

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DEL CONCRETO LA ADICIÓN DE
FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS**

PRESENTADO POR:

Bach. BERROSPI ZEVALLOS, SHEYLA HEYDI

Bach. INGA MEZA, VLADIMIR

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas tecnologías y procesos.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Huancayo – Perú

2022

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DEL CONCRETO LA ADICIÓN DE
FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS**

PRESENTADO POR:

Bach. BERROSPI ZEVALLOS, SHEYLA HEYDI

Bach. INGA MEZA, VLADIMIR

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas tecnologías y procesos.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Huancayo – Perú

2022

Ing. Julio Cesar Llallico Colca

Asesor

Dedicatoria

- A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias padre y madre.

Agradecimientos

- A mis maestros, mis compañeros, y a la universidad en general por todas las oportunidades que me han brindado son incomparables.

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Casio Aurelio Torres López.
Presidente

Jurado

Jurado

Jurado

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales.
Secretario docente

ÍNDICE

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I	18
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación y sistematización del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Justificación	19
1.3.1. Práctica	19
1.3.2. Metodológica	20
1.3.3. Teórica o científica	20
1.4. Delimitación	20
1.4.1. Espacial	20
1.4.2. Temporal	21
1.4.3. Económica	21
1.5. Limitaciones	21
1.6. Objetivos	21
1.6.1. Objetivo general	21
1.6.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Nacionales	23
2.1.2. Internacionales	25
2.2. Marco conceptual	27
2.2.1. Fibra	27

2.2.2. Fibra metálica	27
2.2.3. Concreto reforzado con fibra de acero	29
2.2.4. Propiedades en estado fresco	32
2.2.5. Propiedades del concreto en estado endurecido	35
2.3. Definición de términos	37
2.4. Hipótesis	38
2.4.1. Hipótesis general	38
2.4.2. Hipótesis específicas	38
2.5. Variables	38
2.5.1. Definición conceptual de las variables	38
2.5.2. Definición operacional de las variables	38
2.5.3. Operacionalización de las variables	39
CAPÍTULO III	40
METODOLOGÍA	40
3.1. Método de investigación	40
3.2. Tipo de investigación	40
3.3. Nivel de investigación	41
3.4. Diseño de la investigación	41
3.5. Población y muestra	41
3.5.1. Población	41
3.5.2. Muestra	42
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.6.1. Técnicas	42
3.6.2. Instrumentos	42
3.7. Procedimiento de recolección de datos	42
3.7.1. Etapa de recolección de llantas	42
3.7.2. Etapa del estudio de laboratorio	43
3.8. Técnicas y análisis de datos	45
3.8.1. Prueba de normalidad	45
CAPÍTULO IV	48
RESULTADOS	48
4.1. Propiedades físicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas	48
4.1.1. Temperatura	48
4.1.2. Asentamiento	49

4.1.3. Contenido de aire	51
4.1.4. Peso unitario	52
4.1.5. Tiempo de fragua	53
4.1.6. Exudación	57
4.2. Propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas	59
4.2.1. Resistencia a la compresión	59
4.2.2. Resistencia a la flexión	66
4.2.3. Módulo de elasticidad del concreto	72
4.3. Costo de la aplicación de las fibras metálicas de llantas recicladas	74
4.4. Prueba de hipótesis	75
4.4.1. Hipótesis específica N°01	75
4.4.2. Hipótesis específica N°02	79
4.4.3. Hipótesis específica N°03	81
CAPÍTULO V	83
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
5.1. Propiedades físicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas	83
5.2. Propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas	85
5.3. Costo de la aplicación de las fibras metálicas de llantas recicladas	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	93
Anexo N° 01: Matriz de consistencia	94
Anexo N° 02: Análisis de precios unitarios.	96
Anexo N° 03: Ensayos de laboratorio.	100
Anexo N° 04: Panel fotográfico.	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	39
Tabla 2. Número de especímenes a ensayar.	41
Tabla 3. Prueba de normalidad de los datos para las propiedades físicas del concreto con FMLR.	45
Tabla 4. Prueba de normalidad de los datos para las propiedades mecánicas del concreto con FMLR.	46
Tabla 5. Prueba de normalidad de los datos para el costo del concreto con FMLR	47
Tabla 6. Temperatura del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	48
Tabla 7. Asentamiento del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	49
Tabla 8. Contenido del aire del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	51
Tabla 9. Peso unitario del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	52
Tabla 10. Tiempo de fragua inicial del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	54
Tabla 11. Tiempo de fragua final del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	55
Tabla 12. Tiempo de fragua total del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	56
Tabla 13. Exudación del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	57
Tabla 14. Resistencia a la compresión del concreto patrón.	59
Tabla 15. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 5 % de FMLR.	60
Tabla 16. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 10 % de FMLR.	62
Tabla 17. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 15 % de FMLR.	63
Tabla 18. Variación de la resistencia a la compresión del concreto con adición de FMLR.	64
Tabla 19. Resistencia a la flexión del concreto patrón.	66
Tabla 20. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 5 % de FMLR.	67
Tabla 21. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 10 % de FMLR.	68

Tabla 22. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 15 % de FMLR.	70
Tabla 23. Variación de la resistencia a la flexión del concreto con adición de FMLR.	71
Tabla 24. Variación del módulo de elasticidad del concreto con adición de FMLR.	73
Tabla 25. Variación del costo concreto con adición de FMLR.	74
Tabla 26. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°01.	76
Tabla 27. Comparación de grupos del asentamiento.	77
Tabla 28. Comparación de grupos del peso unitario.	78
Tabla 29. Comparación de grupos de la exudación.	78
Tabla 30. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°02.	79
Tabla 31. Comparación de grupos de la resistencia a la compresión.	80
Tabla 32. Comparación de grupos del módulo de elasticidad.	80
Tabla 33. Comparación de grupos de la resistencia a la flexión.	80
Tabla 34. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°02.	81
Tabla 35. Comparación de grupos para el costo del concreto.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de trabajo.	21
Figura 2. Ejemplo de diferentes secciones de fibras metálicas.	28
Figura 3. Incremento de la adherencia fibra concreto con diferentes formas de fibra.	29
Figura 4. Curva de refuerzo a compresión de CRFA.	30
Figura 5. Influencia del contenido de fibra en el refuerzo a tensión	31
Figura 6. Ejemplo de gráfica carga-deflexión	32
Figura 7. Tipo de segregación que se pueden producir en el concreto	33
Figura 8. Ensayo de Asentamiento.	34
Figura 9. Cilindro de concreto sometido a compresión.	35
Figura 10. Temperatura del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	49
Figura 11. Asentamiento del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	50
Figura 12. Contenido de aire del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	52
Figura 13. Peso unitario del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	53
Figura 14. Tiempo de fragua inicial del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	54
Figura 15. Tiempo de fragua final del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	56
Figura 16. Tiempo de fragua total del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	57
Figura 17. Exudación del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.	58
Figura 18. Resistencia a la compresión del concreto patrón.	60
Figura 19. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 5 % de FMLR.	61
Figura 20. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 10 % de FMLR.	63
Figura 21. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 15 % de FMLR.	64
Figura 22. Comparación de la resistencia a la compresión del concreto con adición de FMLR.	65
Figura 23. Variación de la resistencia a la compresión y adición de FMLR.	65
Figura 24. Resistencia a la flexión del concreto patrón.	67

Figura 25. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 5 % de FMLR.	68
Figura 26. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 10 % de FMLR.	69
Figura 27. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 15 % de FMLR.	70
Figura 28. Comparación de la resistencia a la flexión del concreto con adición de FMLR.	71
Figura 29. Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días y la adición de FMLR del concreto.	72
Figura 30. Variación del módulo de elasticidad del concreto con adición de FMLR.	73
Figura 31. Variación de la resistencia a la flexión y adición de FMLR.	75

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general: ¿Cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas?, el objetivo general fue: Evaluar cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas y la hipótesis general que se verificó fue La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

El método general de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel fue explicativo y el diseño fue experimental. La población correspondió al concreto con adición de fibra metálica de llantas recicladas, las cuales hacen un total de 192 especímenes; mientras que la muestra correspondió a los 192 especímenes descritos anteriormente, por lo que la muestra y la población son las mismas debido a que esta es relativamente pequeña.

Como conclusión principal se obtuvo que, la adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye de manera positiva en las propiedades mecánicas del concreto; sin embargo, las propiedades físicas no se modifican a excepción del asentamiento, el peso unitario y la exudación; de acuerdo a un porcentaje óptimo de 5 %.

Palabras clave: Propiedades del concreto, fibras metálicas, llantas recicladas.

ABSTRACT

The general problem of this investigation was: How does the addition of metallic fibers from recycled tires influence the physical and mechanical properties of concrete? The general objective was: To evaluate how does the addition of metallic fibers from recycled tires influence the physical and mechanical properties of concrete and the general hypothesis that was verified was The addition of metallic fibers from recycled tires positively influences the physical and mechanical properties of concrete.

The general research method was scientific, the type of research was applied, the level was explanatory and the design was experimental. The population corresponded to the concrete with addition of metallic fiber from recycled tires, which makes a total of 192 specimens; while the sample corresponded to the 192 specimens described above, so the sample and the population are the same because it is relatively small.

As a main conclusion, it was obtained that the addition of metallic fibers from recycled tires positively influences the mechanical properties of the concrete; however, the physical properties are not modified except for the slump, the unit weight and the exudation; according to an optimal percentage of 5 %.

Keywords: Concrete properties, metallic fibers, recycled tires.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación denominada: “Influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas”, surge de que en la actualidad el concreto es el material más utilizado para la construcción de infraestructuras civiles (edificios, puentes, pavimentos, obras hidráulicas, etc.); por lo cual se requiere que sus propiedades físicas y en especial las mecánicas, alcancen altos valores que puedan asegurar un adecuado desempeño ante la acción de solicitaciones; es por esto que, mediante el desarrollo de investigaciones se debe buscar alternativas económicas que puedan mejorar las mencionadas propiedades del concreto.

Otro aspecto que también se tomó en cuentas es que, en la actualidad, el gradual incremento de vehículos ha generado un problema con los elementos que se desechan de su uso, tales como como son las llantas de caucho, las cuales, al no tener una disposición adecuada, contaminan y perjudican muchos ecosistemas en botaderos informales. Es ante ello, que la presente investigación tuvo como objetivo principal, establecer si un componente de las llantas desechadas (las fibras metálicas), pueden modificar las propiedades del concreto, con el fin de que estas alcancen valores superiores a los de un concreto normal; para ello se varió la concentración de las fibras en proporciones del 5 %, 10 % y 15 % respecto del peso del cemento, para posteriormente realizar los ensayos en estado fresco y endurecido; siendo la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto las propiedades que se controlaron a los 7, 14, 21 y 28 días..

El desarrollo de este estudio está compuesto por 5 capítulos, los cuales son:

El Capítulo I: Problema de investigación, considera el planteamiento del problema, la formulación y sistematización del problema, la delimitación de la investigación, la justificación, las limitaciones y los objetivos.

El Capítulo II: Marco teórico, establece los antecedentes de la investigación, el marco conceptual, la definición de términos, las hipótesis y variables.

El Capítulo III: Metodología de la investigación, donde se explica el método de investigación, tipo de investigación, nivel, diseño, la población y muestra,

técnicas e instrumentos de recolección de información, el procesamiento de la información y las técnicas y análisis de datos.

El Capítulo IV: Resultados, acorde a los objetivos y las hipótesis.

El Capítulo V: Discusión de resultados, en relación a los antecedentes y demás bibliografía.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Berrospi Zevallos, Sheyla.

Bach. Inga Meza. Vladimir.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel mundial el uso de neumáticos va en incremento; el desgaste de estos hace que queden como desecho, convirtiéndose en residuo; siendo un problema la eliminación y el reciclaje de los neumáticos en desuso, a tal punto de que estos sean perjudiciales para el medio ambiente (Guzmán y Guzmán, 2015); asimismo, según La Verdad (2018) cada año 2 000 millones de neumáticos llegan al final de su vida útil, lo rescatable es que estos contienen acero y una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados como componentes secundarios en la fabricación de subproductos de alto valor añadido.

En el Perú, el problema del tratamiento de neumáticos fuera de uso (NFU) no cuenta con un marco normativo específico y adecuado, trayendo consigo un serio problema ambiental que a su vez genera riesgos para la salud de las personas (Magallanes y Guillén, 2014); no obstante no se cuenta con una cifra aproximada de producción de neumáticos que se desechan.

Asimismo, en los último años la innovación en la tecnología del concreto ha ido incrementándose, procurando la mejora de sus propiedades mecánicas con diferentes características para cada campo de su utilización; dentro de ellos es el uso de fibra de acero para la

elaboración de concreto para todo tipo de estructuras, pues ayudan al concreto en cuanto al agrietamiento y resistencia tanto a compresión y flexión (Gutierrez y Palomino, 2015; Ramírez, 2016).

Por lo tanto, ante las concepciones mencionadas es dable el estudio de las fibras de acero de neumáticos fuera de uso, como alternativa de mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto; pues con ello se estaría reutilizando uno de los más grandes contaminadores del medio ambiente y a la vez se contribuiría al avance de la tecnología del concreto.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades físicas del concreto?
- b) ¿De qué manera influye la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades mecánicas del concreto?
- c) ¿En cuánto incide la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en el costo del concreto?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica

La justificación práctica de la presente investigación recae en que, se ha podido demostrar que el uso de las fibras metálicas de llantas mejora las propiedades mecánicas del concreto, sin modificar de manera considerable las propiedades físicas. Esto resulta beneficioso, pues posee un menor costo a comparación de otros materiales convencionalmente utilizados. También es

importante resaltar que, el desarrollo de esta investigación da un uso alternativo a las fibras de las llantas de vehículos, que por lo general muchas veces son desechados sin ningún tipo de control, lo cual afecta el medio ambiente y sus ecosistemas.

1.3.2. Metodológica

La justificación de la presente tesis se basa en que mediante su desarrollo se pudo establecer una metodología para la fabricación de un concreto con adición de fibras de llantas recicladas, además que, mediante este procedimiento se estableció una dosificación adecuada que no perjudique las propiedades del concreto. Lo mencionado servirá como un nuevo punto de partida para futuras investigaciones.

1.3.3. Teórica o científica

La justificación teórica o científica está basada en el aporte científico que una investigación tiene, es por lo cual que con el desarrollo de esta investigación se ha podido incrementar el conocimiento referente al comportamiento del concreto con adición de elementos como las fibras recicladas de llantas, definiendo de esta manera la factibilidad de su uso y aplicación.

1.4. Delimitación

1.4.1. Espacial

El desarrollo de la presente tesis fue a nivel de laboratorio, el cual se ubicó en el distrito y provincia de Concepción en el departamento de Junín.



Figura 1. Ubicación de la zona de trabajo.
Fuente Google Earth (2019).

1.4.2. Temporal

La duración de la tesis comprendió los meses de junio a diciembre del 2019 y de enero a noviembre del 2019.

1.4.3. Económica

La presente tesis fue asumida íntegramente por los investigadores, por lo que no se contó con ningún tipo de financiamiento externo.

1.5. Limitaciones

Entre las principales limitaciones del desarrollo de la presente tesis fue que, en la ciudad de Huancayo no existe una planta recicladora de llantas; por lo que la obtención de las fibras fue de manera artesanal; esto prolongó el tiempo de ejecución de la tesis modificando las fechas planificadas.

Otra limitación importante fue que, debido al limitado presupuesto de la investigación no se ejecutaron tramos de prueba, por lo que solo se consideraron los ensayos a nivel de laboratorio.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades físicas del concreto.
- b) Establecer de qué manera influye de la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades mecánicas del concreto.
- c) Estimar en cuanto incide la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en el costo del concreto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Hernández y Triana (2008) en su investigación “Efecto de la cuantía volumétrica de fibra en la resistencia del SFRC a la fractura en Modo III - Fase I” determinaron la influencia de la cuantía volumétrica en la resistencia a la fractura de elementos prismáticos de concreto reforzado con un tipo de fibras cortas de acero con ganchos en los extremos, induciendo una superficie de fisuración en modo III, para lo cual realizaron diseño de mezclas para resistencias de 28 MPa y 35 MPa en cuantías de 0 %, 0.5 %, 1 % y 1.5 %. Con el diseño se elaboraron testigos cilíndrico para ser roturados a los 28 días de edad, también fabricaron 8 vigas con cada cuantía de la adición de fibra metálica mencionada los cuales, después de 56 días, se ensayaron a torsión mediante un montaje que constaba de dos secciones metálicas y que por medio de brazo metálicos inducían la torsión; en este contexto obtuvieron el valor de las propiedades como resistencia a la compresión , módulo de elasticidad, resistencia a la torsión, curva momento torsor-giro para las 64 vigas de SFRV. En conclusión, obtuvieron que el incremento en la resistencia a la torsión es

directamente proporcional a la adición de fibras y a la resistencia a la compresión de los especímenes, pues la mejora en la resistencia a la torsión es del 54 %.

Pulido (2014) en su investigación “Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras” estudió el comportamiento a la fuerza cortante en vigas de hormigón armado reforzado con fibras (HARF) mediante la aplicación de modelos numéricos con un programa de elementos finitos. La finalidad fue implementar una ley constitutiva que defina el comportamiento a tracción de estas vigas reforzadas, para lo cual estudiaron varios modelos constitutivos existentes, implementando así un modelo “tensión-stiffening” para modelar numéricamente una serie de ensayos experimentales de vigas críticas a cortante con diferentes cuantías de armadura transversal y con diferentes proporciones de adición de fibra. Como resultados obtuvo que en el caso de armaduras sin refuerzo transversal las simulaciones no predijeron el comportamiento ante la carga última, mientras que en las vigas con estribos el modelo tuvo un comportamiento acorde con el modelamiento numérico, sin embargo, se notaron diferencias entre los diagramas carga-flecha. Como conclusión determinó que las fibras repartidas aleatoriamente en la composición del hormigón son capaces de aportar en la mejora de propiedades como la fisuración, resistencia a la tracción, aumento en la ductilidad y aumento en la energía de fractura.

Ramírez (2016) en su investigación “Estudio del comportamiento del concreto reforzado con fibras obtenidas del reciclado de llantas”, evaluó el comportamiento de las fibras de acero de llantas recicladas en el concreto, para lo cual construyó especímenes de forma cilíndrica y prismática. Para la elaboración de los especímenes consideró un concreto patrón y otros dos con adiciones al 5 kg/m^3 y 9 kg/m^3 de fibra; cabe resalta que los ensayos fueron realizados de acuerdo a la norma ACI 221.1, para

una resistencia de 250 kg/cm², un slump de 7.50 cm, agregado grueso de 19 mm y una relación de agua-cemento de 0.6; para posteriormente ser ensayado a compresión y flexión a los 28 días. Como conclusión obtuvo que una proporción del 5 kg/m³ y 9 kg/m³ no afectan significativamente la resistencia a la compresión y flexión

2.1.2. Internacionales

Gutierrez y Palomino (2015) en su tesis “Análisis de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno y acero, y su uso en el control de fisuras por contracción plástica” evaluaron el comportamiento físico mecánico del concreto con fibras de polipropileno y acero en la aparición de fisuras; para tal fin fabricaron nueve probetas cilíndricas y seis vigas de concreto para cada tipo de fibra, los cuales fueron ensayados a compresión y flexo tracción, además elaboraron cubos de 50 mm de lado para determinar su desgaste en la máquina de los Ángeles. Las resistencias de diseño consideradas para el proyecto fueron e 175 kg/cm², 210 kg/cm² y 280kg/cm² a los 28 días de edad, por lo que en general realizaron 60 diseños de mezcla y elaboraron 660 probetas entre cilíndricas y prismáticas. Como conclusión determino que la trabajabilidad disminuyó sin embargo en cuanto a la resistencia a la compresión y el flexo tracción se incrementó con el uso de la fibra de acero hasta en 42 % para una resistencia de 210 kg/cm²; por lo que en consecuencia la reducción de fisuras fue notoria en cada espécimen de estudio.

Guzmán y Guzmán (2015) en su tesis “Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural” estudiaron el comportamiento físico y mecánico de las mezclas de concreto sustituyendo parcialmente los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural,

para lo cual elaboraron testigos de concreto sustituyendo parcialmente la cantidad de áridos en 5 %, 15 % y 25 % con caucho triturado. Las normativas NTP y ASTM la aplicaron para determinar la consistencia, densidad, absorción, porosidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, módulo de elasticidad y resistencia al fuego, para posteriormente con los valores obtenidos diseñar una edificación de 6 niveles mediante la aplicación del software Etabs v.15. Como conclusión determinó que la incorporación de un 5 % de caucho de llanta reciclada mejoró algunas propiedades físicas y mecánicas del concreto, lo que de acuerdo al modelamiento tuvo un comportamiento aceptable, sin embargo, las proporciones del 15 % y 25 % disminuyeron las propiedades del concreto.

Sánchez (2009) en su tesis “Estudio de las características del concreto con inclusión de fibras metálicas y cemento portland Tipo I” comparó las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de tres relaciones agua/cemento y la variación de fibra metálica en 3 dosificaciones; en este contexto se empezó con el diseño patrón de cada relación a/c, el cual sirvió de base principal para compararla con la variación de la dosificación de cada fibra para cada diseño, además los agregados fueron ensayados para conocer sus propiedades, mientras que las fibras metálicas se obtuvieron de forma comercial. Para determinar el diseño de mezcla primero obtuvieron el porcentaje de arena y piedra de acuerdo al método del agregado global con la finalidad de calcular una adecuada relación arena/piedra; con esta relación se determinó un diseño de mezcla más preciso para las tres relaciones agua/cemento (0.40, 0.45 y 0.50), con dosificaciones de fibra metálica en proporciones de 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³. Como conclusión determinó que las dosificaciones de 15 kg/cm³ y 20 kg/cm³ mejoran las propiedades del concreto y en especial disminuye la generación de fisuras al pasar las 24 horas

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Fibra

Según Ramírez (2016) en base a la normativa ASTM-C-1116 las fibras se puede conceptualizar como: “Filamentos finos y elongados en forma de manojos, mallas o trenzas de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de concreto fresco.”

Clasificación de fibras

Para Ramírez (2016) quien se basa en el reporte 544.1R del ACI existen los siguientes tipos de fibras:

- Fibras naturales: Son fibras no procesadas y obtenidas de la naturaleza. Algunas de estas fibras provienen del gabazo de caña de azúcar, coco, sisal, palma o plátano.
- Fibras sintéticas: Son derivados poliméricos o provienen de la industria textil. Se clasifican de acuerdo a su diámetro, las microsintéticas tienen diámetros menores a 0.3 mm. y las fibras macrosintéticas tienen un diámetro mayor a 0.3 mm.
- Fibras de vidrio: son fabricadas en su gran proporción de sílice. Entre sus principales desventajas es la reacción álcali-agregado.
- Fibras metálicas: son secciones discretas de acero bajo en carbono o acero inoxidable, su forma puede ser variada para mejorar el contacto entre fibra y cementante.

2.2.2. Fibra metálica

De acuerdo a Ramírez (2016) en base al ACI-544.1R (1996) define a las fibras metálicas como: “fibras cortas de acero, con una relación entre la longitud y diámetro de 20 y 100 respectivamente, que además considera secciones transversales

variadas y lo suficientemente pequeñas para esparcirse aleatoriamente en una mezcla de concreto convencional”.

De acuerdo a Ramírez (2016) las fibras metálicas se clasifican de acuerdo al proceso de su fabricación:

- Tipo I – Fibras de alambre estirados en frío.
- Tipo II – Fibras cortadas de chapas.
- Tipo III – Fibras extraídas de fundición.
- Tipo IV – Otras fibras.

Otro aspecto importante a considerar es la forma longitudinal de la fibra, pues repercute en la resistencia del concreto; a continuación, se muestran los diferentes tipos de fibras

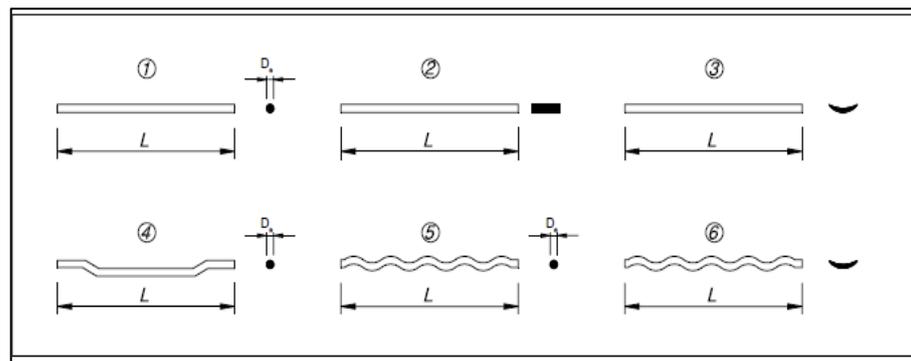


Figura 2. Ejemplo de diferentes secciones de fibras metálicas.
Fuente: Ramírez (2016)

Las fibras metálicas se caracterizan por su forma, longitud y diámetro. Entre las características más importantes de las fibras metálicas es la relación entre su longitud y diámetro ($\lambda=L/D$), esta relación se encuentra entre 20 y 100 (Ramírez, 2016).

Según Gallo, Gonzáles y Carrillo (2013) la longitud de las fibras metálicas está entre 6.4 a 76 mm, mientras que su diámetro común está en el rango de 0.5 a 1.0 mm.

Según el ACI544-1R (1996) la cantidad de fibra necesaria se estima en función del volumen (V_f), la cual se calcula como el cociente de la dosificación de fibra (D_f) en kg/m^3 entre la densidad del acero (7850 kg/m^3) ($V_f=D_f/\gamma_s$).

La dosificación común de la fibra de acero está entre 0.2 a 1 % de fracción volumen, lo que da una proporción de 15 a 78 kg/m³ aproximadamente (ACI544-3R, 2008). El uso de las fibras de acero de llantas recicladas para la elaboración de los especímenes de ensayo es de sección longitudinal irregular y sección transversal circular (Ramírez, 2016).

2.2.3. Concreto reforzado con fibra de acero

El “American Concrete Institute” (ACI) el Concreto Reforzado con Fibra de Acero (CRFA) es una mezcla de cemento hidráulico con contenido de agregados finos y gruesos adicionado a la vez fibras de acero discretas discontinuas (Ramírez, 2016).

Las fibras que mejor comportamiento presentan son las que poseen un perfil ondulado o superficie deformada o con dobleces en los extremos (Ramírez, 2016).

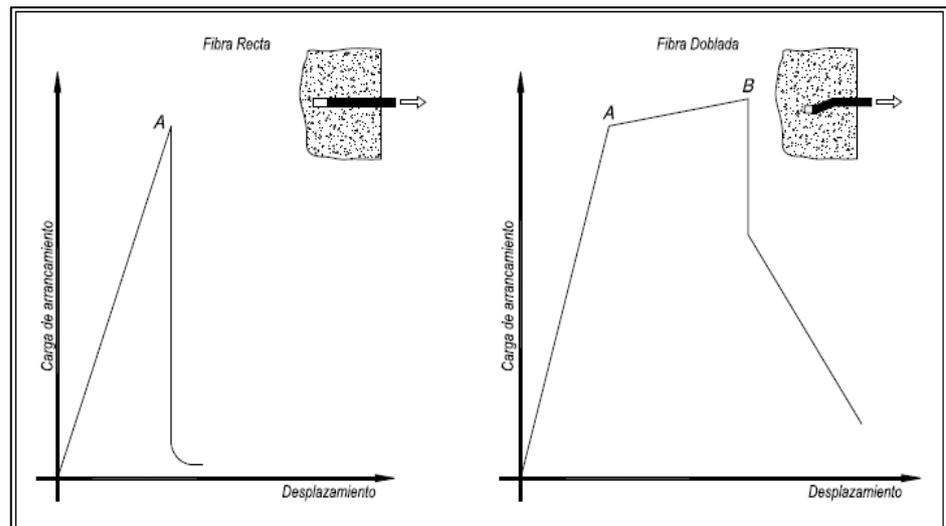


Figura 3. Incremento de la adherencia fibra concreto con diferentes formas de fibra.

Fuente: Ramírez (2016).

Lo mencionado anteriormente se demuestra en la Figura 3 en la que es posible observar el efecto de extracción de la fibra ondulada y lisa.

Variación de las propiedades físicas a causa de las fibras metálicas

Una de las propiedades que se ve afectada cuando se adiciona las fibras metálicas es la trabajabilidad.

De acuerdo a varias investigaciones el uso de fibras con una relación mayor a 100 generalmente causa que la trabajabilidad sea baja, por lo que es necesario un reajuste al diseño de mezcla o a la adición de químicos, para controlarlo (Ramírez, 2016). Otra propiedad en la que interviene la adición de fibras metálicas es en el agrietamiento por contracción plástica, la cual es causada debido a cambios repentinos en la temperatura y humedad generando mayor evaporación del agua antes de que fragüe; es en este contexto la adición de fibras metálicas reduce el efecto del agrietamiento debido a que actúa como reforzamiento en el concreto (Özgür y Khaled, 2010).

Variación de las propiedades mecánicas a causa de las fibras metálicas

De acuerdo al ACI544-1R (1996) del ACI la adición de fibras metálica en el concreto incrementa su resistencia en un rango de 0 a 15 %, cuando el porcentaje de fibra sea mayor al 1.5 % de fracción volumen de fibra. En la siguiente figura se muestran curvas de esfuerzo a compresión para concretos con diferentes cantidades de fibra de acero.

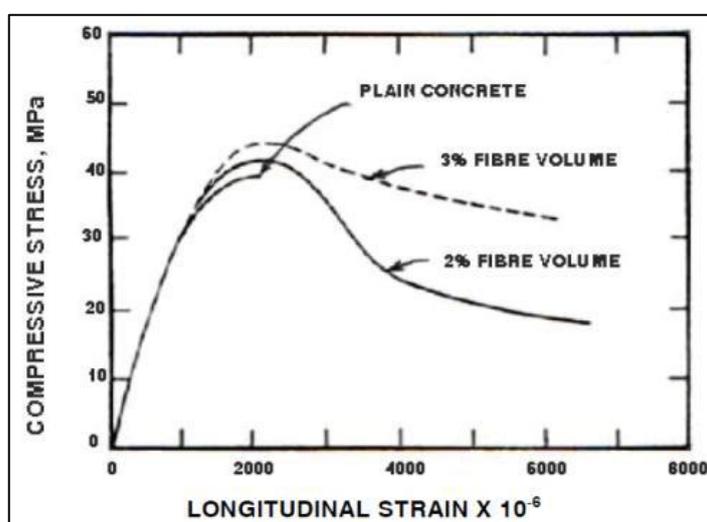


Figura 4. Curva de refuerzo a compresión de CRFA.
Fuente: Ramírez (2016).

Otra propiedad que modifica la adición de la fibra metálica es en el comportamiento de tensión directa aumentándola considerablemente; pues según Ramírez (2016) el incremento se da entre 30 % al 40 % para adiciones del 1.5 % de fracción volumen de fibra en morteros y concretos.

En la siguiente figura se puede observar el incremento en porcentaje de la tensión directa para CRFA variando la cantidad de fibra y su relación de aspecto.

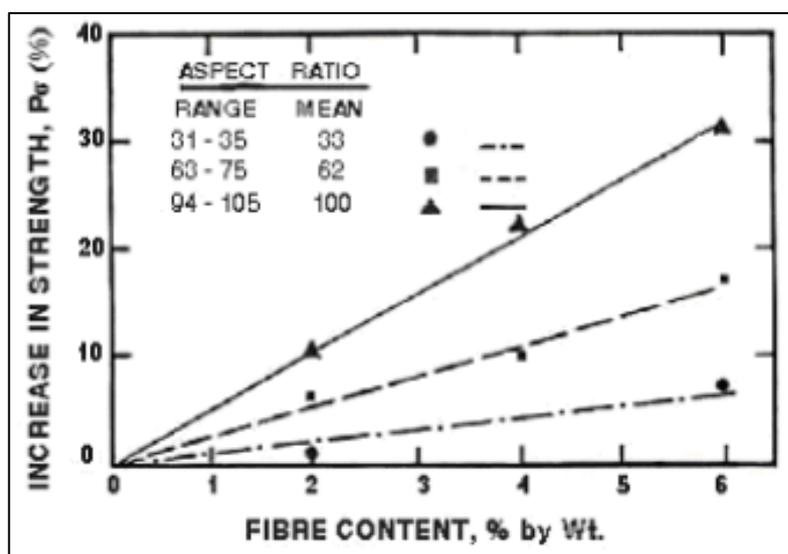


Figura 5. Influencia del contenido de fibra en el refuerzo a tensión
Fuente: Ramírez (2016).

La incidencia de la fibra metálica en el concreto es más notoria en la resistencia a la flexión que en la resistencia a compresión y torsión; este aumento en la resistencia a la flexión depende en muchos de los casos de la relación entre el diámetro y longitud, a la proporción de fibra la cual oscila de acuerdo 1.5 – 2 % (ACI544-1R, 1996).

En el reporten del ACI544-3R, (2008) se menciona que el agregado grueso mayor a 19 mm. no es recomendado para el CRFA.

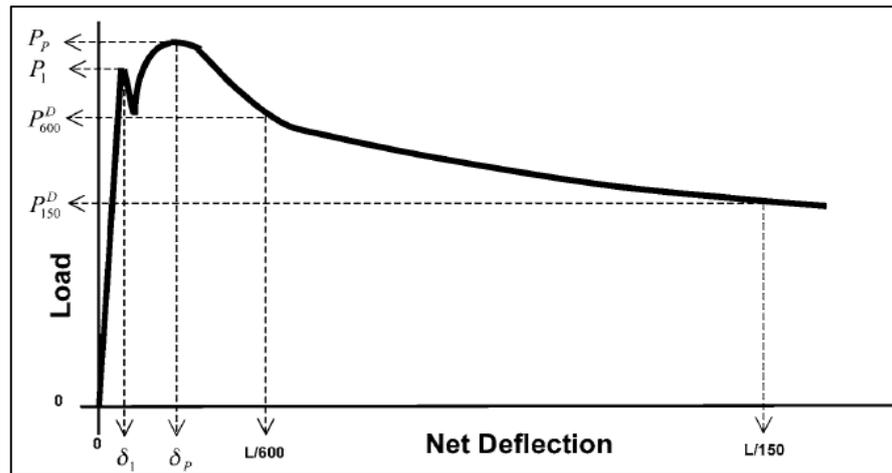


Figura 6. Ejemplo de gráfica carga-deflexión
Fuente: Ramírez (2016).

2.2.4. Propiedades en estado fresco

Según Guzmán y Guzmán (2015) las propiedades del concreto en estado fresco representa el comportamiento de este cuando el concreto no ha alcanzado su estado endurecido, y cuyas características se describe a continuación:

Consistencia

Según Guzmán y Guzmán (2015) es la habilidad para fluir del concreto fresco, es decir, es la fluidez con diferentes contenidos de humedad. Su clasificación dependerá de la fluidez, si es muy fluida tiene una “consistencia aguada”; si la fluidez es media, presenta “consistencia plástica” y, si la fluidez es poca tiene una “consistencia seca”, para determinarla se realiza el ensayo de consistencia según la NTP 339.035 – ASTM C413.

Plasticidad

Es la propiedad que tiene el concreto para poder deformarse y recuperar su condición inicial (Guzmán y Guzmán, 2015).

Fraguado

Según Guzmán y Guzmán (2015) el fraguado se da debido a las pérdidas del agua en la mezcla causado por la mezcla entre el agua y el cemento, a la que se le suma el grado por la evaporación y por el desecamiento, se entiende que la masa de concreto

pierde gradualmente su fluidez y su plasticidad, transformándose en una masa rígida que resiste la penetración, esta se divide en dos etapas, denominadas como “fraguado inicial” y “fraguado final”. Los tiempos del fraguado inicial y del final, son del orden de horas y dependen del tipo de cemento y aditivos que se estén empleando, la determinación del fraguado se determina de acuerdo a la NTP 339.007 – ASTM C232.

Exudación

Para Guzmán y Guzmán (2015) es la propiedad de perder agua del concreto. Es una de las propiedades más importante del concreto fresco, desde el punto de vista práctico, debido a que si no se controla la resistencia a que fue diseñada no se logra alcanzar. Este fenómeno ocurre debido a que durante las operaciones de mezclado, transportación, colocación y acabados, el concreto está sujeto a una mala dosificación o al descuido del manejo del concreto al momento de su colocación generando un fenómeno al que se le conoce como “sangrado”, esta tiende a subir a la superficie de la masa debido al fenómeno de capilaridad y a la incapacidad de retención de los sólidos; donde una parte del agua sube a la superficie y otra parte queda atrapada entre los agregados gruesos.

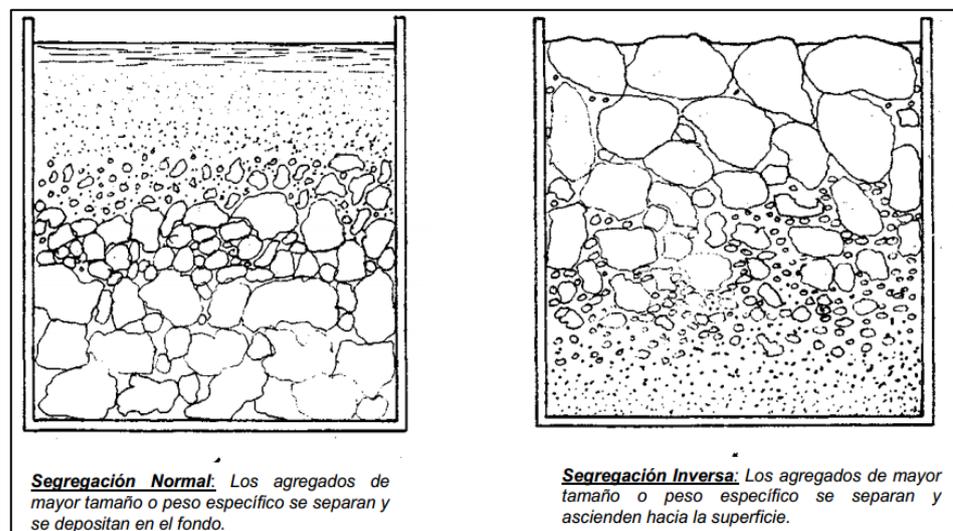


Figura 7. Tipo de segregación que se pueden producir en el concreto
Fuente: Guzmán y Guzmán (2015).

La determinación de la exudación se determina de acuerdo a la NTP 339.077 – ASTM C232.

Asentamiento

Es una forma de medir la consistencia del concreto, de acuerdo al grado de fluidez de la mezcla. No es una medida directa, pero da una idea de la trabajabilidad, cohesividad, facilidad de colocación y terminación. El ensayo se realiza con el cono de Abrams y el método descrito en el I.N.V.E – 404-13 (Terreros y Carvajal, 2016).

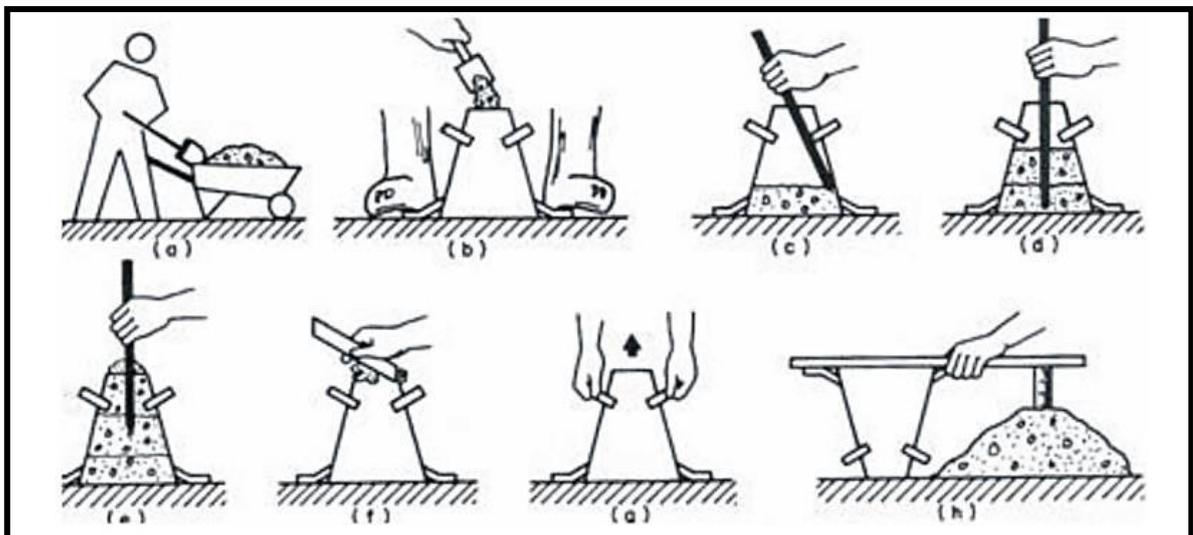


Figura 8. Ensayo de Asentamiento.
Fuente: Terreros y Carvajal (2016)

Contenido de aire

El contenido de aire está presente en todos los concreto, estos se encuentran en los poros no saturados de los agregados y en las burbujas generadas por la mezcla de los componentes del concreto (Terreros y Carvajal, 2016)

Temperatura del concreto

Es un ensayo para medir la temperatura del concreto fresco, el valor medido en base a lo establecido en la norma ASTM C 1064, representa la temperatura en el momento de la prueba, puede usarse para establecer la conformidad a una prescripción para la temperatura del concreto (Terreros y Carvajal, 2016).

2.2.5. Propiedades del concreto en estado endurecido

Resistencia a la compresión

Es la máxima resistencia promedio de varios testigos de concreto o de mortero a carga axial, se expresan en general kg/cm^2 a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f'c$. Los ensayos a compresión de mortero se ejecutan en cubos de 5 cm, mientras que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, su ejecución está descrito en la NTP 339.034 – ASTM C39 (Guzmán y Guzmán, 2015).

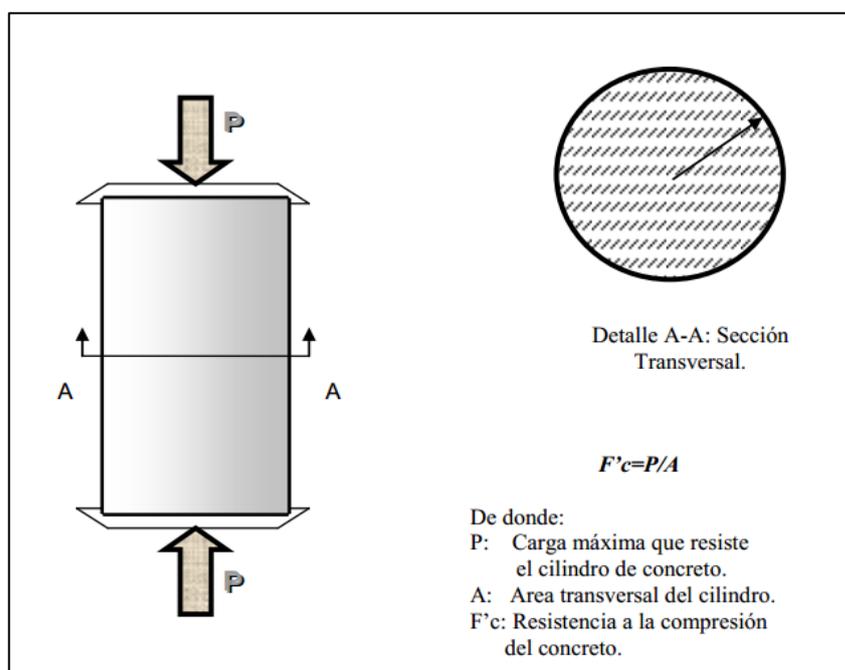


Figura 9. Cilindro de concreto sometido a compresión.

Fuente: Guzmán y Guzmán (2015)

Resistencia a la flexión

Este ensayo es aplicable para determinar las propiedades para el diseño de losas pavimentos y vigas. Según Pulido (2014) se puede determinar indirectamente de la resistencia a la compresión relacionándola mediante un índice de la resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión es también denominada Módulo de Ruptura cuyo valor para concreto normal es

aproximadamente de 1.99 a 3.18 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Peso unitario

Esta propiedad se refiere a la determinación del peso del concreto por unidad de volumen, por lo general tiene un peso unitario con valores de 2 240 a 2 400 kg/m³. El peso unitario varía según la cantidad y de la densidad relativa del agregado, la cantidad del aire atrapado o incluido, los contenidos de agua y del cemento. Para determinar el peso del concreto seco se estima sustrayendo el peso del agua que se perderá. Lo que de acuerdo a Hernández y Triana (2008) la disminución del peso unitario en estado endurecido es del 2 % a 3 %, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

Durabilidad del concreto

Teniendo en consideración el comité 116 del ACI, esta propiedad es la capacidad de soportar la acción del medio ambiente, los ataques químicos, abrasión y otras condiciones de servicio, de tal forma que se conserven sus características durante su vida útil (Terreros y Carvajal, 2016).

Módulo de elasticidad del concreto.

Según Guzmán y Guzmán (2015) el módulo de elasticidad es la tensión ejercida sobre el área de una sección transversal del elemento, si se desea determinarlo con fines de diseño, es posible estimarlo directamente de la resistencia del concreto mediante expresiones empíricas. De acuerdo a lo mencionado en el reglamento ACI 318 se recomienda la siguiente expresión:

$$E_c = 33W_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

O su equivalente en unidades del sistema métrico.

$$E_c = 0.1303 W_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

En donde: E_c = Módulo de elasticidad estático a compresión, determinado a la edad de proyecto en lb/pul² o en Kg/cm² W_c = Peso unitario del concreto endurecido, en condición seca al aire. f'_c = Resistencia a compresión del proyecto en lb/pul² o en Kg/cm²

2.3. Definición de términos

Agregados: Es el conjunto de material inorgánico, de origen natural o artificial, cuyas características se describe en la NTP 400.011. Los agregados ocupan en promedio en 65 % a 70 % del volumen total del concreto, por lo cual radica su importancia (Gutierrez y Palomino, 2015).

Agua en el concreto: Es elemental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido (Gutierrez y Palomino, 2015).

Concreto reforzado con fibra metálica: Se refiere al concreto elaborado con un conglomerante hidráulico, generalmente cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras de acero discontinuas con la finalidad de contribuir en la mejora de determinadas características. Estos concretos tienen menos docilidad a comparación de los concretos convencionales (Gutierrez y Palomino, 2015).

Llanta: Pieza de forma toroidal, construida a partir de caucho, fibra textil y acero, para cumplir de amortiguar y facilitar el tránsito de vehículos, además el grado de contaminación generada después de su uso es alta (Ramírez, 2016).

Cemento: Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes (Sánchez, 2009).

Diseño de mezcla: Viene a ser la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos para lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos del proyecto constructivo (Sánchez, 2009)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto.
- b) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto.
- c) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas incide de manera significativa en el costo del concreto.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de las variables

Variable independiente: Fibra metálica. – Son secciones discretas de acero bajo en carbono o acero inoxidable, su forma puede ser variada para mejorar el contacto entre fibra y cementante (Ramírez, 2016).

Variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas. - Son las propiedades del concreto tanto en estado fresco o endurecido.

2.5.2. Definición operacional de las variables

Variable independiente: Fibra metálica. – Se utilizó como adición al concreto en cantidades de 5 %, 10 % y 15 % en relación al peso de cemento.

Variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas. - Se midió en laboratorio tal como el asentamiento, exudación,

contenido de aire, temperatura, tiempo de fragua, peso unitario, resistencia a compresión, flexión y módulo de elasticidad.

2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente (X): Fibra metálica	Cantidad de fibra metálica de llanta reciclada	Peso de fibra metálica
Variable dependiente (Y): Propiedades físicas y mecánicas	Propiedades físicas	Asentamiento Exudación Contenido de aire Temperatura Tiempo de fragua Peso unitario
	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Módulo de elasticidad

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método de investigación correspondió al método científico, porque los resultados obtenidos contaron con valor científico, debido a que se tuvo en cuenta un procedimiento riguroso y controlado (observación, planteamiento del problema, planteamiento de hipótesis, la experimentación y conclusiones); a fin de ser reproducibles; es decir, que sea factible la ejecución de los experimentos en otros lugares con similares condiciones a los de esta investigación.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue la aplicada, porque se hizo uso de los conocimientos obtenidos por la investigación “básica”, todo ello para resolver problemas prácticos, permitiendo así el avance de la sociedad. Es decir, en el desarrollo de la tesis se ha considerado teorías como el de diseño de mezcla de concreto, además de información necesaria para la ejecución de los ensayos de investigación; todo ello con el fin de demostrar que las adiciones de las fibras de llantas recicladas mejoran las propiedades del concreto sin perjudicar a sus propiedades físicas.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente investigación fue explicativo, pues además estimar la correlación que existen entre variables se analizó las causas (fibras metálicas) y efectos (en las propiedades físicas y mecánicas del concreto); esto para generar un sentido de entendimiento o efecto que causa la incorporación de fibras metálicas de llantas recicladas en el concreto.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue el experimental, debido a que se manipuló la variable independiente que viene a ser la fibra metálica; esto para ver su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Esta variación fue del 5 %, 10 % y 15 % respecto al peso del cemento; para posteriormente compararla con un elemento patrón cuya resistencia de diseño fue de 210 kg/cm².

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población correspondió al concreto con adición de fibra metálica de llantas recicladas; las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Número de especímenes a ensayar.

Propiedad del concreto	Concreto patrón	Concreto + 5% FMLR	Concreto + 10% FMLR	Concreto + 15% FMLR
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado (%)	3	3	3	3
Temperatura (°C)	3	3	3	3
Asentamiento (mm)	3	3	3	3
Asentamiento (Pulgadas)	3	3	3	3
Peso unitario (kg/m ³)	3	3	3	3
Tiempo de fragua inicial	3	3	3	3
Tiempo de fragua final	3	3	3	3
Exudación	3	3	3	3
Resistencia a la compresión	12	12	12	12
Resistencia a la flexión	12	12	12	12
Tota de muestras			192	

3.5.2. Muestra

La muestra correspondió a los 192 especímenes descritos anteriormente, por lo que la muestra y la población son las mismas debido a que esta es relativamente pequeña.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Análisis documental

Se obtuvo datos relacionados con la variable de estudio de fuentes secundarias: artículos científicos, tesis, libros, revistas y demás.

La observación de campo experimental

Consistió en observar de manera estructurada a las variables de estudio durante la recolección de información y al momento de la ejecución de los ensayos de laboratorio, para su registro correspondiente para su posterior análisis.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos aplicados en el desarrollo de la presente tesis fueron los establecidos por las normas técnicas peruanas, las cuales son estandarizadas por normas internacionales como el ACI y las ASTM.

3.7. Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento de recolección de los datos, fueron esquematizados en dos etapas:

3.7.1. Etapa de recolección de llantas

Esta etapa consistió en la adquisición y posterior tratamiento de las llantas recicladas, el cual está en función a los siguientes pasos:

- Compra de llantas recicladas en el distrito de Huancayo.

- Corte de llantas para la selección y separación del caucho y los alambres.
- Pesaje de las fibras metálicas de las llantas recicladas.

3.7.2. Etapa del estudio de laboratorio

En esta etapa se ha realizado el estudio de los componentes del concreto y los procedimientos de ejecución de los ensayos considerados en esta tesis:

Estudio del agregado

Consistió en la ejecución de los siguientes ensayos

- NTP 339.185:2013 (revisada el 2018): Método para obtener el contenido de humedad total evaporable en agregados.
- NTP 400.010:2020: Método para la correcta extracción del agregado.
- NTP 400.012.2012 (revisada el 2018): Metodología para el análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global.
- NTP 400.015.2013 (revisada el 2018): Método para establecer la cantidad de terrones en los agregados.
- NTP 400.017.2020: Ensayo para calcular el peso unitario y el porcentaje de vacíos de los agregados.
- NTP 400.018:2013 (revisado el 2018): Ensayos para elementos que pasan la malla N°200.
- NTP 400.021:2020: Ensayos para la obtención de la densidad (normal y relativa) y la absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022:2013 (revisada el 2018): Ensayos para la obtención de la densidad (normal y relativa) y la absorción del agregado fino.

- NTP 400.024:2020: Ensayo con el que se obtiene la cantidad de impurezas del agregado.
- NTP 400.037:2018: Límites mínimos del agregado para la elaboración del concreto.

Ensayos al concreto en estado fresco.

- NTP 339.035:2015: Ensayo para la determinación del asentamiento en el concreto fresco.
- NTP 339.080:2017: Método para la determinación del contenido del aire en el concreto.
- NTP 339.184:2013 (revisada el 2018): Ensayo para la estimación de la temperatura del concreto.
- NTP 339.046:2019: Ensayo para la estimación del peso unitario y rendimiento del concreto.
- NTP 339.077:2013 (revisada el 2018): Método para la estimación de la exudación en el concreto.
- NTP 339.082:2017: Ensayo para la estimación del tiempo de fraguado del concreto.

Ensayos del concreto en estado endurecido

- NTP339.183:2013 (revisada el 2018): Método para la elaboración de testigos de concreto en laboratorio.
- NTP 339.034:2015: Ensayo para medir la resistencia a la compresión del concreto
- NTP 339.078:2012 (revisada el 2017): Ensayo para la determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
- Finalmente se estimó el módulo de elasticidad del concreto en función a la fórmula establecida por Kosmatka et al. (2004).

$$e = 15000 * \sqrt{f'c}$$

3.8. Técnicas y análisis de datos

El análisis de los datos recolectados durante la ejecución de los ensayos de laboratorio fue procesado desde un enfoque cuantitativo; por lo que se utilizó el análisis estadístico tanto descriptivo como inferencial. El análisis descriptivo fue aplicado para la generalización de los valores de un grupo de estudio; mientras que el análisis inferencial fue tomado en cuenta para la comparación de los grupos considerados en los ensayos.

3.8.1. Prueba de normalidad

El primer aspecto analizado fue la normalidad de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio; esto se ha logrado mediante la aplicación del estadístico de Shapiro – Wilk.

La prueba de normalidad se ha realizado en función a los objetivos determinados, tal como se muestran a continuación.

Prueba de normalidad de las propiedades físicas del concreto

Tabla 3. Prueba de normalidad de los datos para las propiedades físicas del concreto con FMLR.

Grupos	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
Contenido de aire	Concreto patrón	.923	3	.463
	5% de FMLR	.750	3	.000
	10% de FMRL	.902	3	.391
	15 % de FMLR	.991	3	.817
Temperatura del concreto	Concreto patrón	.942	3	.537
	5% de FMLR	1.000	3	1.000
	10% de FMRL	.976	3	.702
	15 % de FMLR	.999	3	.942
Asentamiento	Concreto patrón	.987	3	.780
	5% de FMLR	.987	3	.780
	10% de FMRL	.750	3	.000
	15 % de FMLR	.750	3	.000
Peso unitario	Concreto patrón	.750	3	.000
	5% de FMLR	.996	3	.878
	10% de FMRL	.987	3	.780
	15 % de FMLR	1.000	3	1.000
Tiempo de fragua inicial	Concreto patrón	.797	3	.107
	5% de FMLR	.998	3	.921

	10% de FMRL	.980	3	.729
	15 % de FMLR	.986	3	.772
Tiempo de fragua final	Concreto patrón	.935	3	.506
	5% de FMLR	.888	3	.348
	10% de FMRL	.987	3	.785
	Concreto patrón	.842	3	.220
Tiempo de fragua	5% de FMLR	1.000	3	.968
	10% de FMRL	.964	3	.633
	15 % de FMLR	.986	3	.772
	Concreto patrón	.871	3	.298
Exudación	5% de FMLR	.964	3	.637
	10% de FMRL	.750	3	.000
	15 % de FMLR	1.000	3	1.000

Como se muestra en la tabla anterior, se ha estimado la normalidad de los datos obtenidos mediante el estadístico de Shapiro – Wilk; de la cual se ha establecido que, todas las propiedades presentan una distribución no normal, pues la significancia de los datos de cada propiedad analizada es superior a 0.05.

Prueba de normalidad de las propiedades mecánicas del concreto

La normalidad de los datos obtenidos para la medición de las propiedades mecánicas se determinó, como ya se mencionó, mediante el estadístico Shapiro - Wilk; obteniéndose así los siguientes resultados.

Tabla 4. Prueba de normalidad de los datos para las propiedades mecánicas del concreto con FMLR.

Grupos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión	Concreto patrón	1.000	3 .996
	5% de FMLR	.964	3 .637
	10% de FMRL	.947	3 .557
	15 % de FMLR	.975	3 .695
Módulo de elasticidad	Concreto patrón	1.000	3 .994
	5% de FMLR	.964	3 .635
	10% de FMRL	.947	3 .556
	15 % de FMLR	.975	3 .696
Resistencia a la flexión	Concreto patrón	.976	3 .702
	5% de FMLR	.839	3 .210
	10% de FMRL	.993	3 .842
	15 % de FMLR	.987	3 .780

Como se muestra en la Tabla 4, la significancia de los indicadores de la dimensión “propiedades mecánicas” son

mayores a 0.05; es por lo cual que se concluye que, la distribución de los datos en las propiedades mecánicas es no normal.

Estos resultados implican que para la prueba de hipótesis se deberá tener en cuenta estadísticos no paramétricos.

Prueba de normalidad del costo del concreto

Finalmente, el último aspecto analizado fue la normalidad del costo del uso del concreto; para ello se ha aplicado el estadístico establecido por Shapiro – Wilk; obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 5. Prueba de normalidad de los datos para el costo del concreto con FMLR

Porcentaje de FMLR		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Costo del concreto	Concreto patrón	1.000	3	1.000
	5% de FMLR	1.000	3	1.000
	10% de FMRL	1.000	3	1.000
	15 % de FMLR	1.000	3	1.000

En la tabla anterior se observa que debido a que la significancia de los grupos analizados es mayor a 0.05, se concluye que el costo de la elaboración del concreto con fibras metálicas de llantas recicladas tiene una distribución no normal.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Propiedades físicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas

4.1.1. Temperatura

La temperatura del concreto fue determinada en función a los establecido en la norma NTP 339.033, la cual menciona y establece los procedimientos y requisitos mínimos para obtener correctamente esta propiedad del concreto.

La temperatura en el concreto es muy importante, pues depende de ella la velocidad de reacción entre las partículas del material cementante, el agua y los agregados. Es en este contexto que su evaluación resultó un aspecto importante; obteniéndose así los siguientes resultados:

Tabla 6. Temperatura del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Temperatura (°C)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	18.32	18.40	18.60	0.14	18.44	
Concreto + 5% FMLR	18.50	18.40	18.45	0.05	18.45	0.05
Concreto + 10%FMLR	18.48	18.55	18.44	0.06	18.49	0.27
Concreto + 15%FMLR	18.59	18.50	18.40	0.10	18.50	0.31

La tabla anterior muestra las mediciones de la temperatura del concreto patrón y del concreto con adiciones del 5 %, 10 % y 15 % de fibra metálica de llantas recicladas (FMLR), en la que se

pude observar que las desviaciones estándar no superan el valor de 0.14 °C; lo cual indica que los valores obtenidos en el ensayo son muy cercanos al valor promedio de las muestras. Con respecto a los valores promedios, podemos observar que varía, respecto al concreto patrón, es de hasta 0.31 % cuando la adición de FMLR es de 15 %.

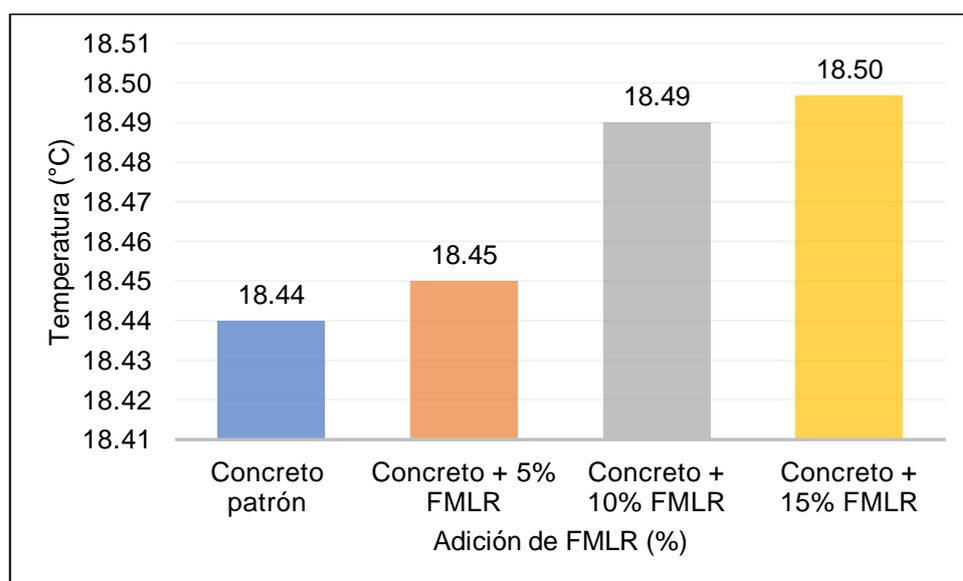


Figura 10. Temperatura del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la Figura 10 se puede observar el comportamiento de la temperatura del concreto a medida que se incrementa el valor de la adición de las fibras metálicas. Si bien tiene una tendencia ascendente, la diferencia entre los valores no supera el valor de 1 °C.

4.1.2. Asentamiento

Para la estimación del asentamiento del concreto se ha aplicado la norma NTP 339.035; obteniéndose así los siguientes valores:

Tabla 7. Asentamiento del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Asentamiento (Pulgadas)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	4.00	3.50	3.80	0.25	3.77	
Concreto + 5% FMLR	3.20	3.50	3.00	0.25	3.23	-14.16
Concreto + 10%FMLR	3.00	2.80	2.80	0.12	2.87	-23.89
Concreto + 15%FMLR	2.80	2.50	2.50	0.17	2.60	-30.97

Como se muestra en la Tabla 6 la adición de las fibras metálicas de llantas recicladas en el concreto no han perjudicado la medición de cada una de las muestras analizadas, pues la desviación estándar entre las mediciones realizadas fue de como máximo 0.25; lo cual implica que los valores medidos son muy cercanos al promedio obtenidos del conjunto de cada tres muestras.

Con respecto a los valores promedios obtenidos se ha podido denotar que, para el concreto patrón, y con adiciones del 5 %, 10 % y 15 %, se obtuvieron resultados de 3.77, 3.23, 2.87 y 2.60 pulgadas. Destacándose que existió una variación porcentual respecto del patrón de hasta – 30.97 %

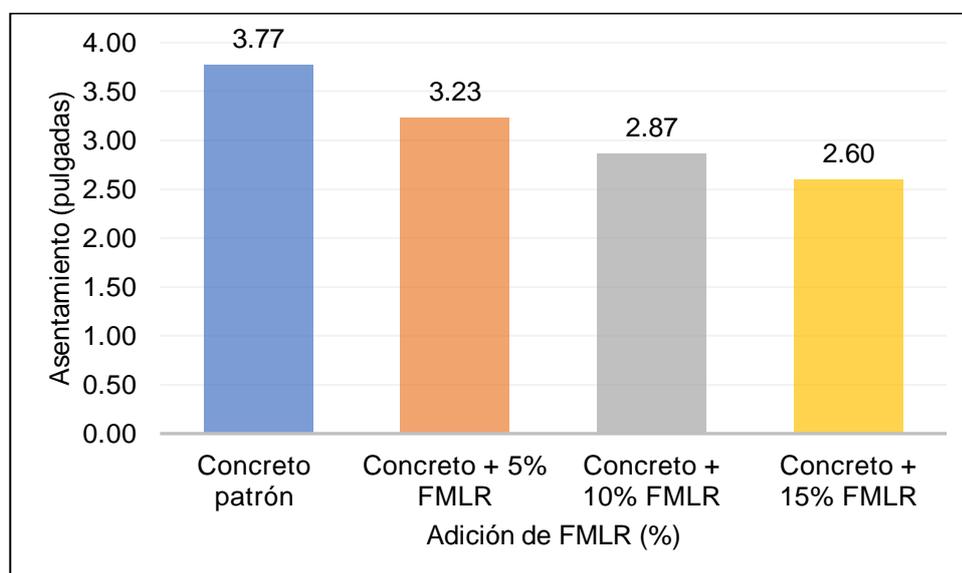


Figura 11. Asentamiento del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la gráfica anterior, se observa con claridad la tendencia del concreto al adicionar porcentajes del 5 %, 10 % y 15 % de fibra metálica; observándose, como era de esperar, que su incremento disminuía el asentamiento y por ende la trabajabilidad.

Es factible mencionar que, si bien adicionar fibras metálicas disminuye el asentamiento del concreto, los valores de esta, hasta una concentración del 5 % pueden clasificarse como un concreto trabajable; mientras que las adiciones del 10 y 15 %, como poco trabajables.

4.1.3. Contenido de aire

El contenido de aire en el concreto fue estimado, según lo establecido en la norma NTP 339.083, mediante la cual se muestra los procedimientos mínimos para su correcta obtención. La importancia de la medición de esta propiedad radica en que, si la adición de FMLR, es demasiada, esta puede ser perjudicial, especialmente para la resistencia final. Es en este contexto que se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 8. Contenido del aire del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Contenido de aire (%)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	1.96	1.95	1.92	0.02	1.94	
Concreto + 5% FMLR	2.02	2.18	2.02	0.09	2.07	6.69
Concreto + 10%FMLR	2.17	2.03	2.14	0.07	2.11	8.75
Concreto + 15%FMLR	2.23	2.18	2.11	0.06	2.17	11.84

En la tabla anterior se muestra las mediciones realizadas al concreto patrón y al concreto con adiciones de fibra en porcentajes de 5 %, 10 % y 15%; en donde se puede destacar que la desviación estándar de las muestras medidas fueron cercanas a 0, lo cual implica que el valor promedio es muy cercano a las de las muestras.

Por otra parte, al comparar los grupos de análisis, se ha observado que, si existe un incremento del contenido de aire a medida que se adicionó las fibras metálicas, pues las variaciones porcentuales para el concreto con 5 %, 10 % y 15 % fueron de 6.69 %, 8.75 % 11.84 % respectivamente.

Lo mencionado, da conocer que existe una relación directa entre el contenido de aire y la adición de las fibras metálicas de llantas recicladas, sin embargo, esta conclusión, solo puede generalizarse hasta los porcentajes estudiados.

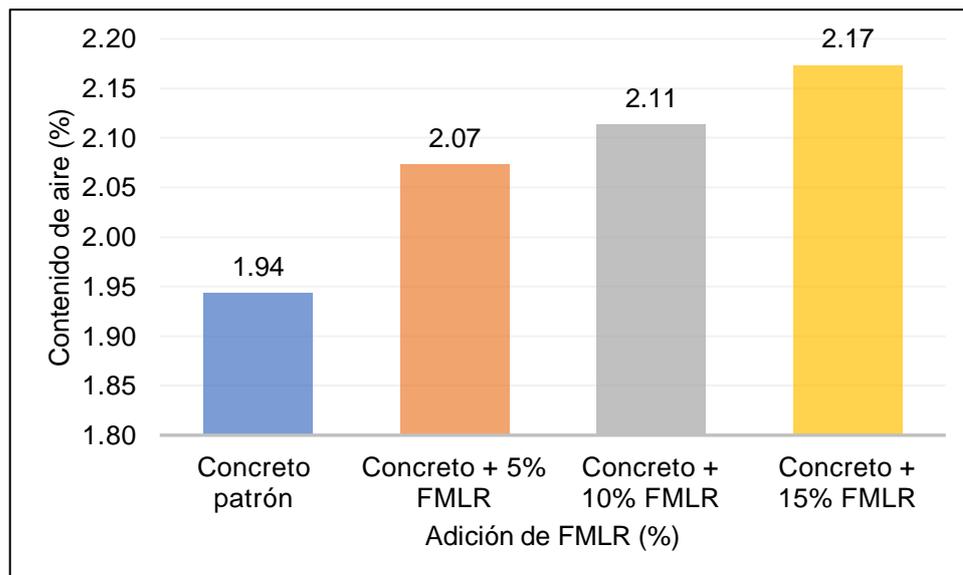


Figura 12. Contenido de aire del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la figura anterior se observa la tendencia que sigue el concreto al adicionar fibras metálicas de llantas recicladas en el concreto; destacándose que, entre la muestra patrón y el primer porcentaje existe una variación porcentual de 6.69 %; sin embargo, es preciso destacar que al comparar solo los concretos con adiciones de FMLR, la variación entre ellas no supera el 1%.

4.1.4. Peso unitario

El peso unitario fue obtenido mediante lo estipulado en la norma NTP 339.046.

La importancia de la medición de esta propiedad radica principalmente en establecer si las fibras metálicas de llantas recicladas incrementan el peso del concreto; obteniéndose así los siguientes valores:

Tabla 9. Peso unitario del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Peso unitario (kg/m ³)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	2365.0	2366.0	2366.0	0.58	2365.67	
Concreto + 5% FMLR	2352.0	2348.0	2357.0	4.51	2352.33	-0.56
Concreto + 10%FMLR	2333.0	2330.0	2335.0	2.52	2332.67	-1.39
Concreto + 15%FMLR	2309.0	2305.0	2301.0	4.00	2305.00	-2.56

En la Tabla 9, se observa el valor de las mediciones obtenidas en el ensayo de laboratorio; también se muestran las

desviaciones estándar entre las mediciones realizadas, siendo que la que mayor valor obtuvo fueron las muestras del concreto con adición de 5 % de fibras metálicas de llantas recicladas.

Otro aspecto importante es que, al comparar los promedios entre los diferentes grupos analizadas con el concreto patrón, esta muestra una variación de hasta -2.56 %, lo cual se puede interpretar como que la adición de las fibras disminuye el peso unitario del concreto.

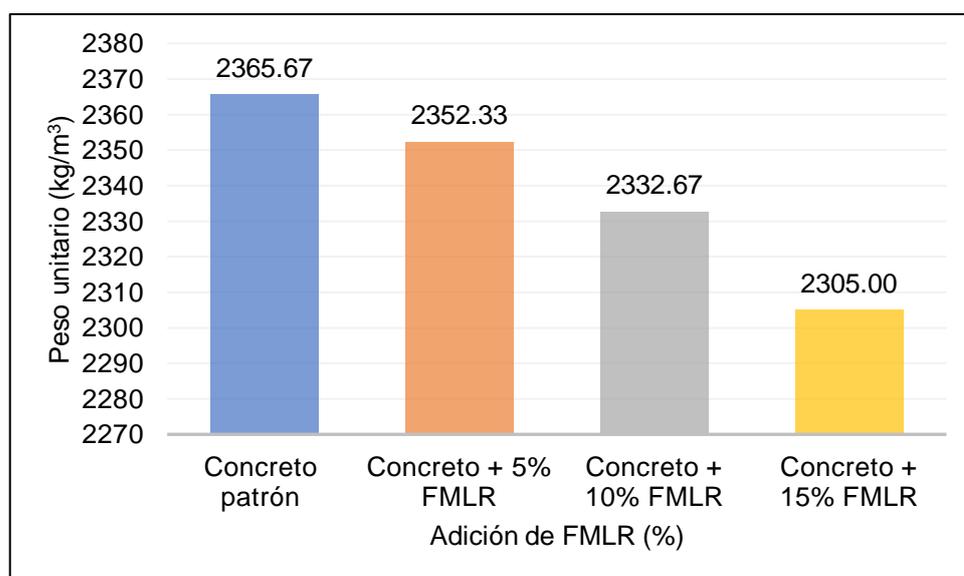


Figura 13. Peso unitario del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la Figura 13, se observa la variación de los promedios obtenidos de las muestras analizadas respecto al ensayo de peso unitario, en ella se observa una tendencia negativa.

4.1.5. Tiempo de fragua

El tiempo de fragua o simplemente fragua, fue estimado mediante lo recomendado en la norma NTP 339.082, en la que se especifican los requisitos e instrumentos mínimos para el estudio de esta propiedad.

Tiempo de fragua inicial

El tiempo de fragua inicial del concreto es un parámetro que indica la transición de un estado líquido a uno plástico del

concreto, es por ello que, de acuerdo a la norma mencionada, para establecer un tiempo de fragua inicial se debe medir el esfuerzo de penetración del instrumento de Vicat, hasta alcanzar un valor de 500 lb/ pulg₂.

Es por lo mencionado que en el desarrollo de la presente tesis se ha logrado obtener los siguientes valores:

Tabla 10. Tiempo de fragua inicial del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Tiempo de fragua inicial (min)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	367.95	367.50	360.80	4.00	365.42	
Concreto + 5% FMLR	360.06	361.12	362.35	1.15	361.18	-1.16
Concreto + 10%FMLR	362.36	360.00	356.09	3.17	359.48	-1.62
Concreto + 15%FMLR	356.35	357.79	360.00	1.84	358.05	-2.02

En la Tabla 10, se observa las mediciones del tiempo de fragua de la muestra patrón, y el concreto con adiciones del 5 %, 10 % y 15 %; las cuales presentan una desviación estándar máximo de 4, el cual indica que los valores obtenidos son muy cercanos al valor promedio de cada grupo.

Al comparar el promedio de los grupos obtenidos se observa que la máxima diferencia porcentual fue de -2.02 % respecto al concreto patrón.

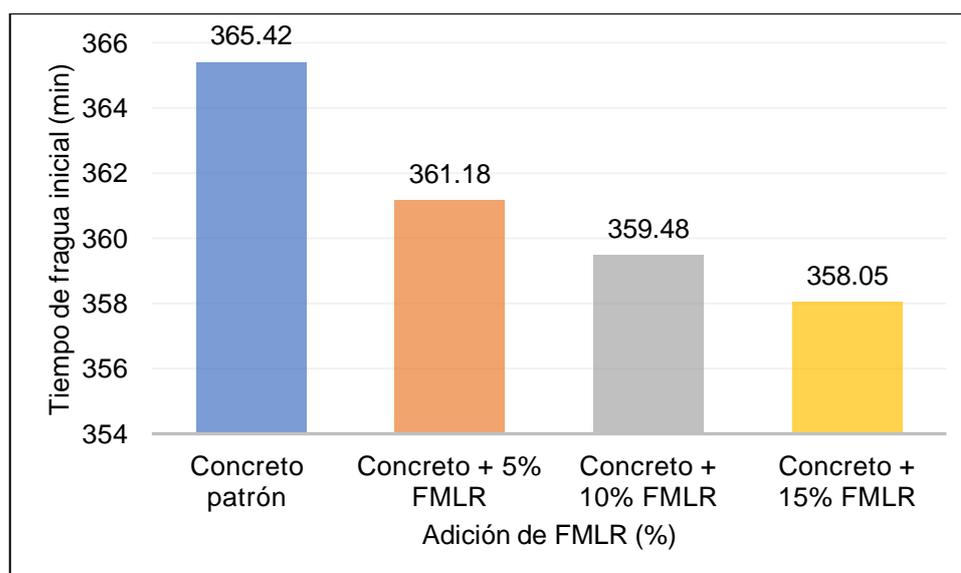


Figura 14. Tiempo de fragua inicial del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la figura anterior se muestra de manera esquemática la tendencia del tiempo de fragua inicial del concreto y sus adiciones de FMLR; se puede indicar que a medida que se da un incremento de las fibras metálicas de llantas recicladas, el tiempo de fragua inicial se reduce de 365.42 minutos hasta 358.05 minutos; es decir una reducción de 7.37 minutos, los cuales no representan una variación muy significativa desde el punto de vista técnico.

Tiempo de fragua final

Las mediciones del tiempo de fragua final del concreto se dan cuando la resistencia a la penetración del concreto alcanza un valor de 4 000 lb/pul²; por lo cual se ha obtenido los siguientes valores descritos en la siguiente tabla:

Tabla 11. Tiempo de fragua final del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Tiempo de fragua final (min)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	516.03	513.64	522.47	4.57	517.38	
Concreto + 5% FMLR	517.03	519.76	517.56	1.45	518.12	0.14
Concreto + 10%FMLR	520.59	518.98	516.59	2.01	518.72	0.26
Concreto + 15%FMLR	518.57	518.57	518.57	0.00	518.57	0.23

En la tabla anterior se puede observar las mediciones realizadas a cada grupo considerado en el estudio; como se muestra se realizaron tres mediciones de cada grupo, obteniéndose así una desviación estándar máxima de los grupos de 4.57 min (en el concreto patrón) sin embargo, esta se puede asumir como aceptable.

Al comparar los valores promedios obtenidos de cada grupo de análisis se puede indicar que solo existe una variación del 0.14 % a 0.23 % entre grupos, lo cual indica una diferencia mínima de esta propiedad al incrementar la cantidad de adición de las fibras metálicas de llantas recicladas.

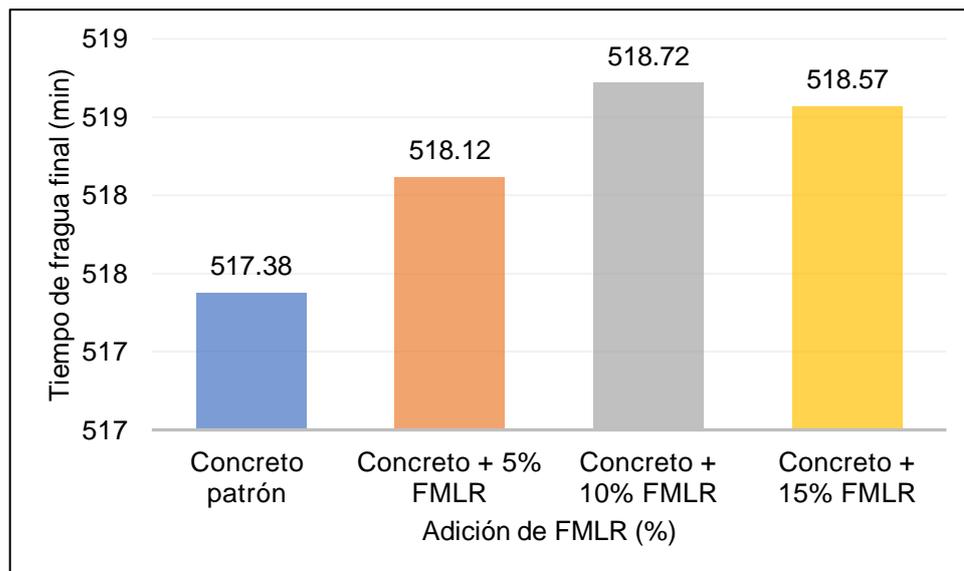


Figura 15. Tiempo de fragua final del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la Figura 15, se muestra la variación de los valores promedios de cada grupo analizado, en ella se puede interpretar que, si existe un incremento del tiempo de fragua final del concreto al adicionar FMLR; sin embargo, esta variación es menor a 1 minuto entre los grupos.

Tiempo de fragua total

Finalmente, un aspecto importante analizado, es establecer si el tiempo total de fragua se incrementa o se reduce al adicionar fibras metálicas de llantas recicladas; con lo cual se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 12. Tiempo de fragua total del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Tiempo de fragua total (min)			Desviación estándar	Promedio (min)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	148.08	146.14	161.67	8.46	151.96	
Concreto + 5% FMLR	156.97	158.64	155.20	1.72	156.94	3.28
Concreto + 10% FMLR	158.23	158.98	160.51	1.16	159.24	4.79
Concreto + 15% FMLR	162.22	160.78	158.57	1.84	160.52	5.64

Como se observa en la Tabla 12, las mediciones del tiempo de fragua total (la cual fue obtenida de la diferencia entre el tiempo de fragua inicial y el final) presenta una desviación estándar de 8.46 minutos, la cual se fue reduciendo a medida se incrementaba la adición de FMLR.

Los valores promedios indican que para el concreto patrón y sus adiciones de 5 %, 10 % y 15 % se obtiene resultados de 151.96, 156.94, 159.24, 160.52 minutos respectivamente, lo cual se puede interpretar de una variación porcentual de hasta 5.64 % respecto al concreto patrón.

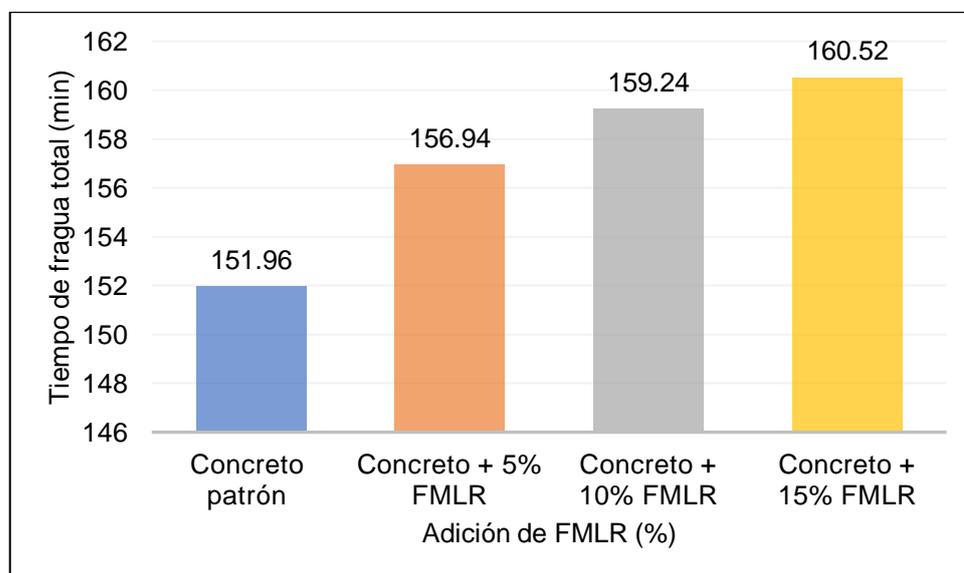


Figura 16. Tiempo de fragua total del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

De acuerdo a la Figura 16, se puede observar un incremento del tiempo de fragua, a medida que se aumenta el valor de las fibras metálicas de llantas recicladas; este incremento es en general de 8.56 minutos, el cual técnicamente no resulta significativo.

4.1.6. Exudación

Para la determinación de la exudación, se establecieron los pasos establecidos en la norma NTP 339.077, con la cual se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 13. Exudación del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Muestras	Exudación (cm ³)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	15.80	16.30	15.70	0.32	15.93	
Concreto + 5% FMLR	15.30	15.60	15.40	0.15	15.43	-3.14
Concreto + 10%FMLR	15.10	15.20	15.10	0.06	15.13	-5.02
Concreto + 15%FMLR	15.30	15.20	15.10	0.10	15.20	-4.60

La exudación del concreto es una propiedad de suma importancia, pues tiene gran injerencia en la resistencia final del concreto, pues si se pierde demasiada agua al momento de la fragua, las reacciones con el cemento se verán afectada. Es por ello que se ha evaluado si adicionar fibras metálicas de llantas recicladas modificará su comportamiento.

En la Tabla 13, se observa las mediciones realizada, además de la desviación estándar de cada muestra analizada, obteniéndose que su valor está comprendida entre 0.06 y 0.32. Con respecto a los valores promedios de cada grupo analizado, podemos mencionar que la máxima variación porcentual, respecto al concreto patrón, es cuando la adición de la fibra metálica es de 10 %.

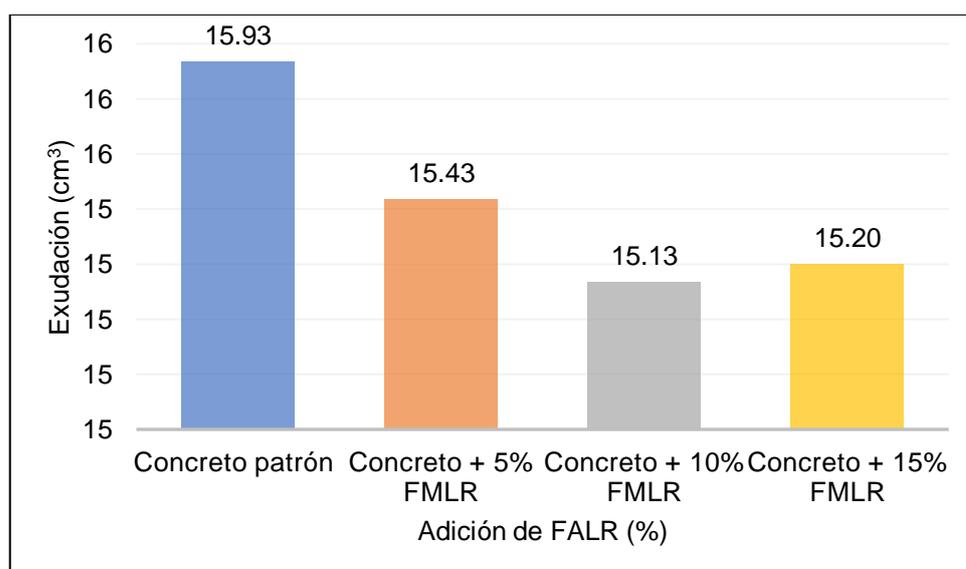


Figura 17. Exudación del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

En la figura anterior se denota con claridad la tendencia de la exudación del concreto cuando se adiciona la fibra metálica de llantas recicladas, es decir que se nota una ligera disminución de este factor que perjudica al concreto; sin embargo, es importante resaltar que la disminución máxima solo es de 0.8 cm³.

Un aspecto importante a resaltar es que, en el último porcentaje, la tendencia cambia, pues la exudación vuelve a

incrementarse, sin embargo, esto no resulta determinante en la tendencia final de los resultados, pues es comprensible que dicho valor puede haberse dado a la forma de medición de este valor, la cual obviamente nunca está exento de errores involuntarios.

4.2. Propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas

4.2.1. Resistencia a la compresión

La principal propiedad del concreto que resulta determinante en su aceptación o rechazo, es la resistencia a la compresión, pues normativas como el Reglamento Nacional de Edificaciones, parametrizan este valor, con mayor rigurosidad que las propiedades físicas. Es por lo mencionado la importancia de su análisis cuando se adiciona a la composición común (agua, cemento, agregados y aire), nuevos elementos.

Para la obtención de su valor se ha seguido lo estipulado en la norma NTP 339.034; con la que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14. Resistencia a la compresión del concreto patrón.

Concreto patrón	Esfuerzo en compresión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
M-01	179.47	188.11	215.86	231.28
M-02	174.73	183.18	212.90	232.52
M-03	175.77	186.88	212.78	233.75
Desviación estándar	2.49	2.57	1.74	1.24
Coefficiente de variación de la desviación estándar	1.41%	1.38%	0.82%	0.53%
Rango	4.74	4.93	3.08	2.47
Promedio	176.66	186.06	213.85	232.52

En la Tabla 14, se observa los valores obtenidos de la resistencia a la compresión del concreto patrón. Es importante mencionar que la evaluación de la resistencia fue a los 7, 14, 21 y 28 días; esto con el fin de obtener una gráfica adecuada del comportamiento de la resistencia del concreto en el transcurrir del tiempo.

Otro aspecto importante a resaltar es que al desviación estándar de los resultados están por debajo de 14 kg/cm^2 , lo cual según ACI (2017), es excelente, pues es señal de que los resultados obtenidos fueron obtenidos de una manera correcta; lo cual puede verificarse con el rango, los cuales oscilan entre 2.47 kg/cm^2 a 4.74 kg/cm^2 .

Con respecto a los valores obtenidos por cada día de análisis se puede establecer que a los 7 días se alcanzó el 84.12 % de la resistencia de diseño; mientras que a los 21 días ya se superaba el valor de diseño; destacando además que a los 28 días se superó en 10.25 % la resistencia de diseño.

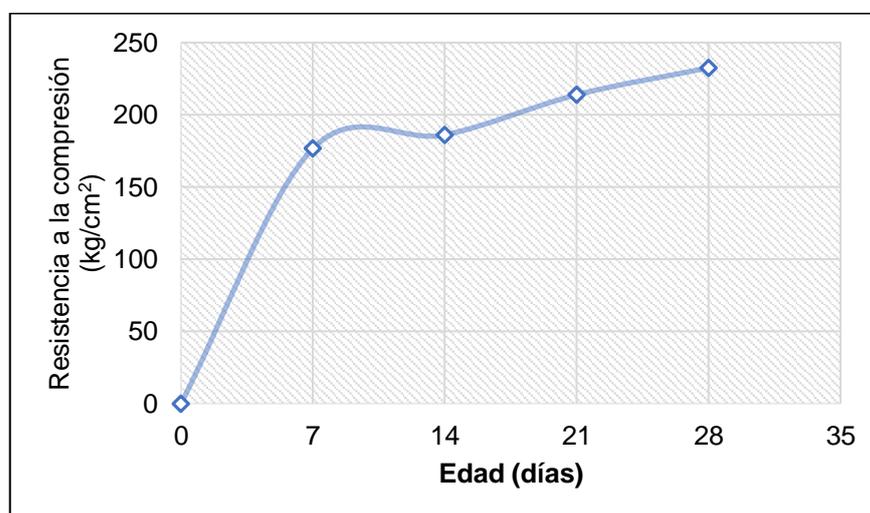


Figura 18. Resistencia a la compresión del concreto patrón.

En la figura anterior se muestra el comportamiento del concreto patrón, en la que se destaca que su comportamiento es el que se esperaba, alcanzando su máxima resistencia a los 28 días con un valor promedio de 232.52 kg/cm^2 , es decir, 10.25 % más que la resistencia de diseño.

Tabla 15. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 5 % de FMLR.

Concreto + 5% FMLR	Esfuerzo en compresión (kg/cm^2)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
M-01	200.44	246.08	315.78	378.07
M-02	198.59	244.85	310.84	372.52
M-03	201.68	244.85	316.39	376.22
Desviación estándar	1.56	0.71	3.04	2.83

Coeficiente de variación de la desviación estándar	0.78%	0.29%	0.97%	0.75%
Rango	3.09	1.23	5.55	5.55
Promedio	200.24	245.26	314.34	375.60

En la Tabla 20, se observa todos los valores obtenidos de la resistencia a la compresión del concreto con adición del 5 % de fibras metálicas de llantas recicladas, evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días.

Como se ha mencionado, un aspecto importante es que la desviación estándar de los testigos evaluados es inferior a 14 kg/cm², ubicándolo con una categorización de excelente; además el rango de los valores de las muestras por grupos es de 3.09 kg/cm², 1.23 kg/cm², 5.55 kg/cm² y 5.55 kg/cm², para los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.

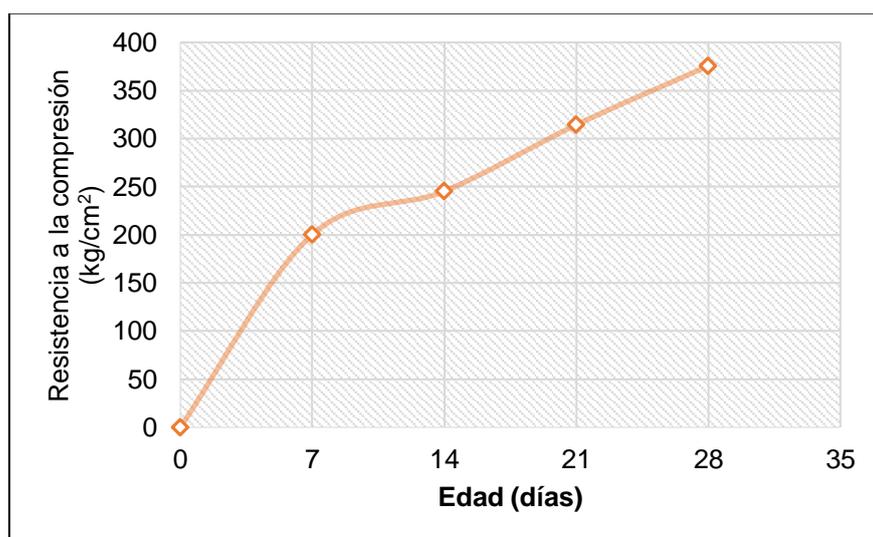


Figura 19. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 5 % de FMLR.

En la figura anterior se expresa de manera gráfica la variación de la resistencia a la compresión del concreto con 5 % de adición de FMLR, en ella se puede notar que a los 7 días se ha alcanzado el 95.24 % de la resistencia de diseño; a los 14 días se superó los 210 kg/cm² y a los días se superó este valor en 78.86 %.

Es importante denotar que en la última fase de control de la resistencia del concreto la resistencia sigue incrementándose, es decir, posee una pendiente positiva, la cual implicaría que, en

sucesivos controles superior a los 28 días, este valor alcanzará valores superiores a los obtenidos.

Tabla 16. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 10 % de FMLR.

Concreto + 10% FMLR	Esfuerzo en compresión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
M-01	191.19	215.86	232.52	242.75
M-02	192.67	217.71	230.05	244.23
M-03	187.49	218.08	231.28	244.85
Desviación estándar	2.67	1.19	1.24	1.08
Coefficiente de variación de la desviación estándar	1.40%	0.55%	0.53%	0.44%
Rango	5.18	2.22	2.47	2.10
Promedio	190.45	217.22	231.28	243.94

En la tabla anterior se ha analizado la resistencia a la compresión del concreto con adición de las fibras metálicas de llantas recicladas (FMLR) en una proporción del 10 %; como se observa. Para un adecuado control de la resistencia se optó por el control de la resistencia del concreto a los 7, 14, 21 y 28 días; obteniéndose que la desviación estándar entre las muestras de cada grupo analizado fue de 2.67, 1.19, 1.24 y 1.08 kg/cm²; una variación porcentual de estas desviaciones estándar de 1.40 %, 0.55 %, 0.53 % y 0.44 % y unos rangos de 5.18, 2.22, 2.47y 2.1 kg/cm².

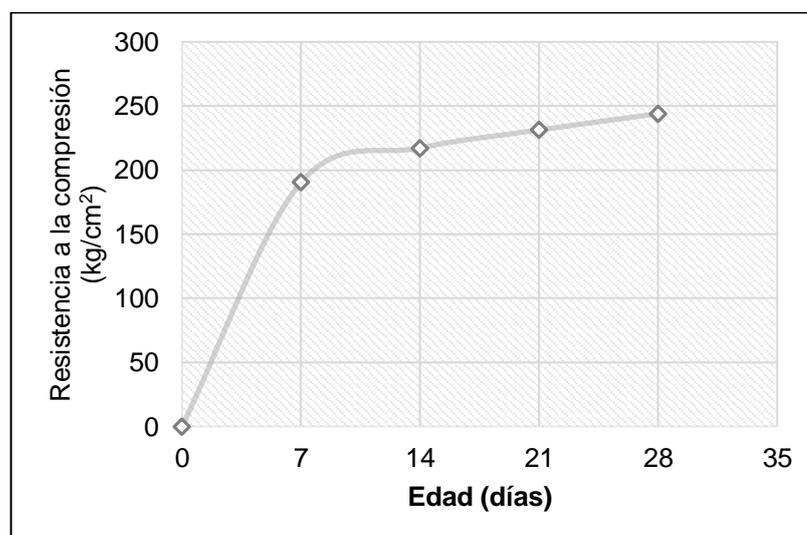


Figura 20. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 10 % de FMLR.

En la figura anterior se muestra gráficamente los avalores promedios de las probetas roturadas a los 7, 14, 21 y 28 días. En ella se observa que a los 7 días se obtuvo el 90.67 % de la resistencia de diseño y a los 28 días se superó en 16.16 % el mencionado valor.

Tabla 17. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 15 % de FMLR.

Concreto + 15% FMLR	Esfuerzo en compresión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	15 días	28 días
M-01	203.53	215.86	228.20	240.53
M-02	200.44	209.08	225.11	237.45
M-03	204.51	216.11	226.96	238.56
Desviación estándar	2.12	3.99	1.56	1.56
Coefficiente de variación de la desviación estándar	1.05%	1.87%	0.69%	0.65%
Rango	4.07	7.03	3.09	3.08
Promedio	202.83	213.68	226.76	238.85

En la tabla anterior se indica los valores que se obtuvieron al realizar el ensayo de compresión al concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas en una concentración del 15 %. La evaluación fue restringida a un control a los 7, 14, 21 y 28 días después de su fabricación.

En la tabla mencionada se puede establecer que los valores obtenidos en cada espécimen, no superan una desviación estándar de 14 kg/cm²; además que la variación porcentual de esta desviación es de máximo 1.05 % y el rango de los valores de las muestras por grupo está comprendida entre 3.08 y 4.07.

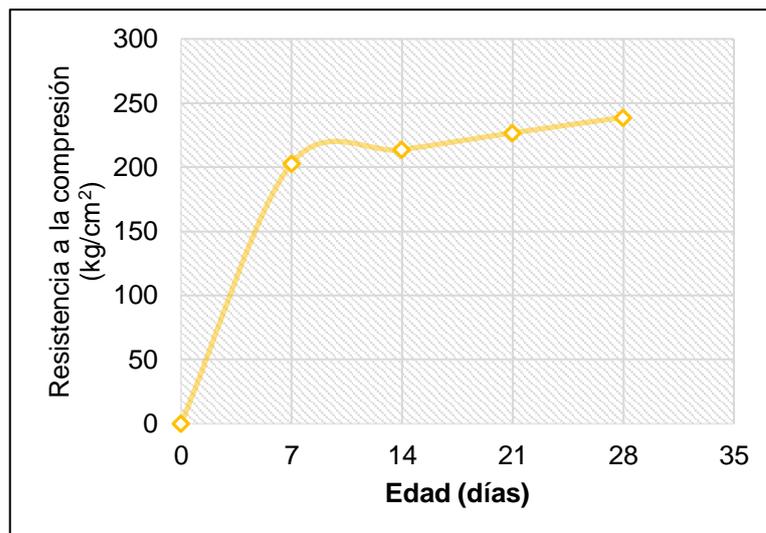


Figura 21. Resistencia a la compresión del concreto con adición de 15 % de FMLR.

En la figura anterior muestra el comportamiento del concreto con adición del 15 % de FMLR, a los 7, 14, 21 y 28 días; en la que se puede indicar que a los 7 días la resistencia estaba en 96.59 % de la resistencia de diseño, y a los 28 días se alcanzó un valor de 238 kg/cm², el cual supera al valor de diseño.

Con los valores de resistencia con cada porcentaje de adición en el concreto, se ha elaborado la siguiente tabla:

Tabla 18. Variación de la resistencia a la compresión del concreto con adición de FMLR.

Concreto patrón	Esfuerzo en compresión (kg/cm ²)				Variación
	7 días	14 días	21 días	28 días	
Concreto patrón	176.66	186.06	213.85	232.52	
Concreto + 5% FMLR	200.24	245.26	314.34	375.60	61.54%
Concreto + 10% FMLR	190.45	217.22	231.28	243.94	4.91%
Concreto + 15% FMLR	202.83	213.68	226.76	238.85	2.72%

En la Tabla 18, se muestra los valores promedios alcanzados por los testigos estudiados; estos valores obtenidos fueron analizados por días de control (7, 14, 21 y 28 días) y por porcentaje de fibra metálica de llanta reciclada adicionada al concreto (5 %, 10 % y 15 %).

De la tabla mencionada, se puede comparar la evolución de la resistencia en los días analizados.

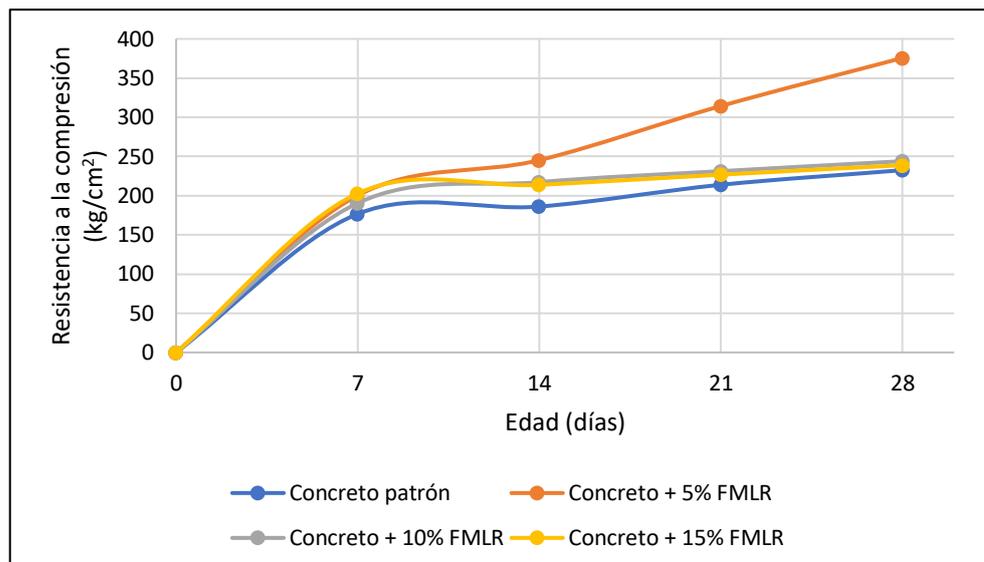


Figura 22. Comparación de la resistencia a la compresión del concreto con adición de FMLR.

En la Figura 22, se muestra y compara las resistencias obtenidas del concreto patrón y del concreto con adiciones de FMLR, como se observa, la resistencia del concreto con adición de fibras a los 7 días supera al del concreto patrón; sin embargo a medida que transcurren los días, la adición del 5 %, supera en demasía a los valores del concreto patrón y de las demás proporciones de FMLR; tanto que la variación porcentual fue de 61.54 % respecto al patrón a los 28 días.

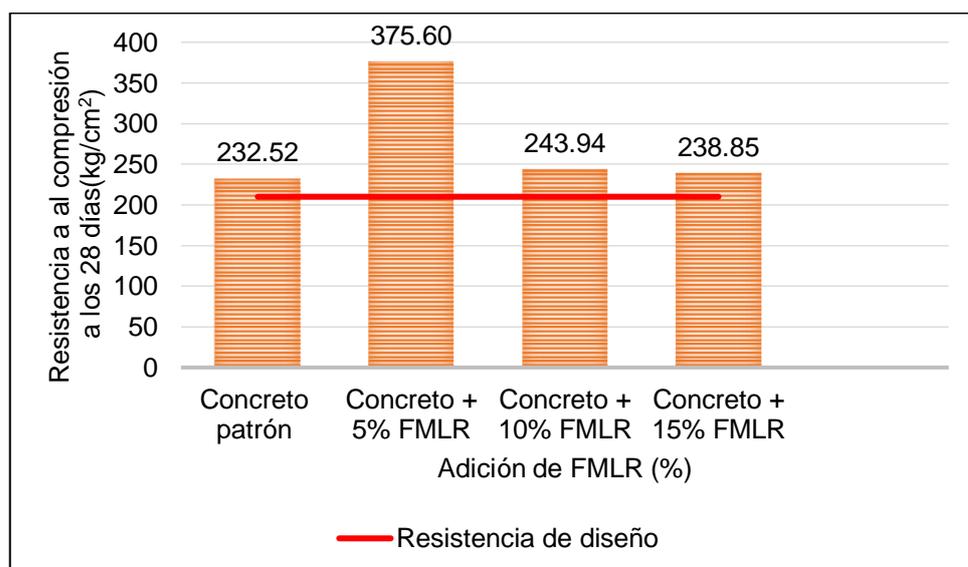


Figura 23. Variación de la resistencia a la compresión y adición de FMLR.

Otro aspecto importante es la resistencia del concreto a los 28 días, pues como se ha mencionado anteriormente, es este valor

un parámetro establecido en muchas normativas. En este sentido, el desarrollo de la tesis contempló un diseño que logre una resistencia de 210 kg/cm²; lo cual obviamente se ha superado con la muestra patrón y con las adiciones de fibras metálica en 10 % y 15 %; sin embargo, el valor más destacable resulta ser la adición del 5 %, pues ha logrado un valor de hasta 375.60 kg/cm², el cual es 1.79 veces más, el valor de la resistencia de diseño.

Es importante mencionar que a pesar el porcentaje que tiene mayor relevancia es el 5 % de FMLR, los otros porcentajes también logran superar la resistencia de diseño (210 kg/cm²).

4.2.2. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es un parámetro importante cuando este será aplicado en pavimentaciones, pues debido a las constantes tráfico de vehículos sobre estos, la resistencia a la compresión pasa a un según plano.

Para la determinación de esta propiedad se ha considerado todas las recomendaciones de la norma NTP 339.078.

Como se ha mencionado, la resistencia a la flexión es de suma importancia si el elemento está sometida a cargas reiterativas que generan este esfuerzo, por ello es importante conocer que pasa con esta propiedad cuando se adiciona las fibras metálicas de llantas recicladas; obteniéndose así los siguientes resultados.

Tabla 19. Resistencia a la flexión del concreto patrón.

Concreto patrón	Esfuerzo en flexión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Concreto patrón	28.267	34	36.667	37.733
Concreto patrón	28.33	34.947	36.267	38.467
Concreto patrón	28	34.8	36.333	38
Desviación estándar	0.18	0.51	0.21	0.37
Coefficiente de variación de la desviación estándar	0.62%	1.47%	0.59%	0.98%
Rango	0.33	0.95	0.40	0.73
Promedio	28.20	34.58	36.42	38.07

En la Tabla 19 se muestra los valores de los especímenes o viguetas analizadas a los 7, 14, 21 y 28 días del concreto patrón. Como se puede observar los valores de la desviación estándar fue de 0.18, 0.51, 0.21 y 0.37 kg/cm², los coeficientes de la desviación estándar fueron de 0.62 %, 1.47 %, 0.59 % y 0.98 %; además que el rango de las muestras en cada grupo analizado fue de 0.33, 0.95, 0.40 y 0.73. Estos valores son indicadores que la dispersión de los datos obtenidos en laboratorio fue mínima, y que por ende que los resultados obtenidos de cada muestra del concreto, son muy cercanos al valor promedio calculado.

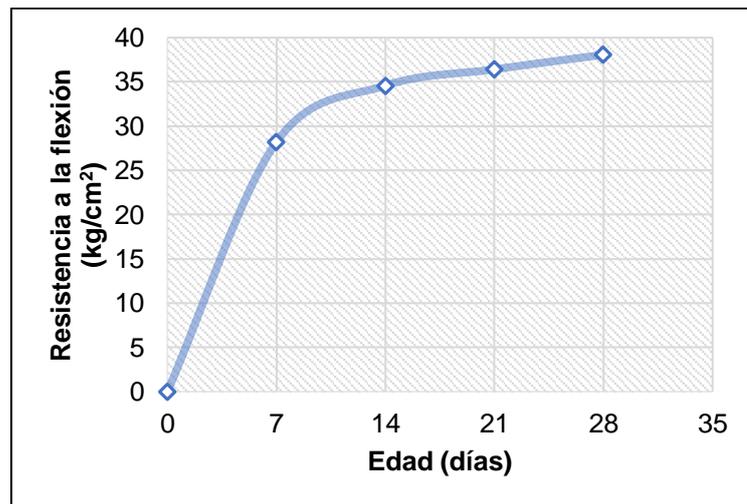


Figura 24. Resistencia a la flexión del concreto patrón.

En la figura anterior se muestra la curva que une los puntos promedios obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión en viguetas a los 7, 14, 21 y 28 días; también se puede notar un incremento sustancial de en los 7 primeros días, después un incremento “reducido” hasta los 28 días, el cual tiene un valor final de 38.07 kg/cm².

Tabla 20. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 5 % de FMLR.

Concreto + 5% FMLR	Esfuerzo en flexión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Concreto + 5% FMLR	31.333	38	40.667	41.867
Concreto + 5% FMLR	32.2	37.947	41.467	43.533
Concreto + 5% FALR	32	38	41.133	43.333

Desviación estándar	0.45	0.03	0.40	0.91
Coefficiente de variación de la desviación estándar	1.43%	0.08%	0.98%	2.12%
Rango	0.87	0.05	0.80	1.67
Promedio	31.84	37.98	41.09	42.91

En la Tabla 20 se muestra los valores obtenidos en laboratorio de la resistencia a la flexión del concreto con 5 % de fibras metálicas de llantas recicladas, controlados a los 7, 14, 21 y 28 días.

En la mencionada tabla se puede destacar que los valores de la desviación estándar están entre 0.03 y 0.91 kg/cm², el coeficiente de variación entre 0.08 % y 2.12 % y el rango entre 0.05 a 1.67 kg/cm²; esto, como se ha mencionado, es indicador que las mediciones realizadas no poseen una gran dispersión.

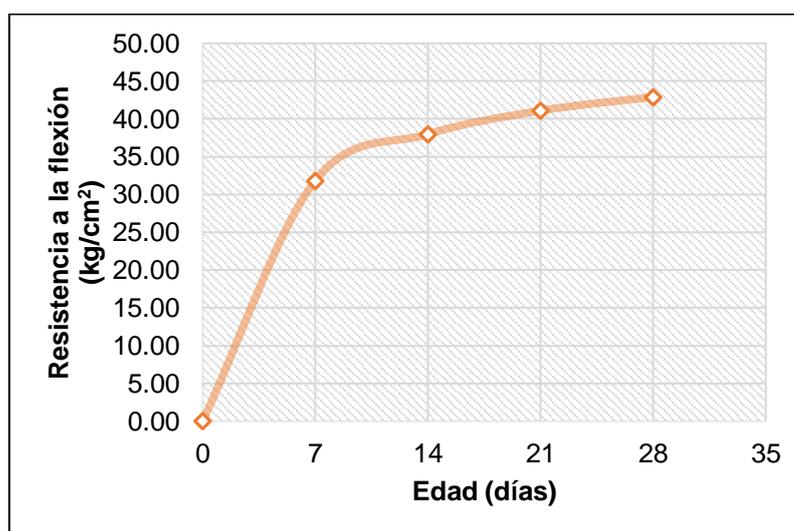


Figura 25. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 5 % de FMLR.

La figura muestra como es el comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto con adición del 5 % de fibra metálica de llantas recicladas, a los 7, 14, 21 y 28 días; como se puede observar, una gran resistencia se logra obtener en los 7 primeros días, después este incremento continúa, pero con una menor pendiente en comparación a la inicial. Es importante destacar que a los 28 días se alcanza el valor teórico de la resistencia a la flexión, le cual en nuestro caso fue de 42.91 kg/cm².

Tabla 21. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 10 % de FMLR.

Concreto + 10% FMLR	Esfuerzo en flexión (kg/cm ²)
---------------------	---

	7 días	14 días	21 días	28 días
Concreto + 10% FMLR	29.067	35	37.133	39.333
Concreto + 10% FMLR	28.867	35.333	37.467	39.533
Concreto + 10% FMLR	29	35.4	37.2	39.8
Desviación estándar	0.10	0.21	0.18	0.23
Coefficiente de variación de la desviación estándar	0.35%	0.61%	0.47%	0.59%
Rango	0.20	0.33	0.33	0.20
Promedio	28.98	35.24	37.27	39.56

En la tabla anterior se muestra los valores de la resistencia a la flexión del concreto con adición de FMLR en una concentración del 10 %. La evaluación o control de la resistencia de esta propiedad fue desarrollada en 28 días, con puntos a los 7, 14 y 21 días; de los que se pudo establecer que: la desviación estándar de las muestras en cada fecha analizada no supera el 1 kg/cm²; el rango entre los valores máximos y mínimos se encuentra entre 0.20 a 0.33; mientras que el índice de variación de la desviación estándar está entre 0.35 % a 0.61 %

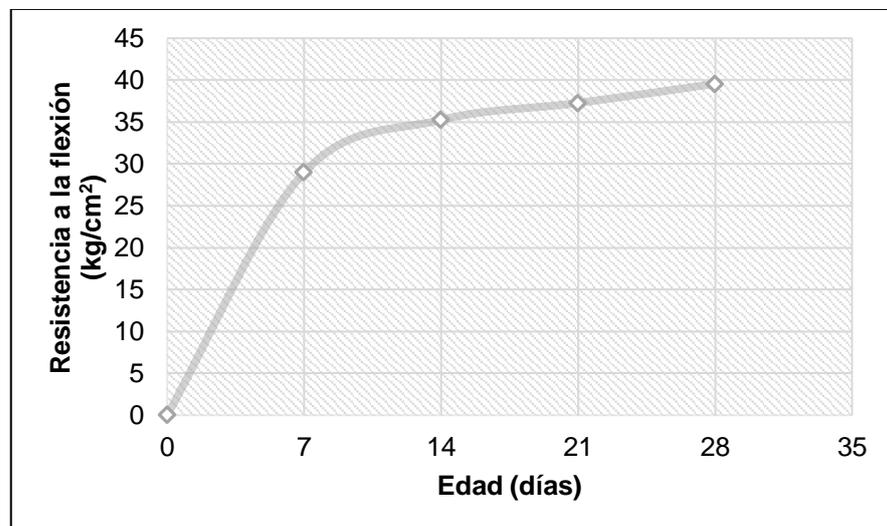


Figura 26. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 10 % de FMLR.

En la Figura 26 se puede denotar como es el comportamiento, en el tiempo, del concreto con adición de las fibras metálicas en una concentración del 10 %; denotándose que el máximo valor se da a los 28 días y que es de 39.56 kg/cm². Además, es importante resaltar que se logra una mayor resistencia en los 7 primeros días.

Tabla 22. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 15 % de FMLR.

Concreto + 15% FMLR	Esfuerzo en flexión (kg/cm ²)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Concreto + 15% FMLR	27.333	31.333	35.333	38
Concreto + 15% FMLR	26.667	31.533	34.6	36.667
Concreto + 15% FMLR	27.533	31.333	35.933	37.467
Desviación estándar	0.45	0.12	0.67	0.67
Coefficiente de variación de la desviación estándar	1.67%	0.37%	1.89%	1.80%
Rango	0.67	0.20	0.73	1.33
Promedio	27.18	31.40	35.29	37.38

En la tabla anterior se muestra los resultados del ensayo a flexión de tres muestras de viguetas roturadas a los 7, 14, 21 y 28 días para un concreto con adición de 15 % de fibras metálicas de llantas recicladas.

De la tabla mencionada se puede destacar que tanto la desviación estándar y el rango, de las muestras analizadas, no son superiores a 1 kg/m², lo cual es un indicador de la precisión del instrumento utilizado para la medición de esta propiedad.

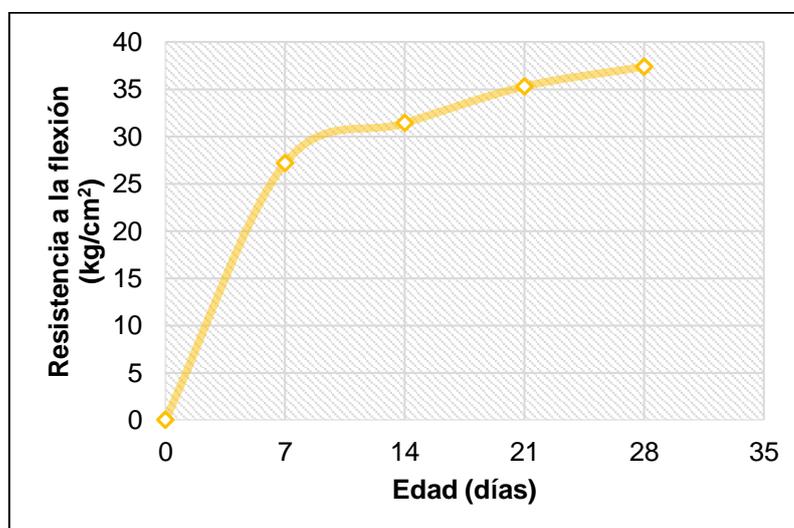


Figura 27. Resistencia a la flexión del concreto con adición de 15 % de FMLR.

En la figura anterior se muestra el comportamiento del concreto con adición de FMLR en una proporción del 15 %, el cual fue evaluado en un periodo de 28 días; además también se puede observar que a medida que transcurre los días a la resistencia se incrementa hasta alcanzar un valor de 37.38 kg/cm²; siendo

destacable que en a los 7 días se alcanzó el 72.71 % de la resistencia final.

Para un mejor entendimiento de la incidencia que tiene la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en el concreto se ha realizado un cuadro comparativo de los resultados promedios de cada grupo analizado y los días analizados:

Tabla 23. Variación de la resistencia a la flexión del concreto con adición de FMLR.

Concretos	Esfuerzo en compresión (kg/cm ²)				Variación
	7 días	14 días	21 días	28 días	
Concreto patrón	28.20	34.58	36.42	38.07	
Concreto + 5% FMLR	31.84	37.98	41.09	42.91	9.83%
Concreto + 10% FMLR	28.98	35.24	37.27	39.56	1.91%
Concreto + 15% FMLR	27.18	31.40	35.29	37.38	-9.20%

En la Tabla 23, se puede observar como es el comportamiento de los grupos estudiados (concreto patrón y con adiciones del 5 %, 10 % y 15 % de FMLR) en un periodo de 28 días, destacándose que la adición de fibras en 5 % y 10 % dan valores superiores a la del concreto patrón en todos los periodos analizados; sin embargo, la adición del 15 % siempre tiene valores inferiores.

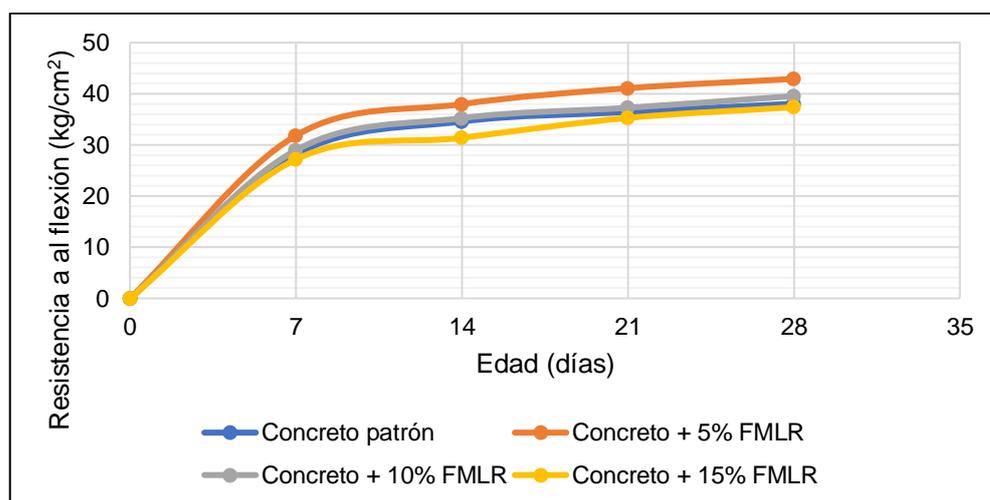


Figura 28. Comparación de la resistencia a la flexión del concreto con adición de FMLR.

En la Figura 29 se observa en conjunto, el comportamiento de todos los grupos analizados, estableciéndose que, el grupo que llama la atención es el concreto con adición de 5 % de FMLR, el

cual en todos los periodos analizados fue superior a los demás porcentajes y por ende al concreto patrón.

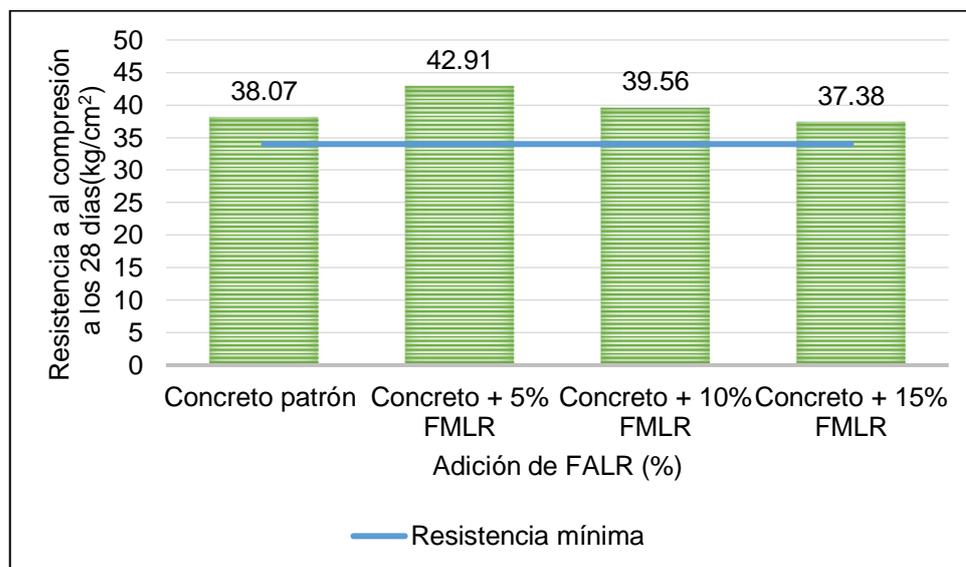


Figura 29. Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días y la adición de FMLR del concreto.

Finalmente, se ha comparado la resistencia a la flexión obtenida a los 28 días de todos los grupos analizados. Estos valores se han comparado con el requisito mínimo que la actual norma CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece, el cual es que debe ser mayor o igual a 34 kg/cm²; en este sentido, se puede observar que todos los valores obtenidos superan sin problema lo recomendado por la norma.

Sin embargo, el grupo más resaltante, como se ha mencionado, es el concreto con 5 % de FMLR, pues alcanza valores de hasta 9.83 % superior al del concreto patrón y por ende mayor que la resistencia mínima.

4.2.3. Módulo de elasticidad del concreto

Otro aspecto analizado en el desarrollo de la presente tesis fue el módulo de elasticidad, el cual se puede comprender como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en el rango elástico en la curva denominada esfuerzo – deformación.

La estimación de esta propiedad fue en base a lo recomendado por Kosmatka et al. (2004), en la cual asume una relación entre

esta propiedad y la resistencia del concreto. Es por ello que en la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos al utilizar fibras metálicas de llantas recicladas.

Tabla 24. Variación del módulo de elasticidad del concreto con adición de FMLR.

Muestras	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)			Desviación estándar	Promedio (%)	Variación (%)
	1°	2°	3°			
Concreto patrón	228 118.39	228 729.10	229 333.27	607.44	228 726.92	
Concreto + 5% FMLR	291 660.33	289 511.66	290 945.87	1094.24	290 705.95	27.10
Concreto + 10% FMLR	233 706.55	234 417.90	234 715.25	518.32	234 279.90	2.43
Concreto + 15% FMLR	232 635.44	231 141.19	231 680.81	756.67	231 819.15	1.35

En la Tabla 24 se muestra el módulo de elasticidad del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas en concentraciones de 5 %, 10 % y 15 %. Como se ha mencionado, esta propiedad fue determinada en base a la resistencia a la compresión obtenida en laboratorio; es por lo cual que poseen una desviación estándar entre 518.32 kg/cm² a 1 094 kg/cm².

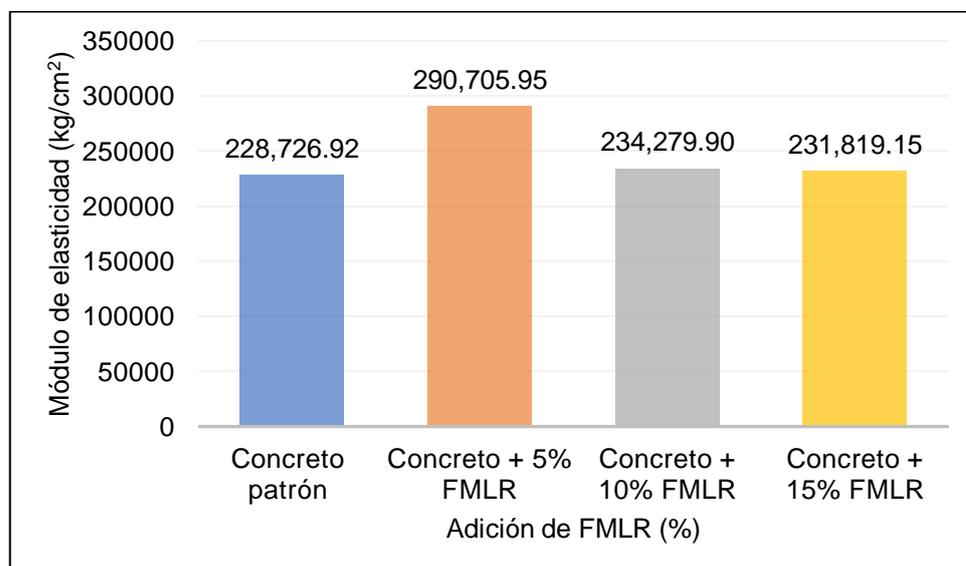


Figura 30. Variación del módulo de elasticidad del concreto con adición de FMLR.

En la Figura 30 se observa la variación de los valores promedio del módulo de elasticidad del concreto patrón y con adición de fibras metálicas de llantas recicladas; de ella se puede denotar que existe un gran incremento cuando la adición es de 5 %, luego

tiende a disminuir, sin embargo en ningún caso es menor que el obtenido en la muestra patrón.

4.3. Costo de la aplicación de las fibras metálicas de llantas recicladas

Otro aspecto importante del análisis del uso de las fibras metálicas de llantas recicladas es el costo de su aplicación. Para esto es importante tener en cuenta que el uso de este material fue considerado como un aditivo, comparable a las fibras metálicas comerciales; también es importante mencionar que el porcentaje de su aplicación (5 %, 10 % y 15 %) es respecto al peso del cemento.

Con base a lo anterior, la presente tesis realizó el cálculo de la producción de manera artesanal de las fibras metálicas de llantas recicladas y mediante el uso del programa S10, pudo estimar el costo de producción del concreto con las diferentes cantidades de fibras.

Tabla 25. Variación del costo concreto con adición de FMLR.

Muestras	Costo (S/.)	Variación (%)
Concreto patrón	341.90	
Concreto + 5% FMLR	474.05	38.65
Concreto + 10% FMLR	659.90	93.01
Concreto + 15% FMLR	792.05	131.66

Como se muestra en la Tabla 25, el costo de la elaboración del concreto con adiciones de fibras metálicas de llantas recicladas se va incrementado a medida se aumenta el porcentaje de fibra, tal es el caso que solo con el 5 %, existe una variación de 38.65 % más respecto al concreto patrón.

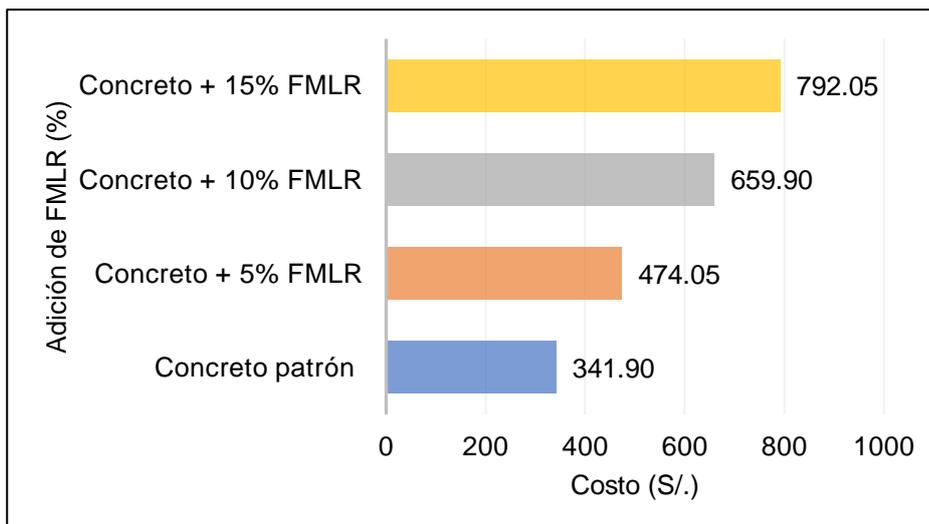


Figura 31. Variación de la resistencia a la flexión y adición de FMLR.

En la figura anterior se muestra el comportamiento, de manera esquemática, del costo de la producción del concreto con diferentes proporciones de fibras metálicas de llantas recicladas; denotándose principalmente un incremento de hasta 450.15 soles respecto al del patrón.

De acuerdo al análisis de las demás propiedades del concreto, el porcentaje óptimo es la concentración del 5 % de FMLR, por lo que, a pesar de tener un costo superior al concreto patrón, este es compensado con el incremento de las propiedades mecánicas; mientras que si se le comparar con un elemento comercial, este resulta más económico.

4.4. Prueba de hipótesis

4.4.1. Hipótesis específica N°01

Para la prueba de hipótesis específica N°01 se ha considerado el estadístico de Kruskal – Wallis, debido a que los datos tuvieron una distribución no paramétrica:

Los enunciados que se deberán verificar están en función a plantear dos hipótesis, una nula (H_0) y la otra alterna (H_1); siendo esta última la hipótesis que se ha propuesto en el desarrollo de la presente investigación.

H₀: La adición de fibras metálicas de llantas recicladas no influyen positivamente en las propiedades físicas del concreto.

H₁: La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influyen positivamente en las propiedades mecánicas del concreto.

Es importante destacar, que para aceptar o rechazar la hipótesis nula o alterna, fue necesario, establecer un valor de significancia, el cual para el caso de ingeniería es de 0.05; siendo finalmente, que si los valores obtenidos mediante el estadístico de Kruskal – Wallis, son superiores o inferiores, se las aceptará o rechazará.

Tabla 26. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°01.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución del contenido de aire es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.055	Conserve la hipótesis nula
La distribución de temperatura es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.844	Conserve la hipótesis nula
La distribución de asentamiento es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.021	Rechace la hipótesis nula
La distribución de peso unitario es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.015	Rechace la hipótesis nula
La distribución de tiempo de fragua inicial es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.105	Conserve la hipótesis nula
La distribución de tiempo de fragua final es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.823	Conserve la hipótesis nula
La distribución de tiempo de fragua total es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.313	Conserve la hipótesis nula
La distribución de exudación es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.024	Rechace la hipótesis nula

En la tabla anterior, se muestra los valores de significancia obtenida mediante el estadístico de Kruskal – Wallis, en la que se evaluaron todos indicadores de las propiedades físicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas.

Los valores obtenidos muestran que, el contenido del aire, la temperatura y el tiempo de fragua (inicial, final y total), tienen una significancia mayor a 0.05, por lo cual se establece que no existe diferencias significativas entre las muestras patrón y las muestras de concreto con adición de FMLR en 5%, 10 % y 15 %.

Por otro lado, las propiedades como el asentamiento, el peso unitario y la exudación varían de manera significativa, pues la significancia fue inferior a 0.05. Ante lo mencionado, se ha realizado una prueba de comparación entre grupos para determinar, cuál de ellos tiene mayor diferencia.

Comparación de grupos

Como se ha mencionado, las propiedades del concreto que presentan una variación significativa son: el asentamiento, el peso unitario y la exudación; es por ello que se han comparado los grupos para establecer cuál es la diferencia entre cada uno de ellos como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 27. Comparación de grupos del asentamiento.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
15 % de FMLR - 10 % de FMRL	2.500	2.908	0.860	1.000
15 % de FMLR - 5 % de FMRL	5.667	2.908	1.949	0.308
15 % de FMLR - Concreto patrón	8.500	2.908	2.923	0.021
10 % de FMLR - 5 % de FMRL	3.167	2.908	1.089	1.000
10 % de FMLR - Concreto patrón	6.000	2.908	2.064	0.234
5 % de FMLR - Concreto patrón	2.833	2.908	0.974	1.000

En la tabla anterior, se observa que los grupos que mayor diferencia significativa presentan, son el 15 % de FMLR y el concreto patrón.

Tabla 28. Comparación de grupos del peso unitario.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
15 % de FMLR - 10 % de FMRL	3.000	2.939	1.021	1.000
15 % de FMLR - 5 % de FMRL	6.000	2.939	2.042	0.247
15 % de FMLR - Concreto patrón	9.000	2.939	3.063	0.130
10 % de FMLR - 5 % de FMRL	3.000	2.939	1.021	1.000
10 % de FMLR - Concreto patrón	6.000	2.939	2.042	0.247
5 % de FMLR - Concreto patrón	3.000	2.939	1.021	1.000

En la Tabla 28 se observa que los grupos con mayor diferencia son: el 15 % de FMLR y el concreto patrón.

Tabla 29. Comparación de grupos de la exudación.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
10 % de FMLR - 15 % de FMRL	-1.500	2.913	-0.515	1.000
10 % de FMLR - 5 % de FMRL	5.000	2.913	1.717	0.516
10 % de FMLR - Concreto patrón	8.167	2.913	2.804	0.030
15 % de FMLR - 5 % de FMRL	3.500	2.913	1.202	1.000
15 % de FMLR - Concreto patrón	6.667	2.913	2.289	0.133
5 % de FMLR - Concreto patrón	3.167	2.913	1.087	1.000

En la Tabla 29 se observa que, al comparar los grupos de exudación en el concreto, los que presentaron mayor diferencia significativa fueron: el 10 % de FMLR y el concreto patrón.

Finalmente, es preciso establecer que se acepta la hipótesis alterna de manera parcial, pues solo algunas propiedades físicas del concreto varían de manera significativamente al adicionar fibras metálicas de llantas recicladas inciden de manera considerable.

4.4.2. Hipótesis específica N°02

La prueba de hipótesis N°02 está referida a las propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas; por lo cual se plantearon los siguientes enunciados:

H₀: La adición de fibras metálicas de llantas recicladas no influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto.

H₁: La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto

Para la prueba de hipótesis de la presente investigación se aplicó el estadístico de Kruskal – Wallis, debido a que la distribución de los datos obtenido en laboratorio fue no normal; en este sentido se ha obtenido los siguientes resultados:

Tabla 30. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°02.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de resistencia a la compresión es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.016	Rechace la hipótesis nula
La distribución de módulo de elasticidad es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.016	Rechace la hipótesis nula
La distribución de resistencia a la flexión es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.02	Rechace la hipótesis nula

Como se muestra en la tabla anterior, la adición de fibras metálicas de llantas recicladas incide de manera significativa en la resistencia a la compresión, a la flexión y el módulo de elasticidad del concreto; por lo que se acepta la hipótesis alterna.

Comparación de pares

Estas diferencias hacen necesario una comparación de pares para establecer cuales grupos son los que presentan mayor variación.

Tabla 31. Comparación de grupos de la resistencia a la compresión.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
Concreto patrón - 15 % FMLR	-3.000	2.944	-1.019	1.000
Concreto patrón - 10 % FMLR	-6.000	2.944	-2.038	0.249
Concreto patrón - 5 % FMLR	-9.000	2.944	-3.057	0.013
15 % de FMLR - 10 % de FMLR	3.000	2.944	1.019	1.000
15 % de FMLR - 5 % de FMLR	6.000	2.944	2.038	0.249
10 % de FMLR - 5 % de FMLR	9.000	2.944	1.019	1.000

Como se muestra en la tabla anterior, los grupos que mayor diferencia significativa presentan son: el grupo del concreto patrón y el de 5 % de FMLR.

Tabla 32. Comparación de grupos del módulo de elasticidad.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
Concreto patrón - 15 % FMLR	-3.000	2.944	-1.019	1.000
Concreto patrón - 10 % FMLR	-6.000	2.944	-2.038	0.249
Concreto patrón - 5 % FMLR	-9.000	2.944	-3.057	0.013
15 % de FMLR - 10 % de FMLR	3.000	2.944	1.019	1.000
15 % de FMLR - 5 % de FMLR	6.000	2.944	2.038	0.249
10 % de FMLR - 5 % de FMLR	9.000	2.944	1.019	1.000

En la tabla anterior se muestra que los grupos con diferencia significativa son: el concreto patrón y el concreto con adición del 5 % de FMLR.

Tabla 33. Comparación de grupos de la resistencia a la flexión.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
15 % de FMLR - Concreto patrón	2.000	2.939	0.681	1.000
15 % de FMLR - 10 % de FMLR	5.500	2.939	1.872	0.368
15 % de FMLR - 5 % de FMLR	8.500	2.939	2.872	0.023

Concreto patrón - 10 % FMLR	-3.500	2.939	-1.191	1.000
Concreto patrón - 5 % FMLR	-6.500	2.939	-2.212	0.162
10 % de FMLR - 5 % de FMLR	3.000	2.939	1.021	1.000

La última propiedad mecánica del concreto analizado, fue la resistencia a la flexión, en esta se puede destacar que los grupos que presenta diferencia significativa son el concreto con 15 % de FMLR y el de 5 % de FMLR.

4.4.3. Hipótesis específica N°03

Para el análisis de la prueba de hipótesis N°03, se ha utilizado el estadístico de Kruskal – Wallis, el cual fue establecido debido a que la distribución de los datos por cada grupo de análisis presentó una distribución no paramétrica.

Con base a lo anterior, se han planteado los siguientes enunciados para ser probados:

H_0 : La adición de fibras metálicas de llantas recicladas no incide de manera significativa en el costo del concreto.

H_1 : La adición de fibras metálicas de llantas recicladas incide de manera significativa en el costo del concreto.

Tabla 34. Prueba de Kruskal – Wallis de la prueba de hipótesis N°02.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de costo es la misma entre las categorías de porcentaje de FMLR	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.016	Rechace la hipótesis nula

La Tabla 34 muestra el análisis de Kruskal – Wallis de la incidencia de las fibras metálicas en el concreto; obteniéndose que la significancia fue de 0.016; por lo que se concluye, que si hay una incidencia significativa al adicionar FMLR en el concreto; por lo que se acepta a hipótesis alterna.

Comparación de grupos

Para un mejor entendimiento de la incidencia del costo de las FMLR en el concreto, se ha realizado una comparación de pares en la que se tiene los siguientes resultados:

Tabla 35. Comparación de grupos para el costo del concreto.

Grupos	Estadística de prueba	Error estándar	Desviación estadística de prueba	Sig.
Concreto patrón - 5 % FMLR	-3.000	2.944	-1.019	1.000
Concreto patrón - 10 % FMLR	-6.000	2.944	-2.038	0.249
Concreto patrón - 15 % FMLR	-9.000	2.944	-3.057	0.013
5 % de FMLR - 10 % de FMLR	-3.000	2.944	-1.019	1.000
5 % de FMLR - 15 % de FMLR	-6.000	2.944	-2.038	0.249
10 % de FMLR - 15 % de FMLR	-9.000	2.944	-1.019	1.000

Finalmente se observa que la mayor diferencia se da entre el concreto patrón y el concreto con adición del 15 % de FMLR.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Propiedades físicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas

Las propiedades físicas del concreto son un aspecto importante para, de alguna forma, prevenir o establecer tendencias que obtendrán las propiedades mecánicas; es en este sentido la importancia de su estudio, pues además de ello, permitirá medir otras propiedades como la trabajabilidad.

La primera propiedad analizada fue la temperatura del concreto (Ver Figura 10), de la cual se puede observar una tendencia al incremento a medida que se aumenta la cantidad de fibra metálica de llantas reciclada (FMLR), sin embargo, este incremento resulta ser de solo 0.06 °C, lo cual se puede interpretar como poco significativo; siendo demostrado así en la prueba de hipótesis N°01. Esto demuestra claramente que la adición de fibras no incide en la temperatura del concreto, es decir, no la incrementa ni la reduce; estando así, dentro del rango que la norma E0.60 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece.

El otro aspecto analizado, fue el asentamiento del concreto, el cual según Abanto (2009), es un indicador de la trabajabilidad del concreto. En este sentido, en la Figura 11 se muestra la tendencia de esta propiedad; la cual es de disminuir a medida que se incrementa el

porcentaje de adición de la fibra metálica. Esta tendencia, coincide con lo determinado por Sánchez (2009), quien al probar distintos diseños de mezclas y fibras, todas tienen una clara tendencia negativa. Sin embargo, es importante resaltar que a pesar de que existe una variación, la variación del 5% de FMLR, se puede clasificar como una mezcla trabajable; lo cual no sucede con las concentraciones del 10 y 15 %.

El contenido de aire en el concreto es un factor importante, pues está muy relacionado con la porosidad del mismo y a la vez con la resistencia; tal es el caso que si su presencia es demasiada, lo más probable es que la resistencia sea menor de la diseñada; sin embargo, autores como Kosmatka et al. (2004) establecen que, también puede ser beneficioso, en condiciones de congelamiento y deshielo. De la evaluación del contenido de aire en el concreto se estableció que, la máxima variación porcentual fue de 11.84 % al 15 % de FMLR; esto al compararlo respecto al suelo patrón. Estos resultados, como se demuestra en la prueba de hipótesis N°01, no son significativos, técnica ni estadísticamente, por lo cual no afecta los parámetros que el diseño AC211 establece.

De acuerdo a Sánchez (2009), la adición de las fibras metálicas en el concreto debería representar un incremento del peso unitario, pues en su estudio logra obtener variaciones de hasta 1.67 %; sin embargo, al estudiar esta propiedad con fibras de llantas recicladas, la evolución de peso unitario es inverso a lo descrito, pues según la Figura 13 su variación es de hasta -2.56 %; esta diferencia podría deberse en gran medida a, que al momento de la ejecución del ensayo, las fibras logran dificultar el llenado del recipiente, dejándose algunos espacios. A de lo mencionado, el concreto sigue perteneciendo a una clasificación de "Concreto Normal".

Con respecto al tiempo de fragua, los resultados obtenidos demuestra que no existen una incidencia significativa, pues las variaciones porcentuales del tiempo de fragua inicial, final y total no sobrepasan el valor de 5.64 %, lo cual representa aproximadamente los 2 minutos; esto no coincide con lo establecido por Sánchez (2009), quien obtiene

variaciones superiores al 10 % respecto al concreto patrón, esto se debería a la composición de la fibra metálica utilizada y la concentración aplicada. Un aspecto importante es que, en ambos estudios, el tiempo de fragua inicial entre los 300 – 360 minutos; mientras que el tiempo de fragua final entre los 450 – 520 minutos; lo cual está en el rango normal establecido para un concreto normal.

Finalmente, la evaluación de la exudación resultó ser un aspecto importante, pues de acuerdo a Abanto (2009), su presencia de manera descontrolada en el concreto podría perjudicar la resistencia final de concreto; en este sentido los resultados demuestran una disminución significativa a medida se incrementa la cantidad de FMLR; esto coincide con la tendencia establecida por Sánchez (2009), quien logra una tendencia negativa de esta propiedad en todas las combinaciones de diseño de mezcla que estableció.

En conclusión, podemos destacar que la adición de las fibras metálicas de llantas recicladas no modifica de manera significativa las propiedades como: la temperatura, el contenido de aire y el tiempo de fragua; mientras que el asentamiento, peso unitario y la exudación si se ven afectadas, aunque en todas ellas son mejoradas o la variación no las saca del rango establecidas por las normas y reconvenciones vigentes.

5.2. Propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas

Las propiedades mecánicas del concreto resultan el aspecto más importante, pues muchas normas las regulan. En este sentido, entre las propiedades más utilizadas destacan la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y al módulo de elasticidad. La importancia de estas propiedades, resalta Abanto (2009), radica en que mediante ellas se podrá tener seguridad de que la estructura en la que se utilice, soporte las acciones que se originarán de manera constante.

Es por lo mencionado, que el desarrollo de la presente tesis buscó establecer si la adición de un material, como el de las fibras metálicas de llantas recicladas, tiene una incidencia significativa en las propiedades mecánicas del concreto; además de establecer si esto es perjudicial o beneficioso.

La resistencia a la compresión del concreto, como ya se ha descrito, se ha evaluado en 4 etapas (7, 14 21 y 28 días); si bien la norma E0.60, recomienda menos días; estudios como los realizados por Sánchez (2009), Gutierrez y Palomino (2015), tienen una preferencia por ello, especialmente para obtener una adecuada distribución grafica de este comportamiento. Los resultados que se han obtenido demuestran que, la resistencia a los 28 días, alcanzan valores superiores a los de diseño (210 kg/cm^2) y hasta incluso al del concreto patrón (ver Figura 23). Estos resultados y tendencias obtenidas coinciden con lo obtenido por Sánchez (2009), Gutierrez y Palomino (2015), quienes logran alcanzar valores superiores al concreto patrón con una dosificación de 20 kg/m^3 ; es decir con dosificaciones menores a lo mencionada, por lo general, la resistencia del concreto no se ve afectada, mientras que si los valores lo superan, la resistencia disminuye. En esta investigación es preciso establecer que el porcentaje de fibra, está en función de la cantidad de cemento necesario para la elaboración del concreto patrón. Otro aspecto importante es, que el que mejor compartimiento presentó fue la dosificación del 5 % fe FMLR.

La resistencia a la flexión del concreto, por lo general cobra relevancia cuando el fin de su diseño sea la aplicación en elementos destinados a soportar esfuerzos de flexión como en las pistas. En tal sentido, el desarrollo de esta tesis contempló establecer si el uso de fibras metálicas en el concreto mejora o perjudica esta propiedad, obteniéndose así un incremento a medida que se adiciona la fibra metálica de llantas recicladas (FMLR); en el cual se destaca el 5 % de adición, pues tiene valores superiores al del concreto patrón. También es preciso recordar que según la norma CE0.10 del Reglamento Nacional de Edificaciones,

que el módulo de rotura a flexión del concreto debe ser como mínimo de 34 kg/cm²; el cual es superado ampliamente por todas las dosificaciones establecidas. Sánchez (2009), también obtiene una tendencia similar, aunque solo para las dosificaciones con una relación a/c = 0.40,

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro que fue determinado mediante lo especificado por Kosmatka et al. (2004), quién la relaciona con la resistencia a compresión; bajo esta perspectiva se ha estimado y obtenido que el módulo de elasticidad se incrementa a medida que se adiciona fibra metálica; esta tendencia del concreto también es obtenida por Sánchez (2009), quienes lograron obtener valores de hasta 323 011.61 kg/cm²; valores más superiores que los obtenidos en esta investigación; esto se debe a que Sánchez (2009), utiliza un elemento comercial y fabricado por SIKA; lo cual aseguraría un adecuado comportamiento de la elasticidad del concreto.

5.3. Costo de la aplicación de las fibras metálicas de llantas recicladas

Otro aspecto importante en esta investigación fue establecer el costo del uso de las fibras metálicas en el concreto, para ello se estableció, según se muestra en la Tabla 25, los valores del concreto patrón y las adiciones al 5 %, 10%, y 15 %; destacándose que el uso de la fibra al 5 % implica un incremento de 38.65 % más que el concreto patrón; si bien este monto resulta elevado, los costos obtenidos por Gutierrez y Palomino (2015), pueden alcanzar valores de hasta 604.63 soles por metro cúbico; esto se debe a que por lo general el costo de las fibras metálicas comercializadas por empresas como SIKA, alcanzan valores de 11.25 soles por kilogramo; mientras que para la tesis solo tiene un valor de 6.91 soles por kilogramo. Es importante resaltar que el monto para la obtención de FMLR fue de manera artesanal, por lo que los costos de producción podrían disminuirse si, esto se realiza de manera industrial.

Finalmente se puede establecer que el mejor comportamiento y que menos costo representa es el concreto con 5 % de FMLR, el cual tiene

un valor de 474.05 soles por metro cúbico, siendo 132.15 soles más que el concreto patrón; sin embargo esto es compensado con un incremento significativo en las principales propiedades mecánicas del concreto.

CONCLUSIONES

1. La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye de manera positiva en las propiedades mecánicas del concreto; sin embargo, las propiedades físicas no se modifican a excepción del asentamiento, el peso unitario y la exudación; de acuerdo a un porcentaje óptimo de 5 %.
2. Las propiedades físicas del concreto se modifican significativamente de manera parcial al adicionar fibras metálicas de llantas recicladas, tales como el asentamiento, el peso unitario y la exudación; mientras que la temperatura, el tiempo de fragua y el contenido de humedad no varían. También, es importante mencionar que, a pesar de las variaciones de las propiedades mencionadas, todas cumplen los límites recomendados por las normas vigentes.
3. Las propiedades mecánicas analizadas en la presente tesis (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y la elasticidad) varían de manera significativa al adicionar fibras metálicas de llantas recicladas; destacándose de entre todas las proporciones el 5 %, que logra un valor de 375 kg/cm^2 a los 28 días cuando la resistencia de diseño fue de 210 kg/cm^2 . Este porcentaje muestra la misma tendencia en la resistencia a la flexión y en el módulo de elasticidad.
4. El costo del concreto se incrementa a medida que se adiciona la cantidad de fibra metálica de llantas recicladas, esto debido a que la obtención de este material de manera artesanal fue de 6.91 soles por kilogramo. En este sentido, el que menor costo representó fue el concreto con adición del 5 % de fibra metálica reciclada, el cual es S/. 132.14 más caro que un concreto normal; sin embargo, esta es compensada con un incremento en las propiedades mecánicas del concreto.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los proyectistas, el uso de las fibras metálicas de llantas recicladas en un porcentaje del 5 % respecto al peso del cemento; debido que con ella se alcanza valores de resistencia a la compresión y flexión, superiores al del concreto normal o de diseño (210 kg/cm²).
2. Se recomienda a los investigadores realizar estudios de este material con porcentajes menores al 5 % respecto al peso del cemento.
3. Se recomienda a futuros investigadores aplicar el concreto con adición de fibras metálicas de llantas recicladas en tramos de pruebas, para medir su desempeño como pavimentos y en estructuras de concreto armado.
4. Se recomienda a los investigadores, considerar la adición de las fibras metálicas de llantas recicladas como un porcentaje de sustitución del agregado fino; con lo cual podría abaratare los costos de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO, F., 2009. *Tecnología del concreto*. Segunda ed. Lima - Perú: s.n.
- ACI, 2017. *Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto del ACI 214RS-11*. 2017. Farmington Hills - Estados Unidos: American Concrete Institute.
- ACI544-1R, 1996. *Report on fiber reinforced concrete*. 1996. S.I.: American Concrete Institute.
- ACI544-3R, 2008. *Guide for specifying proportioning, and production of fiber-reinforced concrete*. 2008. S.I.: American Concrete Institute.
- GALLO, L., GONZÁLES, G. y CARRILLO, J., 2013. *Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometidos a esfuerzos de compresión*. S.I.: Universidad Militar Nueva Granada.
- GUTIERREZ, M. y PALOMINO, K. del P., 2015. *Análisis de la propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno y acero, y su uso en el control de fisuras por contracción plástica* [en línea]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/2143>.
- GUZMÁN, Y. y GUZMÁN, E., 2015. *Sustitución de los áridos de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional del Santa. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/1990/30736.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- HERNÁNDEZ, W. y TRIANA, C., 2008. *Efecto de la cuantía volumétrica de fibra en la resistencia del SFRC a la fractura en modo III - fase I*. S.I.: s.n.
- KOSMATKA, S., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESI, J., 2004. *Diseño y control de mezclas de Concreto* [en línea]. Primera. México: Portland Cement Association. ISBN 0893122335. Disponible en: ps://www.nrmca.org/operations/OPERATIONS/Courses_plant-manager.htm.

- LA VERDAD, 2018. Más de dos millones de neumáticos se desechan cada año. *Diario La Verdad* [en línea]. [Consulta: 5 junio 2019]. Disponible en: <https://laverdadnoticias.com/ecologia/Mas-de-2-millones-de-neumaticos-se-desechan-cada-ano.-20180605-0041.html>.
- MAGALLANES, C. y GUILLÉN, I., 2014. *Experiencias en el tratamiento de neumáticos fuera de uso en Iberoamérica*. 2014. Lima - Perú: Congreso de la República del Perú.
- ÖZGÜR, E. y KHALED, M., 2010. *Effect of steel fibers on plastic shrinkage cracking of normal and high strength concretes*. 2010. Turquía: s.n.
- PULIDO, E., 2014. *Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/107/146>.
- RAMÍREZ, A., 2016. *Estudio del comportamiento del concreto reforzado con fibras obtenidas del reciclado de llantas*. S.l.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- SÁNCHEZ, F., 2009. *Estudio de las características del concreto con inclusión de fibras metálicas y cemento portland tipo I* [en línea]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4265>.
- TERREROS, L. y CARVAJAL, I., 2016. *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo*. S.l.: Universidad Católica de Colombia.

ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz de consistencia

Matriz de consistencia

Tesis: “ Influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general: ¿Cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas?</p> <p>Problemas específicos: a) ¿Cómo influye la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades físicas del concreto? b) ¿De qué manera influye la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades mecánicas del concreto? c) ¿En cuánto incide la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en el costo del concreto?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar cómo influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto la adición de fibras metálicas de llantas recicladas.</p> <p>Objetivos específicos: a) Determinar la influencia de la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades físicas del concreto. b) Establecer de qué manera influye de la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en las propiedades mecánicas del concreto. c) Estimar en cuánto incide la adición de fibras metálicas de llantas recicladas en el costo del concreto.</p>	<p>Hipótesis general: La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.</p> <p>Hipótesis específicas: a) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto. b) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas influye positivamente en las propiedades mecánicas del concreto. c) La adición de fibras metálicas de llantas recicladas incide de manera significativa en el costo del concreto</p>	<p>Variable independiente (X): Fibra metálica.</p> <p>Variable dependiente (Y): Propiedades físicas y mecánicas.</p>	<p>- Cantidad de fibras metálica de llanta reciclada.</p> <p>- Propiedades físicas</p> <p>- Propiedades mecánicas</p>	<p>- Peso de fibras metálicas</p> <p>- Asentamiento. - Exudación. - Contenido de aire. - Temperatura. - Tiempo de Fragua - Peso unitario.</p> <p>- Resistencia a la compresión. - Resistencia a la flexión. - Módulo de elasticidad.</p>	<p>Método de investigación: Científico. Tipo de investigación: Aplicada. Nivel de investigación: Explicativo. Diseño de investigación: Experimental. Población: La población correspondió al concreto con adición de fibra metálica de llantas recicladas, las cuales hacen un total de 192 especímenes. Muestra: La muestra correspondió a los 192 especímenes descritos anteriormente, por lo que la muestra y la población son las mismas debido a que esta es relativamente pequeña.</p>

Anexo N° 02: Análisis de precios unitarios.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1201002 INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO LA ADICIÓN DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS			Fecha presupuesto	20/11/2020		
Subpresupuesto	001 COSTO DE PRODUCCIÓN						
Partida	CONCRETO SIMPLE $f_c=210$ kg/cm ²						
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³			341.90
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$l.	Parcial \$l.
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO		hh	0.5000	0.3333	22.95	7.65
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.6667	18.44	12.29
0101010005	PEON		hh	6.0000	4.0000	11.58	46.32
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO		hh	1.0000	0.6667	22.95	15.30
							81.56
Materiales							
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m ³		0.9000	55.00	49.50
02070200010002	ARENA GRUESA		m ³		0.4000	55.00	22.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA		m ³		0.1800	1.50	0.27
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bol		9.0000	19.91	179.19
							250.96
Equipos							
03012900010004	VIBRADOR A GASOLINA		dia	1.0000	0.0833	50.00	4.17
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)		hm	1.0000	0.6667	7.81	5.21
							9.38
Partida	CONCRETO SIMPLE $f_c=210$ kg/cm ² + 5 % FMLR						
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³			474.05
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$l.	Parcial \$l.
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO		hh	0.5000	0.3333	22.95	7.65
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.6667	18.44	12.29
0101010005	PEON		hh	6.0000	4.0000	11.58	46.32
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO		hh	1.0000	0.6667	22.95	15.30
							81.56
Materiales							
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m ³		0.9000	55.00	49.50
02070200010002	ARENA GRUESA		m ³		0.4000	55.00	22.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA		m ³		0.1800	1.50	0.27
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bol		9.0000	19.91	179.19
							250.96
Equipos							
03012900010004	VIBRADOR A GASOLINA		dia	1.0000	0.0833	50.00	4.17
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)		hm	1.0000	0.6667	7.81	5.21
							9.38
Subpartidas							
010105010503	PROCESAMIENTO DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS		kg		19.1250	6.91	132.15
							132.15

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1201002	INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO LA ADICIÓN DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS				Fecha presupuesto	20/11/2020
Subpresupuesto	001	COSTO DE PRODUCCIÓN					
Partida	CONCRETO SIMPLE $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10 \% \text{ FMLR}$						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m3		659.90	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio SI.	Parcial SI.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	22.95	15.30	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.6667	18.44	12.29	
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	11.58	61.76	
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	3.0000	2.0000	22.95	45.90	
						135.25	
Materiales							
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.9000	55.00	49.50	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4000	55.00	22.00	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1800	1.50	0.27	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.0000	19.91	179.19	
						250.96	
Equipos							
03012900010004	VIBRADOR A GASOLINA	dia	1.0000	0.0833	50.00	4.17	
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	1.0000	0.6667	7.81	5.21	
						9.38	
Subpartidas							
010105010503	PROCESAMIENTO DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS	kg		38.2500	6.91	264.31	
						264.31	
Partida	CONCRETO SIMPLE $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15 \% \text{ FMLR}$						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m3		792.05	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio SI.	Parcial SI.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	22.95	15.30	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.6667	18.44	12.29	
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	11.58	61.76	
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	3.0000	2.0000	22.95	45.90	
						135.25	
Materiales							
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.9000	55.00	49.50	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4000	55.00	22.00	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1800	1.50	0.27	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.0000	19.91	179.19	
						250.96	
Equipos							
03012900010004	VIBRADOR A GASOLINA	dia	1.0000	0.0833	50.00	4.17	
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	1.0000	0.6667	7.81	5.21	
						9.38	
Subpartidas							
010105010503	PROCESAMIENTO DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS	kg		57.3750	6.91	396.46	
						396.46	

Análisis de precios unitarios de subpartidas

Presupuesto 1201002 INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO LA ADICIÓN DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 Subpresupuesto 001 COSTO DE PRODUCCIÓN Fecha presupuesto 20/11/2020

Partida	(010105010503-1201002-01) PROCESAMIENTO DE FIBRAS METÁLICAS DE LLANTAS RECICLADAS						
Rendimiento	kg/DIA	MO.100.00	EQ.100.00	Costo unitario directo por : kg			6.91
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
		Mano de Obra					
0101010005	PEON		hh	2.0000	0.1600	11.58	1.85
		Materiales					1.85
02560400010008	LLANTAS RECICLADAS		und		10.0000	0.50	5.00
		Equipos					5.00
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	1.85	0.06
							0.06

Anexo N° 03: Ensayos de laboratorio.

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS
 SECTOR : RECICLADAS
 CANTERA / UBICACION : PEDRA CHANCADA Y ARENA ZARAPDEADA - 3 DE DICIEMBRE
 UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Region : JUNIN
 TECNICO : J.S.C.V
 FECHA : 14/01/2020

ENSAYO DE SLUMP - ASENTAMIENTO				
N° DE MUESTRAS	1	2	3	PROM(")
RESISTENCIA 210 KG/CM2 CONVENCIONAL	4"	3.5"	3.8"	3.8
RESISTENCIA 210 KG/CM2 FIBRA ALAMBRE 5%	3.2"	3.5"	3"	3.2
RESISTENCIA 210 KG/CM2 FIBRA ALAMBRE 10%	3"	2.8"	2.8"	2.9
RESISTENCIA 210 KG/CM2 FIBRA ALAMBRE 15%	2.8"	2.5"	2.5"	2.6

PESO UNITARIO DE CONCRETO FRESCO

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPÍ VEWALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 SECTOR :
 CANTERA / UBICACION : PEDRA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA - 3 DE DICIEMBRE
 UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Region JUNIN TECNICO : J.S.C.V
 FECHA : 14/01/2020

DESCRIPCION	CONCRETO CONVENCIONAL		
Volumen del Molde	6,950.00	6,950.00	6950.00
Peso del Molde	3,304.00	3,304.00	3304.00
Peso del Molde + Muestra	19,744.00	19,750.00	19748.00
Peso de la Muestra	16,440.00	16,446.00	16444.00
Peso Unitario/m ³	2,365	2,366	2,366
PROMEDIO	2,366		

PESO UNITARIO DE CONCRETO FRESCO

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPÍ VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 SECTOR :
 CANTERA / UBICACION : PEDRA CHANCAIDA Y ARENA ZARANDEADA - 3 DE DICIEMBRE
 UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Region JUNIN TECNICO : J.S.C.V
 FECHA : 15/01/2020

DESCRIPCION	CONCRETO AL 5% FIBRA DE ALAMBRE		
Volumen del Molde	6,950.00	6,950.00	6950.00
Peso del Molde	3,304.00	3,304.00	3304.00
Peso del Molde + Muestra	19,650.00	19,625.00	19685.00
Peso de la Muestra	16,346.00	16,321.00	16381.00
Peso Unitario/m ³	2,352	2,348	2,357
PROMEDIO	2,352		

PESO UNITARIO DE CONCRETO FRESCO

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 SECTOR :
 CANTERA / UBICACION : PEDRA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA - 3 DE DICIEMBRE
 UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Region : JUNIN
 TECNICO : J.S.C.V
 FECHA : 19/01/2020

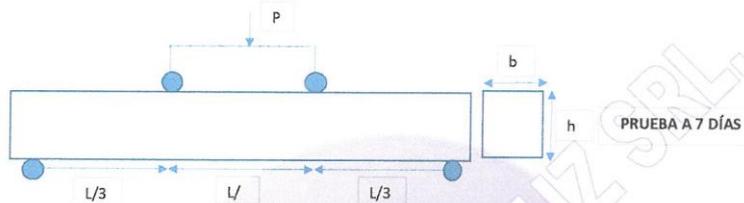
DESCRIPCION	CONCRETO AL 10% FIBRA DE ALAMBRE		
Volumen del Molde	6,950.00	6,950.00	6950.00
Peso del Molde	3,304.00	3,304.00	3304.00
Peso del Molde + Muestra	19,520.00	19,495.00	19535.00
Peso de la Muestra	16,216.00	16,191.00	16251.00
Peso Unitario/m ³	2,333	2,330	2,335
PROMEDIO	2,333		

PESO UNITARIO DE CONCRETO FRESCO

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH, ING, CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 SECTOR :
 CANTERA / UBICACION : PEDRA CHANCADA Y ARENA ZARANDADA - 3 DE DICIEMBRE
 UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Region JUNIN TECNICO : U.S.C.V
 FECHA : 20/01/2020

DESCRIPCION	CONCRETO AL 15% FIBRA DE ALAMBRE		
Volumen del Molde	6,950.00	6,950.00	6950.00
Peso del Molde	3,304.00	3,304.00	3304.00
Peso del Molde + Muestra	19,350.00	19,325.00	19295.00
Peso de la Muestra	16,046.00	16,021.00	15951.00
Peso Unitario/m ³	2,309	2,305	2,304
PROMEDIO	2,305		

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING, CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO
 FECHA DE VACIADO 14/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2120 Kg	2125 Kg	2100 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 28.267 kg/cm2 28.333 kg/cm2 28.000 kg/cm2

PROMEDIO	28.20	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L), el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

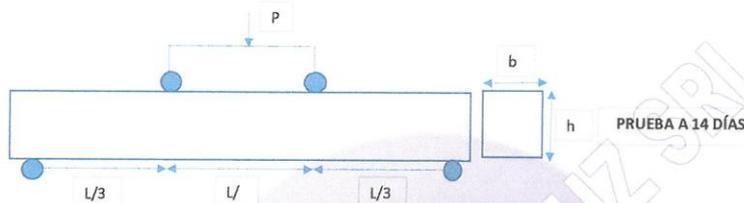
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre línea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

CITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 OBJETO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 DIMENSIONES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 LOCALIZACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO
 FECHA DE VACIADO 14/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tecto medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2550 Kg	2621 Kg	2610 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR=	34.000 kg/cm2	34.947 kg/cm2	34.800 kg/cm2
PROMEDIO	34.58		kg/cm2

si falla ocurre fuera del tecto medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

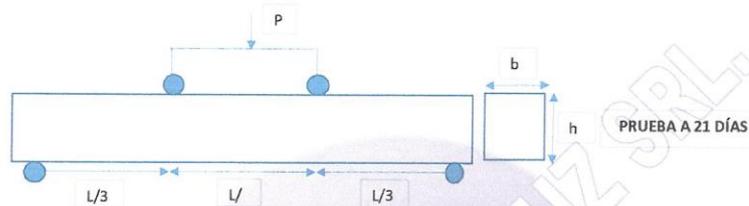
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO
 FECHA DE VACIADO 14/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tecto medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2750 Kg	2720 Kg	2725 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 36.667 kg/cm2 36.267 kg/cm2 36.333 kg/cm2

PROMEDIO	36.42	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tecto medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L), el MR sera de la siguiente forma :

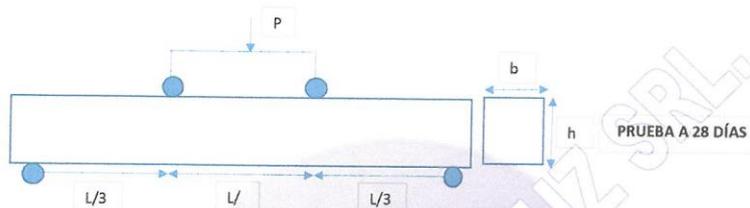
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
 la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO
 FECHA DE VACIADO 14/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del teco medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
b;ancho promedio de la viga.
h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2830 Kg	2885 Kg	2850 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 37.733 kg/cm2 38.467 kg/cm2 38.000 kg/cm2

PROMEDIO	38.07	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del teco medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

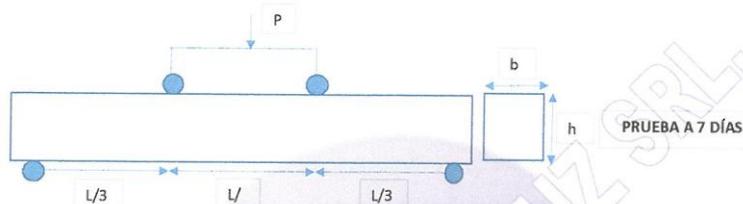
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 5%
 FECHA DE VACIADO 15/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del teco medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2350 Kg	2415 Kg	2400 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 31.333 kg/cm2 32.200 kg/cm2 32.000 kg/cm2

PROMEDIO	31.84	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del teco medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L),el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

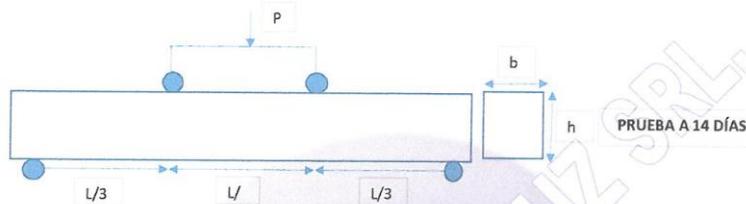
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 5%
 FECHA DE VACIADO 15/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tecto medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2850 Kg	2846 Kg	2850 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 38.000 kg/cm2 37.947 kg/cm2 38.000 kg/cm2

PROMEDIO	37.98	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tecto medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

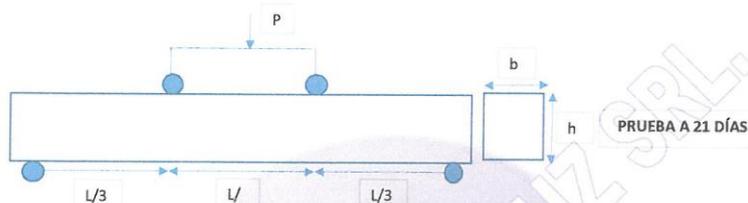
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
 la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 5%
 FECHA DE VACIADO 15/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del trecio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	3050 Kg	3110 Kg	3085 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 40.667 kg/cm2 41.467 kg/cm2 41.133 kg/cm2

PROMEDIO	41.09	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del trecio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

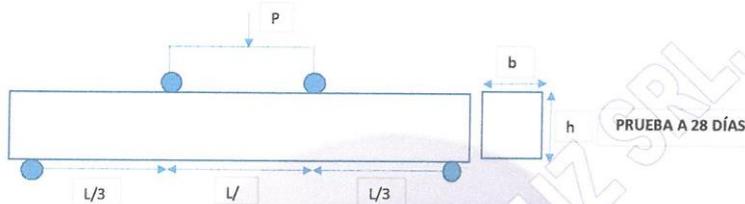
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 5%
 FECHA DE VACIADO 15/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L,luz libre entre apoyos.
 b,ancho promedio de la viga.
 h,altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	3140 Kg	3265 Kg	3250 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 41.867 kg/cm2 43.533 kg/cm2 43.333 kg/cm2

PROMEDIO	42.91	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

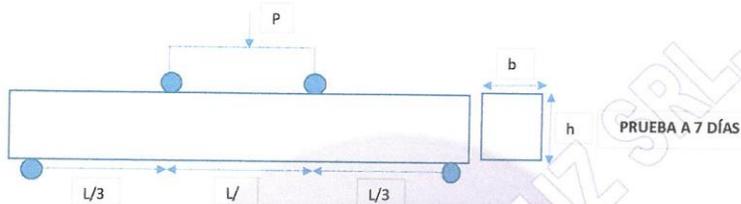
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
 la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZ
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 10%
 FECHA DE VACIADO 19/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del trecio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2180 Kg	2165 Kg	2175 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 29.067 kg/cm2 28.867 kg/cm2 29.000 kg/cm2

PROMEDIO	28.98	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del trecio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

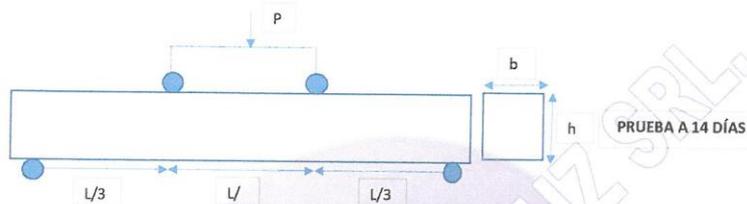
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 10%
 FECHA DE VACIADO 19/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del trecio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2625 Kg	2650 Kg	2655 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 35.000 kg/cm2 35.333 kg/cm2 35.400 kg/cm2

PROMEDIO	35.24	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del trecio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

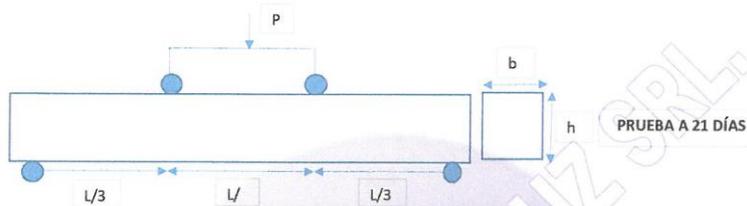
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPÍ VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 10%
 FECHA DE VACIADO 19/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el MR será de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L; luz libre entre apoyos.
 b; ancho promedio de la viga.
 h; altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2785 Kg	2810 Kg	2790 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 37.133 kg/cm² 37.467 kg/cm² 37.200 kg/cm²

PROMEDIO	37.27	kg/cm ²
----------	-------	--------------------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L), el MR será de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

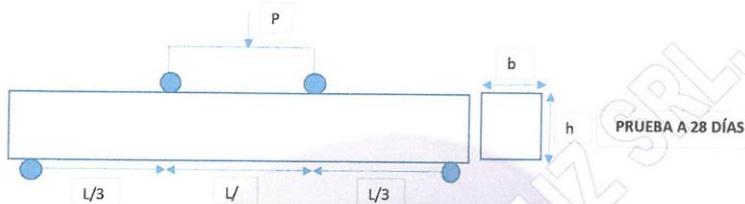
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a; distancia entre línea de falla y apoyo más cercana, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm²

consideraciones:

la velocidad de rotura estará entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 10%
 FECHA DE VACIADO 19/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tecto medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2950 Kg	2965 Kg	2985 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 39.333 kg/cm2 39.533 kg/cm2 39.800 kg/cm2

PROMEDIO	39.56	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tecto medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

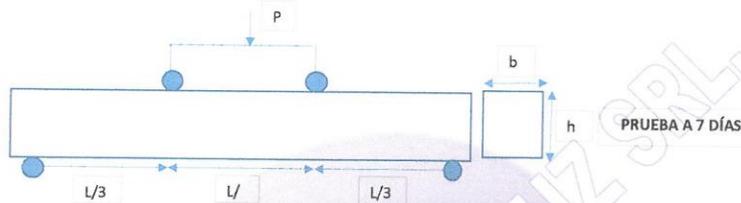
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPÍ VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 15%
 FECHA DE VACIADO 20/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2050 Kg	2000 Kg	2065 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 27.333 kg/cm2 26.667 kg/cm2 27.533 kg/cm2

PROMEDIO	27.18	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

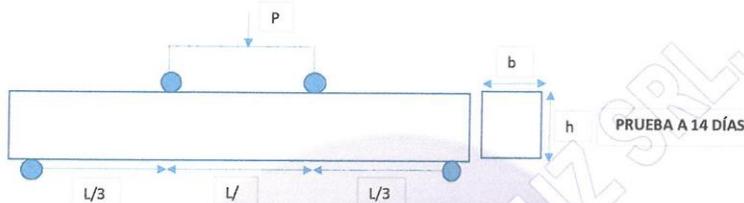
P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 15%
 FECHA DE VACIADO 20/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del trecio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L; luz libre entre apoyos.
 b; ancho promedio de la viga.
 h; altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2350 Kg	2365 Kg	2350 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 31.333 kg/cm2 31.533 kg/cm2 31.333 kg/cm2

PROMEDIO	31.40	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del trecio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

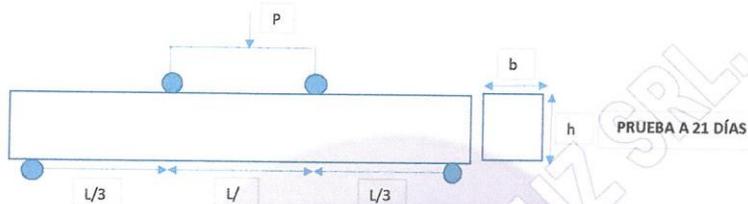
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a; distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
 la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 15%
 FECHA DE VACIADO 20/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L;luz libre entre apoyos.
 b;ancho promedio de la viga.
 h;altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2650 Kg	2595 Kg	2695 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 35.333 kg/cm2 34.600 kg/cm2 35.933 kg/cm2

PROMEDIO	35.29	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

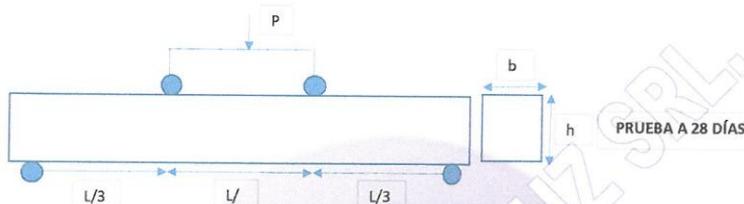
$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a;distancia entre linea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la linea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:
 la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL SHEYLA HEYDI BERROSPI VEVALLOS, VLADIMIR INGA MEZA
 PROYECTO / OBRA : INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN EL CONCRETO A LA ADICION DE FIBRAS METALICAS DE LLANTAS RECICLADAS
 ESPECIMENES / CANTIDAD : VIGA DE 15 X 15 X 51 CM DISEÑO 210KG/CM2
 UBICACIÓN DE OBRA : HUANCAYO ADITIVO FIBRA DE ALAMBRE 15%
 FECHA DE VACIADO 20/01/2020
MODULO DE ROTURA EN VIGAS NTP 339.078-ASTM C78



si falla ocurre dentro del tercio medio de la luz ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bxh^2}$$

L; luz libre entre apoyos.
 b; ancho promedio de la viga.
 h; altura promedio de la viga.

PRUEBA	N°1	N°2	N°3
P:	0 Kn	0 Kn	0 Kn
P:	2850 Kg	2750 Kg	2810 Kg
L:	45 cm	45 cm	45 cm
b:	15 cm	15 cm	15 cm
h:	15 cm	15 cm	15 cm

MR= 38.000 kg/cm2 36.667 kg/cm2 37.467 kg/cm2

PROMEDIO	37.38	kg/cm2
----------	-------	--------

si falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no mayor del 5% de la luz libre (L) ,el MR sera de la siguiente forma :

$$MR = \frac{3Pa}{bxh^2}$$

P:	0 Kn	
P:	0 Kg	
a:	0 cm	a; distancia entre línea de falla y apoyo mas cercana ,medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga.
b:	0 cm	
h:	0 cm	

MR= kg/cm2

consideraciones:

la velocidad de rotura estara entre 0.9Mpa/min a 1.2 Mpa/min

Anexo N° 04: Panel fotográfico.



Fotografía 1. Extracción de las fibras metálicas de llantas recicladas.



Fotografía 2. Fibras metálicas de llantas recicladas ya procesadas.



Fotografía 3. Peso del agregado grueso para la elaboración del concreto patrón y las adiciones de fibras.



Fotografía 4. Peso del agregado fino para la elaboración del concreto patrón y las adiciones de fibras.



Fotografía 5. Peso del agua para la elaboración del concreto patrón y las adiciones de fibras.



Fotografía 6. Peso del cemento para la elaboración del concreto patrón y las adiciones de fibras.



Fotografía 7. Mezclado de los componentes del concreto.



Fotografía 8. Inclusión de las fibras metálicas de llantas recicladas en el concreto.



Fotografía 9. Moldes para la elaboración de los testigos en el ensayo de compresión.



Fotografía 10. Testigos de concreto, concreto con 15 % de FMLR.



Fotografía 11. Preparación de testigos para el ensayo a compresión.



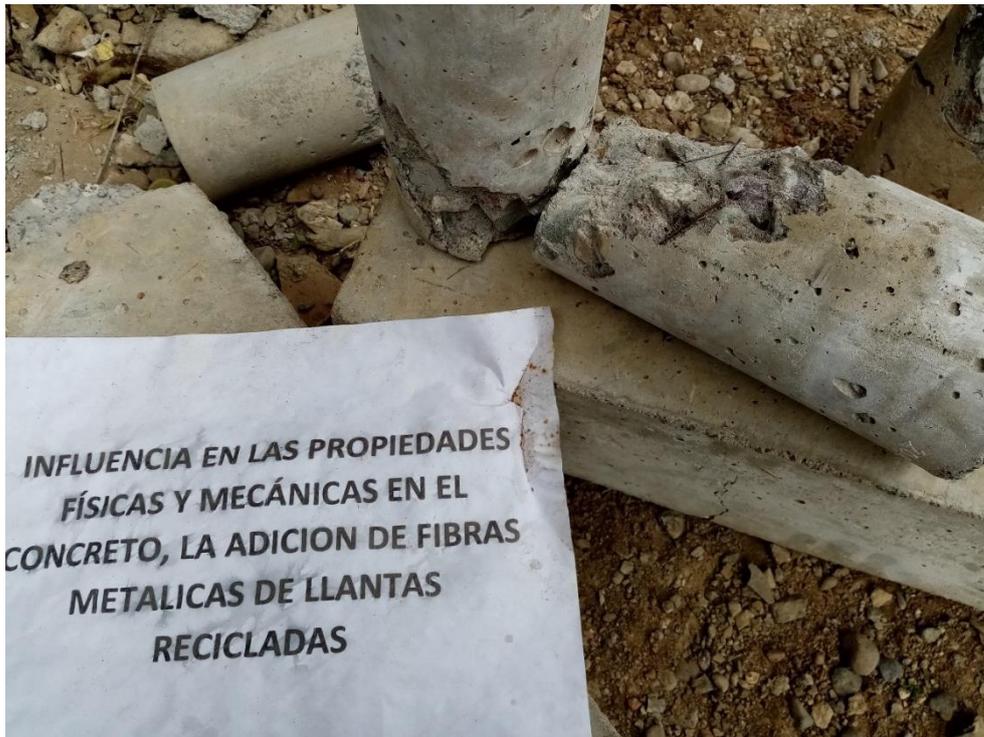
Fotografía 12. Ensayo de testigos para determinar la resistencia a la compresión.



Fotografía 13. Rotura del testigo de concreto con adición al 5 % de FMLR.



Fotografía 14. Rotura del testigo de concreto con adición al 10 % de FMLR.



Fotografía 15. Rotura del testigo de concreto con adición al 15 % de FMLR.



Fotografía 16. Moldes para la elaboración de las viguetas de concreto.



Fotografía 17. Viguetas de concreto.



Fotografía 18. Preparación de las viguetas de concreto para el ensayo de rotura.



Fotografía 19. Fisura en la vigueta de concreto con 5 % de FMLR.



Fotografía 20. Fisura en la vigueta de concreto con 10 % de FMLR.



Fotografía 21. Fisura en la vigueta de concreto con 15 % de FMLR.



Fotografía 22. Fisura en la vigueta de concreto patrón.