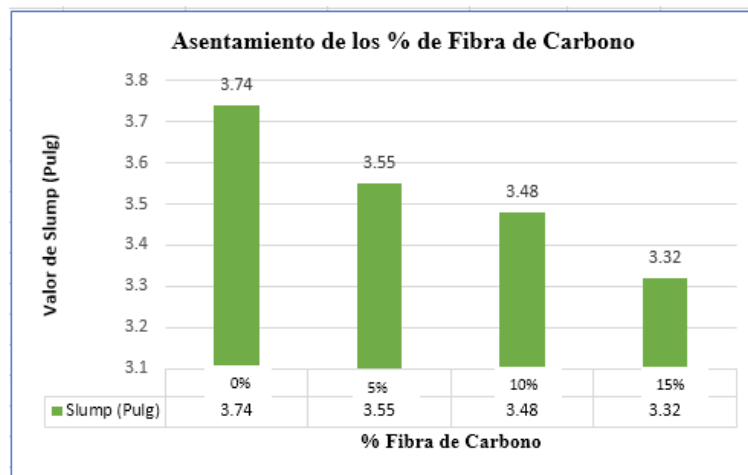


Figura 23. Efectos del % de fibras de carbono laminado en el asentamiento de las mezclas de concreto.

Se observa que a medida que aumenta la sustitución de fibra de carbono laminado por cemento a la mezcla del concreto, la consistencia es menor.

Los resultados obtenidos al añadir fibra de carbono laminado a la mezcla no mejoro la trabajabilidad, por lo contrario, se obtuvieron menores asentamientos a medida que se incrementaron los diferentes porcentajes para las mezclas con láminas de fibra de carbono.

Se debe a que la sustitución de fibra de carbono laminado por el cemento portland se realizó en peso, por lo tanto, al tener una baja densidad la fibra de carbono se tuvo un mayor volumen de cementantes. Para la validación de estos datos se realizará el análisis estadístico.

4.1.3. Efecto del % de fibra de carbono laminado en el Slump

Según el NTP 339.035 asentamiento del concreto, para características plásticas el Slump deberá de ser de 3" a 4" trabajable, los resultados obtenidos estarías dentro del parámetro, pero, sin embargo, no serían favorables con respecto al concreto patrón.

El resultado demuestra que la consistencia del concreto es afectada a medida que se aumenta el % de fibra de carbono laminado. Se observa que el asentamiento para el concreto patrón es de 3.74", disminuyendo en 3.55", 3.48" y 3.32" con 5%, 10% y 15% de fibra de carbono, lo cual no ayudaría en la trabajabilidad.

4.1.4. Resistencia a la flexión

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 15

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 100% de cemento + 0% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm ²)	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura a alcanzar (Kg/cm ²)	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm ²)
7	825.00	210	17.88	2.914	29.138	29.21	
7	825.00	210	16.90	2.754	27.541	29.21	

7	825.00	210	18.75	3.056	30.556	29.21	
7	825.00	210	19.37	3.157	31.566	29.21	
7	825.00	210	16.21	2.642	26.416	29.21	
7	825.00	210	19.45	3.170	31.696	29.21	29.344
7	825.00	210	19.82	3.230	32.299	29.21	
7	825.00	210	16.19	2.638	26.384	29.21	
7	825.00	210	17.89	2.915	29.154	29.21	
7	825.00	210	18.11	2.951	29.513	29.21	
7	825.00	210	17.50	2.852	28.519	29.21	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 100% de cemento + 0% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm²)	Resistencia de diseño (Kg/cm²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm²)
28	825.00	210	24.30	3.960	39.60	36.23	
28	825.00	210	24.12	3.931	39.307	36.23	
28	825.00	210	23.14	3.771	37.710	36.23	
28	825.00	210	22.98	3.745	37.449	36.23	
28	825.00	210	25.50	4.156	41.556	36.23	
28	825.00	210	23.89	3.893	38.932	36.23	39.174
28	825.00	210	25.38	4.136	41.360	36.23	
28	825.00	210	23.17	3.776	37.759	36.23	
28	825.00	210	22.75	3.707	37.074	36.23	
28	825.00	210	25.49	4.154	41.539	36.23	
28	825.00	210	23.70	3.862	38.622	36.23	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 95% de cemento + 5% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm²)	Resistencia de diseño (Kg/cm²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm²)
7	825.00	210	20.26	3.302	33.016	29.21	
7	825.00	210	20.45	3.333	33.326	29.21	
7	825.00	210	19.89	3.241	32.413	29.21	
7	825.00	210	19.54	3.184	31.843	29.21	
7	825.00	210	20.59	3.355	33.554	29.21	
7	825.00	210	18.98	3.093	30.930	29.21	32.385
7	825.00	210	20.58	3.354	33.538	29.21	
7	825.00	210	19.82	3.230	32.299	29.21	
7	825.00	210	20.05	3.267	32.674	29.21	
7	825.00	210	18.72	3.051	30.507	29.21	
7	825.00	210	19.72	3.214	32.136	29.21	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 95% de cemento + 5% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm²)	Resistencia de diseño (Kg/cm²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm²)
28	825.00	210	26.35	4.294	42.941	36.23	
28	825.00	210	27.13	4.421	44.212	36.23	
28	825.00	210	25.15	4.099	40.985	36.23	
28	825.00	210	26.48	4.315	43.153	36.23	
28	825.00	210	27.51	4.483	44.831	36.23	
28	825.00	210	26.85	4.376	43.756	36.23	43.575
28	825.00	210	27.43	4.470	44.701	36.23	

28	825.00	210	26.31	4.288	42.876	36.23
28	825.00	210	26.86	4.377	43.772	36.23
28	825.00	210	26.74	4.358	43.576	36.23
28	825.00	210	27.32	4.452	44.521	36.23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 90% de cemento + 10% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm ²)	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm ²)
7	825.00	210	21.25	3.463	34.630	29.21	
7	825.00	210	20.23	3.297	32.967	29.21	
7	825.00	210	18.18	2.963	29.627	29.21	
7	825.00	210	21.75	3.544	35.444	29.21	
7	825.00	210	21.05	3.430	34.304	29.21	
7	825.00	210	21.26	3.465	34.646	29.21	33.293
7	825.00	210	20.98	3.419	34.190	29.21	
7	825.00	210	19.95	3.251	32.511	29.21	
7	825.00	210	19.53	3.183	31.827	29.21	
7	825.00	210	20.70	3.373	33.733	29.21	
7	825.00	210	19.85	3.235	32.348	29.21	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 90% de cemento + 10% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm ²)	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm ²)
28	825.00	210	28.13	4.584	45.841	36.23	

28	825.00	210	27.56	4.491	44.913	36.23	
28	825.00	210	27.13	4.421	44.212	36.23	
28	825.00	210	28.40	4.628	46.281	36.23	
28	825.00	210	29.12	4.745	47.455	36.23	
28	825.00	210	28.56	4.654	46.542	36.23	46.040
28	825.00	210	27.85	4.539	45.385	36.23	
28	825.00	210	28.85	4.701	47.015	36.23	
28	825.00	210	29.15	4.750	47.504	36.23	
28	825.00	210	29.57	4.819	48.188	36.23	
28	825.00	210	26.45	4.310	43.104	36.23	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 85% de cemento + 15% de fibra de carbono laminado a una edad de 7 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm²)	Resistencia de diseño (Kg/cm²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm²)
7	825.00	210	21.45	3.496	34.956	29.21	
7	825.00	210	21.05	3.430	34.304	29.21	
7	825.00	210	20.78	3.386	33.864	29.21	
7	825.00	210	19.54	3.184	31.843	29.21	
7	825.00	210	20.13	3.280	32.804	29.21	
7	825.00	210	19.75	3.219	32.185	29.21	33.144
7	825.00	210	20.61	3.359	33.587	29.21	
7	825.00	210	21.10	3.439	34.385	29.21	
7	825.00	210	20.25	3.300	33.000	29.21	
7	825.00	210	18.53	3.020	30.197	29.21	
7	825.00	210	20.53	3.346	33.456	29.21	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Resistencia a la flexión del concreto 210 kg/cm² con 85% de cemento + 15% de fibra de carbono laminado a una edad de 28 días.

Edad (Días)	Área de sección (cm ²)	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)	Fuerza (KN)	Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura a alcanzar	Promedio de Módulo de rotura (Kg/cm ²)
28	825.00	210	19.31	3.147	31.468	36.23	
28	825.00	210	22.21	3.619	36.194	36.23	
28	825.00	210	24.84	4.048	40.480	36.23	
28	825.00	210	21.51	3.505	35.053	36.23	
28	825.00	210	21.58	3.517	35.167	36.23	
28	825.00	210	19.14	3.119	31.191	36.23	35.041
28	825.00	210	22.75	3.707	37.074	36.23	
28	825.00	210	24.66	4.019	40.187	36.23	
28	825.00	210	19.62	3.197	31.973	36.23	
28	825.00	210	19.88	3.240	32.397	36.23	
28	825.00	210	21.03	3.427	34.271	36.23	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Evolución de la Resistencia a la flexión 210 kg/cm².

Cemento	% de Fibra de Carbono laminado	Promedio de Modulo de Rotura (Kg/cm ²)	
		7 días	28 días
100	0%	29.344	39.173
95	5%	32.385	43.575
90	10%	33.293	46.040
85	15%	33.144	35.041

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5. Interpretación de resultados de la resistencia a la flexión

El análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de la investigación, es de suma importancia, para realizar un aporte en cuanto a los concretos con fibra de carbono laminado.

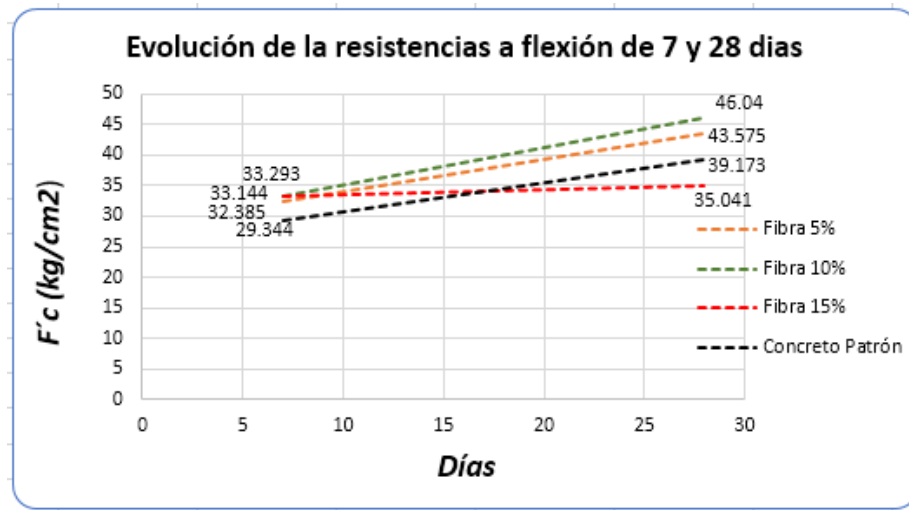


Figura 24. Evolución de la resistencia a flexión 7 y 28 días.

Analizando los datos de la Fig. 25 se nota que la resistencia a la flexión a los 28 días de edad que se obtiene para el concreto patrón es de 39.173 kg/cm², alcanzando la resistencia de diseño $f'c=210$ kg/cm². Los resultados de las vigas en las que fueron añadidas fibra de carbono laminado en los diferentes porcentajes 5%, 10% y 15% con respecto al peso del cemento, se observa claramente que la resistencia a la flexión a los 28 días es superior al concreto patrón en los porcentajes de 5% y 10%, pero sin embargo el porcentaje de 15% disminuye con respecto al concreto patrón.

4.1.6. Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 5% con respecto al peso del cemento.

Observamos la siguiente figura:

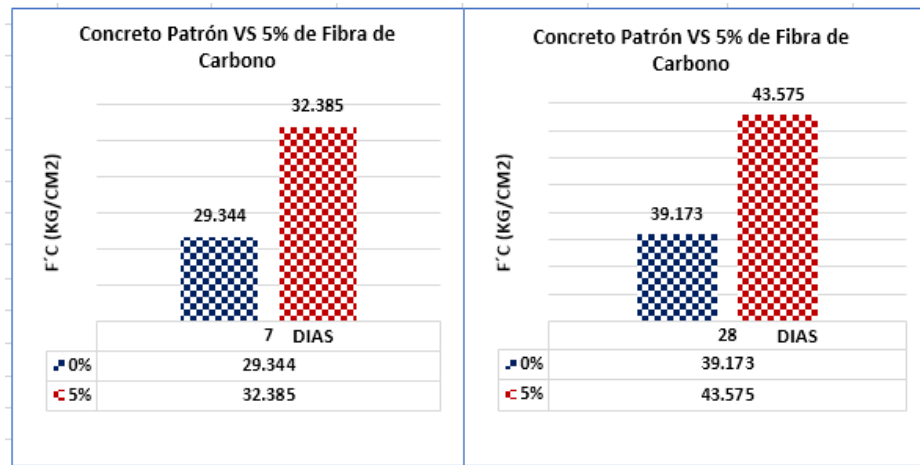


Figura 25. Efecto del 5% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.

El $f'c$ desarrollado a los 7 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 5% es de 32.385 kg/cm², que representa a 102.68% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 29.344 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la flexión en 9.64%.

El $f'c$ desarrollado a los 28 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 5% es de 43.575 kg/cm², que representa a 138.16% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 39.173 kg/cm². incrementando la resistencia a la flexión en 13.96%.

4.1.7. Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 10% con respecto al peso del cemento.

Observamos la siguiente figura:

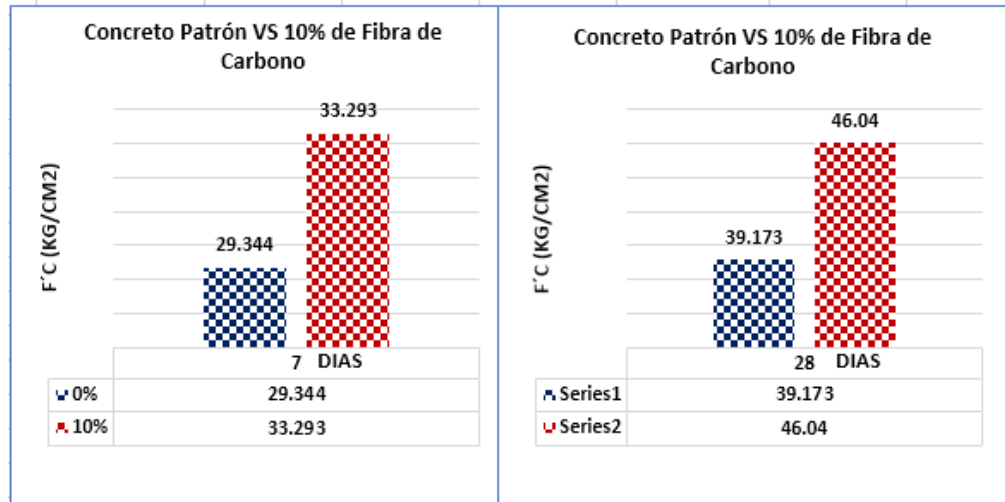


Figura 26. Efecto del 10% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.

El $f'c$ desarrollado a los 7 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 10% es de 33.293 kg/cm², que representa a 105.56 % respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 29.344 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la flexión en 12.52%.

El $f'c$ desarrollado a los 28 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 10% es de 46.04 kg/cm², que representa a 145.97% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 39.173 kg/cm². incrementando la resistencia a la flexión en 21.77%.

4.1.8. Interpretación de datos: Concreto Patrón vs Concreto con fibra de carbono laminado incorporado al 15% con respecto al peso del cemento.

Observamos la siguiente figura:

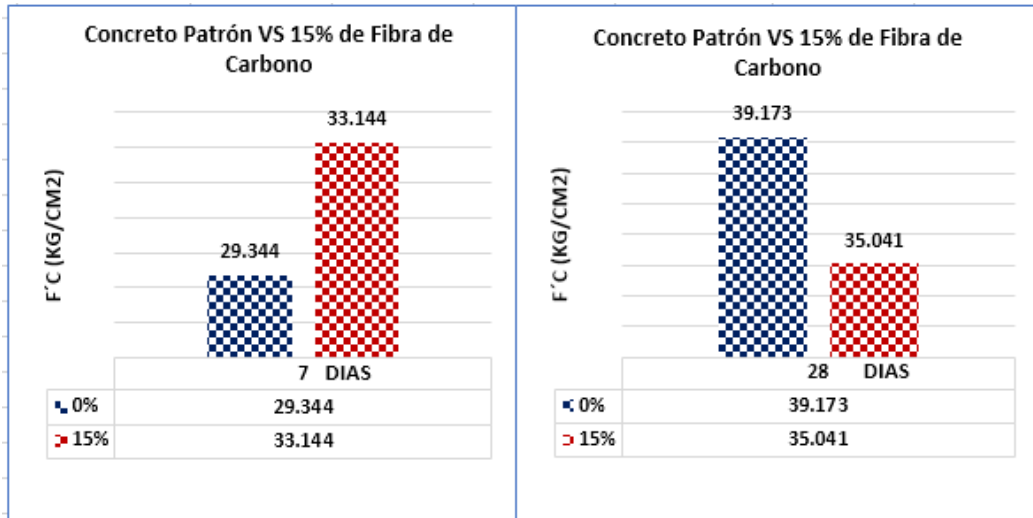


Figura 27. Efecto del 15% de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión.

El $f'c$ desarrollado a los 7 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 15% es de 33.144 kg/cm², que representa a 105.09 % respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 29.344 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la flexión en 12.05%.

El $f'c$ desarrollado a los 28 días por el concreto con fibra de carbono laminado incorporado en 15% es de 35.041 kg/cm², que representa a 111.10% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón de 39.173 kg/cm². disminuyendo la resistencia a la flexión en 13.10%.

4.1.9. Efecto del % de fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto.

Según Ing. Gerardo A. Rivera L. para la resistencia a flexión teórica se realizará una correlación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión de esa manera tener el MR teórica, se utilizó la NTP 339.078 para el MR de las muestras ensayadas en las tablas 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 se puede observar los resultados.

La resistencia a flexión del concreto incremento 13.96%, 21.77% y disminuyo 13.10% incorporando 5%, 10% y 15% de fibra de carbono laminado, en la figura 25 se puede observar claramente que la incorporación de 5% y 10% incrementa la resistencia a flexión, pero sin embargo el 15% disminuye la resistencia a flexión.

Las anteriores investigaciones que se realizaron por ejemplo de Lao Odicio en el 2007, también obtuvo mayor resistencia al añadir fibra de carbono en 5% y 10%.

4.1.10. Comparación general de la resistencia de muestras ensayadas Vs la resistencia teórica

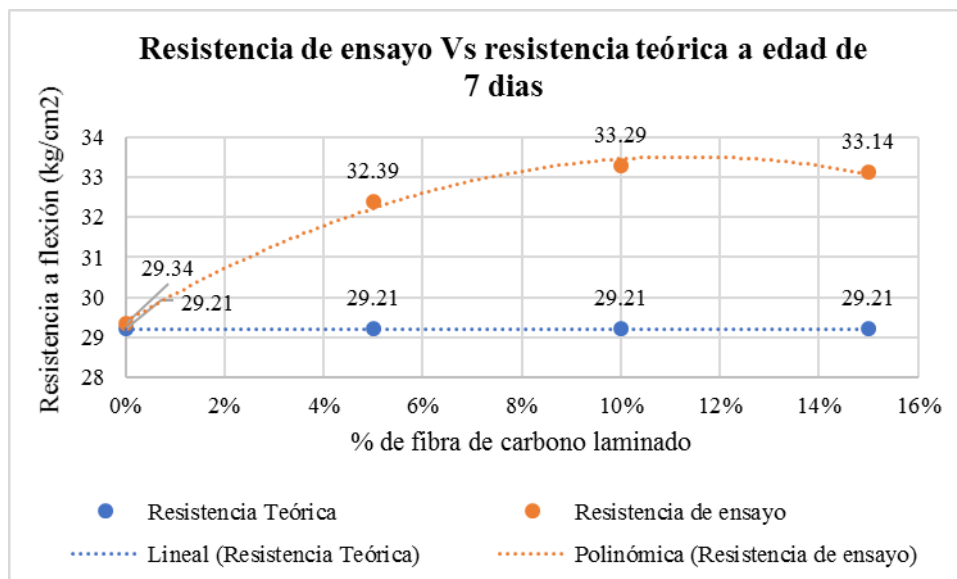


Figura 28. Comparación de la resistencia obtenida Vs la resistencia teórica a edad de 7 días.

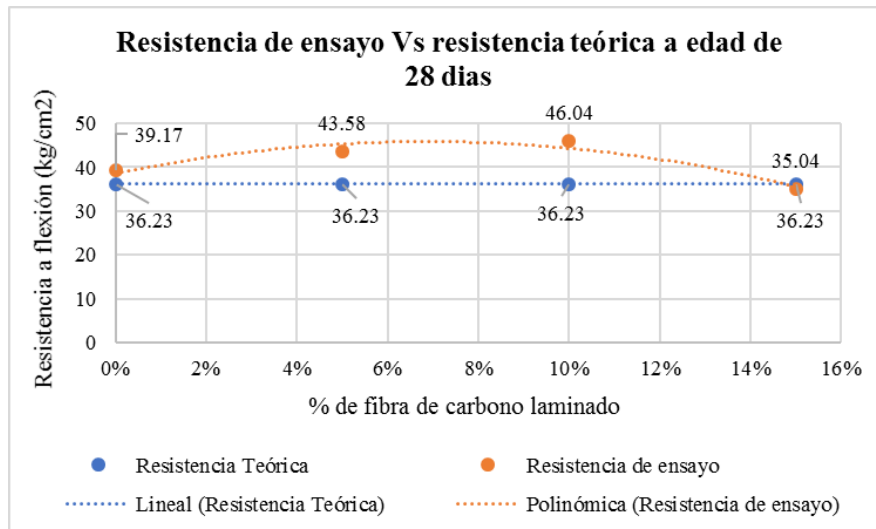


Figura 29. Comparación de la resistencia obtenida Vs la resistencia teórica a edad de 28 días.

Como se observa en la fig. 29 y 30, se está comparando la resistencia de las muestras ensayadas con la resistencia teórica que se debe de alcanzar a edad de 7 y 28 días, los resultados obtenidos son favorables, esto quiere decir que el diseño de mezcla para el concreto patrón y para diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado está bien elaborado.

4.2. Análisis de costos

El análisis de costo del concreto patrón y concreto con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado se realizará con los materiales que intervienen en la mezcla para 1 m³ de concreto.

En las siguientes tablas se muestra el costo unitario de materiales:

Tabla 24

Costo unitario de materiales para el concreto patrón sin fibra de carbono laminado (cemento 100% + fibra de carbono 0%).

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bol.	8.403	22.00	184.866
Agregado fino	m ³	0.406	12.14	4.92884
Agregado grueso	m ³	0.676	6.53	4.41428
Agua efectiva	m ³	0.1858	4.5	0.8361
Fibra de Carbono	kg	0.000	12.5	0.00
Costo unitario total para 1 m ³				S/ 195.045

Tabla 25

Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de fibra de carbono laminado (cemento 95% + fibra de carbono 5%).

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bol.	7.98285	22.00	175.623
Agregado fino	m3	0.406	12.14	4.929
Agregado grueso	m3	0.676	6.53	4.414
Agua efectiva	m3	0.1858	4.5	0.836
Fibra de Carbono	kg	0.42015	12.5	5.252
Costo unitario total para 1 m3				S/ 191.054

Tabla 26

Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de fibra de carbono laminado (cemento 90% + fibra de carbono 10%).

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bol.	7.5627	22.00	166.379
Agregado fino	m3	0.406	12.14	4.929
Agregado grueso	m3	0.676	6.53	4.414
Agua efectiva	m3	0.1858	4.5	0.836
Fibra de Carbono	kg	0.8403	12.5	10.504
Costo unitario total para 1 m3				S/ 187.062

Tabla 27

Costo unitario de materiales para el concreto patrón con la adición de 5 % de fibra de carbono laminado (cemento 85% + fibra de carbono 15%).

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U.	Parcial
Cemento	bol.	7.14255	22.00	157.136
Agregado fino	m3	0.406	12.14	4.929
Agregado grueso	m3	0.676	6.53	4.414
Agua efectiva	m3	0.1858	4.5	0.836
Fibra de Carbono	kg	1.26045	12.5	15.756
Costo unitario total para 1 m3				S/ 183.071

Tabla 28

Resumen del costo unitario de materiales del concreto para diferentes dosificaciones.

Descripción	Precio	% Costo
Cemento 100% + Fibra de carbono 0%	S/ 195.045	100.00%
Cemento 95% + Fibra de carbono 5%	S/ 191.054	97.95%
Cemento 90% + Fibra de carbono 10%	S/ 187.062	95.91%
Cemento 85% + Fibra de carbono 15%	S/ 183.071	93.86%

4.2.1. Costos de producción del concreto normal y concreto agregado con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado.

En la tabla 24, 25, 26 y 27, se observa que los resultados de costo unitario de los materiales del concreto para 1 m³ sin fibra de carbono laminado es S/ 195.045 lo que representa un 100%, para el 5% de fibra de carbono laminado es S/ 191.054 lo que representa un 97.95% en lo que disminuye el 2.05%, para el 10% de fibra de carbono laminado es S/ 187.062 lo que representa un 95.91% disminuyendo el 4.09% , y por ultimo para el 15% de fibra de carbono laminado es S/ 183.071 lo que representa un 93.86% disminuyendo el costo del concreto en 6.14% con respecto al concreto patrón.

4.3. Prueba de hipótesis

La hipótesis a probar es la siguiente:

La incorporación de porcentajes de fibra de carbono laminado como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera unocolla mejora la resistencia a flexión.

Lo que se va a probar es: Si al sustituir fibra de carbono laminado por el cemento mejora la resistencia a flexión, en diferentes porcentajes de peso del cemento de 5%, 10%, y 15%, frente al concreto patrón (sin fibra de carbono).

4.3.1. Prueba de hipótesis para la resistencia a flexión del concreto

Paso 1: Plantear Hipótesis nula (H₀) e Hipótesis alternativa (H₁)

Se probará la hipótesis, si la resistencia del concreto mejora con el sustituto de fibra de carbono por el cemento, en los porcentajes 5%, 10% y 15% vs un concreto patrón (sin fibra de carbono).

Ho: La incorporación de un porcentaje de fibra de carbono como sustituto del cemento portland mejora la resistencia a flexión del concreto.

H1: La incorporación de un porcentaje de fibra de carbono como sustituto del cemento portland no mejora la resistencia a flexión del concreto.

La hipótesis nula (Ho): $\mu \bar{X}_{cp} \leq \mu \bar{X}_{fc}$

La hipótesis alternativa (H1): $\mu \bar{X}_{cp} > \mu \bar{X}_{fc}$

Donde:

$\mu \bar{X}_{fc}$: Representa a la media aritmética de la resistencia a flexión del concreto con diferentes proporciones de fibra de carbono.

$\mu \bar{X}_{cp}$: Representa la media aritmética de la resistencia a flexión del concreto patrón (sin fibra de carbono)

Paso 2: Nivel de significancia

Cruz Ramírez (2011), “en la práctica se acostumbra a utilizar niveles de significación del 0.05 o 0.01, aunque pueden utilizarse otros valores, pero si elegimos el nivel de significancia del 0.05 o 5% estaría con un 95% de confianza lo que tomaría a una decisión adecuada para un proyecto de investigación, es decir que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que puede cometerse un error con una probabilidad de 0.05”

Se considerará el nivel de significancia de 0.05 para proyectos de investigación.

Paso 3: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba

Utilizaremos en la presente investigación el t de Student para la prueba de hipótesis por lo que tenemos variables independientes cuantitativas.

Prueba de hipótesis con la distribución T de Student

La hipótesis a probar es: la incorporación de un porcentaje de fibra de carbono como sustituto del cemento portland mejora la resistencia a flexión del concreto.

La hipótesis de estudio será de la siguiente forma:

$$\mu \bar{X}_{cp} \leq \mu \bar{X}_{fc}$$

La hipótesis nula (Ho): $\mu \bar{X}_{cp} \leq \mu \bar{X}_{fc}$

La hipótesis alternativa (H1): $\mu \bar{X}_{cp} > \mu \bar{X}_{fc}$

Por consiguiente, se trata de un Test de una sola cola, el estadístico de prueba para una distribución de t-student con $n_1 - 2$ grados de libertad es la siguiente:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum x - x^2}{n - 1}}$$

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

\bar{X}_{fc} = Media de la resistencia a flexión del concreto con fibras de carbono en diferentes proporciones de pesos de 5%, 10% y 15% con respecto al cemento.

\bar{X}_{cp} = Media de la resistencia a flexión del concreto patrón.

A. Cálculo de la media aritmética y desviación standard del concreto patrón

- **Cálculo de la media aritmética:**

$$\bar{X} = \frac{\sum n}{n} = 39.17$$

- **Cálculo de la desviación standard del concreto patrón**

$$S = \sqrt{\frac{28.18}{11 - 1}} = 1.68$$

Tabla 29

Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto patrón.

Resistencia a flexión (X)	Media aritmética (X - \bar{X})	(X - \bar{X})²
39.60	39.60 - 39.17 = 0.43	0.18
39.31	39.31 - 39.17 = 0.14	0.02
37.71	37.71 - 39.17 = -1.46	2.14
37.45	37.45 - 39.17 = -1.72	2.97
41.56	41.56 - 39.17 = 2.39	5.69
38.93	38.93 - 39.17 = -0.24	0.06
41.36	41.36 - 39.17 = 2.19	4.78
37.76	37.76 - 39.17 = -1.41	2.00
37.07	37.07 - 39.17 = -2.10	4.43
41.54	41.54 - 39.17 = 2.37	5.60
38.62	38.62 - 39.17 = -0.55	0.31
	Sumatoria	28.18

Fuente: Elaboración Propia

B. Cálculo de la media aritmética y desviación standard (diseño 01)

- **Cálculo de la media aritmética:**

$$\bar{X} = 43.58$$

- **Cálculo de la desviación standard del concreto con 5% de fibra de carbono**

$$S = \sqrt{\frac{11.96}{11 - 1}} = 1.09$$

- **Cálculo de t_p (estadístico de prueba) del concreto con 5% de fibra de carbono**

$$t_p = \frac{39.17 - 43.58}{1.09 * \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{1}{11}}} = -9.49$$

Tabla 30

Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 5% de fibra de carbono + 95% de cemento.

Resistencia a flexión (X)	Media aritmética (X - \bar{X})	(X - \bar{X})²
42.94	42.94 - 43.58 = -0.64	0.40
44.21	44.21 - 43.58 = 0.63	0.40
40.99	40.99 - 43.58 = -2.59	6.68
43.15	43.15 - 43.58 = -0.43	0.18
44.83	44.83 - 43.58 = 1.25	1.57
43.76	43.76 - 43.58 = 0.18	0.03
44.70	44.70 - 43.58 = 1.12	1.26
42.88	42.88 - 43.58 = -0.70	0.48
43.77	43.77 - 43.58 = 0.19	0.04
43.58	43.58 - 43.58 = 0.00	0.00
44.52	44.52 - 43.58 = 0.94	0.89
	Sumatoria	11.96

Fuente: Elaboración Propia

C. Cálculo de la media aritmética y desviación standard (diseño 02)

- **Cálculo de la media aritmética:**

$$\bar{X} = 46.04$$

- **Cálculo de la desviación standard del concreto con 10% de fibra de carbono**

$$S = \sqrt{\frac{23.77}{11 - 1}} = 1.54$$

- **Cálculo de t_p (estadístico de prueba) del concreto con 10% de fibra de carbono**

$$t_p = \frac{39.17 - 46.04}{1.54 * \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{1}{11}}} = -10.46$$

Tabla 31

Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 10% de fibra de carbono + 90% de cemento.

Resistencia a flexión (X)	Media aritmética (X - \bar{X})	(X - \bar{X}) ²
45.84	45.85 - 46.04 = -0.20	0.04
44.91	44.95 - 46.04 = -1.13	1.28
44.21	44.25 - 46.04 = -1.83	3.35
46.28	46.25 - 46.04 = 0.24	0.06
47.46	47.45 - 46.04 = 1.42	2.02
46.54	46.55 - 46.04 = 0.50	0.25
45.39	45.35 - 46.04 = -0.65	0.42
47.02	47.05 - 46.04 = 0.98	0.96
47.50	47.55 - 46.04 = 1.46	2.13
48.19	48.15 - 46.04 = 2.15	4.62
43.10	43.15 - 46.04 = -2.94	8.64
	Sumatoria	23.77

Fuente: Elaboración Propia

D. Cálculo de la media aritmética y desviación standard (diseño 03)

- **Cálculo de la media aritmética:**

$$\bar{X} = 35.04$$

- **Cálculo de la desviación standard del concreto con 15% de fibra de carbono**

$$S = \sqrt{\frac{106.13}{11 - 1}} = 3.26$$

- **Cálculo de t_p (estadístico de prueba) del concreto con 15% de fibra de carbono**

$$t_p = \frac{39.17 - 35.04}{3.26 * \sqrt{\frac{1}{11} + \frac{1}{11}}} = 2.97$$

Tabla 32

Cálculo de la media aritmética y desviación standard para el concreto con 15% de fibra de carbono + 85% de cemento.

Resistencia a flexión (X)	Media aritmética (X - \bar{X})	(X - \bar{X})²
31.47	31.47 - 35.04 = -3.57	12.75
36.19	36.19 - 35.04 = 1.15	1.32
40.48	40.48 - 35.04 = 5.44	29.58
35.05	35.05 - 35.04 = 0.01	0.00
35.17	35.17 - 35.04 = 0.13	0.02
31.19	31.19 - 35.04 = -3.85	14.83
37.07	37.07 - 35.04 = 2.03	4.12
40.19	40.19 - 35.04 = 5.15	26.51
31.97	31.97 - 35.04 = -3.07	9.43
32.40	32.40 - 35.04 = -2.64	6.97
34.27	34.27 - 35.04 = -0.77	0.59
	Sumatoria	106.13

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33

Resultados de media aritmética y desviación standard para el concreto patrón y diseño 01, 02 y 03 del concreto con fibra de carbono.

Cálculo de:	Concreto Patrón (0% FC + 100% C)	Diseño 01 (5% FC+ 95% C)	Diseño 02 (10% FC+ 95% C)	Diseño 03 (15% FC+ 95% C)
Media Aritmética	39.17	43.58	46.04	35.04
Desviación Standard	1.68	1.09	1.54	3.26

Fuente: Elaboración Propia

Paso 4: Formular la regla de decisión

Esta investigación se formula teniendo en cuenta que se trata de una prueba unilateral de una cola.

Para pruebas unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n-1} > t_{\alpha, n-1}, \text{ tambien: } t_p > t_{\text{tabla}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a la tabla t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 10 grados de libertad, que definido en:

$$t_{\alpha, n-1} = t_{0.05, 11-1} = t_{0.05, 10} = 1.812$$

Como se muestra en la siguiente figura 31, donde si el t_p superior a 1.812 se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el t_p es inferior a 1.812 no se rechaza la hipótesis nula.

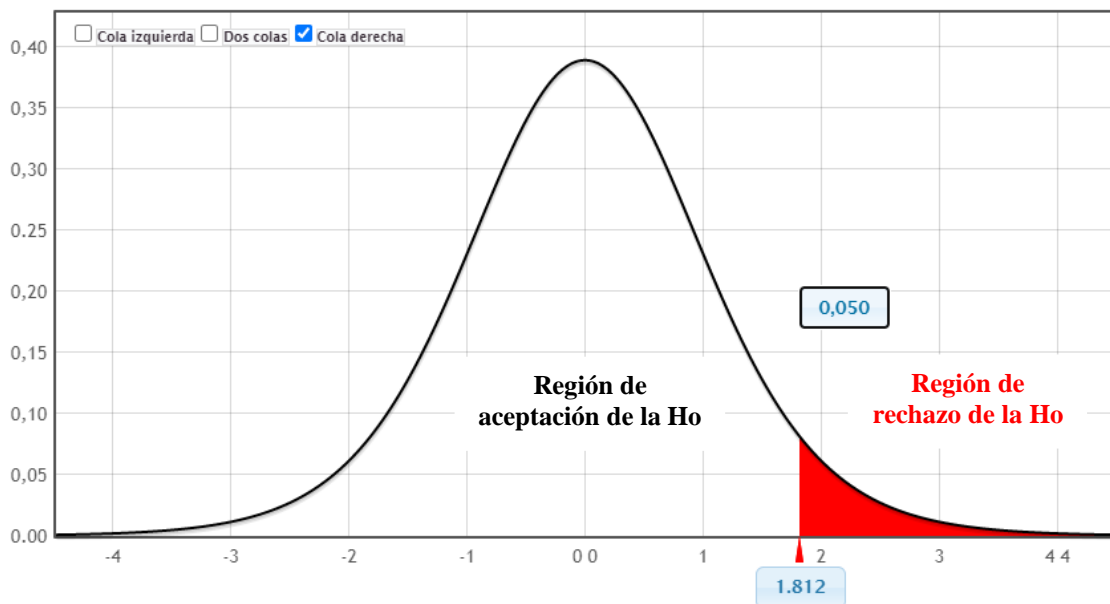


Figura 30. Grafico del estadístico de t para $\alpha = 0.05$ y 10 grados de libertad.
Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

Paso 5: Toma de una decisión

La toma de una decisión (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1) se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para diferentes diseños del concreto.

Tabla 34

Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a la edad de 28 días.

Cálculo de:	Diseño 01 (5% FC+ 95% C)	Diseño 02 (10% FC+ 95% C)	Diseño 03 (15% FC+ 95% C)
t_p	-9.49	-10.46	2.97
α	0.05	0.05	0.05
$n_1 - 1$	10	10	10
t_{tabla}	1.812	1.812	1.812
Decisión	Se acepta la hipótesis Nula H_0	Se acepta la hipótesis nula H_0	Se rechaza la hipótesis Nula H_0

Fuente: Elaboración Propia

S^2 = desviación estándar; $\mu \bar{X}_{cp} - \mu \bar{X}_{fc}$ = resta de resultado de promedios; S_p y t_p = fórmulas que ayudan en el cálculo de la distribución t de student.

Para el diseño 01 (5% FC + 95%C) y 02 (10% FC + 90%C) está en la región de aceptación, quiere decir que se acepta la hipótesis nula afirmando que la resistencia a flexión del concreto con la adición de fibra de carbono, alcanza a la resistencia a la edad de 28 días y se rechaza la hipótesis alternativa.

Para el diseño 03 (15%FC + 85% C) la estadística de prueba es $t_p = 2.97$ y $t_{tabla} = 1.812$, lo quiere decir es que se rechaza la hipótesis nula afirma que la resistencia a flexión del concreto con la adición de fibra de carbono, no alcanza la resistencia con respecto al concreto patrón a la edad de 28 días.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

De la investigación realizada, se puede mencionar las siguientes conclusiones:

Incorporando fibra de carbono laminado en 5% y 10% en función al peso del cemento portland IP la resistencia a flexión es superior a un concreto sin fibra de carbono laminado en edad de 7 y 28 días.

Incorporando fibra de carbono laminado en 9% es superior al concreto patrón en la resistencia a flexión, según correlación que se muestra en la fig. 23, considerando que es el porcentaje óptimo a utilizar.

Al incorporar fibra de carbono laminado a la mezcla de concreto no mejoro la trabajabilidad del concreto en estado fresco, a lo contrario se obtuvieron menores los asentamientos, esto se debe a que se utilizó una misma cantidad de agua de diseño para todas las mezclas, y además que se reemplazó la fibra de carbono por cemento portland IP en peso.

Incorporando 5% y 10% de fibra de carbono laminado en el concreto patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ incrementa la resistencia a flexión en 13.96% y 21.77% respectivamente, por lo que mejora la resistencia a la flexión.

La incorporación de 5% y 10% de fibra de carbono laminado en el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ disminuye el costo de producción en 2.05% y 4.09%.

5.2. Recomendaciones

Por la compra de cantidades mayores de fibra de carbono laminado se deberá de realizar en la ciudad de Lima, por lo que es más económico y confiable para las construcciones a realizarse.

Se recomienda incorporar fibra de carbono laminado al concreto hasta el 10% con respecto al peso del cemento portland IP, por lo que se ha visto los resultados que el concreto con fibra de carbono es mayor al concreto patrón.

Se recomienda no incorporar más del 10% de fibras de carbono laminado por lo que disminuye la resistencia a la flexión y no sería lo recomendable utilizar en construcciones.

Para mejorar el asentamiento "*Slump*" del concreto con fibra de carbono laminado se debe de considerar realizar investigaciones con aditivos super plastificantes y plastificantes que ayuden en el concreto pre mezclado.

Para el proceso de mezclado del concreto con láminas de fibra de carbono, se recomienda la siguiente secuencia: agua efectiva, cemento, agregado grueso, agregado fino y fibra de carbono laminado, para obtener una excelente distribución de la fibra de carbono en la mezcla.

Referencias





- Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima-Perú: San Marcos.
- Abanto Castillo, F. (1995). “*Tecnología de Concreto*” Lima- Perú: Universidad Mayor de san Marcos.
- AMERICAN Concrete Institute. 2008. *Guide for the design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures*. 2008.
- Castiblanco, C. Y Carrero, L. (2015). “*Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión*” Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Chambilla García, B. (2017). “*Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades Mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Puno*” Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales, M. y Pérez, A. (2010). *Estadística aplicada una visión instrumental*.
- Gamboa Vila, T. (2017). “*Fibra de carbono y vidrio*”, Ingeniería Química.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Y Baptista Lucio, M. (2006). *Metodología de la investigación* quinta edición.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* quinta edición.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* sexta edición.
- Lao Odicio, J. (2007). “*utilización de fibras metálicas para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Pucallpa*” Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.

- Mendoza, J., Aire, Carlos. Y Davila, P. (2011). *“Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plásticos y endurecido”* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería -Estructural y Materiales.
- Nayra Choque, R. (2017). *“Reforzamiento estructural de edificaciones familiares para el uso de entidades financieras – caso caja Arequipa – Puno”* Universidad Nacional del Altiplano.
- Pérez Atoche, J. (2018). *“Influencia de la ceniza volante fly ash como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”* Universidad Peruana Unión.
- Pérez, Marco A. (2014). *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación*. Barcelona- España: Omnia Publisher SL, 2014. 978-84-941872-9-2
- Quispe, I. y Ticona, E. (2017). *“Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable $f'c=210\text{kg/cm}^2$ ”* Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Rivva Lopez, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima-Peru: ACI Capítulo Peruano.
- Rivva López, E. (2007). *Diseño de Mezclas (Segunda Edición ed., Vol. Segunda Edición)*. Lima.
- Rivva López, E. (2010). *Materiales para el Concreto (2da Edición ed.)*. Lima: ICG.
- Sabino, C. (1980). *“Proceso de investigación una introducción teórica y práctica”*, publicado en Bogotá y Buenos Aires.
- San bartolome, A. y Rios, R. (2013). *“Comportamiento de fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzados en su zona central convencionalmente, con fibras de polipropileno y con fibras de acero”* Universidad Católica del Perú.

- SILVA VERA, P. y Sánchez, T. (2016). *“Refuerzo estructural con fibras de carbono”* Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencia e Ingeniería, Ecuador.
- Tolasa, A. (2005). *“Recuperación de estructuras de hormigón en base a CFRP (Polímeros reforzados con fibras de carbono)”* Universidad de Ingeniería, Santiago, Chile.
- Vásquez Alfaro, I. (2014). *“Influencia del incremento de volumen de fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión, tracción y trabajabilidad en un concreto reforzado”* Universidad Privada del Norte, Perú.

Anexos

Anexo A. Estudios de la cantera unocolla

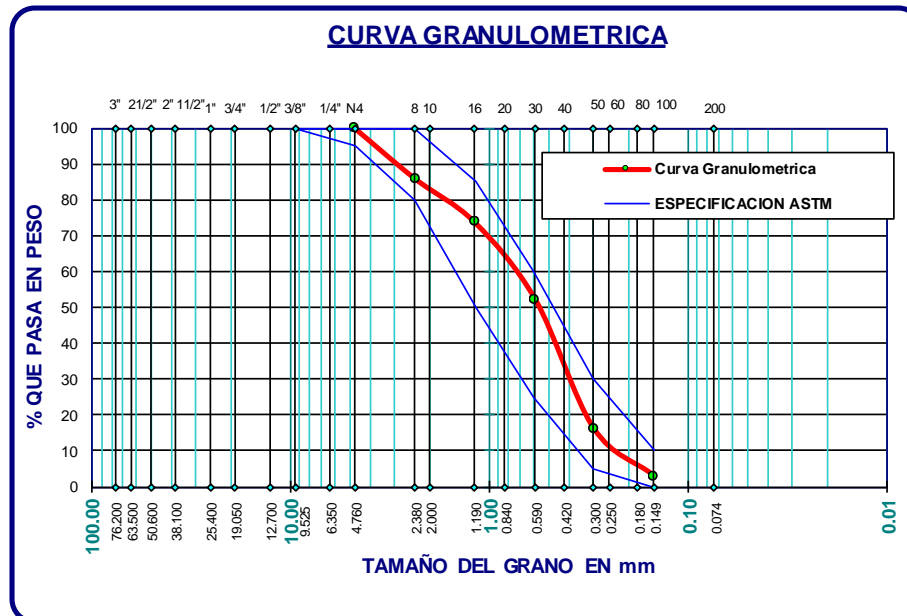
    <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p>																																																																
<p style="color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADOS FINO Y GRUESO NTP 400.016</p>																																																																
<p>PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA - TECNOLOGIA DE CONCRETO</p>																																																																
<p>UBICACIÓN : JULIACA</p>																																																																
<p>LUGAR : UNIVERSIDAD PERUANA UNION - INGENIERIA CIVIL</p>																																																																
<p>MUESTRA : CANTERA RIO UNOCOLLA</p>																																																																
<p>DISEÑO : F'c= 210 Kg/cm2</p>																																																																
<p>FECHA : AGOSTO DEL 2019</p>																																																																
<p><u>AGREGADO FINO</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Nro De Tara</th> <th>M-1</th> <th>M-2</th> <th>M-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de Tara</td> <td>27.72</td> <td>27.65</td> <td>31.09</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara + M. Humeda</td> <td>373.20</td> <td>370.53</td> <td>365.65</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara + M. Seca</td> <td>354.25</td> <td>357.48</td> <td>347.15</td> </tr> <tr> <td>Peso de Agua</td> <td>18.95</td> <td>13.05</td> <td>18.5</td> </tr> <tr> <td>Peso Muestra Seca</td> <td>326.53</td> <td>329.83</td> <td>316.06</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad W%</td> <td>5.80</td> <td>3.96</td> <td>5.85</td> </tr> <tr> <td>Promedio cont. Humedad W%</td> <td colspan="3">5.20</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; padding: 10px;"><u>AGREGADO GRUESO</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Nro De Tara</th> <th>M-1</th> <th>M-2</th> <th>M-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de Tara</td> <td>32.10</td> <td>28.72</td> <td>31.81</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara + M. Humeda</td> <td>405.52</td> <td>405.35</td> <td>420.65</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara + M. Seca</td> <td>392.58</td> <td>392.15</td> <td>407.2</td> </tr> <tr> <td>Peso de Agua</td> <td>12.94</td> <td>13.2</td> <td>13.45</td> </tr> <tr> <td>Peso Muestra Seca</td> <td>360.48</td> <td>363.43</td> <td>375.39</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad W%</td> <td>3.59</td> <td>3.63</td> <td>3.58</td> </tr> <tr> <td>Promedio cont. Humedad W%</td> <td colspan="3">3.60</td> </tr> </tbody> </table>	Nro De Tara	M-1	M-2	M-3	Peso de Tara	27.72	27.65	31.09	Peso de Tara + M. Humeda	373.20	370.53	365.65	Peso de Tara + M. Seca	354.25	357.48	347.15	Peso de Agua	18.95	13.05	18.5	Peso Muestra Seca	326.53	329.83	316.06	Contenido de humedad W%	5.80	3.96	5.85	Promedio cont. Humedad W%	5.20			Nro De Tara	M-1	M-2	M-3	Peso de Tara	32.10	28.72	31.81	Peso de Tara + M. Humeda	405.52	405.35	420.65	Peso de Tara + M. Seca	392.58	392.15	407.2	Peso de Agua	12.94	13.2	13.45	Peso Muestra Seca	360.48	363.43	375.39	Contenido de humedad W%	3.59	3.63	3.58	Promedio cont. Humedad W%	3.60		
Nro De Tara	M-1	M-2	M-3																																																													
Peso de Tara	27.72	27.65	31.09																																																													
Peso de Tara + M. Humeda	373.20	370.53	365.65																																																													
Peso de Tara + M. Seca	354.25	357.48	347.15																																																													
Peso de Agua	18.95	13.05	18.5																																																													
Peso Muestra Seca	326.53	329.83	316.06																																																													
Contenido de humedad W%	5.80	3.96	5.85																																																													
Promedio cont. Humedad W%	5.20																																																															
Nro De Tara	M-1	M-2	M-3																																																													
Peso de Tara	32.10	28.72	31.81																																																													
Peso de Tara + M. Humeda	405.52	405.35	420.65																																																													
Peso de Tara + M. Seca	392.58	392.15	407.2																																																													
Peso de Agua	12.94	13.2	13.45																																																													
Peso Muestra Seca	360.48	363.43	375.39																																																													
Contenido de humedad W%	3.59	3.63	3.58																																																													
Promedio cont. Humedad W%	3.60																																																															



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (D2216 - D854 - D4318 - D427 -

PROYECTO:	DISEÑO DE MEZCLA - TECNOLOGIA DE CONCRETO
UBICACIÓN:	JULIACA
LUGAR:	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - INGENIERIA CIVIL
MUESTRA:	CANTERA RIO UNOCOLLA
DISEÑO:	F'c= 210 Kg/cm2
FECHA:	AGOSTO DEL 2019

TAMICES ASTM	ERTUR mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.L. 495.00 P.S. 500.00
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	95 100	
No8	2.380	70.00	14.00	14.00	86.00	80 100	MODULO DE FINEZA : 2.69
No10	2.000						
No16	1.190	61.00	12.20	26.20	73.80	50 85	
No20	0.840						
No30	0.590	108.00	21.60	47.80	52.20	25 60	
No40	0.420						
No50	0.300	180.00	36.00	83.80	16.20	5 30	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	66.00	13.20	97.00	3.00	0 10	
No200	0.074	10.00	2.00	99.00	1.00		
BASE		5.00	1.00	100.00	0.00		El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA							

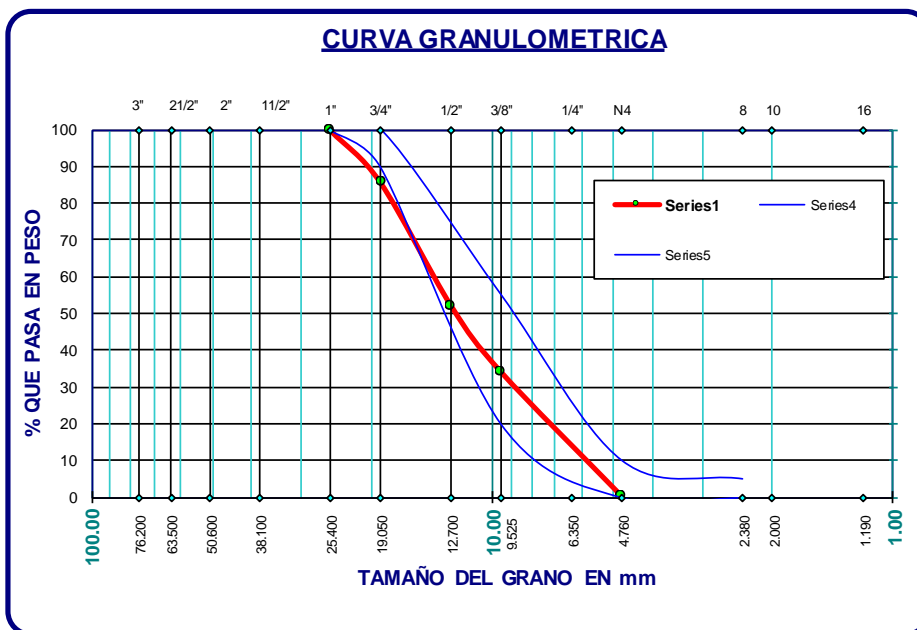




ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO:	DISEÑO DE MEZCLA - TECNOLOGIA DE CONCRETO
UBICACIÓN:	JULIACA
LUGAR:	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - INGENIERIA CIVIL
MUESTRA:	CANTERA RIO UNOCOLLA
DISEÑO:	F'c= 210 Kg/cm ²
FECHA:	AGOSTO DEL 2019

TAMICES ASTM	ABERTU mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. 3/4 ASTM C-33-54		TAMAÑO MAXIMO 3/4" DESCRIP. DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00			P.M 5000.00
2 1/2"	63.500							
2"	50.600							
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00			
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19.050	711.00	14.22	14.22	85.78	90	100	
1/2"	12.700	1677.00	33.54	47.76	52.24			
3/8"	9.525	903.00	18.06	65.82	34.18	20	55	
1/4"	6.350							
No4	4.760	1692.00	33.84	99.66	0.34	0	10	
No8	2.380					0	5	
No10	2.000							MODULO DE FINEZA : 6.27
No16	1.190							
No20	0.840							
No30	0.590							
No40	0.420							
No50	0.300							
No60	0.250							
No80	0.180							
No100	0.149							
No200	0.074							
BASE		17.00	0.34	100.00	0.00			El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35
TOTAL		5000.00	100.00					
% PERDIDA								





PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN
AGREGADOS FINO Y GRUESO

PROYECTO	: DISEÑO DE MEZCLA - TECNOLOGIA DE CONCRETO
UBICACIÓN	: JULIACA
LUGAR	: UNIVERSIDAD PERUANA UNION - INGENIERIA CIVIL
MUESTRA	: CANTERA RIO UNOCOLLA
DISEÑO	: F'c= 210 Kg/cm2
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

I.- DATOS			
Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DE MUESTRA SSS	250.00	250.00	250.00
PESO DE FIOLA	133.00	133.00	133.00
PESO DEL AGUA	148.00	147.00	147.00
PESO DE MUESTRA SSS+PESO DE FIOLA+PESO DE AGUA	531.00	530.00	530.00
PESO DE MUESTRA SECA	239.00	241.00	240.00
VOLUMEN DE FIOLA	250.00	250.00	250.00
P.E. MASA	2.34	2.34	2.33
P.E. MASA PROMEDIO		2.338	
P.E. MASA SSS	2.45	2.43	2.43
P.E. MASA SSS PROMEDIO		2.435	
P.E. APARENTE	2.63	2.56	2.58
P.E. APARENTE PROMEDIO		2.590	
ABSORCION	4.60	3.73	4.17
ABSORCION PROMEDIO		4.168	

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

I.- DATOS			
Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DE MUESTRA SECA	2937.00	2930.00	2945.00
PESO DE MUESTRA SSS	3021.00	3014.00	3028.00
PESO DE CANASTILLA	1553.00	1553.00	1553.00
PESO DE MUESTRA SATURADA EN AGUA+PESO DE CANASTILLA	3269.00	3288.00	3296.00
PESO DE MUESTRA SATURADA EN AGUA	1716.00	1735.00	1743.00
P.E. MASA	2.2506	2.2909	2.2918
P.E. MASA PROMEDIO		2.278	
P.E. MASA SSS	2.3149	2.3565	2.3564
P.E. MASA SSS PROMEDIO		2.343	
P.E. APARENTE	2.4054	2.4519	2.4501
P.E. APARENTE PROMEDIO		2.436	
ABSORCION	2.8601	2.8669	2.8183
ABSORCION PROMEDIO		2.848	



PESO ESPECIFICO UNITARIO
AGREGADOS FINO Y GRUESO

PROYECTO	: DISEÑO DE MEZCLA - TECNOLOGIA DE CONCRETO
UBICACIÓN	: JULIACA
LUGAR	: UNIVERSIDAD PERUANA UNION - INGENIERIA CIVIL
MUESTRA	: CANTERA RIO UNOCOLLA
DISEÑO	: F' C= 210 Kg/cm ²
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO

Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DEL MOLDE gr.	1849.000	1849.000	1849.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ ,	1900.664	1900.664	1900.664
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	4889.000	4887.000	4909.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	3040.000	3038.000	3060.000
PESO UNITARIO SUELTO Gr/Cm ³ ,	1.599	1.598	1.610
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO Gr/Cm ³ ,	1603		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DEL MOLDE gr.	1849.000	1849.000	1849.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ ,	1900.664	1900.664	1900.664
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	5151.000	5161.000	5155.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	3302.000	3312.000	3306.000
PESO UNITARIO COMPACTO Gr/Cm ³ ,	1.737	1.743	1.739
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO Gr/Cm ³ ,	1740		

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO

Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DEL MOLDE gr.	3996.000	3996.000	3996.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ ,	5443.752	5443.752	5443.752
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	11991.000	12029.000	12088.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	7995.000	8033.000	8092.000
PESO UNITARIO COMPACTO Gr/Cm ³ ,	1.469	1.476	1.486
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO Gr/Cm ³ ,	1477		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Nº DE ENSAYO	1	2	3
PESO DEL MOLDE gr.	3996.000	3996.000	3996.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ ,	5443.752	5443.752	5443.752
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	12653.000	12680.000	12663.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8657.000	8684.000	8667.000
PESO UNITARIO COMPACTO Gr/Cm ³ ,	1.590	1.595	1.592
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO Gr/Cm ³ ,	106	1593	

Anexo B. Diseño de mezcla por el método ACI 211.1

Descripción	p.e.	Peso (kg)	% contenido
Cemento	3.00	42.5	100.00
Fibra de carbono	2.5	20.00	0.00

Descripción	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	No8	3/4"
Peso Especifico	gr/cc	2.59	2.44
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1603	1477
Peso Unitario Compacto	Kg/m3	1740	1593
Contenido de humedad	%	5.20	3.60
AbSORCIÓN	%	4.17	2.85

a) Resistencia requerida Promedio

$$f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f'cr = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

Asentamiento	3" - 4"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Aire Incorporado	2.00%
Relación Agua Cemento a/c	0.56
Agua	200
ACI (b/bo)	0.627

b.1) Relación nueva a/(c+fc)

Fibra de Carbono (fc) = 0.00%		Contenido de
	$\frac{a}{c + fc}$	Fc= fibra
		Fc= 0.56

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento =	$\frac{200}{0.56}$	357.14 kg/cm ³
---------------------	--------------------	---------------------------

2. Contenido de agregado grueso

Peso de agregado grueso	0.627	*	1593	=	998.811 kg/m ³
-------------------------	-------	---	------	---	---------------------------

3. volumen absoluto del cemento y fibra de carbono

Peso del cemento: $357.14 \text{ kg/m}^3 * 100.00 \% = 357.14 \text{ kg/m}^3$
 Peso de fibra de carbono: $357.14 \text{ kg/m}^3 * 0.00 \% = 0.00 \text{ kg/m}^3$

Cemento: $\frac{357.14 \text{ kg/m}^3}{3.00 * 1000} = 0.119 \text{ m}^3$

Fibra de carbono: $\frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{2.5 * 1000} = 0.00 \text{ m}^3$

4. Volumen absoluto de agua

Agua: $\frac{200 \text{ lt}}{1 * 1000} = 0.200 \text{ m}^3$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

Aire: $\frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.0200 \text{ m}^3$

6. Volumen absoluto de agregado grueso

Agregado grueso: $\frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{2.44 * 1000} = 0.409 \text{ m}^3$

Suma de volúmenes absolutos = 0.748 m^3

7. Contenido de agregado fino

Volumen absorción agregado fino = $1 - 0.748 \text{ m}^3 = 0.252 \text{ m}^3$
 Peso del agregado fino seco = $0.252 \text{ m}^3 * 2.59 * 1000 = 652.68 \text{ kg/m}^3$

d) Cantidad de materiales por m³ en peso

* Cemento	357.14 kg/m ³	
* Fibra de carbono	0.00 kg/m ³	
* Agua	200 ltrs/m ³	
* Agregado Fino	652.68 kg/m ³	
* Agregado Grueso	998.811kg/m ³	
<hr/>		
Peso total de la mezcla	2208.631	kg/m ³

e) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento = $\frac{357.14 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 1$
 Fibra de carbono = $\frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 0$

Agua efectiva =	$\frac{200 \text{ ltrs/m}^3}{8.4 \text{ bols/m}^3}$	23.81
Agregado Fino =	$\frac{652.68 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3}$	1.83
Agregado Grueso =	$\frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3}$	2.80

1: 1.83: 2.80: 23.81 lts/bols

f) Cantidad de materiales por bolsas

Cemento	=	1 * 42.5	42.5 kg/bolsa
Fibra de carbono	=	0 * 42.5	0.0 kg/bolsa
Agua Efectiva	=	-	23.8 lt/bolsa
Agregado Fino	=	1.83 * 42.5	77.78 kg/bolsa
Agregado Grueso	=	2.80 * 42.5	119.00 kg/bolsa

CUADRO DE RESUMEN

Descripción	Volum. Abso.	Peso Seco /m3	Humedad	Peso kg/m3	Proporción
Cemento	0.119 m3	357.14 kg/m3		357.14	1
Fibra de carbono	0.00 m3	0.00 kg/m3		0.00	0.00
Agua	0.200 m3	200 ltrs/m3	14.21	185.79	22.12
Agregado fino	0.252 m3	652.68 kg/m3	6.72	686.619	1.92
Agregado grueso	0.409 m3	998.811 kg/m3	7.49	1034.768	2.90
Aire	0.0200 m3				

Relación agua/cemento efectivo

0.52

Descripción	p.e.	Peso (kg)	% contenido
Cemento	3.00	42.5	95.00
Fibra de carbono	2.5	20.00	5.00

Descripción	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	N° 8	3/4"
Peso Especifico	gr/cc	2.59	2.44
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1603	1477
Peso Unitario Compacto	kg/m3	1740	1593
Contenido de humedad	%	5.20	3.60
Absorción	%	4.17	2.85

a) Resistencia requerida Promedio

$$f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f'cr = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

Asentamiento	3" - 4"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Aire Incorporado	2.00%
Relación Agua Cemento a/c	0.56
Agua	200
ACI (b/bo)	0.627

b.1) Relación nueva

$$a/(c+fc)$$

$$\text{Fibra de Carbono (fc)} = 5.00\%$$

$$\frac{a}{c + fc}$$

$$\begin{aligned} \text{Contenido de} \\ Fc = \text{fibra} \\ Fc = 0.56 \end{aligned}$$

c) Análisis de diseño

$$1. \text{ Factor cemento} = \frac{200}{0.56} = 357.14 \text{ kg/cm}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de agregado grueso} \quad 0.627 \quad * \quad 1593 \quad = \quad 998.811 \text{ kg/m}^3$$

3. volumen absoluto del cemento y fibra de carbono

$$\text{Peso del cemento: } 357.14 \text{ kg/m}^3 * 95.00 \% = 339.283$$

$$\text{Peso de fibra de carbono: } 357.14 \text{ kg/m}^3 * 5.00 \% = 17.857$$

$$\text{Cemento: } \frac{339.283 \text{ kg/m}^3}{3.00 * 1000} = 0.1131 \text{ m}^3$$

$$\text{Fibra de carbono: } \frac{17.857 \text{ kg/m}^3}{2.5 * 1000} = 0.0071 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto de agua

$$\text{Agua: } \frac{200 \text{ lt}}{1 * 1000} = 0.200 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire: } \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto de agregado grueso

$$\text{Agregado grueso: } \frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{2.44 * 1000} = 0.409 \text{ m}^3$$

Suma de volúmenes
absolutos =

$$0.7492 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\text{Volumen absorción agregado fino} = \frac{1 - 0.7492 \text{ m}^3}{=} = 0.2508 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.2508 \text{ m}^3 * 2.59 * 1000 = 649.572 \text{ kg/m}^3$$

d) Cantidad de materiales por m³ en peso

* Cemento	339.283kg/m ³	
* Fibra de carbono	17.857 kg/m ³	
* Agua	200 ltrs/m ³	
* Agregado Fino	652.68 kg/m ³	
* Agregado Grueso	998.811kg/m ³	
Peso total de la mezcla	2205.523	kg/m ³

Descripción	p.e.	Peso (kg)	% contenido
Cemento	3.00	42.5	90.00
Fibra de carbono	2.5	20.00	10.00

Descripción	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	N° 8	3/4"
Peso Especifico	gr/cc	2.59	2.44
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1603	1477
Peso Unitario Compacto	kg/m3	1740	1593
Contenido de humedad	%	5.20	3.60
Absorción	%	4.17	2.85

a) Resistencia requerida Promedio

$$f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f'cr = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

Asentamiento	3" - 4"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Aire Incorporado	2.00%
Relación Agua Cemento a/c	0.56
Agua	200
ACI (b/bo)	0.627

b.1) Relación nueva a/(c+fc)

$$\text{Fibra de Carbono (fc)} = 10.00\%$$

$$\frac{a}{c + fc}$$

$$Fc = \text{Contenido de fibra}$$

$$Fc = 0.56$$

c) Análisis de diseño

$$1. \text{ Factor cemento} = \frac{200}{0.56} = 357.14 \text{ kg/cm}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de agregado grueso} = 0.627 * 1593 = 998.811 \text{ kg/m}^3$$

3. volumen absoluto del cemento y fibra de carbono

Peso del cemento:	357.14 kg/m ³	*	90.00 %	=	321.426
Peso de fibra de carbono:	357.14 kg/m ³	*	10.00 %	=	35.714

Cemento:	$\frac{321.426 \text{ kg/m}^3}{3.00 * 1000}$	= 0.1071 m ³
----------	--	-------------------------

Fibra de carbono:	$\frac{35.714 \text{ kg/m}^3}{2.5 * 1000}$	= 0.0143 m ³
-------------------	--	-------------------------

4. Volumen absoluto de agua

Agua:	$\frac{200 \text{ lt}}{1 * 1000}$	= 0.200 m ³
-------	-----------------------------------	------------------------

5. Volumen absoluto del aire atrapado

Aire:	$\frac{2.00\%}{1 * 1}$	= 0.0200 m ³
-------	------------------------	-------------------------

6. Volumen absoluto de agregado grueso

Agregado grueso:	$\frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{2.44 * 1000}$	= 0.409 m ³
------------------	--	------------------------

Suma de volúmenes
absolutos =

0.7504 m³

7. Contenido de agregado
fino

Volumen absorción agregado fino =	1 - 0.7504 m ³	=	0.2496 m ³
Peso del agregado fino seco =	0.2496 m ³ * 2.59 * 1000	=	646.464 kg/m ³

d) Cantidad de materiales por m³ en peso

* Cemento	321.426kg/m ³
* Fibra de carbono	35.714 kg/m ³
* Agua	200 ltrs/m ³
* Agregado Fino	652.68 kg/m ³
* Agregado Grueso	998.811kg/m ³
<u>Peso total de la mezcla</u>	<u>2202.415 kg/m³</u>

Descripción	p.e.	Peso (kg)	% contenido
Cemento	3.00	42.5	85.00
Fibra de carbono	2.5	20.00	15.00

Descripción	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	N° 8	3/4"
Peso Especifico	gr/cc	2.59	2.44
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1603	1477
Peso Unitario Compacto	kg/m3	1740	1593
Contenido de humedad	%	5.20	3.60
Absorción	%	4.17	2.85

a) Resistencia requerida Promedio

$$f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f'cr = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

Asentamiento	3" - 4"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Aire Incorporado	2.00%
Relación Agua Cemento a/c	0.56
Agua	200
ACI (b/bo)	0.627

b.1) Relación nueva a/(c+fc)

$$\text{Fibra de Carbono (fc) = } 15.00\%$$

$$\frac{a}{c + fc}$$

$$Fc = \text{Contenido de fibra}$$

$$Fc = 0.56$$

c) Análisis de diseño

$$1. \text{ Factor cemento} = \frac{200}{0.56} = 357.14 \text{ kg/cm}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de agregado grueso} \quad 0.627 \quad * \quad 1593 \quad = \quad 998.811 \text{ kg/m}^3$$

3. volumen absoluto del cemento y fibra de carbono

Peso del cemento:	357.14 kg/m ³	*	85.00 %	=	303.569
Peso de fibra de carbono:	357.14 kg/m ³	*	15.00 %	=	53.571

Cemento:	$\frac{303.569 \text{ kg/m}^3}{3.00 * 1000}$	= 0.1012 m ³
----------	--	-------------------------

Fibra de carbono:	$\frac{53.571 \text{ kg/m}^3}{2.5 * 1000}$	= 0.0214 m ³
-------------------	--	-------------------------

4. Volumen absoluto de agua

Agua:	$\frac{200 \text{ lt}}{1 * 1000}$	= 0.2000 m ³
-------	-----------------------------------	-------------------------

5. Volumen absoluto del aire atrapado

Aire:	$\frac{2.00\%}{1 * 1}$	= 0.0200 m ³
-------	------------------------	-------------------------

6. Volumen absoluto de agregado grueso

Agregado grueso:	$\frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{2.44 * 1000}$	= 0.4090 m ³
------------------	--	-------------------------

Suma de volúmenes absolutos

=	0.7516 m ³
---	-----------------------

7. Contenido de agregado fino

Volumen absorción agregado fino	$1 - 0.7516 \text{ m}^3$	=	0.2484 m ³
---------------------------------	--------------------------	---	-----------------------

Peso del agregado fino seco	$0.2484 \text{ m}^3 * 2.59 * 1000$	=	643.356 kg/m ³
-----------------------------	------------------------------------	---	---------------------------

d) Cantidad de materiales por m³ en peso

* Cemento	303.569kg/m ³
* Fibra de carbono	53.571 kg/m ³
* Agua	200 ltrs/m ³
* Agregado Fino	652.68 kg/m ³
* Agregado Grueso	998.811kg/m ³
<u>Peso total de la mezcla</u>	<u>2199.307 kg/m³</u>

e) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{303.569 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 0.85 \\ \text{Fibra de carbono} &= \frac{53.571 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 0.15 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{200 \text{ ltrs/m}^3}{8.4 \text{ bols/m}^3} = 23.81 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{652.68 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 1.83 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{998.811 \text{ kg/m}^3}{357.14 \text{ kg/m}^3} = 2.80 \end{aligned}$$

0.85:0.15: 1.83: 2.80: 23.81 lts/bols

f) Cantidad de materiales por bolsas

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 0.85 * 42.5 = 36.125 \text{ kg/bolsa} \\ \text{Fibra de carbono} &= 0.15 * 42.5 = 6.375 \text{ kg/bolsa} \\ \text{Agua Efectiva} &= - = 23.81 \text{ lt/bolsa} \\ \text{Agregado Fino} &= 1.83 * 42.5 = 77.78 \text{ kg/bolsa} \\ \text{Agregado Grueso} &= 2.80 * 42.5 = 119.00 \text{ kg/bolsa} \end{aligned}$$






CUADRO DE RESUMEN

Descripción	Volum. Abso.	Peso Seco /m3	Humedad	Peso kg/m3	Proporción
Cemento	0.1012 m3	303.569 kg/m3		303.569	0.85
Fibra de carbono	0.0214 m3	53.571 kg/m3		53.571	0.15
Agua	0.2000 m3	200 ltrs/m3	14.21	185.79	22.12
Agregado fino	0.2484 m3	652.68 kg/m3	6.72	686.619	2.23
Agregado grueso	0.4090 m3	998.811 kg/m3	7.49	1034.768	3.41
Aire	0.0200 m3				

**Relación agua/cemento
efectivo**

0.61

Anexo C: Constancia de uso de Laboratorios

 <p>Universidad Peruana Unión The Eastern Horizon</p>	<h3>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</h3>
<h2>CONSTANCIA</h2>	
<p>El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y el Jefe de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.</p>	
<p>HACE CONSTAR:</p>	
<p>Que la Bachiller en Ingeniería Civil:</p>	
<p>MIDIAN CLAUDIA MAMANI FLORES</p>	<p>Código universitario N° 201421294</p>
<p>Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Estructuras y el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: “Influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a la flexión de concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Juliaca” con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Los trabajos se realizaron entre 15/08/19 al 10/10/19.</p>	
<p>Los ensayos efectuados por la tesista fueron los siguientes:</p>	
<ul style="list-style-type: none">✓ 88 Ensayos de resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas por una carga puntual en el centro del tramo.✓ 02 Ensayos de análisis granulométrico por tamizado de agregados✓ 01 Ensayo de peso específico del agregado grueso✓ 01 Ensayo de peso específico del agregado fino✓ 01 Ensayo de peso unitario del agregado grueso✓ 01 Ensayo de peso unitario del agregado fino	
<p>Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.</p>	
<p>Juliaca, Villa Chullunquiari, 03 de julio del 2020</p>	
  <p>Ing. Herson Duberly Pari Cusi Coordinador P.P. de Ingeniería Civil</p>	  <p>Ing. Yesenia Apaza Pinto Jefe de Laboratorio</p>

Anexo D: Panel fotográfico



Fotografía 1. Ensayo de granulometría



Fotografía 2. Separación de agregado fino y grueso para el ensayo de granulometría



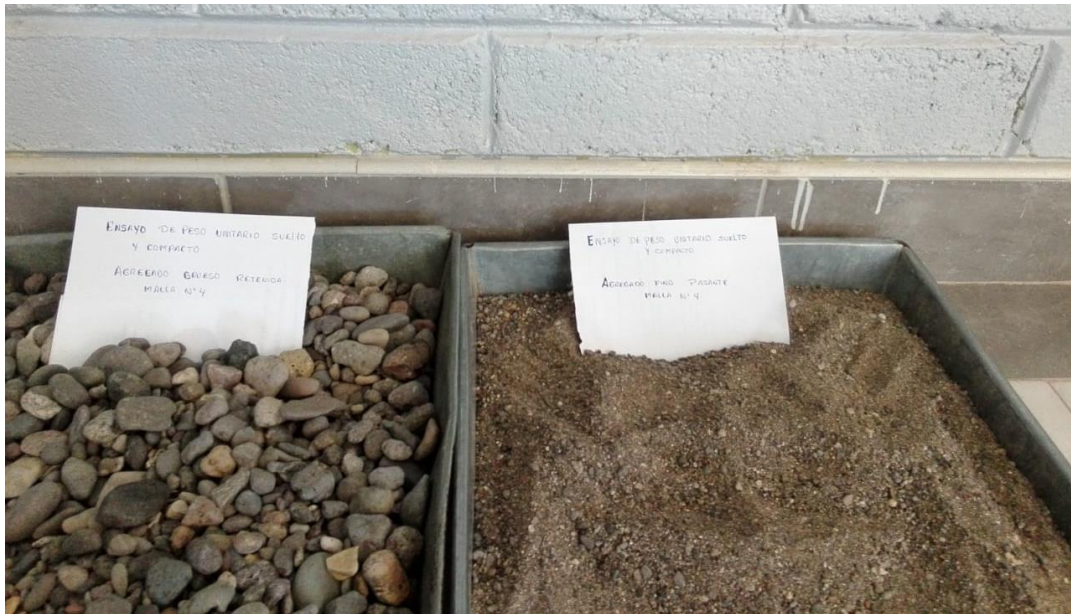
Fotografía 3. Ensayo de peso específico de agregado fino



Fotografía 4. Ensayo de peso específico para agregado grueso



Fotografía 5. Herramientas para el ensayo de peso unitario



Fotografía 6. Agregado fino y grueso para el ensayo de peso unitario compacto y suelto



Fotografía 7. Ensayo de peso unitario suelto de agregado fino



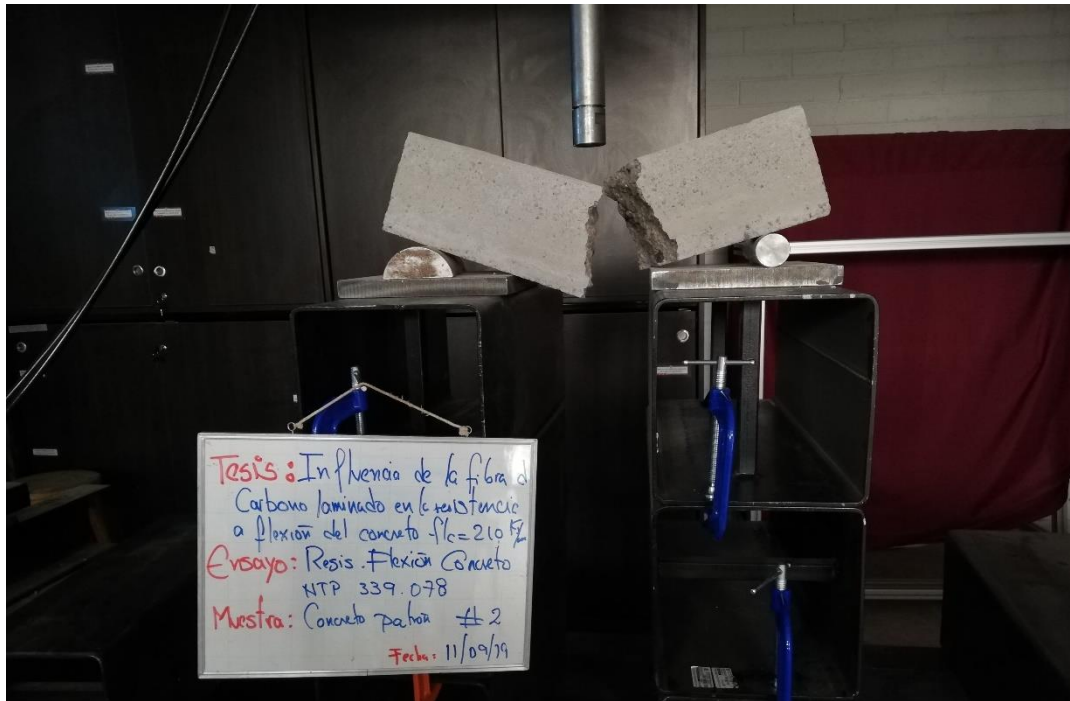
Fotografía 8. Ensayo de peso unitario compacto de agregado grueso



Fotografía 9. Medición de las vigas a ensayar



Fotografía 10. Viga ensayada con el equipo Magnus



Fotografía 11. Ensayo de viga del concreto patrón muestra N°2



Fotografía 12. Ensayo de la viga del concreto con 10% de fibra de carbono



HOJA TÉCNICA

Sika® Fiber LHO 45/35 NB

Fibra de carbono para refuerzo del concreto normal y concreto proyectado

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber LHO 45/35 NB son fibras de carbono trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto tradicional y concreto proyectado (shotcrete). Sika® Fiber LHO 45/35 NB son fibras de carbono que cumplen con la relación longitud / diámetro (l/d) mínima requerida para obtener un concreto dúctil.

USOS

Sika® Fiber LHO 45/35 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones y especialmente concreto proyectado (shotcrete) reduciendo tiempo y costos asociados al tradicional reforzamiento con fibra de carbono; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto.

En concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (tráfico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.
- Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).
- Reducción de la fisuración por retracción.
- No afecta los tiempos de fraguado.
- Su condición de fibras sueltas le permite ser usadas en mezclas de concreto, concreto proyectado (shotcrete) vía húmeda y vía seca.
- Relación longitud / diámetro igual a 45 para un rendimiento estándar.
- Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.

DATOS BÁSICOS

FORMA

COLORES

Negro.

ASPECTO:

FIBRAS

PRESENTACIÓN

Sacos de papel x 20 kg.

ALMACENAMIENTO

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Los sacos de Sika® Fiber LHO 45/35 NB pueden almacenarse por tiempo indefinido protegido de la humedad.

DATOS TÉCNICOS

LONGITUD

35 mm con extremos conformados.

DIÁMETRO DE LA FIELA

0,77 mm

RELACIÓN LONGITUD/DIAMETRO

45

RESISTENCIA A TRACCIÓN

1150 MPa min.

ELONGACIÓN DE ROTURA

4% máx.

PESO ESPECIFICO

2.5

NORMAS

Sika® Fiber LHO 45/35 NB cumple con las normas ASTM A 820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" Tipo I y DIN 17140-D9.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN

CONSUMO / DOSIS

Normalmente entre 20 y 50 kg. de Sika® Fiber LHO 45/35 NB por m3 de concreto. Se recomienda realizar ensayos previos para determinar la cantidad exacta de fibra de carbono a utilizar de acuerdo a los índices de tenacidad ó energía absorbida especificada del concreto.

MÉTODO DE APLICACIÓN

MÉTODO DE APLICACIÓN

Sika® Fiber LHO 45/35 NB se puede agregar en la tolva de pesado de la dosificadora de concreto, en la correa de alimentación, en camión mixer y mezcladora de concreto como a continuación se indica en cada caso:

En la tolva de pesado de la dosificadora, abra las bolsas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las bolsas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas de descarga. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso.

En la correa de alimentación, si hay acceso, las fibras pueden adicionarse durante o después de agregar los áridos. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso.

En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras mientras el mixer de concreto está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg. de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución; mezclar 30 segundos adicionales si la distribución no es uniforme.

En la mezcladora de concreto, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras y mezclar por 30 segundos por cada pie cúbico a menos que se observe una distribución homogénea en menor tiempo.

OBSERVACIONES

No agregue Sika® Fiber LHO 45/35 NB al mezclador antes de los áridos.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 3
la misma que deberá ser destruida”**

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		
¿Cuál es la influencia de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP en la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla?	Evaluar la influencia de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP en la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla.	La incorporación de la fibra de carbono laminado como sustituto parcial en diferentes porcentajes del cemento portland IP mejora la resistencia a flexión con agregados de la cantera Unocolla.	Independiente Dosificación de los materiales con fibra de carbono laminado	Fibra de carbono laminado
			Dependiente Comportamiento mecánico del concreto	Resistencia a flexión del concreto con fibra de carbono laminado
¿Cuál es el porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'_c=210$ kg/cm ² con agregados de la cantera Unocolla?	Determinar el porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'_c=210$ kg/cm ² con agregados de la cantera Unocolla.	La incorporación de un porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado para el concreto $f'_c=210$ kg/cm ² con agregados de la cantera unocolla tiene un adecuado proceso de diseño de mezcla	Independiente Diseño de mezcla con diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado	Diseño de mezcla
			Dependiente Porcentaje óptimo de la fibra de carbono laminado en el diseño de mezcla	Porcentajes de láminas de fibra de carbono a emplear (5%, 10%, 15% y 20%) del peso del cemento.

<p>¿Cuál es la trabajabilidad en el concreto fresco al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?</p>	<p>Determinar la trabajabilidad en el concreto fresco al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla.</p>	<p>La incorporación de diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso del mezclado.</p>	<p>Independiente Dosificación de la Fibra de carbono laminado. Dependiente Trabajabilidad del concreto con fibra de carbono laminado.</p>	<p>Fibra de carbono laminado. Ensayo de consistencia del concreto (ASTM C143) concreto normal y concreto con fibras de carbono lamiando.</p>
<p>¿Cuál es la resistencia a flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm² al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?</p>	<p>Determinar la resistencia a flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm² al adicionar diferentes porcentajes de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla.</p>	<p>La incorporación de la fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla mejora la resistencia a flexión del concreto de $f'c= 210$ kg/cm² en edades de 7, 14 y 28 días</p>	<p>Independiente Fibra de carbono laminado. Dependiente Resistencia a flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm².</p>	<p>Porcentajes de fibra de carbono laminado a emplear (5%,10%,15% y 20%) del peso del cemento. Ensayo a flexión del concreto (ASTM C78-02) a los 7 y 28 días.</p>
<p>¿Cuál es el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla?</p>	<p>Determinar el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla</p>	<p>El costo del concreto elaborado con un porcentaje de fibra de carbono laminado con agregados de la cantera Unocolla es económico que el concreto convencional.</p>	<p>Independiente Un porcentaje de la fibra de carbono laminado Dependiente Costo de producción del concreto con fibra de carbono laminado</p>	<p>Fibra de carbono laminado. Análisis del costo de producción del concreto elaborado con fibras de carbono lamiando.</p>