



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE FILAMENTOS DE COBRE RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE UN CONCRETO DE PAVIMENTO RÍGIDO, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Keila Cristel Junchaya Donayre

Asesor:

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Keila Cristel Junchaya Donayre**, denominada:

**“INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE FILAMENTOS DE COBRE RECICLADO
SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE UN CONCRETO DE
PAVIMENTO RÍGIDO, TRUJILLO 2018.”**

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina
ASESOR

MBA Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz
**JURADO
PRESIDENTE**

Mg. Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado
JURADO

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
JURADO

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi mamá Nora y mi hermana Yessica, por demostrarme siempre su apoyo incondicional y cariño. Haciendo que este proceso sea llevadero, para lograr cumplir un objetivo más en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme sostenido y no haberme dejado flaquear a lo largo de mi vida.

A mi familia que me han incondicionado su apoyo a largo de mi trayecto universitario.

Agradezco a mi asesor, el Ing. Wiston Azañedo Medina por el apoyo y orientación, porque gracias a sus conocimientos y su experiencia se logró culminar satisfactoriamente la presente tesis.

A mi enamorado Erick F. A. por su paciencia, apoyo y amor; que me mostró desde el inicio de este proyecto y que ahora ha culminado con éxito. Por su amor que me inspira a seguir creciendo como persona y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDOS	v
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Justificación	19
1.4. Limitaciones.....	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	22
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	22
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Bases Teóricas.....	28
2.3. Definición de términos básicos	43
2.4. Hipótesis	44
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	45
3.1. Operacionalización de variables	45
3.2. Diseño de investigación	46
3.3. Unidad de estudio.....	46
3.4. Población	46
3.5. Muestra (muestreo o selección).....	47
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	48
3.6.1. <i>Técnicas de recolección de datos y análisis de datos</i>	48
3.7. Métodos, instrumentos y procedimiento de análisis de datos.....	48
3.7.1.1. <i>Materia prima</i>	50
3.7.1.2. <i>Caracterización de los agregados</i>	50
3.7.1.3. <i>Diseño mezcla por la metodología ACI 211</i>	55
3.7.1.4. <i>Conformación de materiales</i>	59
3.7.1.5. <i>Toma de muestras de concreto fresco (ASTM C172 / NTP 339.036)</i>	59
3.7.1.6. <i>Concreto fresco</i>	60
3.7.1.7. <i>Concreto en estado endurecido</i>	61

CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	67
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN	123
CONCLUSIONES.....	128
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS	131
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consistencia del concreto, según medida	29
Tabla 2: Resistencia a la compresión por edades	33
Tabla 3: Matriz de hipótesis.....	44
Tabla 4: Matriz de Operacionalización de Variables	45
Tabla 5: Diseño de investigación experimental	46
Tabla 6: Agua de mezcla y contenido de aire	56
Tabla 7: Resistencia a la compresión requerida cuando no se dispone de data histórica	56
Tabla 8: Relación agua - cemento y resistencia a la compresión.....	57
Tabla 9: Relación entre TMN y Volumen de agregado grueso compacto	58
Tabla 10: Análisis granulométrico de muestra de agregado fino	68
Tabla 11: Husos granulométricos y porcentaje que pasa del agregado fino	69
Tabla 12: Análisis granulométrico de la muestra de agregado grueso	70
Tabla 13: Curva granulométrica del agregado grueso	71
Tabla 14: Huso N° 67 granulométricos y porcentaje que pasa del agregado grueso	71
Tabla 15: Contenido de humedad del agregado fino.....	73
Tabla 16: Contenido de humedad del agregado grueso	74
Tabla 17: Peso unitario seco suelto del agregado fino.....	75
Tabla 18: Peso unitario seco compacto del agregado fino.....	76
Tabla 19: Peso unitario seco suelto del agregado grueso	78
Tabla 20: Peso unitarios seco compacto del agregado grueso	79
Tabla 21: Peso específico y absorción del agregado fino	81
Tabla 22: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	82
Tabla 23: Agua de mezcla y contenido de aire.....	83
Tabla 24: Resistencia a la compresión cuando no se dispone de la data histórica	84
Tabla 25: Relación agua – cemento y resistencia a la compresión	84
Tabla 26: Interpolación para el cálculo de la Relación agua – cemento.....	85
Tabla 27: Cuadro resumen de balance de volúmenes	85
Tabla 28: Relación entre el TMN y el volumen de agregado grueso compacto.....	86
Tabla 29: Interpolación para el cálculo del factor AG	86
Tabla 30: Cuadro resumen de volúmenes	87
Tabla 31: Correcciones por absorción	88
Tabla 32: Correcciones por humedad.....	88
Tabla 33: Pesos para un metro cúbico de concreto de 280 kg/cm ²	89
Tabla 34: Resultados de asentamiento y asentamiento promedio	91
Tabla 35: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días de curado	92
Tabla 36: Resultados de resistencia a la flexión a los 28 días de curado	94
Tabla 37: Datos de diseño del pavimento rígido del estudio en el Centro Poblado El Milagro	95
Tabla 38: Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón y reforzado.....	95
Tabla 39: Módulo de Rotura del concreto patrón y reforzado.	96

Tabla 40: Resultados de diseño de pavimento rígido por el método AASHTO-93.....	101
Tabla 41: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$	101
Tabla 42: Análisis económico en la elaboración de las fibras de filamentos de cobre reciclado.....	102
Tabla 43: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280\text{ kg/cm}^2+ 6\text{ kg/m}^3$	102
Tabla 44: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280\text{ kg/cm}^2+ 8\text{ kg/m}^3$	103
Tabla 45: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280\text{ kg/cm}^2+ 10\text{ kg/m}^3$	104
Tabla 46: Cantidad de concreto según el espesor de losa requerido.	104
Tabla 47: Precio por metro lineal de los tipos de concreto estudiados.	105
Tabla 48: Comparación de costos por metro lineal de la vía estudiada.	105
Tabla 49: Análisis de los resultados del asentamiento utilizando SPSS	106
Tabla 50: Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión utilizando SPSS	107
Tabla 51: Análisis de los resultados de la resistencia a la flexión utilizando SPSS	107
Tabla 52: Elección de la prueba de hipótesis	109
Tabla 53: Resultados del asentamiento del concreto	109
Tabla 54: Suma de cuadrados totales	110
Tabla 55: Suma de cuadrados error	111
Tabla 56: Resultados de los diversos cuadrados	111
Tabla 57: Cálculo de la F crítica.....	112
Tabla 58: Cálculo de Fisher del asentamiento, usando IBM SPSS.....	113
Tabla 59: Resultados de la resistencia a la compresión	114
Tabla 60: Suma de cuadrados totales	115
Tabla 61. Suma de cuadrados totales	116
Tabla 62: Cálculo de los diferentes cuadrados.....	116
Tabla 63: Cálculo de Fisher de la resistencia a la compresión, usando IBM SPSS.....	118
Tabla 64: Resultados de resistencia a la flexión	119
Tabla 65: Suma de cuadrados totales	120
Tabla 66: Suma de cuadrados error	120
Tabla 67: Cálculo de los cuadrados diferentes	121
Tabla 68: Cálculo de Fisher para la resistencia a la flexión usando IBM SPSS	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Falla Tipo 1	30
Figura 2: Falla Tipo 2.....	30
Figura 3: Falla Tipo 3.....	31
Figura 4: Falla Tipo 4.....	31
Figura 5: Falla Tipo 5.....	31
Figura 6: Falla Tipo 6.....	32
Figura 7: Modelo de probeta de ensayo	33
Figura 8: Carga en los puntos tercios	34
Figura 9: Carga en el punto medio.....	35
Figura 10: Espécimen de ensayo, según la norma ASTM C78	36
Figura 11: Concreto proyectado	38
Figura 12: Pisos y pavimentos	39
Figura 13: Elementos Prefabricados	39
Figura 14: Elementos de una fibra	39
Figura 15: Procedimiento experimental del proyecto	49
Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino	68
Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino y sus husos	69
Figura 18: Curva granulométrica de agregado grueso y huso N°67	72
Figura 19: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto patrón	97
Figura 20: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado a 6 kg/m ³	98
Figura 21: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado con 8 kg/m ³	99
Figura 22: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado con 10 kg/m ³	100
Figura 23: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 01	113
Figura 24: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 02	117
Figura 25: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 03	122
Figura 26: Asentamiento del concreto reforzado con fibras de filamentos de cobre.	124
Figura 27: Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de cobre.	125
Figura 28: Resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras de cobre.....	126
Figura 29: Extracción de los agregados de la cantera.	144
Figura 30: Fibras de filamentos de cobre reciclado.....	144
Figura 31: Agitado de la muestra, para el análisis granulométrico de los agregados.	145
Figura 32: Peso de la muestra retenida por la malla N° 50.	145
Figura 33: Peso unitario del agregado grueso.....	146
Figura 34: Enrasado de la muestra para el peso unitario del agregado grueso	146
Figura 35: Muestra de agregado grueso para el contenido de humedad.	147
Figura 36: Muestra de agregado fino para el contenido de humedad.	147
Figura 37: Prueba del peso específico y absorción del agregado fino	148
Figura 38: Prueba de peso específico y absorción del agregado grueso	148
Figura 39: Mezclado de concreto.....	149
Figura 40: Proceso de mezcla de concreto	149
Figura 41: Medida de asentamiento del concreto.....	150
Figura 42: Medida del asentamiento del concreto patrón.	150

Figura 43: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 6 kg/m ³	151
Figura 44: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 8 kg/m ³	151
Figura 45: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 10 kg/m ³	152
Figura 46: Curado de probetas de concreto	152
Figura 47: Medición del diámetro promedio de los especímenes cilíndricos.....	153
Figura 48: Medición de las secciones de los especímenes tipo viga.	153
Figura 49: Rotura del espécimen cilíndrico mediante el ensayo de resistencia a la compresión	154
Figura 50: Ensayo de resistencia a la flexión en espécimen tipo viga.	154
Figura 51: Rotura de la primera tanda de especímenes	155
Figura 52: Rotura de especímenes por parte de la autora de la tesis.	155
Figura 53: Rotura de espécimen sin fibras	156
Figura 54: Rotura de espécimen con fibras	156
Figura 55: Autora de la tesis junto a su asesor.....	157

RESUMEN

La industria de la construcción vial es un rubro que se caracteriza por utilizar grandes cantidades de materiales como el concreto, debido a las extensiones de las vías del transporte; que demandan el uso de grandes volúmenes del concreto para la construcción de pavimentos rígidos; generando así grandes impactos a la naturaleza por el uso de los recursos empleados, surgiendo así la necesidad de optimizar el concreto.

La presente investigación tuvo por objetivo de determinar la influencia de las fibras de filamentos de cobre reciclado sobre las propiedades físico – mecánicas (la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y asentamiento) en un concreto de (pavimento rígido, utilizando para ello, un diseño de mezcla de 280 kg/cm^2 , realizado por el método ACI 211.

Los filamentos de cobre reciclado utilizados en la investigación fueron comprados a los recicladores de chatarra de la ciudad. El material recolectado fue separado en filamentos del mismo diámetro (menores a 1 mm), para después cortarlo manualmente en trozos de una misma longitud (50 mm), para así cumplir la relación longitud-diámetro de una macrofibra (25-100).

Una vez elaboradas las macrofibras de cobre, fueron usadas como refuerzo en el concreto en las proporciones de 6 kg/m^3 , 8 kg/m^3 y 10 kg/m^3 , teniendo como planteamiento que al incorporar las fibras de filamentos mejorará ligeramente la resistencia a la compresión (NTP 339.034), incrementará la resistencia a la flexión (NTP 339.078) y producirá una pérdida de asentamiento (NTP 339.035) en un concreto de resistencia de 280 kg/cm^2 de pavimento rígido.

Al realizar el análisis de los resultados, específicamente en la prueba física del asentamiento, se apreció, que se produjo una pérdida del grado de trabajabilidad de la mezcla. Esto surgió debido a la incorporación de las fibras, produciendo mayor pérdida, cuando se trabajó con fibras a razón de 10 kg/m^3 . Respecto a los ensayos mecánicas; la resistencia a la compresión presentó un ligero incremento del 11% respecto al concreto patrón; y la resistencia a la flexión presentó un incremento del 26 % respecto al concreto base.

ABSTRACT

The road construction industry is a sector that is characterized by using large amounts of materials such as concrete, due to the extensions of transport roads; that demand the use of large volumes of concrete for the construction of rigid pavements; thus generating great impacts to nature by the use of the resources used, thus emerging the need to optimize the use of concrete.

The objective of this research is to determine the influence of recycled copper filament fibers on the physical - mechanical properties (compression resistance, flexural strength and settlement) of a rigid pavement concrete, using a mix design of 280 kg/cm^2 , made by the ACI 211 method.

The recycled copper filaments that will be used in the research will be purchased from scrap metal recyclers in the city. The material collected will be separated into filaments of the same diameter (less than 1 mm), and then cut manually into pieces of the same length (50 mm), in order to meet the length-diameter ratio of a macro fiber (25-100).

Once the copper macrofibers are made, they will be used as reinforcement in the concrete in the proportions of 6 kg/m^3 , 8 kg/m^3 y 10 kg/m^3 , taking as an approach that incorporating the filament fibers will slightly improve the compressive strength (NTP 339.034), will increase the resistance to bending (NTP 339.078) and will produce a settlement loss (NTP 339.035) in a concrete of resistance of 280 kg/cm^2 of rigid pavement.

When performing the analysis of the results, specifically in the physical test of the settlement, it was appreciated, that there was a loss of the degree of workability of the mixture. This arose due to the incorporation of fibers, producing greater loss, when working with fibers at a rate of 10 kg/m^3 . Regarding the mechanical tests; the resistance to compression presented a slight increase of 11 % with respect to the concrete pattern; and the resistance to flexion showed an increase of 26 % with respect to the concrete base.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial, se sabe que, en muchas ciudades pertenecientes a países en vía de desarrollo, los problemas en el transporte van en aumento, debido al limitado mantenimiento de vías, que, sumado a los daños ocasionados por la época de lluvias, generan problemas permanentes en la mayoría de vías de transporte del mundo.

Ante ello, el Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DNP, 2017) propone que, ante la alta congestión vial, los daños frecuentes de los vehículos y el deterioro del paisaje del sector urbano; es necesaria la construcción de pavimentos rígidos, para así disminuir los tiempos de viaje, evitar altos costos de mantenimiento, y disminuir la mala imagen de las ciudades generadas por vías en mal estado.

España, se realizó un estudio, donde se hizo uso de concreto de pavimento rígido con fibras de acero en proporciones de refuerzo adecuadas, realizando una evaluación bajo las normas UNE en sus propiedades físicas (asentamiento y mecánicas como la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión). (Mármol, 2010).

En la capital de Colombia (Bogotá), se realizó un estudio en donde se modificó un concreto hidráulico de pavimento rígido, teniendo como principal objetivo analizar su comportamiento sometido ante cargas externas, evaluando propiedades mecánicas como, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. También se evaluaron propiedades físicas como el asentamiento (Cruz & Santa, 2017).

En Ecuador, se realizó un estudio donde se evaluó un concreto reforzado; cuyo objetivo fue determinar el comportamiento del concreto de pavimento rígido reforzado en sus propiedades físicas como el asentamiento, evidenciando los resultados de la trabajabilidad; y en las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión en bloques cilíndricos y la resistencia a la flexión en vigas. (Millan, 2013).

En el Perú, se realizó un estudio correspondiente a las pistas de concreto en la etapa de construcción; haciendo un análisis en sus propiedades físicas (asentamiento); y en sus propiedades mecánicas, principalmente (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión); usando en los estudios, materiales de las canteras cercanas a la capital del Perú (De la Cruz & Quispe, 2014).

Con respecto a la realidad local, en la ciudad de Trujillo, se realizó una investigación en la Universidad Privada del Norte, donde cuyo objetivo principal fue evaluar el comportamiento físico - mecánico (asentamiento, resistencia a la compresión y Resistencia a la Flexión) del concreto con fibras de Polipropileno, donde se trabajó tanto la propiedad física como las propiedades mecánicas con los materiales áridos de la zona, (Perez, 2016).

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, establece las condiciones y parámetros mínimos para la elaboración de especímenes, y equipos en ensayos físicos y mecánicos de concreto; estableciendo lineamientos, en donde la propiedad física (Asentamiento), es avalada por la norma (ASTM C143, 2015); mientras que, las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión se rige a la norma (ASTM C39, 2018) y en la resistencia a la flexión del concreto, que está establecida por la normativa (ASTM C78, 2018).

(De la Cruz & Quispe, 2014) encontraron que reforzando un concreto empleado para Pavimentos Rígido en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga - Ayacucho repercutió sobre la propiedad física del concreto en estado fresco, destacando la reducción de la trabajabilidad, el asentamiento de la mezcla disminuye de 3 1/4" a 3"; igual se encuentran dentro de las tolerancias que se muestra en la norma ASTM C143; asimismo con respecto a las propiedades mecánicas: como la resistencia a la compresión evidenció mejoras del 2% y respecto a la resistencia a la flexión incrementos del 21% respectivamente.

(Lao, 2007) encontró en su investigación para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Pucallpa, que con respecto a las propiedades físicas como el asentamiento en el concreto, donde evidenció una pérdida de esta propiedad de 4" a 3 1/2", y respecto a las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión del concreto, se apreció que los resultados obtenidos con fibra son superiores en un 17 %, y la resistencia a la flexión en 58% queriendo decir que las fibras aumentan su resistencia a la compresión con la cuantía estipulada.

(Sotil & Jorge, 2015) en su investigación concluyeron que la propiedad física de análisis (asentamiento), redujo su trabajabilidad en 1"; en relación a las propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión en el concreto por la norma ASTM C-78, que obtuvo resistencias de 42.6 kg/cm^2 y 46.7 kg/cm^2 , respecto a los 36.5 kg/cm^2 del concreto patrón; produciéndose un incremento del 17% y 28% ; y respecto a la resistencia a la compresión, con una proporción de refuerzo de 20 kg/m^3 , se produjo un incremento del 4% en relación al concreto patrón.

Se pone en evidencia, según el contenido presentado, producto de las investigaciones mostradas de diversos autores, que la incorporación de refuerzo en proporciones adecuadas en un concreto con fines de pavimento rígido repercutirá en sus propiedades. En lo que respecta a las propiedades físicas del concreto, es decir el asentamiento, se verá afectado con cierta pérdida en el grado de manejabilidad. Respecto a sus propiedades mecánicas, éstas mejorarán, es decir, las fibras generarán una ligera mejora en esta propiedad. Asimismo, en la resistencia a la flexión mejorará a su resistencia, que es representada por el módulo de ruptura. Siendo la incorporación de fibras en proporciones adecuadas de gran utilidad en las resistencias mecánicas del concreto, y en el diseño de pavimentos rígidos por la metodología de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO, 1993).

En el Perú, la empresa (Acocret, 2018), empresa dedicada a la producción de concretos y prefabricados, ha realizado estudios sobre la influencia de las adiciones de materiales como refuerzo, sobre las propiedades mecánicas y físicas del concreto. Encontrando así, las proporciones óptimas de fibra metálica en el concreto, controlando su influencia en las propiedades físicas y mejorando las propiedades mecánicas, a fin de vender concreto premezclado con fibras para la construcción de pavimentos rígidos, losas de piso, losas industriales, techos de azotea y canales.

En Lima, como la mayor parte de la costa peruana, la empresa (UNICON, 2017) la cual se destaca por la fabricación y venta de concreto premezclado, cuenta con el producto "concreto reforzado", con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas, resistencia a la flexión y en menor medida la resistencia a la compresión, y a su vez controlando las propiedades físicas como la pérdida de trabajabilidad del

concreto con fibras metálicas. Siendo el uso principal recomendado por la marca: la construcción de pavimentos rígidos y andenes.

En la actualidad, con el aumento del tránsito, surge la necesidad de la construcción de vías tanto principales como secundarias, que soporten grandes cargas con un prolongado tiempo y a su vez muestren mayor durabilidad. Por ello, la construcción de pavimento rígidos va en aumento, siendo un componente fundamental, la mejora de sus propiedades mecánicas influyentes en el diseño (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión); y también lo que concierne a sus propiedades físicas (asentamiento), ya que trabajabilidad es un punto clave para el encajado perfecto u la forma que se le pretenda dar al concreto (Oliveira, 2018).

En relación con nuestra realidad, en la Ciudad de Trujillo, se evidencia a diario grandes problemas por el estado de las vías urbanas, que en su mayoría son pavimentos flexibles y menor medida pavimentos rígidos, encontrando en los primeros, huecos, baches, fisuras y grietas que dificultan el tránsito y dañan los amortiguadores de los vehículos (RPP, 2017).

Entre las principales causas en nuestra realidad, la cultura de mantenimiento de infraestructura vial es casi nula o pasa siempre a segundo plano, por ello es importante encontrar un concreto con resistencias óptimas para el diseño de pavimentos rígidos, en consideración de la durabilidad que se requiere en los mismos, siendo uno de los parámetros de diseño requerido en la metodología (AASHTO, 1993).

En el mismo contexto del diseño de pavimentos rígidos, surge la necesidad fundamental de mejorar una propiedad mecánica, que es de suma importancia en el diseño de este tipo de pavimentos, siendo ésta, la resistencia a la flexión, que, al mejorar esta propiedad, se produce una reducción de los espesores de losa por el método (AASHTO, 1993).

Por ello, se evidencia en la metodología de diseño antes mencionada, que esta propiedad es fundamental para este tipo de pavimentos, debido a las grandes fallas por momento que conlleva un concreto con una inadecuada resistencia de este tipo, producto de la mala elaboración de la mezcla de concreto, que es consecuencia de las inadecuadas proporciones de los materiales al momento de la elaboración del concreto in situ, la mano de obra calificada, las condiciones climatológicas, etc.

También surgen problemas por la inadecuada trabajabilidad del concreto; dicha problemática se presenta por el asentamiento del mismo, considerando que es preciso contar con mezclas secas, para que éste se amolde en una superficie con fines de pavimentación; en consideración con las condiciones óptimas, que se requieren en un concreto de esa naturaleza para su correcta funcionalidad.

Por otro lado, surgen problemas con la trabajabilidad del concreto al momento de incorporar algún aditivo o fibra al concreto. Teniendo en cuenta, que las fibras absorben agua de la mezcla, lo que ocasiona pérdida del grado de trabajabilidad, generando inconvenientes al momento de maniobrar el material en estado fresco. Por ello, cuando se trabaja con fibras, ya sean metálicas, sintéticas o naturales, es necesario someterlas a una evaluación previa, determinando su influencia en un determinado tipo de concreto; para que éste sea trabajable bajo la incorporación de fibras de las características, que se crean convenientes, según las especificaciones del proyecto que se pretende realizar.

Ante las evidencias mencionadas en la mayor parte de la presente redacción, se pretende investigar las proporciones de fibra a base de filamento de cobre reciclado en las propiedades físico-mecánicas, tales como la resistencia a la compresión, flexión y asentamiento

Siendo conveniente elaborar especímenes de concreto guiado por la norma (ASTM C39, 2018) y apreciar de qué manera repercute las fibras de cobre en la resistencia a la compresión, para ello se pretende reforzar los especímenes en proporciones adecuadas, acorde lo que ya se ha estudiado con anterioridad.

En el caso de la Resistencia a la Flexión, se elaborarán especímenes tipo viga (50cm x 15 cm), basados en la norma (ASTM C78, 2018), pretendiéndose medir y determinar el grado de variación de su resistencia mencionada por las fibras de filamentos de cobre reciclado, sabiendo que esta propiedad, es muy favorecida por la incorporación de fibras de refuerzo.

En cuanto al Asentamiento, se realizarán los ensayos con el concreto en estado fresco, basados en la norma (ASTM C143, 2015), donde se medirá el grado de trabajabilidad del concreto en estado fresco, al ser afectado por las fibras de refuerzo; ya conociéndose que este pierde la trabajabilidad, debido a la incorporación de cualquier tipo de fibras.

La evaluación del concreto en las propiedades mecánicas antes mencionadas es de suma importancia, si el objetivo principal de la investigación es obtener un concreto con final de uso de Pavimento Rígido. Ya que unos de los principales parámetros de diseño es la Resistencia a la Flexión, así como en menor medida la Resistencia a la Compresión; considera que, a mayor resistencia a la flexión del concreto, tiende a disminuir el espesor de carpeta de rodadura de un pavimento rígido al ser diseñado por el método (AASHTO, 1993).

Es trascendental, investigar la repercusión de las fibras de cobre reciclado, ya que es un material muy abundante y accesible, pudiéndose encontrar en cualquier negocio de compra y venta de materiales reciclado, por ello se considera de suma importancia investigarlo y darle un mejor uso, ya que, en su mayoría, los fines de este material es materia de reciclaje.

Se considera también, que, al no darle un uso productivo a este material, en muchas ocasiones, éste es incinerado para así despendar su capa plástica, producto de ello pierde propiedades por las levadas temperaturas a la que es expuesto; ya que la capa mencionada, al ser separada de los cables reciclados, producto de la incineración, tiende a expulsar humo sumamente toxico, generando así gran contaminación en el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influyen las fibras de filamentos de cobre reciclado sobre las propiedades físico – mecánicas de un concreto de pavimento rígido, Trujillo 2018?

1.3. Justificación

Ya que surge la necesidad de mejorar y optimizar el uso del concreto, en la presente investigación se tiene como particularidad la mejora del rendimiento de un concreto para pavimento rígido mediante la incorporación de fibra de filamentos de cobre reciclado, generando así un concreto de mejores características, que permitirá el diseño de pavimentos rígidos con menores espesores de carpeta de rodadura, ocasionando un ahorro en determinadas cantidades de concreto en la construcción de pavimentos, beneficiando así a la población de Trujillo, ya que los habitantes de la ciudad, tendrán obras de mejor calidad y menor costo.

Desde este punto de vista, la investigación desarrollada, plantea realizar una ficha técnica de fibras a base de filamentos de cobre reciclado, que serán obtenidos a partir de desperdicios de cables eléctricos. Por ello es importante demostrar la eficiencia de este material como refuerzo en el concreto; ante ello, sería fundamental que, en la información técnica, se especifiquen las características físicas y mecánicas de los residuos empleados en la investigación, pudiéndose desarrollar entre los datos más relevantes: peso específico, cuantía, dimensiones del producto, usos, entre otras. Por otro lado, se considera primordial fomentar el surgimiento de plantas productoras dedicadas a la elaboración de fibras a base de este tipo de material reciclado, siendo labor fundamental de estas, recolectar y clasificar el material, llevando la materia reciclada a la forma y tamaño correspondiente a una macro fibra.

En lo correspondiente a este aspecto, se desarrolla la investigación con el fin de determinar la cantidad óptima, y a su vez el tamaño adecuado a los que pueden ser llevados los filamentos de cobre reciclado. Estos residuos metálicos son acopiados en negocios dedicados a la compra y venta de materiales reciclados.

Ya teniendo el material recolectado y clasificado, puede ser utilizado como un subproducto en la elaboración de concreto reforzado con fibras metálicas, mejorando posiblemente sus propiedades mecánicas.

La particularidad de este material es que, al estar encapsulado en el concreto, mantiene su durabilidad y no se evidencia un declive de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas al no estar expuesto a agentes externos como humedad, lluvias y rayos del sol. El dimensionamiento del proyecto corresponde a la inmediata necesidad de hacer uso racional de los residuos sólidos de las grandes industrias y pequeñas empresas, cuyos desechos, rara vez son materia de reciclaje, yendo a parar directamente a los botaderos situados en las periferias de cada ciudad, sin ningún tipo de control o clasificación. Ante esta problemática del día a día, se planea darle uso a estas materias, para que así tengan un aprovechamiento como parte del concreto hidráulico reforzado en la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos; y su vez fomentar y contribuir el reciclaje de estos materiales en la ciudad de Trujillo; creando así un medio sostenible. Otro propósito justificable de la investigación es demostrar que al aplicar ciertos materiales metálicos como: cables viejos; en un concreto estructural para poder mejorar ciertas propiedades físicas y mecánicas, como en este caso específico su resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y asentamiento.

En lo que corresponde al aspecto valorativo, la optimización de recursos es fundamental en el campo de la ingeniería y la construcción. Por ello, se podría utilizar los residuos de cables de cobre como fibras en el concreto hidráulico. Pudiendo ser aplicado el concreto reforzado en la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos, ya que se conoce que el espesor de capa de estos pavimentos depende del módulo de rotura del concreto (resistencia a la flexión) y en menor medida de su resistencia a la compresión. Considerando el uso de grandes volúmenes de concreto en este tipo de obras viales; al mejorar las propiedades

mecánicas del concreto con fibras de cobre, se podrá optimizar en cierta medida los costos, al emplear menos concreto hidráulico.

Correspondiente a la justificación académica, la investigación será realizada con el objetivo de ser usada como material bibliográfico, sirviendo de guía en las investigaciones de futuros tesis. Asimismo, el tema en desarrollo se pondrá a disposición de los estudiantes con el fin de ser ampliado con sus posteriores investigaciones, siendo sustento científico en el rubro de los pavimentos de concreto hidráulico. Por otro lado, en esta investigación se llenará un vacío académico, tomando en cuenta que se estudiará el cobre reciclado como fibra en el concreto, cuyo material no ha sido producto de investigación en la ciudad de Trujillo.

1.4. Limitaciones

- Se han realizado muy pocas investigaciones en el Perú usando cobre reciclado como fibra de refuerzo en el concreto y sus propiedades físico-mecánicas, tampoco se han empleado estas fibras como refuerzo en la capa de rodadura de pavimentos rígidos.
- En la ciudad de Trujillo existe limitada información relacionada con el estudio de las canteras de la ciudad, y sus propiedades físicas y mecánicas correspondiente a los agregados finos y gruesos
- La recolección de cables de cobre de un mismo diámetro, ya que, al ser un material reciclado, no cuenta con una clasificación adecuada.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la influencia de las fibras de filamentos de cobre reciclado sobre las propiedades físico -mecánicas (asentamiento - resistencia a la flexión y compresión) de un concreto de Pavimento Rígido, Trujillo 2018.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características del agregado fino (arena) y del agregado grueso (piedra) bajo las normativas ASTM y NTP vigentes; siendo preciso que los agregados empleados en el concreto cumplan con los requisitos de la norma ASTM C-33 o NTP 400.037.
- Realizar el diseño de mezcla por el método ACI 211 de un concreto de Resistencia a la Compresión de 280 kg/cm².
- Elaborar especímenes cilíndricos y prismáticos (viga) bajo las normas NTP 339.034 y 339.078 respectivamente.
- Determinar el asentamiento de cada tipo de concreto usando el Cono de Abrams bajo la norma NTP 339.035.
- Evaluar la variación de la resistencia a la compresión entre los especímenes cilíndricos de concreto patrón y los especímenes adicionados a partir de las fibras a base de filamentos de cobre, bajo la norma ASTM C-39.
- Determinar la diferencia entre la resistencia a la flexión de los especímenes tipo viga; los reforzados con filamentos de cobre y los de concreto patrón, bajo la norma bajo la norma ASTM C-78.
- Calcular y comparar el espesor de una carpeta de rodadura por el método AAHSTO-93 de un Pavimento Rígido a partir de los resultados de la resistencia a la compresión y flexión (módulo de rotura) de la proporción de óptima resistencia.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Título: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA -AYACUCHO"

(De la Cruz & Quispe, 2014). Siendo el objetivo principal determinar la influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para Pavimentos Rígidos, se ejecutó las dosificaciones para un concreto de resistencia de 210 kg/cm^2 , con un asentamiento de diseño de $3 \frac{1}{4}$ ", utilizando una resistencia de concreto específica con tamaño máximo nominal de agregado de $1"$ y un tipo de fibra (Wirand FF1) en probetas cilíndricas y prismáticas (tipo viga) al realizar los ensayos. A la edad de 28 días, se realizaron los ensayos de Resistencia a la Compresión y Resistencia a la Flexión para determinar las gráficas de Proporción vs Resistencia a Compresión, y Proporción vs Resistencia a la Flexión, además que con una cuantía de refuerzo de 20 kg/m^3 del asentamiento disminuye de $3 \frac{1}{4}"$ a $3"$. Concluyeron que la incorporación de fibras a razón de 20 kg/m^3 de acero repercute sobre la propiedad del concreto en estado fresco, destacando la reducción de la trabajabilidad, el asentamiento de la mezcla disminuye, encontrándose dentro de las tolerancias que se muestra en la norma ASTM.

Este estudio aportará un análisis adicional, ya que se especificó una relación entre asentamiento aceptable y resistencias mecánicas mejoradas con una cuantía de refuerzo óptima de fibras, que servirá como base para el diseño de una obra que demande dichas propiedades.

Título: "UTILIZACIÓN DE FIBRAS METÁLICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CONCRETO REFORZADO EN LA CIUDAD DE PUCALLPA"

(Lao, 2007). Teniendo como objetivos específicos de investigación determinar la influencia de las fibras metálicas en la Resistencia a la Compresión de concreto para la construcción de Pavimento Rígido, se ejecutó las dosificaciones para un concreto de resistencia de 210 kg/cm^2 , con un asentamiento de diseño de $3"- 4"$, una dosificación de fibras de 20 kg/m^3 de fibra (Wirand FF1) en probetas cilíndricas y prismáticas (tipo viga) al realizar los ensayos. A los 28 días de curado, se realizaron

los ensayos de resistencia a la compresión para determinar las gráficas de *Proporción vs Resistencia a Compresión*, donde se evidenció una mejora del 20% respecto al concreto patrón, producto de la incorporación de fibras. Concluyeron que la incorporación de fibras a razón de 20 kg/m^3 de acero repercute sobre la propiedad del concreto en estado fresco, destacando la reducción de la trabajabilidad, el asentamiento de la mezcla disminuye de $3 \frac{1}{4}''$ a $3''$; igual se encuentran dentro de las tolerancias que se muestra en la norma ASTM.

Este estudio ayudará a entender el comportamiento del concreto en la propiedad mecánica de resistencia a la compresión. Cuya característica mecánica será estudiada, ya que en ésta se especificó las condiciones óptimas de trabajo, que relacionan a las propiedades físicas y mecánicas.

Título: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO SIN REFUERZO, CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO WIRAND® FF3 Y CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO WIRAND® FF4 APLICADO A LOSAS INDUSTRIALES DE PAVIMENTO RÍGIDO”, (Sotil & Jorge, 2015). Donde uno de los objetivos fue comparar la Resistencia a la Flexión del concreto patrón con el reforzado con fibras metálicas de dos tipos distintos, se realizó en dosificaciones para un concreto de resistencia de 280 kg/cm^2 , con un asentamiento de diseño de $3'' - 4''$, una dosificación de fibras de 20 kg/m^3 y 25 kg/m^3 de fibra Wirand FF3 en probetas cilíndricas y prismáticas (tipo viga). Después de 28 días de curado, obtuvo un asentamiento con pérdida de $1''$ con la fibra de refuerzo a razón 20 kg/m^3 y 25 kg/m^3 ; en relación a las propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión en el concreto por la norma ASTM C-78, que con cuantías de refuerzo de 20 kg/m^3 y 25 kg/m^3 de fibra se obtuvieron resistencias de 42.6 kg/cm^2 y 46.7 kg/cm^2 , respecto a los 36.5 kg/cm^2 del concreto patrón; produciéndose un incremento del 17% y 28%; y respecto a la resistencia a la compresión, con una proporción de refuerzo de 20 kg/m^3 , se produjo un incremento del 4% en relación al concreto patrón. Concluyó que la incorporación de fibras metálicas genera una pérdida de la trabajabilidad (Asentamiento), pero también otorga un ligero incremento en la Resistencia a la Compresión y evidente mejora en la Resistencia a la Flexión.

Este estudio aportará un análisis adicional, ya que se realizó la evaluación y comparación de dos tipos de fibra, en dos proporciones distintas, que servirá como base para la elección del mejor rendimiento en cuanto a las características de cada fibra, rescatando sus mejores proporciones y rendimientos en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas en el concreto.

Título: “COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADO CON Y SIN FIBRAS”,

(Cadima, Rodroguiz, & Aguirre, 2005). Tuvieron como objetivo investigar las propiedades físico - mecánicas del concreto, reforzando a éste con fibras sintéticas (stealth y inforce), ambas de homopolímero virgen en multifilamentos gradados con longitudes de $\frac{1}{4}$ ” – $\frac{3}{4}$ ” en proporciones de cuantía a 0.60 kg/m^3 , 1.00 kg/m^3 y 1.80 kg/m^3 .

Para la ejecución se elaboraron probetas cilíndricas y vigas, las dosificaciones para un concreto de resistencia de 280 kg/cm^2 . Se realizaron ensayos donde el asentamiento del concreto patrón se calculó 8 cm , mientras que con la cuantía de 0.60 kg/m^3 se obtuvo 6 cm , en el caso de la cuantía de 1.00 kg/m^3 se obtuvo 4.5 cm y en la máxima de 1.80 kg/m^3 se obtuvo 3.5 cm ; por lo tanto se comprobó que al aumentar la cuantía de refuerzo en fibras se pierde asentamiento; en este caso se perdió con la cuantía máxima, con referencia al concreto patrón la cantidad de 4.5 cm . En lo referente a la resistencia a la compresión, los resultados que presentaron fueron los siguientes: se obtuvo una variación de -0.37% entre el concreto patrón (487 kg/cm^2) y el reforzado (485.2 kg/cm^2) con cuantías de 0.60 kg/m^3 ; en el reforzado de 1.00 kg/m^3 que obtuvo una resistencia 500.2 kg/cm^2 se evidenció un aumento de 2.71% respecto al patrón; y finalmente en la cuantía de 1.80 kg/m^3 con resistencia de 487.4 kg/cm^2 fue casi nula la variación con un 0.08% con referencia al concreto convencional. En lo que concierne a la resistencia a la flexión, se presentaron los siguientes resultados: al reforzar el concreto con una cuantía de 0.60 kg/m^3 se obtuvo ganancias de 1.06% , al hacer lo propio con un 1.00 kg/m^3 se obtuvo un logro de 4.78% y reforzando con una cuantía 1.80 kg/m^3 se obtuvo un menor aumento respecto a la cuantía anterior, con tan sólo un 3.01% ; evidenciándose en los siguientes resultados que la mayor ganancia se obtiene con una cuantía de 1.00 kg/m^3 .

Concluyéndose que la incorporación de fibras a modo de refuerzo disminuye el asentamiento, mejora ligeramente la resistencia a la compresión y aumente en mayor magnitud la resistencia a la flexión.

La investigación a la que se hace referencia aporta datos del desempeño del concreto reforzado con fibras en sus propiedades físicas y mecánicas; también a la posterior evaluación del diseño de un pavimento rígido con los resultados obtenidos, considerando los volúmenes de concreto y la reducción de costos que conlleva la mejora de las propiedades mecánicas del concreto; siendo esto fundamental para entablar la investigación que se propone en esta tesis.

Título: “VALORACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD DE CONCRETO ADICIONADO CON RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO”,

(Torres, 2014). El propósito de este estudio fue diseñar, elaborar y someter a ensayos los especímenes elaborados con cuatro mezclas de concreto. Para los cuales se elaboró especímenes de concreto con resistencia 210 kg/cm^2 , que fueron modificadas con diferentes porcentajes de residuos de llantas, 10 %, 20% y 30 %, comparando sus resultados, también se utilizó una relación agua-cemento (A/C) de 0.60. Se obtuvo que la resistencia a la compresión del concreto patrón fue de 204 kg/cm^2 y con el 10 % y 20 % con adición de caucho presentaron resultados similares a largo plazo, con resultados de 154 kg/cm^2 y 165 kg/cm^2 . El módulo de elasticidad del concreto se ve levemente reducido por la incorporación de residuo de caucho con 10 % y 20 % con valores de 19200 kg/cm^2 y 21900 kg/cm^2 ; con un 30 % con 13300 kg/cm^2 permitiendo menores deformaciones; a nivel general el módulo de elasticidad se ve reducido con respecto a la muestra de 0 % (19500 kg/cm^2) de adición de caucho, debido a que los agregados provenientes del caucho tienen una rigidez claramente inferior.

Por consiguiente, se concluyó en general, que las propiedades mecánicas y de durabilidad se vieron afectadas por el uso de caucho como reemplazo parcial de arena, presentando un comportamiento generalizado de reducción de valores frente a los presentados por la muestra sin sustitución de caucho. Los concretos con mayores pérdidas en la resistencia a la compresión son los que contienen altos porcentajes de sustitución de caucho.

Se considera importante lo desarrollado para la investigación propuesta, ya que hace referencia a la influencia de un material reciclado con el caucho en la resistencia a la compresión del concreto; siendo este ensayo destructivo, próximo a realizarse y su vez se tomará aquél dato, para obtener el módulo de elasticidad de manera indirecta; considerando que en el antecedente se realizó de manera directa.

Título: “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA PARA CONCRETO RECICLADO USANDO NEUMÁTICOS TRITURADOS COMO REEMPLAZO DEL 10% Y 30% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO CON FINES DE USO ESTRUCTURAL”,

(Peñaloza, 2015). Siendo el objetivo principal de la investigación analizar el comportamiento del concreto al usar grano de caucho reciclado (GCR) como agregado fino dentro de una mezcla para concreto. Se elaboró especímenes de concreto con resistencia 210 kg/cm^2 , que serán modificadas con diferentes porcentajes de caucho reciclado en sustitución del 10% y el 30% del volumen de arena. Se obtuvo que la mezcla de concreto que busca la sustitución del 10% de agregado fino con GCR, logra alcanzar la resistencia de diseño a la edad de 28 días de 233.7 kg/cm^2 , mientras que la de concreto convencional obtuvo 236.3 kg/cm^2 ; de acuerdo con estos resultados encontrados, se pudo concluir que la resistencia a la compresión está por debajo del 3% para esa edad. Se llega a la conclusión que el residuo de neumático, al ser adicionada como sustituto en cierto porcentaje en la arena, en la proporción estudiada reduce la resistencia a la compresión de concreto a edad de 28 días.

En la investigación, además que establece una relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del concreto, muestra sus variaciones cuando se le adiciona caucho en un 10 %. Al considerar que aquellas variables se estudiarán en la investigación, serán parte del diseño de un pavimento rígido, siendo de suma utilidad los datos encontrados.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Propiedades Físicas

2.2.1.1 Asentamiento (ASTM C 143)

2.2.1.1.1. Concepto

El asentamiento es una propiedad física del concreto, siendo de vital importancia en lo que corresponde a la trabajabilidad, que tiene parámetros como la fluidez. La trabajabilidad es la capacidad de que el concreto sea mezclado, manipulado, transportado, colocado y consolidado con una pérdida mínima de su homogeneidad, y una pequeña porción de aire atrapado (López, 2015).

2.2.1.1.2 Tipos de Asentamiento

Se caracterizan según su consistencia, entre ellos tenemos:

- Seco
- Convencional
- Rango Medio
- Rango Alto

2.2.1.1.3 Importancia

El diseño, la buena práctica de encofrado y el control de calidad son influyentes en el comportamiento del concreto; siendo este último el conjunto de acciones y decisiones para cumplir con las especificaciones de diseño y comprobar los requisitos planteados. El ensayo del concreto en estado fresco debe ser más que preventivo, es decir correctivo; por ello resulta de suma importancia la realización de ensayos de asentamiento del concreto en estado fresco con los que se busca garantizar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido. (UNICON, 2016).

2.2.1.1.4 Usos

Usado en su mayoría para verificar en campo la calidad del concreto en estado fresco, siendo este un primer indicio de calidad del concreto. Ya que de no cumplir con los parámetros de diseño el concreto es rechazado satisfacer las expectativas que demanda una determinada construcción.

2.2.1.1.5 Indicadores de medición

Tabla 1: Consistencia del concreto, según medida

Consistencia	Asentamiento (mm)
Seca	0 a 25
Semiplástica	25 a 75
Plástica	75 a 125
Alta plástica	125 a 200
Fluida	200 a más

Fuente: ACI 211, 2015.

2.2.2. Propiedades Mecánicas

2.2.2.1. Resistencia a la compresión (ASTM C39)

2.2.2.1.1. Concepto

Al referirse a la resistencia a la compresión, (Hernández, 2011) sostiene que:

La resistencia a la compresión del concreto es la propiedad mecánica fundamental, y es empleada en los cálculos para diseño estructuras fabricadas de este material. El concreto de uso general tiene una resistencia a la compresión entre 210 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 . El concreto de alta resistencia cuenta con un valor de compresión de por lo menos 420 kg/cm^2 . Resistencias de $1,400 \text{ kg/cm}^2$ se han llegado a utilizar en aplicaciones de construcciones especiales. (p.13).

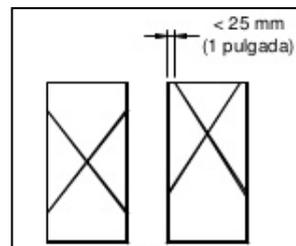
2.2.2.1.2 Tipos de Fallas

En lo referente a la resistencia a la compresión, (NTP 339.035, 2009) especifica 6 tipos de fallas:

Falla Tipo 1:

Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, con fisura a través de los cabezales de menos de 25 mm.

Figura 1: Falla Tipo 1

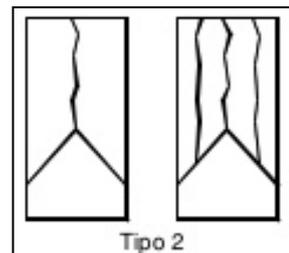


Fuente: NTP 339.034

Falla Tipo 2:

Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, como no bien definido en el otro extremo.

Figura 2: Falla Tipo 2

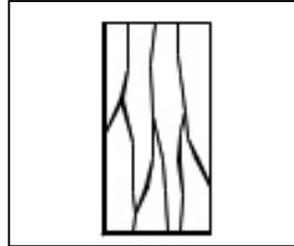


Fuente: NTP 339.034

Falla Tipo 3:

Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados.

Figura 3: Falla Tipo 3

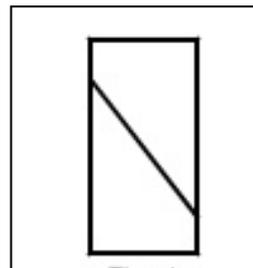


Fuente: NTP 339.034

Falla Tipo 4:

Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos:
golpeé suavemente con un martillo para distinguirla del
Tipo 1.

Figura 4: Falla Tipo 4

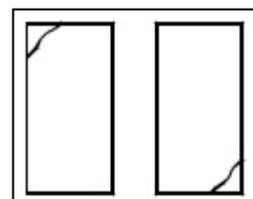


Fuente: NTP 339.034

Falla Tipo 5:

Fracturas en los lados en las partes superior o inferior
(ocurre) comúnmente con cabezales no adheridos.

Figura 5: Falla Tipo 5

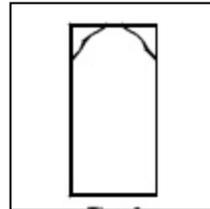


Fuente: NTP 339.034

Falla Tipo 6:

Similar a Tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo.

Figura 6: Falla Tipo 6



Fuente: NTP 339.034

2.2.2.1.3 Importancia

Resulta de suma importancia, ya que los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión son usados fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, f_c , del proyecto. (Instituto mexicano del cemento y el concreto [Imcyc], 2006).

2.2.2.1.4 Usos

Los resultados de la resistencia a la compresión son usados con fines de control de calidad. También para la aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras; en la programación de las operaciones correspondientes a la construcción, tales como la remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura en cuestión. (Imcyc, 2006).

2.2.2.1.5 Indicadores de medición

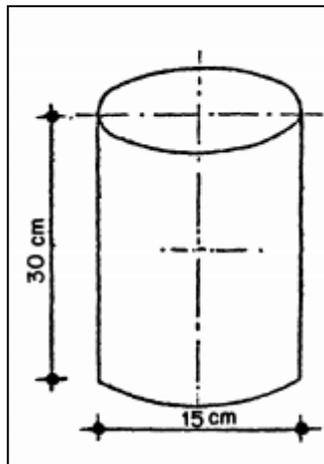
Tabla 2: Resistencia a la compresión por edades

Días de curado	Relación (a/c)	Porcentaje de Resistencia
3	0.8	39%
7	0.8	60%
14	0.8	81%
28	0.8	100%

Fuente: (Sanchez Muñoz & Tapia Medina, 2015),
Adaptado.

2.2.2.1.6 Modelos

Figura 7: Modelo de probeta de ensayo



Fuente: (Jorba, s.f.).

2.2.2.2. Resistencia a la Flexión (ASTM C78)

2.2.2.2.1. Concepto

Al referirse a la resistencia a la flexión, (Hernández, 2011) sostiene que:

La resistencia a la flexión del concreto generalmente es utilizada en el diseño de pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la

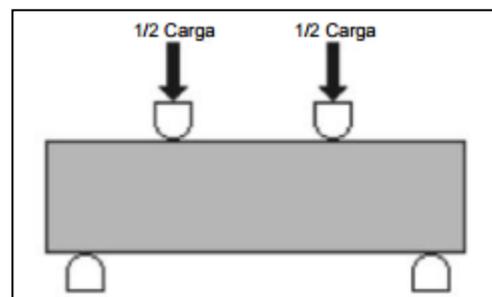
flexión, una vez que se halla establecido entre ellas la relación empírica correspondiente a los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se puede aproximar a 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. El valor de la resistencia a la tensión del concreto se estima en un rango de 8% a 12% de su resistencia a la compresión y a menudo entre 1.33 y 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

2.2.2.2.2 Tipo de ensayo de Rotura

Carga en los puntos tercios (ASTM C78)

El 50% de la carga es aplicada en cada tercio de luz libre, siendo el resultado de este ensayo más bajo que el del Punto Medio.

Figura 8: Carga en los puntos tercios

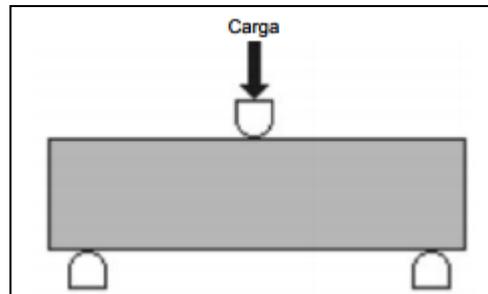


Fuente: (NRMCA, 2017)

Carga en el punto medio (ASTM C293)

El 100% de la carga es aplicada en el punto medio de la luz libre, siendo el resultado de este ensayo mayor que el de Puntos Tercios.

Figura 9: Carga en el punto medio



Fuente: (NRMCA, 2017)

2.2.2.2.3 Importancia

Es de suma importancia la resistencia a la flexión en el concreto, siendo un factor fundamental a considerar por los diseñadores de pavimentos rígidos, donde es requerido el diseño de mezcla en laboratorio, basándose en los ensayos de resistencia a la flexión. Fundamentándose en la experiencia para obtener el Módulo de Rotura de diseño, se utiliza este parámetro también para el control de campo y aceptación de pavimentos rígidos. (NRMCA, 2017).

2.2.2.2.4 Usos

Se usa para medir el parámetro de resistencia en vigas fabricadas a modo de probeta con medidas estandarizadas. Las agencias y empresas dedicadas al rubro no tienden a usar la resistencia a la flexión del concreto en control de campo, generalmente creen conveniente dar uso a la resistencia a la compresión para juzgar la calidad del concreto preparado. (NRMCA, 2017).

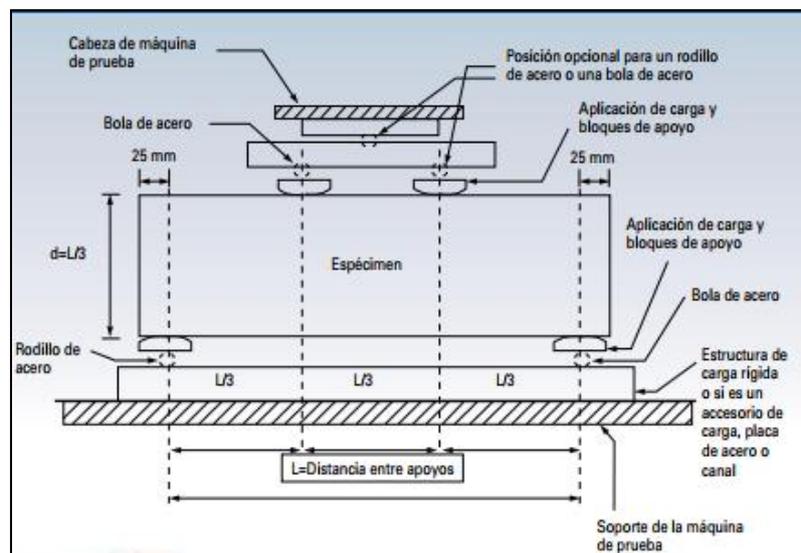
2.2.2.2.5 Indicadores de medición

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión del concreto, considerando que depende del tipo de concreto, la dimensiones y el

volumen del agregado grueso, ante ello se puede obtener una mejor correlación entre los materiales específicos mediante ensayos de laboratorio y el diseño de mezcla. (NRMCA, 2017).

2.2.2.2.6 Modelos

Figura 10: Espécimen de ensayo, según la norma ASTM C78



Fuente: Imcyc, 2008

2.2.3. Fibras de Filamentos de Cobre Reciclado

2.2.3.1. Concepto

Son aquellas cintas discontinuas que cumplen con la forma y tamaño de fibras de refuerzo para el concreto, obtenidas de cables de cobre reciclado. Donde es de vital importancia la precisión de sus medidas para su correcta funcionalidad.

2.2.3.2. Tipos de fibras

2.2.3.2.1 Microfibras

Son aquellas fibras destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Dosificándose en el concreto

para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Donde las fibras más frecuentes son las hechas de polipropileno, siendo la dosificación en peso de 0.3 a 1.2 kg/m^3 de concreto. Siendo estas dosificaciones muy bajas, pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, donde pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras, ya que constan de diámetros muy pequeños cuentan con un parámetro de clasificados denotado como Denier. Donde Denier es el peso en gramos de 9 000 metros de una sola fibra (Sika, 2014).

2.2.3.2.2 Macrofibras

Las macrofibras tiene como finalidad prevenir la fisuración del concreto en estado endurecido, reduciendo el ancho de la fisura si ésta se presenta, permitiendo el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100. (Sika, 2014).

2.2.3.3. Importancia

La importancia del uso de fibras en el concreto radica en que, al añadir las a la mezcla fresca, incrementa sustancialmente la resistencia mecánica de una losa bajo acciones de flexión, por lo cual es posible admitir mayores requerimientos en aplicación de cargas repetidas (fatiga en carreteras) y magnitudes de carga (altos volúmenes de carga portuaria). Debido a lo anterior es posible mejorar los espesores de losa sin afectar su desempeño. En cuestión, para que una fibra de refuerzo sea efectiva, es recomendable que su módulo de elasticidad sea por lo menos 3 veces superior al del concreto. En este sentido por lo general el módulo de elasticidad de las fibras de acero, 210.000 MPa, que es 7 veces mayor que el del concreto (30.000 MPa).

El concreto adquiere ductilidad (la propiedad opuesta a la fragilidad), que es conocido cuando un material no acepta ninguna deformación en estado plástico. Se produce un incremento de la tenacidad (energía necesaria para la ruptura completa del material) y las fibras de acero se comportan como puntos de “sutura” dentro del concreto impidiendo así la propagación de las fisuras hacia su interior y retardando el colapso. (Silva, 2017).

2.2.3.4. Usos

Al referirse al tema de los usos de las fibras en el concreto (MACCAFERRI, s.f.) sostiene que:

Basado en las publicaciones de ACI sobre el tema, que ya tenía una comisión de estudios organizada en 1966 (comité 544), un factor muy importante a ser aclarado es que las fibras agregadas al hormigón no tiene por finalidad sustituir la armadura convencional, sin embargo, eso es posible en las estructuras donde se puedan garantizar una significativa redistribución de esfuerzos, como por ejemplo pisos apoyados sobre suelo, túneles, dovelas, etc.(p. 23).

Siendo los principales usos:

Concreto Proyectado

Figura 11: Concreto proyectado



Fuente: MACCAFERRI

Pisos y Pavimentos

Figura 12: Pisos y pavimentos



Fuente: MACCAFERRI

Elementos Prefabricados

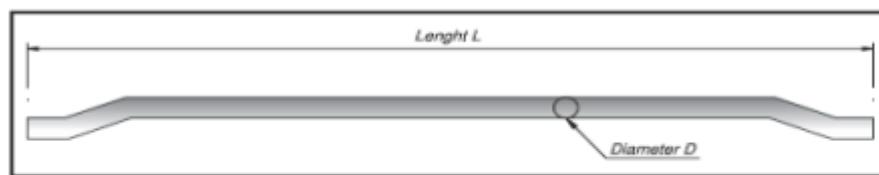
Figura 13: Elementos Prefabricados



Fuente: MACCAFERRI

2.2.3.5. Indicadores de medición

Figura 14: Elementos de una fibra



Fuente: MACCAFERRI

En una fibra de acero

- Longitud L: 50 mm
- Diámetro De: 0.75 mm
- Relación $l = L/De$: 67
- Resistencia a tracción: 1300 MPa
- Forma: amoldada
- Composición química: bajo contenido de carbono
- Fibras por Kg: 5710 unidades.

2.2.3.6. Fibras Industriales

Según (Sika, 2014) son secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general bajo contenido de carbón). (p.07).

Fibras sintéticas

Según (Sika, 2014) son secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Polietileno, Nylon, Poliéster etc. (p.07).

Según (Sika, 2014) son secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali. (p.07).

2.2.3.7. Fibras Naturales

Según (Sika, 2014) son secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%. (p.07).

2.2.3.7. Marcas fibras metálicas y sintéticas

En fibra metálica tenemos a las marcas:

- Sika: con Fiber CHO 65/35 NB, Fiber CHO 80/60 NB y Fiber LHO 45/35 NB
- Z Aditivos: con “fibra metálica Z”
- Maccaferri: con su fibra Wirand

En fibra sintética tenemos a las marcas:

- Sika: con SikaCem, Sikafiber y Fiber Force PP-48
- Z Aditivos: con “fibra Z Polipropileno”
- Maccaferri: con su fibra FibroMac
- Chema: con “Chema Fibra Ultrafina”.

2.2.4. Pavimento Rígido

2.2.4.1. Concepto

El concreto es un material producto de la mezcla de un aglomerante, conocido como cemento portland y materiales de relleno, que son conocidos como agregados, agua potable y en menores cantidades si se requiere aditivos; el concreto después de 28 días de curado adquiere el 99% de su resistencia, soportando grandes cargas, siendo la resistencia a la compresión la propiedad mecánica, que cuenta con mayor resistencia (Sánchez, 2001).

2.2.4.2. Concreto para pavimento rígido

Es el concreto hidráulico de uso convencional, teniendo como restricción, que solo se puede trabajar con mezclas secas, además su resistencia a la compresión mínima debe ser de 280 kg/cm^2 y su resistencia a la flexión debe ser como mínimo 40 kg/cm^2 , según lo expone el manual (MSGGP, 2013).

2.2.4.3. Importancia

Resulta sumamente importante el uso del concreto, debido a su manejabilidad, le permite adaptarse a cualquier molde utilizado en la construcción. Contando con resistencia al fuego y siendo muy económico, le permite ser el material de construcción más utilizado en el mundo. El concreto también se caracteriza por ser un material muy resistente a la congelación y el agua, lo que lo convierte un material ideal para obras como pavimentos, canales, presas, etc. La resistencia al desgaste del concreto, lo convierte en un material que no se ve perjudicado por altas temperaturas, intensas lluvias, frío o granizo. (Noticias 2D, 2017).

2.2.4.4. Usos

Se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas,

embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, casas e incluso barcos. En la albañilería el concreto es utilizado también en forma de ladrillos o bloques. (Rodríguez, s.f.)

2.2.4.5. Indicadores de medición

Para la caracterización del concreto en estado fresco es fundamental la medida de su grado de trabajabilidad, considerado según el ensayo de la norma ASTM C143 como asentamiento. Factor que mide la trabajabilidad mediante un ensayo donde es utilizado un instrumento denominado cono de Abrams, que mide el asentamiento del concreto en centímetros o pulgadas.

En el concreto en estado endurecido es importante la medición de la resistencia a la compresión, ya que esta dimensiona la capacidad de carga sobre un área específica, según el ensayo avalado por la norma ASTM C39 denominado resistencia a la compresión. Siendo éste, un factor medible una vez producida la ruptura del espécimen de ensayo en kg/cm^2 o psi .

Otro factor medible en el concreto en estado endurecido es la resistencia a la flexión, avalado por la norma ASTM C78, que consiste en medir la falla de ruptura de un espécimen tipo viga. La medida de la resistencia a la flexión se expresa en kg/cm^2 o psi .

2.2.4.6. Elaboración de concreto (método ACI 211)

- Elección del asentamiento (Especificado)
- Elección del TMN y TM del Agregado Grueso
- Cálculo del agua de mezcla y el contenido de aire
- Selección de la relación a/c
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajustes por humedad de los agregados
- Ajustes en las mezclas de prueba

2.3. Definición de términos básicos

Asentamiento

Es la propiedad física del concreto, que mide el grado de trabajabilidad del concreto recién mezclado, considerando la distancia vertical ente la posición inicial y la desplazada, medida desde el centro de la superficie superior del concreto (NTP 339.035, 2015) .

Concreto

Es un material de construcción constituido por agregados de tamaño máximo limitado, que cumplen con ciertas condiciones mecánicas, químicas y granulométricas que son unidas por una pasta aglomerante formada por cemento y agua (Fernández, 2011).

Macrofibras

Son aquellas fibras que cumplen consideraciones de tamaño y relación de diámetro longitud (L/D) de la macrofibras, comprendidas entre 20 a 100 (Sika, 2014).

Resistencia a la Compresión

Es la propiedad mecánica del concreto, que consiste en aplicar una carga axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla.; midiéndose así la carga aplicada sobre el área de la sección transversal de soporte (NTP 339.034, 2015).

Resistencia a la Flexión

Es la propiedad mecánica del concreto, donde se aplican cargas en los puntos centros de la longitud de una viga de ensayo; donde al usar una fórmula, en función al tipo de falla y los datos de las secciones del espécimen, se puede terminar la resistencia a la flexión (NTP 339. 078, 2012).

2.4. Hipótesis

La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido influye negativamente en sus propiedades físicas y positivamente en sus propiedades mecánicas, generando pérdida de asentamiento, mejorando levemente su resistencia a la compresión y aumentando su resistencia a la flexión. En relación con el diseño de mezcla ACI 211 propuesto para la elaboración de las probetas especímenes de concreto utilizando el Cemento Portland tipo I en el Laboratorio de Estructuras y Concreto de la Universidad Privada del Norte – sede San Isidro de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad.

Tabla 3: Matriz de hipótesis

HIPÓTESIS GENERAL	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	EI espacio	EI tiempo
La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido influye negativamente en sus propiedades físicas y positivamente en sus propiedades mecánicas, generando pérdida de asentamiento, mejorando levemente su resistencia a la compresión y aumentando su resistencia a la flexión.	Fibras de filamentos de cobre reciclado				
	Propiedades físicas	Probeta de concreto	Empeora	Ciudad de Trujillo	2018
	Propiedades Mecánicas		Mejora		

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

Variables dependientes:

- **Propiedades Físicas**

Asentamiento (ASTM C143)

- **Propiedades Mecánicas**

Resistencia a la compresión (ASTM C39)

Resistencia a la flexión (ASTM C78)

Variable Independiente:

- **Proporciones Fibras de Filamentos de Cobre Reciclado**

Proporciones de refuerzo (6 kg/m^3 , 8 kg/m^3 , 10 kg/m^3)

Tabla 4: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
1. Propiedades físicas	Son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia.	Se ejecutará en una mezcla representativa de concreto recién mezclado	Asentamiento	Diferencia entre la altura del molde y la altura sobre el centro original de la base superior del espécimen
2. Propiedades mecánicas	Son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza, que refiere a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas.	Se ejecutará en las 12 probetas cilíndricas de 15 cm x30 cm	Resistencia a la compresión	- Carga - Área
		Se ejecutará en las 12 probetas tipo viga de 15 cm x 50 cm.	Resistencia a la flexión	- Carga - Luz entre apoyos - Ancho de sección -Peralte de sección

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Diseño de investigación

Corresponde a una investigación del tipo Cuasiexperimental, ya que se manipulan deliberadamente la variable independiente con el propósito de ver sus efectos sobre las variables dependientes.

En este tipo de investigación se comparan dos grupos de observación: uno afectado por un estímulo y un grupo intacto.

Tabla 5: Diseño de investigación experimental

Grupo	Asignación	Pre Prueba	Tratamiento	Post prueba
GE:		O1	X	O2
GC:		O3	-	O4

Fuente: Curso de Proyecto Tesis (UPN-T)

Teniendo en cuenta, que:

- GE: Grupo de estudio
- GC: Grupo de control
- O1, O3: Pre test
- O2, O4: Post test

3.3. Unidad de estudio

En la presente investigación, la unidad de estudio son las probetas de cilíndricas (15 cm x 30 cm) y prismáticas tipo viga (15 cm x 15 cm x 50 cm).

3.4. Población

Todos los especímenes de concreto reforzado con fibras metálicas, de resistencia de 280 kg/cm².

3.5. Muestra (muestreo o selección)

Para el cálculo de la muestra, se hará uso de la fórmula correspondiente a variables cuantitativas, con una población infinita.

$$n_0 \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

- n_0 = Muestra.
- Z = Valor de distribución normal estandarizada (nivel de confianza)
- S = Desviación estándar de variable de estudio
- E = Error de estimación.

Siendo los valores:

- Z = Confianza al 95% = 1.96
- S = 8.84
- E = Error de estimación 5%.

$$n_0 \geq \frac{1.96^2 \times 8.84^2}{5^2} = 12$$

Por lo tanto, se realizarán 12 probetas para resistencia a la compresión, 12 probetas para resistencia a la flexión y 12 probetas para la prueba de asentamiento, teniendo un total de 36 probetas, para así obtener un grado de confianza del 95% en cada tipo de ensayo.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

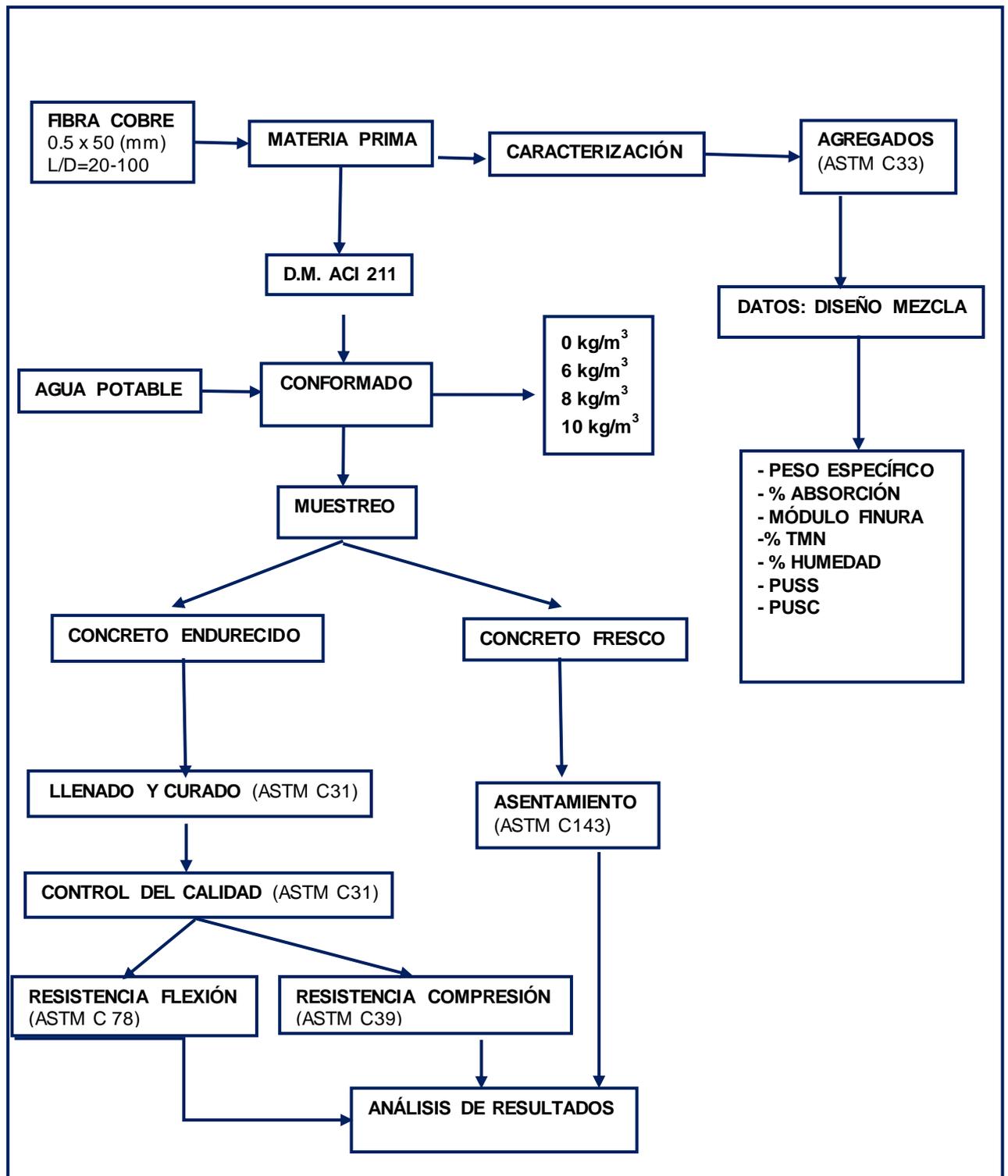
- Se aplicará la Observación directa, mediante una rigurosa selección del investigador. Esta técnica se aplicará en todos los ensayos realizados en la presente investigación, considerando que cumplan con las normativas ASTM y/o NTP seleccionadas.
- En lo correspondiente al análisis de datos, se sacará un promedio de los valores obtenidos de cada tres especímenes con las mismas características, para después tomar esos valores y realizar gráficas de los resultados en el programa Microsoft Excel.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimiento de análisis de datos

- Se aplicará el método de cuantitativo de inferencia estadística, porque la investigación tiene un diseño experimental, ya que permite inducir a partir de información empírica proporcionada de una muestra, siendo esta, el comportamiento de una determinada población con riesgo al error medible en términos de probabilidad.
- El instrumento será la ficha de recolección de resultados que se adjunta en el *anexo 09* y *anexos 10*.
- Respecto al procedimiento de análisis de datos, primero se realizará la prueba de normalidad mediante Shapiro Wilk, ya se tiene menos de 50 datos; para después realizar la prueba de hipótesis (Anova) mediante el software SPSS.

El procedimiento experimental de la presente tesis se verá representado por un diagrama, tal como se detalla en la *figura 15*:

Figura 15: Procedimiento experimental del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.1. Materia prima

Los agregados (piedra chancada y arena gruesa) fueron extraídos de la cantera H y S ubicada en el sector poblado El Milagro, siendo estos:

- El agregado grueso $\frac{3}{4}$ " (piedra chancada).
- El agregado fino (arena gruesa).

El cemento utilizado para la elaboración del concreto fue del Tipo 1, ya que es un cemento de uso general.

Para la elaboración del concreto, se utilizó agua potable, ya que por el hecho de ser apta para el consumo humano, es útil para la elaboración del concreto.

Las fibras utilizadas para reforzar el concreto, fueron elaboradas a partir de filamentos de cobre reciclado. Siendo éstas de tamaño de 0.5 mm x 50 mm; cumpliendo la relación de longitud/ diámetro (L/D) de 25 a 100.

3.7.1.2. Caracterización de los agregados

Se realizó la caracterización de cada agregado, bajo las normas vigentes, cerciorándose que cumplan con los requerimientos de la norma ASTM C33 y/o NTP 400.037.

3.7.1.2.1 Análisis Granulométrico de Agregados (ASTM C-136 / NTP 400.012)

El método consiste en separar previamente una cantidad de masa de agregado anteriormente pesado en estado seco; donde la masa es separada por una serie de tamices que van encajonados en diámetros de mayor a menor tamaño, para que después de realizarle el correspondiente agitado a la muestra, determinar la distribución del tamaño de las partículas del material (NTP 400.012, 2002).

3.7.1.2.2 Módulo de finura del agregado fino (MF)

Se calcula, sumando el porcentaje retenido acumulado del agregado fino de los siguientes tamices: N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y mayores incrementando la relación al doble (NTP 400.012, 2002).

En resumen, el módulo de finura se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acu. } (1 \frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100)}{100}$$

3.7.1.2.2.1 Tamaño Máximo (TM).

Corresponde al tamiz de menor abertura (*mm*) por donde pasa toda la muestra de material ensayado.

3.7.1.2.2.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN)

Corresponde al primer tamiz en retener muestra, al realizar el ensayo de análisis granulométrico.

3.7.1.2.3 Contenido de Humedad de los Agregados por Secado (ASTM C-566 / NPT 339.185)

Se describe los procedimientos para el cálculo del contenido de humedad total evaporable en muestras de agregados (finos y/o gruesos). La humedad total evaporable incluye a la superficial y la que se encuentra en los poros de una partícula (NTP 339.185, 2002).

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$p = 100(W - D) / D$$

Donde:

p = Contenido total de humedad evaporable (%)

W = Masa muestra húmeda (g)

D = Masa muestra seca (g)

3.7.1.2.4 **Peso Unitario y de Vacíos de los Agregados (ASTM C-29 / NTP 400.017)**

Se norman los procedimientos para el cálculo del peso unitario de los agregados (fino y/o grueso), siempre y cuando el tamaño máximo nominal (TMN) de éstos, no sea mayor a 125 mm (NTP 400.017, 2011).

$$PU = \frac{Pt - Pr}{Vr}$$

PU = Peso Unitario

Pt = Peso recipiente + muestra

Pr = Peso recipiente

Vr = Volumen recipiente

3.7.1.2.5 **Gravedad Específica y Absorción del Agregados Finos (ASTM C-128 / NTP 400.022)**

Se estipula los procedimientos correspondientes al cálculo del peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso aparente y el porcentaje de absorción después de 24 horas, del agregado fino (NTP 400.021, 2002).

El cálculo del peso específico de masa (Pem), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Pem = \frac{W_0}{(V - V_a)}$$

Pem = Peso específico de masa

W_0 = Peso en el aire de la muestra seca al horno (g)

V = Volumen del frasco (cm^3)

V_a = Peso de agua añadida al frasco (g ó cm^3)

El cálculo del Peso específico de masa saturada superficialmente seca ($PeSSS$), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$PeSSS = \frac{500}{V - V_a}$$

El cálculo del Peso específico aparente (Pea), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Pea = \frac{(w_o)}{(V - V_a) - (500 - w_o)}$$

El cálculo de la Absorción (Abs), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Abs = \frac{500 - w_o}{w_o} \times 100$$

3.7.1.2.6 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (ASTM C-127 / NPT 400.021)

Se estipula los procedimientos correspondientes al cálculo del peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción después de 24 horas, del agregado grueso. Siendo el peso específico saturado superficialmente seco y el porcentaje de absorción son basados en agregados que superan las 24 horas de remojo (NTP 400.021, 2002).

El cálculo del peso específico de masa (Pem), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Pem = \frac{A}{(B - C)}$$

A = Peso de la muestra seca al aire (g)

B = Peso de la muestra superficialmente seca al aire (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

El cálculo del Peso específico de masa saturada superficialmente seca ($PeSSS$), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)}$$

El cálculo del Peso específico aparente (Pea), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Pea = \frac{A}{(A - C)}$$

El cálculo de la Absorción (Abs), se realizará por medio de la siguiente fórmula:

$$Abs(\%) = \frac{B - A}{(A)} \times 100$$

3.7.1.3. Diseño mezcla por la metodología ACI 211

Paso Nº 1: Selección de resistencia a la compresión ($f'c$)

En este primer paso, se eligió la resistencia a la compresión de diseño. La resistencia seleccionada, es elegida para cumplir las necesidades básicas del proyecto.

Resistencia de diseño ($f'c$) = ¿?

Paso Nº 2: Asentamiento de diseño

En el segundo paso, se elige un asentamiento de diseño que vaya acorde a los fines de uso. De acuerdo con las necesidades de manejabilidad del concreto en estado fresco.

Paso Nº 3: Tamaño máximo y tamaño máximo nominal (TMN)

En lo que concierne al Tamaño Máximo Nominal del agregado, teniendo como condición, que este debe ser menor o igual a 1/3 del espesor de la losa ($TMN \leq h/3$).

Tamaño Máximo Nominal (TMN) = ¿?

Paso Nº 4: Cantidad de Agua y Contenido de Aire

Para calcular, la cantidad de agua y el aire atrapado a utilizar por cada metro cúbico de concreto, se interceptará en la *Tabla 7*, los datos del asentamiento de diseño y el tamaño máximo nominal del agregado

Tabla 6: Agua de mezcla y contenido de aire

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados								
	3/8 pulg.	½ pulg.	¾ pulg.	1 pulg.	1 ½ pulg.	2 pulg.	3 pulg.	6 pulg.	
Concreto sin aire incluido									
1" a 2" 25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113	
3" a 4" 75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124	
6" a 7" 150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-	
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incluido									
1" a 2" 25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107	
3" a 4" 75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119	
6" a 7" 150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-	
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje									
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	

Fuente: ACI 211.1

Paso Nº 5: Relación agua / cemento (a/c)

Se utilizará la siguiente tabla para calcular la Resistencia a la Compresión Media Requerida.

Tabla 7: Resistencia a la compresión requerida cuando no se dispone de data histórica

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Fuente: ACI 211.1

En la determinación de la relación agua – cemento (a/c), se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 8: Relación agua - cemento y resistencia a la compresión

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (Mpa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento sin aire incluido	Cemento con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (35)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

Fuente: ACI 211

Paso Nº 6: Cálculo de la cantidad requerida de cemento

Contando con los datos anteriores de la relación agua / cemento (a/c) y el agua utilizada en la mezcla; se utilizará la siguiente fórmula para calcular la cantidad de cemento por metro cúbico.

$$\text{Contenido de cemento (kg / m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (L / m}^3\text{)}}{\text{Relación a / c (f' cr)}}$$

Paso Nº 7: Cantidad de agregado fino y grueso

En el siguiente procedimiento se opta por calcular los volúmenes absolutos de los agregados, considerando los datos del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y Módulo de Finura del agregado fino.

Tabla 9: Relación entre TMN y Volumen de agregado grueso compacto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

- Interceptamos los valores que exige la siguiente tabla, interpolamos y calculamos el valor correspondiente al factor AG.
- Calculamos el Peso Seco del Agregado Grueso por medio de:

$$\text{Peso seco AG} = \text{PUSC AG} \times \text{Factor AG}$$
- Para calcular el volumen absoluto se aplicará la siguiente fórmula:
 - $$\text{Vol. Abs. AG} = \text{P seco AG} / \text{Pe AG}$$

Paso N° 8: Corrección por humedad y absorción de agregados

Una vez teniendo los pesos y volúmenes de los agregados, correspondientes a un metro cúbico de concreto; se opta por realizar las correcciones por humedad y absorción, aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Corrección } \textit{Peso AG Húmedo} = \textit{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\% \textit{Hum}}{100} \right)$$

$$\text{Corrección } \textit{Peso AF Húmedo} = \textit{Peso AF seco} \times \left(1 + \frac{\% \textit{Hum}}{100} \right)$$

$$\text{Aporte de Agua } AG = \text{Peso } AG_{\text{seco}} \times \left(\frac{\% \text{Hum} - \% \text{abs}}{100} \right)$$

$$\text{Aporte de Agua } AF = \text{Peso } AF_{\text{seco}} \times \left(\frac{\% \text{Hum} - \% \text{abs}}{100} \right)$$

3.7.1.4. Conformación de materiales

En esta parte se mezclará los materiales que previamente fueron caracterizados (agregado fino y grueso), el cemento tipo1 de uso general, el agua potable y según el tipo de concreto, las fibras de filamentos de cobre reciclado en las proporciones de diseño de $6 \text{ kg}/\text{m}^3$, $8 \text{ kg}/\text{m}^3$, $10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

3.7.1.5. Toma de muestras de concreto fresco (ASTM C172 / NTP 339.036)

Se incluyen los procedimientos correspondientes netamente a la toma de muestras en mezcladoras estacionarias, mezclas de pavimentación y en camiones mezcladores o mixeres y en equipos agitadores y no agitadores usados para transportar concreto mezclado de una planta de producción (NTP 339.036, 2017).

Respecto a la muestra, el tiempo transcurrido entre la primera muestra individual y la última no deberá exceder los 15 minutos. (NTP 339.036, 2017).

Para el asentamiento del concreto se debe iniciar el ensayo dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención final de la muestra compuesta o la terminación de muestras individuales (NTP 339.036, 2017)

En lo correspondiente a la elaboración de especímenes de ensayos de resistencia se debe iniciar dentro de los 15 minutos siguientes a la terminación de la muestra compuesta, teniendo en cuenta que el tiempo transcurrido entre obtención y utilización de la muestra compuesta será lo más corto posible, y esta debe estar protegida elementos contaminantes, el sol y el viento (NTP 339.036, 2017).

3.7.1.6. Concreto fresco

Se realizará el ensayo de asentamiento con el concreto en estado fresco, una prueba con el concreto patrón y otras tres con el concreto reforzado a las cantidades de fibra antes descritas.

3.7.1.6.1 Asentamiento del concreto (NTP 339.035 / ASTM C143)

Una determinada cantidad de concreto recién mezclada, se coloca en el instrumento de laboratorio denominado cono de Abrams, compactándose en tres capas de igual volumen, compactando con una varilla por cada capa. Después se retira el cono verticalmente, dejando que el concreto se asiente. Por último, se mide la distancia entre la posición inicial y la desplazada del concreto, desde el centro de la superficie superior del concreto (NTP 339.035, 2009).

Instrumentos, según norma:

- Cono de Abrams
 - Con un espesor de metal de 1.5 *mm*.
 - Con diámetro de base interior de 200 *mm*.
 - Con un diámetro de base exterior de 100 *mm*.
 - Con una altura de cono de 300 *mm*.
- Barra compactadora
 - Con un diámetro de 16 *mm*.
 - Con una longitud de 600 *mm*.
 - Con extremos redondeados a una semiesfera de diámetro de 16 *mm*.
- Cinta métrica
 - Con medición de incrementos de mínimo 5*mm*.
 - Con una longitud mínima de 300 *mm*.
- Cucharón
 - Con tamaño y forma adecuada para manipular una cantidad representativa de concreto.

Procedimiento, según norma:

- Se humedecen los instrumentos necesarios para realización del siguiente ensayo.
- Se sujeta el cono de Abrams con los pies, para después vaciar el concreto en el molde cónico.
- Se vacía un tercio de volumen al molde, donde inmediatamente se compacta con 25 golpes de manera uniforme con la varilla.
- Se vacía la segunda capa con concreto hasta llenar las 2/3 partes de la capacidad del molde, propiciando una serie de 25 golpes, compactadas con la varilla de manera uniforme.
- Se llena el recipiente hasta que rebose del concreto, repartiendo nuevamente 25 golpes uniformemente con la varilla, para después enrasar la superficie con la misma varilla.
- Por último, se retiró el molde cuidadosamente en sentido vertical.
- Inmediatamente después, se coloca el molde de manera invertida, al lado de la muestra, colocando la varilla perpendicularmente sobre el molde, midiendo el asentamiento producido.

3.7.1.7. Concreto en estado endurecido

La caracterización de agregados, tanto del fino como del grueso, para que cumplan con el objetivo de ser usados en el diseño de mezcla, deben de cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C33-07 o la NTP 400.037:2002

3.7.1.7.1 Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra (NTP 339.033 / ASTM C 31)

Se establece los procedimientos para la preparación y el curado de los especímenes cilíndricos y tipo viga, consideradas como muestras representativas de concreto para una construcción (NTP 339.033, 2009).

Elaboración de probetas

Cilindros

En el caso de los cilindros, se utilizará aquellos de diámetro de 150 mm. A los cuales se los llenará en tres capas de concreto; con un número de 25 golpes por capa (NTP 339.033, 2009).

Vigas

En lo correspondiente a las vigas de concreto, se utilizará aquellas que cuenten con un ancho de 150 mm. Las que tengan esa medida, se las llenará en dos capas de concreto; con un golpe por cada 14 cm² de área de superficie interior de la viga (NTP 339.033, 2009).

Curado de probetas

El curado es el mismo para cilindros como para vigas. Estos especímenes, deben de completar un curado inicial, por ello después de 30 minutos de haber sido removidos de sus moldes, deben de ser curados, siendo sumergidos totalmente en agua con cal, en recipientes que cumplan con la NTP 334.077, a una temperatura de $23.0 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ (NTP 339.033, 2009).

3.7.1.7.2 Refrendado de probetas (NTP 339.037 / ASTM C617)

Para el refrendado con mortero de azufre, el material se calentará en un equipo adecuado, a una temperatura aproximada de 130°C, para determinar esta temperatura se inserta un termómetro en el centro del mortero (NTP 339.037, 2003).

3.7.1.7.3 Resistencia a la compresión (NTP 339.034 / ASTM C39)

La metodología de ensayo de la resistencia a la compresión consta de aplicar una carga de compresión axial en los moldes cilíndricos de concreto de 15 x 30 cm a una velocidad normalizada dentro de un intervalo prescrito mientras se produce la falla. Finalmente, el cálculo de la resistencia a la compresión es la división de la carga máxima sobre el área recta del espécimen de ensayo. (NTP 339.034, 2008).

Equipos

La máquina de ensayo, tendrá una capacidad de carga adecuada, con una velocidad de carga continua y sin detenimiento. La presión será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 ± 0.05 MPa/s, velocidad que deberá al menos mantenerse en la mitad final de la fase de carga anticipada (NTP 339.034, 2008).

Procedimiento según norma

- La compresión de los especímenes de concreto será realizada como sea conveniente, después de retirar de la posa de curado.
- Se realizará el ensayo de compresión evitando la pérdida de humedad de los especímenes, tan pronto sean retirados de la posa de curado.
- Los cilindros de concreto, deberán ser ensayados dentro de las tolerancias admisibles, según el tiempo de curado que corresponda.
- Se colocará el bloque de rotura inferior en el cabezal de la máquina de ensayo. Se alinearán los ejes del espécimen de ensayo con el centro de empuje del bloque asentado.
- Previamente a la rotura de la probeta, se verificará que el marcador de la máquina de ensayo esté en cero.
- Se aplicará una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 ± 0.05 MPa/s.
- Se aplicará la carga de manera constante, hasta que el marcador de carga de la máquina de ensayo disminuya constantemente y el espécimen utilizado se encuentre bien fracturo.
- Se anotará el tipo de falla conseguido y seguidamente se calculará la resistencia a la compresión haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{4P}{\pi d^2}$$

$f'c$: resistencia a la compresión

P : carga máxima soportada

d : diámetro promedio de la sección de soporte

3.7.1.7.4 Resistencia a la flexión (NTP 339.078 / ASTM C78)

Se establece los procedimientos para la determinación y el cálculo de la resistencia a la flexión en una viga con carga en los puntos tercios de su luz libre. Mediante este procedimiento se determina el módulo de rotura del concreto, valor usado para el diseño de pavimentos rígidos (NTP 339. 078, 2012) .

Equipos

La máquina de ensayo, debe contar con un porcentaje de error de cargas, que no exceda ± 1.0 %. El aparato de ensayo debió ser verificado (calibrado) anualmente (NTP 339. 078, 2012).

Procedimiento según norma

- Se saca las vigas de la poza de curado, verificando la perpendicularidad de las caras inferiores y superiores.
- Se toma el ancho y peralte promedio para cada espécimen de ensayo.
- Se coloca los especímenes prismáticos (viga) sobre la máquina de ensayo, centrando a éstos sobre los bloques de carga.

- Se refrenda las superficies de contacto de las vigas. También se pueden usar láminas de cuero para el refrendado.
- Se aplicará una velocidad de carga constante, dentro del rango de los 0.9 *Mpa/min* a 1.2 *Mpa/min* hasta el momento de la rotura.
- Se anotará el máximo valor de la carga de rotura; la cual fue producto de la fractura del espécimen prismático.
- Si la falla se presenta dentro del tercio libre, se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo del módulo de rotura:

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

Donde:

R = módulo de rotura (KPa)

P = máxima carga aplicada (N)

l = longitud libre entre apoyos (mm)

b = ancho promedio de la muestra (mm)

d = altura promedio de la muestra (mm)

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio de la luz libre, pero a una distancia no mayor del 5% de la luz libre, se calcula el módulo de rotura aplicando la siguiente fórmula:

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

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano (mm).

- Si la falla ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio libre en más del 5%, no se tomará en cuenta los resultados del ensayo.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Análisis Granulométrico de Agregados (ASTM C-136 / NTP 400.012)

Análisis Granulométrico del Agregado Fino (ASTM C-136 / NTP 400.012)

Procedimiento experimental:

- Se preparó una muestra representativa, colocando a ésta en el horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas o hasta obtener una masa constante.
- Se tomó una muestra de 1500 g para este ensayo (cantidad superior a lo mínimo especificado por norma para este ensayo).
- Se utilizó los números de tamices de: 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y fondo, donde fueron encajados de modo decreciente, así como lo estipula la norma NPT 400.012.
- Se realizó el tamizado en un periodo de tiempo suficiente, de tal modo que al final del tamizado, el 1 % de la masa de agregado no pasó al tamiz inmediato, por el periodo de un minuto.
- Por último, se tomó el peso de cada malla con muestra retenida; obteniéndose así el peso de tamiz más la muestra en cada abertura utilizada en el ensayo.

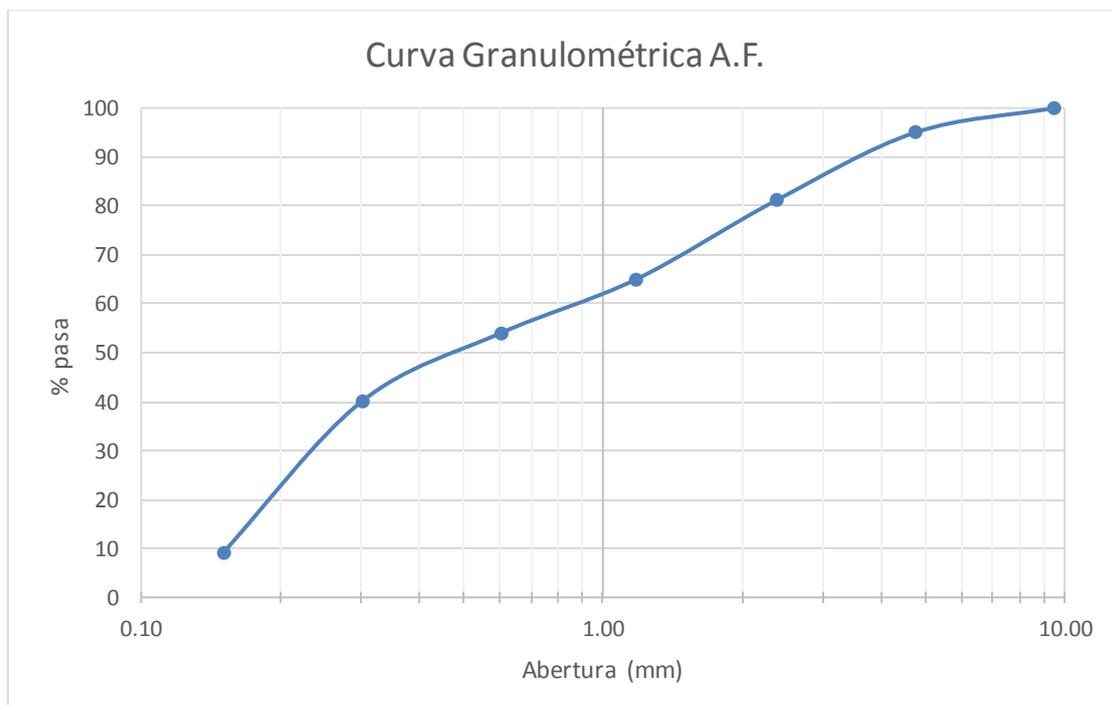
Tabla 10: Análisis granulométrico de muestra de agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Malla (g)	Peso Malla + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	% Pes Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Pasa
2	50.00	537.96	537.96	0.00	0	0	100
1 1/2	37.50	563.48	563.48	0.00	0	0	100
1	25.00	533.85	533.85	0.00	0	0	100
3/4	19.00	547.81	547.81	0.00	0	0	100
1/2	12.50	537.49	537.49	0.00	0	0	100
3/8	9.50	525.41	525.41	0.00	0	0	100
Nº 4	4.75	509.14	581.72	72.58	5	5	95
Nº 8	2.36	472.68	680.54	207.86	14	19	81
Nº 16	1.18	406.41	642.99	236.58	16	35	65
Nº 30	0.60	373.21	538.97	165.76	11	46	54
Nº 50	0.30	344.11	551.38	207.27	14	60	40
Nº 100	0.15	328.76	799.9	471.14	31	91	9
FONDO	0.00	442.26	581.07	138.81	9	100	0
				1500.00	100		

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

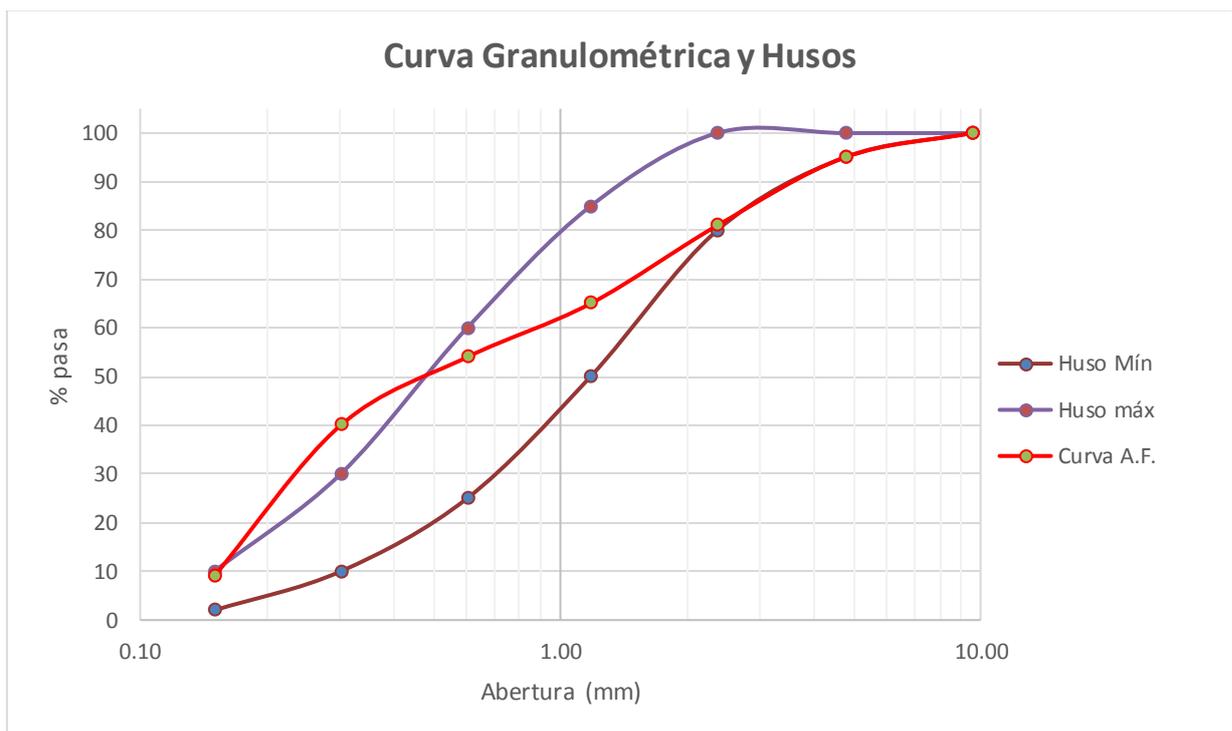
Tabla 11: Husos granulométricos y porcentaje que pasa del agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	% pasa Mínimo	% pasa Máximo	% Pasa AF
3/8	9.50	100	100	100
N° 4	4.75	95	100	95
N° 8	2.36	80	100	81
N° 16	1.18	50	85	65
N° 30	0.60	25	60	54
N° 50	0.30	10	30	40
N° 100	0.15	2	10	9

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino y sus husos



Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Cálculo del Módulo de Finura

El módulo de finura de agregado fino calculado fue de:

MF: 2.57, valor admisible en rango de $2.3 < MF < 3.1$ (según la norma NTP 400.037)

Análisis Granulométrico de Agregado Grueso (ASTM C-136 / NTP 400.012)

Procedimiento experimental:

- Se optó por preparar una muestra representativa, dejando a ésta en el horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas o hasta obtener peso constante.
- Se tomó una muestra de 5500 g para este ensayo (masa superior a lo mínimo especificado por norma).
- Se utilizó para el ensayo, los números de tamices de: 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y fondo, siendo encajados de modo decreciente, así como está estipulado en la norma NPT 400.012.
- Se realizó el tamizado en un periodo de tiempo suficiente, de tal modo que al final del tamizado, el 1 % de la masa de agregado no pasó al tamiz inmediato, por el periodo de un minuto.
- Finalmente, se anotó la masa de cada tamiz con la muestra retenida; obteniéndose así, el peso del tamiz más muestra en cada abertura utilizada en el ensayo.

Tabla 12: Análisis granulométrico de la muestra de agregado grueso

Tamiz	Abertura (mm)	P. Malla (gr.)	P. Malla + Muestra (gr.)	Peso Retenido (gr.)	% P. Retenido	% P. Retenido Acumulado	% Pasa
2	50.00	537.96	537.96	0.00	0	0	100
1 1/2	37.50	563.48	563.48	0.00	0	0	100
1	25.00	539.70	539.70	0.00	0	0	100
3/4	19.00	549.90	923.30	373.40	7	7	93
1/2	12.50	526.91	2957.07	2430.16	44	51	49
3/8	9.50	525.44	1686.21	1160.77	21	72	28
Nº 4	4.75	509.45	1941.89	1432.44	26	98	2
Nº 8	2.36	472.71	527.24	54.53	1	99	1
Nº 16	1.18	406.01	412.91	6.90	0	99	1
Nº 30	0.60	373.66	376.59	2.93	0	99	1
Nº 50	0.30	343.98	346.96	2.98	0	99	1
Nº 100	0.15	328.81	334.63	5.82	0	99	1
FONDO	0.00	442.34	472.41	30.07	1	100	0
				5500.00	100		

Fuente: Base de datos.

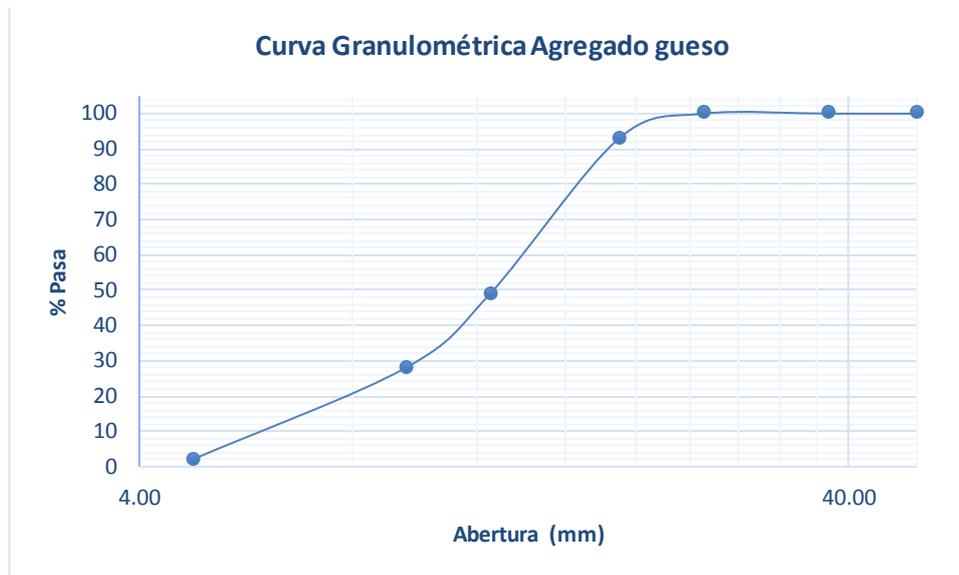
Elaboración propia

Tamaño máximo (TM) = 1"

Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"

Modulo finura (Mf) = 6.72

Tabla 13: Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

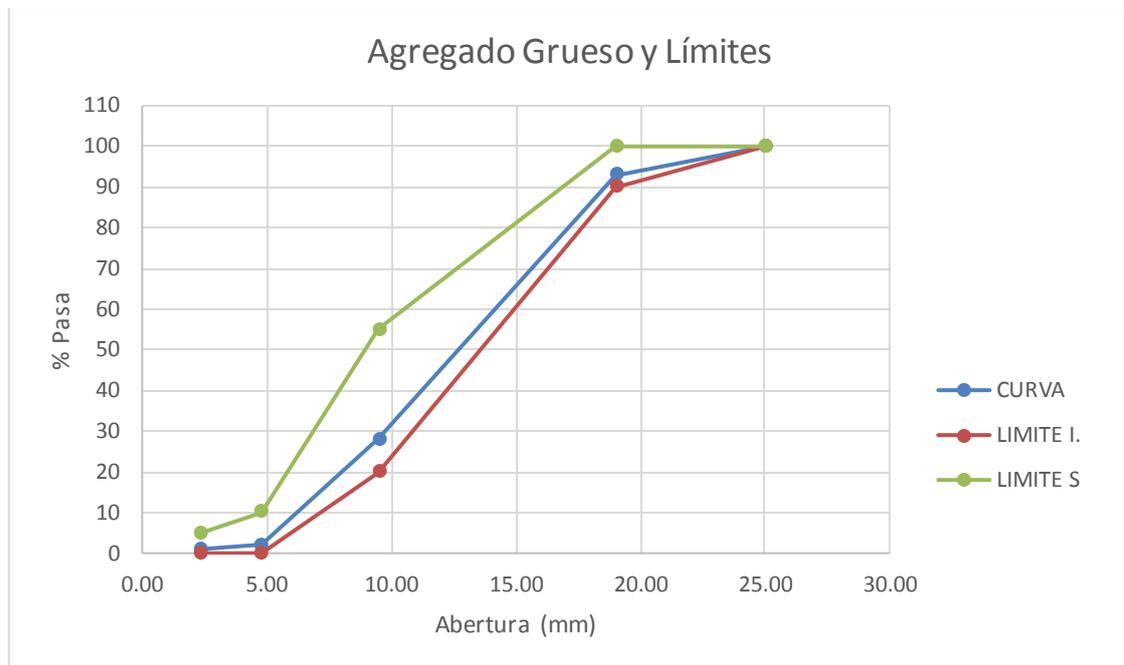
Tabla 14: Huso N° 67 granulométricos y porcentaje que pasa del agregado grueso

Tamiz	Abertura	Mínimo (%)	Máximo (%)	C. AG (%)
1	25.00	100	100	100
3/4	19.00	90	100	93
3/8	9.50	20	55	28
Nº 4	4.75	0	10	2
Nº 8	2.36	0	5	1

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Figura 18: Curva granulométrica de agregado grueso y huso N°67



Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Contenido de Humedad de los Agregados por Secado (ASTM C-566/ NTP 339.185)

Contenido de Humedad de Agregado Fino (ASTM C-566 / NTP 339.185)

- Se escogió una cantidad representativa del Agregado Fino, superior a la mínima estipulada por norma, para este caso, se trabajó con una cantidad aproximado de 1000 gramos.
- Inmediatamente se colocó el material sobre una bandeja metálica y se obtuvo el peso de muestra en estado natural más bandeja (según norma la masa se toma con una precisión de 0.1 gramos).
- Como siguiente paso, se dejó el material sobre un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, obteniéndose así una masa constante.
- Después se sacó la muestra del horno, y fue pesada en una balanza, tomando en cuenta la precisión indicada por la norma.

- Por último, se realizó el cálculo del contenido de humedad con los datos previamente obtenidos.

Tabla 15: Contenido de humedad del agregado fino

	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	Muestra Húmeda (g)	Peso recipiente + Masa seca (g.)	Masa Seca (g)	% Humedad	% Humedad promedio
N-1	107.88	1050.65	942.77	1035.17	927.29	1.67	
N-2	147.33	1605.15	1457.82	1580.93	1433.60	1.69	1.7
N-3	66.54	1236.47	1169.93	1217.11	1150.57	1.68	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Contenido de Humedad del Agregado Grueso (ASTM C-566 / NPT 339.185)

- Para este ensayo, se seleccionó una cantidad superior a la mínima requerida por la norma, optando por la cantidad aproximada a los 3.5 kg de masa.
- Se colocó la muestra requerida sobre un recipiente metálico, y se pesó sobre un recipiente metálico (los pesos fueron tomados con una precisión de 0.1 g).
- Se colocó la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, hasta que el material obtuvo masa constante.
- Después de haber sacado la muestra del horno, se tomó el peso del recipiente más la muestra con la precisión requerida según normativa.
- Por último, se calculó el contenido de humedad con los datos obtenidos previamente.

Tabla 16: Contenido de humedad del agregado grueso

	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	Muestra Húmeda (g)	Peso recipiente + Masa seca (g.)	Masa Seca (g)	% Humedad	% Humedad promedio
M-1	269.09	3900.72	3631.63	3885.60	3616.51	0.42	
M-2	238.81	3895.76	3656.95	3882.79	3643.98	0.36	0.4
M-3	213.94	3760.95	3547.01	3744.77	3530.83	0.46	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Peso Unitario y de Vacíos de los Agregados (ASTM C-29 / NTP 400.017)

Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NTP 400.017)

- Se tomó una muestra representativa de agregado fino.
- Se redujo el material por cuarteo, y se seleccionó del 125% al 200% de la cantidad suficiente para llenar el recipiente del ensayo.
- Se llevó la cantidad de material al horno por un lapso de 24 horas a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Por otro lado, se tomó el peso del recipiente vacío, que se utilizó en el ensayo.
- Una vez puesto el recipiente en la balanza, se llevó el mismo con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar el exceso de líquido.
- Una vez lleno, se anotó el peso del recipiente más agua.
- Por otro lado, se calculó el volumen del recipiente (m^3), donde se dividió el peso del agua sobre la densidad de la misma.
- Por último, se colocó el recipiente vacío sobre la balanza y se llenó con agregado fino hasta que rebose.
- Se procedió a eliminar la cantidad de material sobrante con una varilla, y se enrasó la superficie.
- Finalmente, se determinó el peso del recipiente más agregado fino.

Datos:

Peso del Recipiente: 5.31 kg

Peso del Agua: 14.17 kg

Densidad del Agua: 1,000.00 kg/m³

Volumen del Recipiente: 0.0142 m³

Tabla 17: Peso unitario seco suelto del agregado fino

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen del Recipiente (m³)	0.0142	0.0142	0.0142
Peso Recipiente (kg)	5.31	5.31	5.31
Peso Recipiente + Agregado (kg)	28.995	29.570	29.680
Peso de Agregado (kg)	23.69	24.26	24.37
PUSS (kg/m³)	1,667.96	1,708.45	1,716.20
PUSS (kg/m³)	1,670	1,710	1,720
PUSS promedio (kg/m³)	1,700		

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)

- Para este procedimiento, se tomó una muestra representativa de agregado fino.
- Luego, se redujo el material por cuarteo, y se seleccionó del 125% al 200% de la cantidad suficiente para llenar el recipiente del ensayo.
- Después, se llevó la cantidad de material al horno por un lapso de 24 horas a una temperatura constante de 110 ± 5°C.
- Por otro lado, se tomó el peso del recipiente vacío, que se utilizó en el ensayo.
- Una vez que se colocó el recipiente en la balanza, se llevó el mismo con agua a temperatura ambiente y se cubrió una placa de vidrio para eliminar el exceso de líquido.
- Ya estando lleno, se anotó el peso del recipiente más agua.

- Finalmente, se calculó el volumen del recipiente (m^3), donde se dividió el peso del agua sobre la densidad de la misma.
- Por otro lado, se colocó el agregado fino hasta cubrir la tercera parte de la capacidad del recipiente, emparejando la superficie.
- Después, se compactó con una varilla 25 veces uniformemente.
- Inmediatamente se llenó con material las 2/3 partes de la capacidad del recipiente, se emparejó y se compactó nuevamente con una varilla 25 veces.
- Por último, se llenó el recipiente con agregado, se emparejó la superficie y nuevamente se compactó 25 veces.
- Finalmente se emparejó la superficie y se tomó el peso del recipiente más el agregado fino compactado.

Datos:

Peso del Recipiente: 5.31 kg

Peso del Agua: 14.17 kg

Densidad del Agua: 1,000.00 kg/m³

Volumen del Recipiente: 0.0142 m³

Tabla 18: Peso unitario seco compacto del agregado fino

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen recipiente (m³)	0.0142	0.0142	0.0142
Peso Recipiente (kg)	5.31	5.31	5.31
Peso recipiente + agregado (kg)	31.070	31.185	31.310
Peso de Agregado (kg)	25.76	25.88	26.00
PUSC (kg/m³)	1,814.08	1,822.18	1,830.99
PUSC (kg/m³)	1,810	1,820	1,830
PUSC promedio (kg/m³)		1,820	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)

- Primero, se tomó una muestra representativa de agregado grueso.
- Luego, se redujo una cantidad de material considerable por cuarteo, y se seleccionó del 125% al 200% de la cantidad suficiente para llenar el recipiente del ensayo.
- Luego, se llevó esa cantidad de material al horno por un lapso de 24 horas a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Por otro lado, se tomó el peso del recipiente vacío que se utilizó en el ensayo.
- Una vez puesto el recipiente en la balanza, se llevó el mismo con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar el exceso de líquido.
- Una vez lleno, se anotó el peso del recipiente más agua.
- Finalmente, se calculó el volumen del recipiente (m^3), donde se dividió el peso agua sobre la densidad de la misma.
- Por otro lado, se colocó el recipiente vacío sobre la balanza y se llenó con agregado grueso hasta que rebose.
- Se eliminó la cantidad de material sobrante con una varilla, y se enrasó la superficie.
- Finalmente, se determinó el peso del recipiente más agregado grueso.

Datos:

Peso del Recipiente: 5.31 *kg*

Peso del Agua: 14.17 *kg*

Densidad del Agua: 1,000.00 *kg/m*³

Volumen del Recipiente: 0.0142 *m*³

Tabla 19: Peso unitario seco suelto del agregado grueso

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Recipiente (m³)	0.0142	0.0142	0.0142
Peso Recipiente (kg)	5.31	5.31	5.31
Peso del recipiente + agregado (kg)	25.740	25.540	26.005
Peso del agregado (kg)	20.43	20.23	20.70
PUSS (kg/m³)	1,438.73	1,424.65	1,457.39
PUSS (kg/m³)	1,440	1,420	1,460
PUSS prom. (kg/m³)	1,440		

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)

- Para este ensayo, se seleccionó una muestra representativa de agregado fino.
- Se redujo el material por cuarteo, y se seleccionó del 125% al 200% de la cantidad suficiente para llenar el recipiente del ensayo.
- Después, se llevó la cantidad de material al horno por un lapso de 24 horas a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Luego, se tomó el peso del recipiente vacío, que se utilizó en el ensayo.
- Se colocó el recipiente en la balanza, se llevó el mismo con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar el exceso de líquido y burbujas.
- Una vez que se llenó, se anotó el peso del recipiente más agua.
- Por último, se calculó el volumen del recipiente (m³), donde se dividió el peso del agua sobre la densidad de la misma.
- Por otro lado, se colocó agregado grueso, hasta cubrir la tercera parte de la capacidad del recipiente, emparejando la superficie.
- Se compactó con una varilla 25 veces uniformemente en toda la superficie.

- Después, se llenó con material las 2/3 partes de la capacidad del recipiente, se emparejó y se compactó nuevamente con una varilla 25 veces.
- Luego, se llenó hasta el recipiente con agregado, se emparejó la superficie y nuevamente se compactó 25 veces.
- Finalmente se emparejó la superficie y se tomó el peso del recipiente más agregado grueso compactado.

Datos:

Peso del Recipiente: 5.31 kg

Peso del Agua: 14.17 kg

Densidad del Agua: 1,000.00 kg/m³

Volumen del Recipiente: 0.0142 m³

Tabla 20: Peso unitarios seco compacto del agregado grueso

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Recipiente (m³)	0.0142	0.0142	0.0142
Peso Recipiente (kg)	5.31	5.31	5.31
Peso Recipiente + Agregado (kg)	27.675	27.430	27.910
Peso Agregado (kg)	22.37	22.12	22.60
PUSC (kg/m³)	1,575.00	1,557.75	1,591.55
PUSC (kg/m³)	1,580	1,570	1,590
PUSC promedio (kg/m³)	1,580		

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Gravedad Específica y Absorción del Agregados Finos (ASTM C-128 / NTP 400.022)

- Se seleccionó una cantidad representativa de material, se cuarteó y se seleccionó los extremos opuestos.
- De los extremos opuestos se seleccionó una cantidad aproximada a 1200 gramos.
- Se colocó el material seleccionado al horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante.
- Se sacó la muestra del horno, y se sumergió en agua durante 24 horas.
- Una vez pasadas las 24 horas bajo el agua, se decantó ésta, evitando la pérdida de los finos.
- Se colocó la muestra sobre una pequeña cocina a temperatura constante, donde se mantuvo removiendo hasta que se logró el secado superficial.
- Ya seca la superficie del material, se colocó la muestra en un cono en tres capas, con un compactado de 25 golpes por capa.
- Después de realizar el procedimiento anterior, se retiró el cono, y se apreció que la tercera parte superior del material se derrumbó, llegándose así a la condición de Saturada Superficialmente Seca.
- Como siguiente paso, se introdujo 500 gramos de material, en condición de Saturado Superficialmente Seca; agregando agua hasta casi la marca de medida de 500 cm^3 y se agitó para eliminar las burbujas de aire atrapado, en un lapso de 10 minutos.
- Una vez que se eliminó todo el aire atrapado de la fiola, se llenó con agua hasta la marca de 500 cm^3 .
- Después, se puso al frasco sobre la balanza, determinando así el peso total de agua, arena y frasco.
- Por último, se retiró la muestra del frasco, se eliminó el agua y se llevó el material al horno por 24 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Después de un lapso, se sacó la muestra del horno, se dejó enfriar la muestra y se determinó el peso de la misma.

Tabla 21: Peso específico y absorción del agregado fino

	W_o (g)	V (cm ³)	V_a (cm ³)	Pe_{sss} (g/cm ³)	Pe_a (g/cm ³)	Pe_m (g/cm ³)	Absorción (%)
Muestra 01	485.70	497.80	310.30	2.67	2.80	2.59	2.9
Muestra 02	487.00	497.80	308.80	2.65	2.77	2.58	2.7
Muestra 03	486.10	497.60	311.50	2.69	2.82	2.61	2.9
			PROMEDIO	2.67	2.80	2.59	2.8

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (ASTM C-127 / NTP 400.021)

- Se seleccionó una cantidad prudente de agregado grueso, se cuarteó y eligió los extremos opuestos.
- Después, se descartó todo el material que pasó por la malla N° 4 y el material retenido, se lavó, para así eliminar las impurezas.
- Se colocó el material seleccionado al horno (aproximadamente 3kg, por ser tratarse de un TMN de ¾”) a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante.
- Se sacó la muestra del horno, se dejó enfriar y se sumergió el material totalmente en agua durante 24 horas.
- Después del periodo de tiempo estipulado, se sacó la muestra del agua y se colocó en una bandeja.
- Una vez en la bandeja, se secó superficialmente el agregado con una franela absorbente, hasta eliminar toda agua visible en la superficie (así se logró la condición saturada superficialmente seca).
- Una vez que se alcanzó la condición anterior, se colocó la muestra sobre una cesta con alambre y se sumergió en agua; donde se determinó así el peso sumergido del agregado grueso.
- Por último, se dejó secar la muestra en el horno a una temperatura constante de 110 °C \pm 5 °C durante 24 horas, para después dejar enfriar la muestra al aire libre y pesarla en un instrumento con la precisión requerida.

Tabla 22: Peso específico y absorción del agregado grueso

	P_{SSS} (g)	P_{sum} (g)	P_{seco} (g)	P_{esss} (g/cm ³)	P_{ea} (g/cm ³)	P_{em} (g/cm ³)	Absorción (%)
Muestra 01	3,300.20	2,088.50	3,275.09	2.72	2.76	2.70	0.8
Muestra 02	3,305.00	2,080.00	3,275.31	2.70	2.74	2.67	0.9
Muestra 03	3,300.00	2,068.80	3,278.36	2.68	2.71	2.66	0.7
			PROMEDIO	2.70	2.74	2.68	0.8

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

DISEÑO DE MEZCLA POR LA METODOLOGÍA ACI 211

Paso N° 1: Selección de Resistencia a la Compresión (f'_c)

En este primer paso, se eligió la resistencia a la compresión de diseño; tomando un valor de 280 kg/cm^2 , siendo la mínima resistencia para el diseño de pavimentos rígidos, según el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

$$\text{Resistencia de diseño } (f'_c) = 280 \text{ kg/cm}^2,$$

Paso N° 2: Asentamiento de diseño

En el segundo paso, se eligió un asentamiento de diseño que vaya acorde a los fines de uso. Por tratarse de un concreto de pavimento rígido se utilizó un concreto de consistencia seca, valor que varía de 0" (0 mm) a 2" (50 mm). Ajustándose a las tablas de diseño del ACI, se consideró un asentamiento de 1" a 2",

$$\text{Asentamiento de diseño} = 1" \text{ a } 2",$$

Paso N° 3: Tamaño Máximo (TM) y Tamaño Máximo Nominal (TMN)

En lo que concierne al Tamaño Máximo Nominal del agregado, se realizó el diseño con un tamaño de agregado de $\frac{3}{4}$ ", teniendo como condición, que este debe ser menor o igual a $\frac{1}{3}$ del espesor de la losa ($TMN \leq h/3$).

$$\text{Tamaño Máximo Nominal (TMN)} = \frac{3}{4}"$$

Paso N° 4: Cantidad de Agua y Contenido de Aire

Tabla 23: Agua de mezcla y contenido de aire

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados								
	3/8 pulg.	½ pulg.	¾ pulg.	1 pulg.	1 ½ pulg.	2 pulg.	3 pulg.	6 pulg.	
Concreto sin aire incluido									
1" a 2" 25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113	
3" a 4" 75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124	
6" a 7" 150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-	
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incluido									
1" a 2" 25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107	
3" a 4" 75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119	
6" a 7" 150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-	
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje									
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	

Fuente: ACI 211.1

- Se diseñará un concreto: sin aire incluido
- Con un asentamiento: 1" a 2"
- Cantidad de agua, según la tabla: 190 L/m^3
- Aire Incluido: 2%

Paso N° 5: Relación agua/cemento (a/c)

Se utilizará la siguiente tabla para calcular la Resistencia a la Compresión Media Requerida.

Tabla 24: Resistencia a la compresión cuando no se dispone de la data histórica

Resistencia a compresión especificada, $f'c$, kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Más de 250	$1.10 f'c + 50$

Fuente: ACI 211.1

$$f'cr = f'c + 84 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'cr = 280 + 84 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

En la determinación de la relación agua – cemento (a/c), se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 25: Relación agua – cemento y resistencia a la compresión

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (Mpa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento sin aire incluido	Cemento con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (35)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

Fuente: ACI 211

Ubicamos la resistencia requerida ($f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$) en la tabla, e interpolamos:

Tabla 26: Interpolación para el cálculo de la Relación agua – cemento

F'CR	R. A/C
400	0.43
364	0.4660
350	0.48

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Por lo tanto, la relación agua/cemento (a/c): 0.4660

Paso N° 6: Cálculo de la cantidad requerida de cemento

Contando con los datos anteriores de relación agua/ cemento (a/c) y el agua utilizada en la mezcla; se utilizó la siguiente fórmula para calcular la cantidad de cemento por metro cúbico.

$$\text{Contenido de cemento (kg / m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (L / m}^3\text{)}}{\text{Relación a / c (f' cr)}}$$

$$\text{Contenido de cemento (kg / m}^3\text{)} = \frac{190 \text{ (L / m}^3\text{)}}{0.4660}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 407.73 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Contenido de cemento} = 408 \text{ kg / m}^3$$

CUADRO MOMENTANEO DE DATOS

Tabla 27: Cuadro resumen de balance de volúmenes

Materiales	P. seco (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento Tipo 1	408	0.1308
Agua	190	0.1900
Agregado fino		
Agregado Grueso		
Aire (2%)	-	0.0200
Balance volúmenes		0.3408
Saldo volumen		0.6592

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Paso N° 7: Cantidad de Agregado fino y grueso

En el siguiente procedimiento se optó por calcular los volúmenes absolutos de los agregados, considerando los datos del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso (3/4”) y Módulo de Finura del agregado fino (2.56)

Tabla 28: Relación entre el TMN y el volumen de agregado grueso compacto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

Interpolación para determinar del agregado grueso.

Tabla 29: Interpolación para el cálculo del factor AG

2.40	0.66
2.56	0.6440
2.60	0.64

Fuente: Elaboración propia

Al interpolar, calculamos el valor de: $x = 0.6440$

Por lo tanto, el factor AG = 0.6440

Peso seco AG = PUSC AG x Factor AG

Peso seco AG = 1,580 x 0.6440

Peso seco AG = 1017.52 kg/m^3

Peso seco AG = 1018 kg/m^3

Por lo tanto, el volumen Absoluto de AG. es:

$$\text{Volumen Absoluto AG} = 0.3799 \text{ m}^3$$

Cálculo del Volumen absoluto y Peso Seco del Agregado Fino.

$$\text{Volumen AF} = \text{Volumen faltante agregados} - \text{Volumen AG}$$

$$\text{Volumen AF} = 0.6592 - 0.3799$$

$$\text{Volumen AF} = 0.2793 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco AF} = 0.2793 \times 2590$$

$$\text{Peso seco AF} = 723.39 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco AF} = 723 \text{ kg/m}^3$$

Ya habiendo calculado todos los datos anteriores, podemos completar el siguiente cuadro resumen:

CUADRO RESUMEN DE DATOS

Tabla 30: Cuadro resumen de volúmenes

Materiales	P. seco (kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento Tipo 1	408	0.1308
Agua	190	0.1900
Agregado fino	723	0.2793
Agregado Grueso	1018	0.3799
Aire (2%)	-	0.0200
Total	2,339	1.0000

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Ya completado el cuadro anterior, se realizarán las respectivas correcciones por humedad y absorción de cada agregado:

Corrección por el Porcentaje de Absorción del agregado fino y grueso

Para ellos se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\text{Corrección Peso AG sss} = \text{Peso AGseco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ abs}}{100}\right)$$

$$\text{Corrección Peso AF sss} = \text{Peso AFseco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ abs}}{100}\right)$$

Tabla 31: Correcciones por absorción

Materiales	P. seco (kg/m ³)	Volumen (m ³)	% Absorción	Corrección por % Absorción	Peso SSS (kg/m ³)
Cemento Tipo 1	408	0.1308			408
Agua	190	0.1900			190
Agregado fino	723	0.2793	2.8	723*(1+2.8/100)	743
Agregado Grueso	1018	0.3799	0.8	1018*(1+0.8/100)	1,026
Aire (2%)	-	0.0200			
TOTAL	2,339	1.0000			2,367

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Corrección por el Porcentaje de Humedad del agregado fino y grueso

Para ellos se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\text{Corrección Peso AG Humedo} = \text{Peso AGseco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ Hum}}{100}\right) \quad \text{Aporte de Agua AG} = \text{Peso AGseco} \times \left(\frac{\% \text{ Hum} - \% \text{ abs}}{100}\right)$$

$$\text{Corrección Peso AF Humedo} = \text{Peso AFseco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ Hum}}{100}\right) \quad \text{Aporte de Agua AF} = \text{Peso AFseco} \times \left(\frac{\% \text{ Hum} - \% \text{ abs}}{100}\right)$$

Tabla 32: Correcciones por humedad

Materiales	P. seco (kg/m ³)	Peso SSS (kg/m ³)	% Humedad	Agua de Humedad	Peso húmedo (kg/m ³)
Cemento Tipo 1	408	408			408
Agua	190	190			202
Agregado fino	723	743	1.7	-7.95	735
Agregado Grueso	1018	1,026	0.4	-4.07	1022
Aire (2%)	-				
TOTAL	2,339	2,367			2,367

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Resumen de los Pesos Seco, Saturado Superficialmente Seco y Húmedo

Se presentan en el siguiente cuadro, los pesos obtenidos:

Tabla 33: Pesos para un metro cúbico de concreto de 280 kg/cm².

Materiales	P. seco (kg/m³)	Peso SSS (kg/m³)	Peso húmedo (kg/m³)
Cemento Tipo 1	408	408	408
Agua	190	190	202
Agregado fino	723	743	735
Agregado Grueso	1018	1026	1022
Aire (2%)	-	-	-
PUC (kg/m³)	2,339	2,367	2,367

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

ENSAYOS FÍSICOS

Asentamiento del Concreto (ASTM C-143 / NTP 339.035)

- Se humedecieron los instrumentos necesarios para la realización del siguiente ensayo, como, el cono de Abrams, la varilla y la bandeja metálica plana; siendo esta última, la superficie donde se apoyó el cono de Abrams.
- Se sujetó el cono de Abrams los pies, para después vaciar el concreto en el molde cónico.
- Se vació primero, un tercio del volumen del molde, donde inmediatamente después se compactó 25 veces de manera uniforme con la varilla.
- Luego, se vació la segunda capa de concreto hasta llenar las 2/3 partes de la capacidad del molde, propiciando una serie de 25 compactadas con la varilla de manera uniforme.
- Después, se llenó el recipiente hasta que rebosó de concreto, repartiendo nuevamente 25 golpes uniformemente con la varilla, para después enrasar la superficie con la misma varilla.
- Por último, se retiró el molde cuidadosamente en sentido vertical.
- Inmediatamente después, se colocó el molde de manera invertida al lado de la muestra, colocando la varilla perpendicularmente sobre el molde, para notar así, la diferencia de altura entre la muestra y el molde, para después medir con una wincha, el asentamiento producido.
- Se repitió el mismo proceso, para el concreto reforzado en las siguientes cantidades:
 - 6 kg/m^3 de fibras de filamentos de cobre reciclado.
 - 8 kg/m^3 de fibras de filamentos de cobre reciclado.
 - 10 kg/m^3 de fibras de filamentos de cobre reciclado.

Tabla 34: Resultados de asentamiento y asentamiento promedio

	ASENTAMIENTO 01 (cm)	ASENTAMIENTO 02 (cm)	ASENTAMIENTO 03 (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (in)
PATRÓN	3.5	3.0	3.5	3.5	1 1/2
6 KG/M³	2.0	2.0	2.5	2	3/4
8 KG/M³	1.5	1.0	1.5	1.5	1/2
10 KG/M³	0.5	0.5	0.5	0.5	1/4

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

ENSAYOS MECÁNICOS

Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos (ASTM C-39 / NTP 339.034)

Procedimiento según norma

- Después del tiempo de curado requerido para el ensayo, se retiró los especímenes cilíndricos de concreto de la poza.
- Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión, evitando la pérdida de humedad de los especímenes cilíndricos, tan pronto como fueron retirados de la poza de curado.
- Los cilindros de concreto, fueron ensayados dentro de las tolerancias admisibles, según el tiempo de curado correspondiente a cada tanda.
- Se colocó el bloque de rotura inferior en el cabezal de la máquina de ensayo. Y a su vez, se alineó los ejes del espécimen de ensayo con el centro de empuje del bloque asentado.
- Antes de realizar la rotura de la probeta, se verificó que el marcador de la máquina de ensayo haya estado en cero.

- Se aplicó la carga a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 ± 0.05 MPa/s.
- Se aplicó la carga de manera constante, hasta que el marcador de carga de la máquina de ensayo disminuyó constantemente y el espécimen se haya encontrado bien fractura.
- Para el cálculo de la resistencia a la compresión se aplicó la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{4P}{\pi d^2}$$

Donde:

$f'c$: resistencia a la compresión (kg/cm²)

P : carga máxima soportada (kg)

D : diámetro promedio de la sección de soporte (cm²)

Tabla 35: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días de curado

Dosificación concreto	Dimensiones		Tipo de falla	Carga (kg)	Resistencia compresión $f'c$ (kg/cm ²)	$f'c$ promedio (kg/cm ²)
	Diámetro p. (mm)	Área (cm)				
PATRÓN	P-1	151.6	180.5	(5)	61083	338
	P-2	151.8	181	(5)	59828	331
	P-3	151.9	181.2	(5)	57109	315
6 Kg/m ³	P6-1	151.2	179.6	(5)	61145	340
	P6-2	151.3	179.8	(4)	59865	333
	P6-3	151.7	180.7	(5)	61273	339
8 Kg/m ³	P8-1	151.3	179.8	(5)	61841	344
	P8-2	151.2	179.6	(5)	62196	346
	P8-3	151.5	180.3	(5)	63546	352
10 Kg/m ³	P10-1	150.1	177.0	(4)	62673	354
	P10-2	150.1	177.0	(5)	63965	361
	P10-3	150.3	177.4	(5)	66427	374

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Resistencia a la Flexión en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas a los Tercios del Tramo (ASTM C-78 / NTP 339.078)

Procedimiento según norma

- Se retiró las vigas de la poza de curado, donde se verificó la perpendicularidad de las caras inferiores y superiores.
- Se midió el ancho y peralte promedio para cada espécimen de ensayo.
- Se colocó los especímenes prismáticos sobre la máquina de ensayo, donde se centró a éstos sobre los bloques de carga.
- Se refrendó las superficies de contacto de las vigas usando láminas de cuero para el refrendado.
- Se aplicó una velocidad de carga constante, dentro del rango de los 0.9 *Mpa/min* a 1.2 *Mpa/min* hasta que se produjo la rotura.
- Se anotó el máximo valor de carga de rotura; el cual generó la falla del espécimen prismático.
- Como la falla se produjo dentro del tercio libre, se aplicó la siguiente fórmula para el cálculo del módulo de rotura:

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

Donde:

R = módulo de rotura (KPa)

P = máxima carga aplicada (N)

l = longitud libre entre apoyos (mm)

b = ancho promedio de la muestra (mm)

d = altura promedio de la muestra (mm)

Tabla 36: Resultados de resistencia a la flexión a los 28 días de curado

Dosificación concreto	Dimensiones (precisión 1mm) según NTP 339.078			Carga (kg)	Tramo de falla	Resistencia flexión M'r (kg/cm ²)	Resistencia flexión promedio M'r (kg/cm ²)
	Alto (mm)	Ancho (mm)	Luz libre (mm)				
PATRÓN	P-1	150	150	450	3304	Central	44.05
	P-2	150	150	450	3489	Central	46.52
	P-3	150	150	450	3251	Central	43.35
6 Kg/m³	P6-1	150	150	450	3827	Central	51.03
	P6-2	150	150	450	3860	Central	51.47
	P6-3	150	150	450	3937	Central	52.49
8 Kg/m³	P8-1	150	150	450	4034	Central	53.79
	P8-2	150	150	450	4187	Central	55.83
	P8-3	150	150	450	3966	Central	52.88
10 Kg/m³	P10-1	150	150	450	4198	Central	55.97
	P10-2	150	150	450	4192	Central	55.89
	P10-3	150	150	450	4209	Central	56.12

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Se realizará el diseño de un pavimento rígido empleando la metodología AASTHO- 93 con los datos de un estudio realizado en el Jr. Ciro Alegría, el Jr. José Carlos Mariátegui, Av. El Milagro y la Av. Industrial del sector VI C del Centro Poblado EL Milagro Distrito de Huanchaco – Trujillo.

Tabla 37: Datos de diseño del pavimento rígido del estudio en el Centro Poblado El Milagro

DATOS DE TRAFICO Y OTRAS PROPIEDADES	
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTE TOTAL (W18)	2,997,570.69
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%
ESTÁNDAR NORMAL DESVIATE (Zr)	-1.037
OVERALL ESTANDAR DESVIATION (So)	0.35
C. MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE - K (psi)	515.75
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.3
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
F. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)	3.8
G. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.85
H. PERIODO DE DISEÑO (años)	20

Fuente: (Ramírez Rojas & Zavaleta Alvarado, 2018)

Por otro lado, se calculará el módulo de elasticidad del concreto, a partir de los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión del concreto patrón y reforzado con fibras de cobre.

Tabla 38: Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del concreto patrón y reforzado.

	Resistencia Compresión (kg/cm²)	Resistencia Compresión (psi)	Módulo Elasticidad (psi)
Concreto patrón	328	4655	3,888,971
Concreto reforzado (6 kg/m³)	337	4783	3,942,076
Concreto reforzado (8 kg/m³)	347	4925	4,000,166
Concreto reforzado (10 kg/m³)	363	5152	4,091,314

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Terminado con los datos previos al diseño del pavimento, se llevará la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto patrón y al reforzado a unidades de *psi*.

Tabla 39: Módulo de Rotura del concreto patrón y reforzado.

	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Módulo de Rotura (psi)
Concreto patrón	44.6	633
Concreto reforzado (6 kg/m ³)	51.7	734
Concreto reforzado (8 kg/m ³)	54.2	769
Concreto reforzado (10 kg/m ³)	56.0	795

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Diseño del pavimento rígido por el AASHTO – 93

Empleando los datos obtenidos anteriormente, se realizará el diseño del pavimento rígido. Se tomará en cuenta los datos del estudio definitivo de la carretera en mención y los valores de las propiedades mecánicas del concreto obtenido en laboratorio.

En lo correspondiente a los datos de laboratorio; se trabajará con la resistencia a la compresión, que se utilizó para calcular el módulo de elasticidad; y los valores de la resistencia a la flexión (módulo de rotura).

Para el diseño del espesor de la losa de concreto, se despejará “*D*” de la ecuación AASHTO – 93:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_0 + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 + 0.32 P_i) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_{dt} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 x J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Pavimento rígido usando el concreto patrón

Para el cálculo del espesor del pavimento (D), se utilizará los datos del estudio junto con los del concreto patrón, que fueron obtenidos en laboratorio. Los datos serán ingresados a una hoja de cálculo en Excel.

Figura 19: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto patrón

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO			
METODO AASHTO 1993			
PROYECTO: Estudio del Centro Poblado El Milagro- Trujillo		FECHA :04/07/2018	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO			
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			3.00E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.3
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)			-1.036
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)			0.35
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
a. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f_c (kg/cm ²)			328
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f_c (psi)			4,655.00
b. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E_c (psi)			3,888,971.00
c. MÓDULO DE ROTURA S'_c (psi)			633.00
d. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE- K (pci)			515.75
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)			3.8
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)			0.9
3. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA			
(Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo)			
D (pulg)	G_t	N18 NOMINAL	N18 CÁLCULO
9.150	-0.22185	6.48	6.48
4. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO			
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (Df), pulgadas			9
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (Df), centímetros			23
C. ESPESOR DE SUB BASE (SB), pulgadas			12
D. ESPESOR DE SUB BASE (SB), centímetros			30

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Pavimento rígido usando el concreto reforzado (6 kg/m³)

Figura 20: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado a 6 kg/m³.

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO			
METODO AASHTO 1993			
PROYECTO: Estudio del Centro Poblado El Milagro- Trujillo		FECHA :04/07/2018	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO			
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20	
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		3.00E+06	
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.3	
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		2.5	
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%	
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)		-1.036	
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.35	
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
a. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (kg/cm ²)		337	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (psi)		4,783.00	
b. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E _c (psi)		3,942,076.00	
c. MÓDULO DE ROTURA S' _c (psi)		734.00	
d. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE- K (pci)		515.75	
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)		3.8	
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)		0.9	
3. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA			
(Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo)			
D (pulg)	G_t	N18 NOMINAL	N18 CÁLCULO
8.350	-0.22185	6.48	6.48
4. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO			
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), pulgadas		8	
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), centímetros		21	
C. ESPESOR DE SUB BASE (SB), pulgadas		12	
D. ESPESOR DE SUB BASE (SB), centímetros		30	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Pavimento rígido usando el concreto reforzado (8 kg/m³)

Figura 21: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado con 8 kg/m³.

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO			
METODO AASHTO 1993			
PROYECTO: Estudio del Centro Poblado El Milagro- Trujillo		FECHA :04/07/2018	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO			
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20	
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		3.00E+06	
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.3	
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		2.5	
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%	
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)		-1.036	
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.35	
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
a. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (kg/cm ²)		347	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (psi)		4,925.00	
b. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E _c (psi)		4,000,166.00	
c. MÓDULO DE ROTURA S' _c (psi)		769.00	
d. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE- K (pci)		515.75	
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)		3.8	
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)		0.9	
3. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA			
(Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo)			
D (pulg)	G_t	N18 NOMINAL	N18 CÁLCULO
8.130	-0.22185	6.48	6.48
4. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO			
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), pulgadas		8	
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), centímetros		20	
C. ESPESOR DE SUB BASE (SB), pulgadas		12	
D. ESPESOR DE SUB BASE (SB), centímetros		30	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Pavimento rígido usando el concreto reforzado (10 kg/m³)

Se utilizará los datos de estudio definitivo junto con los del concreto reforzado a razón de 10 kg/m³, que fueron obtenidos en laboratorio. Los valores serán los ingresados a una hoja de cálculo en Excel.

Figura 22: Hoja de cálculo para el pavimento rígido de concreto reforzado con 10 kg/m³.

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO			
METODO AASHTO 1993			
PROYECTO: Estudio del Centro Poblado El Milagro- Trujillo		FECHA :04/07/2018	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO			
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20	
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		3.00E+06	
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.3	
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		2.5	
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%	
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)		-1.036	
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.35	
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
a. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (kg/cm ²)		363	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f _c (psi)		5,152.00	
b. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E _c (psi)		4,091,314.00	
c. MÓDULO DE ROTURA S _c (psi)		795.00	
d. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE- K (pci)		515.75	
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)		3.8	
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)		0.9	
3. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA			
(Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo)			
D (pulg)	G_t	N18 NOMINAL	N18 CÁLCULO
7.950	-0.22185	6.48	6.48
4. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO			
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), pulgadas		8	
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (D _f), centímetros		20	
C. ESPESOR DE SUB BASE (SB), pulgadas		12	
D. ESPESOR DE SUB BASE (SB), centímetros		30	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Tabla 40: Resultados de diseño de pavimento rígido por el método AASHTO-93

	Espesor (pulgada)	Espesor (cm.)
Patrón	9.15	23.24
6 kg/m ³	8.35	21.21
8 kg/m ³	8.13	20.65
10 kg/m ³	7.95	20.19

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Análisis económico de los pavimentos

Análisis económico para un metro cúbico de concreto.

Tabla 41: Análisis de costos unitarios la partida concreto f'c=280kg/cm².

Partida	05.08.01		CONCRETO f'c= 280 kg/cm2				
Rendimiento	m3/DIA	10.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m3	435.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.8000	23.87	19.10	
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	20.76	33.22	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.83	26.93	
0101010005	PEON	hh	8.0000	6.4000	15.15	96.96	
						176.21	
Materiales							
02070100010005	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.7069	38.14	26.96	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4251	29.66	12.61	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.2020	6.00	1.21	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.10	202.56	
						243.34	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	176.21	5.29	
03012900010005	VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	0.5000	0.4000	11.20	4.48	
03012900030004	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 8 HP 9 P3	hm	0.5000	0.4000	14.60	5.84	
						15.61	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Análisis económico en la elaboración de fibras de filamentos de cobre reciclado.

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan los recursos utilizados y el análisis de costos para que conlleva la elaboración de las fibras de filamentos de cobre reciclado.

Tabla 42: Análisis económico en la elaboración de las fibras de filamentos de cobre reciclado.

Recurso utilizado	Unidad	Cantidad	Costo (S/.)	Parcial (S/.)
Cobre reciclado	kg	1.0000	10.0000	10.00
Operador(a)	hh	1.0000	3.5000	3.50
Tijera metálica	%	3.0000	3.5000	0.11
				13.61

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Tabla 43: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2+ 6 \text{ kg/m}^3$.

Partida	05.08.02	CONCRETO $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (R6)					
Rendimiento	m3/DIA	10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m3			516.82
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.8000	23.87	19.10	
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	20.76	33.22	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.83	26.93	
0101010005	PEON	hh	8.0000	6.4000	15.15	96.96	
						176.21	
Materiales							
02070100010005	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.7069	38.14	26.96	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4251	29.66	12.61	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.2020	6.00	1.21	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.10	202.56	
0213010002	FIBRAS DE COBRE	kg		6.0000	13.61	81.66	
						325.00	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	176.21	5.29	
03012900010005	VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	0.5000	0.4000	11.20	4.48	
03012900030004	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 8 HP 9 P3	hm	0.5000	0.4000	14.60	5.84	
						15.61	

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Tabla 44: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2 + 8 \text{ kg/m}^3$.

Partida	05.08.02	CONCRETO $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (R8)				
Rendimiento	m3/DIA	10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m3		544.04
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.8000	23.87	19.10
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	20.76	33.22
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.83	26.93
0101010005	PEON	hh	8.0000	6.4000	15.15	96.96
						176.21
Materiales						
02070100010005	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.7069	38.14	26.96
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4251	29.66	12.61
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.2020	6.00	1.21
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.10	202.56
0213010002	FIBRAS DE COBRE	kg		8.0000	13.61	108.88
						352.22
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	176.21	5.29
03012900010005	VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	0.5000	0.4000	11.20	4.48
03012900030004	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 8 HP 9 P3	hm	0.5000	0.4000	14.60	5.84
						15.61

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Tabla 45: Análisis de costos unitarios la partida concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2+ 10 \text{ kg/m}^3$.

Partida	05.08.02	CONCRETO $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (R10)				
Rendimiento	m3/DIA	10.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m3	571.26
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.8000	23.87	19.10
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	20.76	33.22
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.83	26.93
0101010005	PEON	hh	8.0000	6.4000	15.15	96.96
						176.21
Materiales						
02070100010005	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.7069	38.14	226.96
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.4251	29.66	12.61
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.2020	6.00	1.21
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.10	202.56
0213010002	FIBRAS DE COBRE	kg		10.0000	13.61	136.10
						379.44
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	176.21	5.29
03012900010005	VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	0.5000	0.4000	11.20	4.48
03012900030004	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 8 HP 9 P3	hm	0.5000	0.4000	14.60	5.84
						15.61

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Concreto por metro lineal de vía.

Se realizó un análisis unitario por metro lineal de la vía, tomando en cuenta las siguientes dimensiones:

Tabla 46: Cantidad de concreto según el espesor de losa requerido.

	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Volumen (m ³)
Concreto patrón	1.00	7.20	0.2324	1.6733
Concreto reforzado (6kg/m ³)	1.00	7.20	0.2121	1.5271
Concreto reforzado (8kg/m ³)	1.00	7.20	0.2065	1.4868
Concreto reforzado (10kg/m ³)	1.00	7.20	0.2019	1.4537

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Concreto por metro lineal de vía.

Se realizó un análisis unitario por metro lineal de la vía, tomando en cuenta las siguientes dimensiones:

Tabla 47: Precio por metro lineal de los tipos de concreto estudiados.

Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Concreto patrón	m3	1.6733	435.16	728.15
Concreto reforzado (6 kg/m ³)	m3	1.5271	516.82	789.24
Concreto reforzado (8 kg/m ³)	m3	1.4868	544.04	808.87
Concreto reforzado (10 kg/m ³)	m3	1.4535	571.26	830.32

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Análisis comparativo de costos.

Se realizó un análisis comparativo de los costos por metro lineal de la vía, destacando el porcentaje de variación de los costos de ambos pavimentos.

Tabla 48: Comparación de costos por metro lineal de la vía estudiada.

Pavimento	Precio S/.	Variación S/.	Variación %
Concreto patrón	728.15	0	0.00
Concreto reforzado (6 kg/m ³)	789.24	61.09	8.38
Concreto reforzado (8 kg/m ³)	808.87	80.72	11.09
Concreto reforzado (10 kg/m ³)	830.32	102.17	14.03

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se realizó la prueba de Normalidad por Shapiro - Wilk, ya que la muestra fue menor a 50 individuos.

Para la siguiente prueba se consideró un α : 0.05

Según el criterio para determinar Normalidad:

P-valor $\geq \alpha$, Aceptar la H_0 = Los datos provienen de una distribución **normal**.

P-valor $< \alpha$, Aceptar la H_1 = Los datos **NO** provienen de una distribución **normal**.

Se realizará la prueba de normalidad para los resultados del asentamiento, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión utilizando el software IBM-SPSS, para después aplicar el criterio de normalidad.

Análisis de los resultados de asentamiento de la *tabla 34*, para la prueba de normalidad mediante IBM-SPSS.

Tabla 49: Análisis de los resultados del asentamiento utilizando SPSS

Concreto	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concreto patrón	,385	3	.	,750	3	,000
6 kg/m3	,385	3	.	,750	3	,000
8 kg/m3	,385	3	.	,750	3	,000
10 kg/m3	,175	3	.	1,000	3	1,000

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

En base a que todos los valores de la *tabla 49* de la sección Shapiro – Wilk (estadístico) son mayores al alfa de 0.05, se puede afirmar que todos los datos del asentamiento provienen de una distribución normal.

Análisis de los resultados de resistencia a la compresión de la *tabla 35*, para la prueba de normalidad mediante IBM-SPSS.

Tabla 50: Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión utilizando SPSS

Concreto	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concreto patrón	,267	3	.	,951	3	,576
6 kg/m3	,337	3	.	,855	3	,253
8 kg/m3	,292	3	.	,923	3	,463
10 kg/m3	,245	3	.	,971	3	,672

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

En base a que la totalidad de los valores de la *tabla 50* de la sección Chapiro – Wilk (estadístico) son mayores al alfa de 0.05, se puede afirmar que todos los datos de la resistencia a la compresión provienen de una distribución normal.

Análisis de los resultados de resistencia a la flexión de la *tabla 36*, para la prueba de normalidad mediante IBM-SPSS.

Tabla 51: Análisis de los resultados de la resistencia a la flexión utilizando SPSS

Concreto	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concreto patrón	,305	3	.	,906	3	,404
6 kg/m3	,269	3	.	,950	3	,569
8 kg/m3	,265	3	.	,953	3	,584
10 kg/m3	,246	3	.	,970	3	,668

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Por último, ya que la totalidad de los valores de la *tabla 51* de la sección Chapiro – Wilk (estadístico) son mayores al alfa de 0.05, se puede afirmar que todos los datos de la resistencia a la flexión provienen de una distribución normal.

Prueba de hipótesis

Dada la hipótesis de investigación:

La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido influye negativamente en sus propiedades físicas y positivamente en sus propiedades mecánicas, generando pérdida de asentamiento, mejorando levemente su resistencia a la compresión y aumentando su resistencia a la flexión. En relación con el diseño de mezcla ACI 211 propuesto para la elaboración de las probetas especímenes de concreto utilizando el Cemento Portland tipo I en el Laboratorio de Estructuras y Concreto de la Universidad Privada del Norte – sede San Isidro de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad.

Se redacta la hipótesis específica 01:

La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido influye negativamente en sus propiedades físicas, generando pérdida de asentamiento.

H_1 = Influyen negativamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades físicas, generando pérdida de asentamiento.

H_0 = No Influyen negativamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades físicas, generando pérdida de asentamiento.

Por lo tanto:

H_0 : $\sigma \geq 3.5$

H_1 : $\sigma < 3.5$

El promedio del grupo patrón es de 3.5

Se determina el α :

Se considera un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Elección de la prueba estadística:

Tabla 52: Elección de la prueba de hipótesis

		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
Variable Fija	Variable Aleatoria	NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓNICA	ORDINAL	NUMÉRICA
Estudio Transversal	un grupo	X ² Bondad de Ajuste Binominal	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
	Dos grupos	X ² Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X ² de Homogeneidad	U Mann-Withney	T de Student (muestras independientes)
Muestras independientes	Más de dos grupos	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	H Kruskai-Wallis	ANOVA con un factor INTERsujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
Muestras relacionadas	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	Anova para medidas repetidas (INTRAsujetos)

Fuente: Google.

Se considerará una prueba paramétrica Anova con un factor INTER sujetos

Prueba Anova con un factor INTER sujetos

Tabla 53: Resultados del asentamiento del concreto

PATRÓN	6 Kg/m ³	8 Kg/m ³	10 Kg/m ³
3.5	2	1.5	0.5
3	2	1	0.5
3.5	2.5	1.5	0.5

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Sacar el promedio de cada grupo

$$\begin{aligned} X_1 &= 3.33 \\ X_2 &= 2.17 \\ X_3 &= 1.33 \\ X_4 &= 0.50 \end{aligned}$$

- Calcular el "n"

$$\begin{aligned} c &= 4 \\ r &= 3 \\ n &= c \cdot r = 12 \end{aligned}$$

- Calcular la gran media

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \bar{x}_4}{\# \bar{x}} \\ \bar{x} &= \frac{3.33 + 2.17 + 1.33 + 0.50}{4} \\ \bar{x} &= 1.83 \end{aligned}$$

- Suma de cuadrados totales (SCT)

$$SCT = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Tabla 54: Suma de cuadrados totales

X_1	X_2	X_3	X_4	TOTAL
2.78	0.03	0.11	1.78	4.69
1.36	0.03	0.69	1.78	3.86
2.78	0.44	0.11	1.78	5.11
6.92	0.50	0.92	5.33	13.67

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCT = 13.67$$

- Suma de cuadrados de tratamientos

$$\begin{aligned}
 SCTR &= \sum ij(\bar{x}_j - \bar{x})^2 \\
 &= r(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 = 6.75 \\
 &= r(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 = 0.33 \\
 &= r(\bar{x}_3 - \bar{x})^2 = 0.75 \\
 &= r(\bar{x}_4 - \bar{x})^2 = 5.33 \\
 SCTR &= 13.17
 \end{aligned}$$

- Suma de cuadrados de error

$$SCE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Tabla 55: Suma de cuadrados error

X1	X2	X3	X4	TOTAL
0.028	0.028	0.028	0	0.083
0.111	0.028	0.111	0	0.250
0.028	0.111	0.028	0	0.167
0.167	0.167	0.167	0	0.500

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCE = 0.5$$

- Cálculo de los diferentes cuadrados.

Tabla 56: Resultados de los diversos cuadrados

Cuadrado medio total (CMT)	SCT / (n-1)	1.24
Cuadrado medio tratamiento (CMTR)	SCTR / (c-1)	4.39
Cuadrado medio error (CME)	SCE / (n-c)	0.06

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Prueba de Fisher

$$f = \frac{CMTR}{CME}$$

$$f = \frac{4.39}{0.06}$$

$$f = 70.22 \text{ (prueba)}$$

- Buscar en la tabla de Fisher

$$GL = \frac{(C-1)}{(n-C)}$$

$$GL = \frac{4-1}{12-4}$$

$$GL = \frac{3}{8}$$

Tabla 57: Cálculo de la F crítica

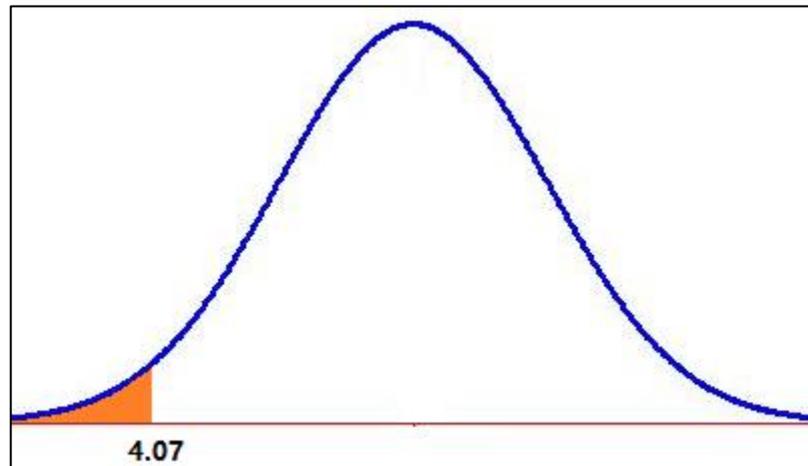
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34

Fuente: Google

Según tabla: 4.07 (crítica)

Regla de decisión

Figura 23: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 01



Fuente: propia (editado)

Fisher= 70.22

Si Fisher \leq Valor tabla, se acepta la H_0 .

Si Fisher $>$ Valor tabla, se rechaza la H_0 .

70.22 $>$ 4.07, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

Se usó el programa IBM SPSS para la prueba de Anova, calculando la F de Fisher de los datos del asentamiento del concreto; este resultado que se mostrará a continuación:

Tabla 58: Cálculo de Fisher del asentamiento, usando IBM SPSS

ANOVA					
ASENTAMIENTO	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13,167	3	4,389	70,222	,000
Dentro de grupos	,500	8	,063		
Total	13,667	11			

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Se comprobó que el resultado de Fisher calculado por el programa fue igual al calculado manualmente.

Se redacta la hipótesis específica 02:

La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido influye positivamente en sus propiedades mecánicas, mejorando levemente su resistencia a la compresión.

H₁= Influyen positivamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades mecánicas, mejorando levemente su resistencia a la compresión.

H₀= No Influyen positivamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades mecánicas, mejorando levemente su resistencia a la compresión.

Por lo tanto:

H₀: $\sigma \leq 328$

H₁: $\sigma > 328$

El promedio del grupo patrón es de 328.

Se determina el α :

Se considera un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Elección de la prueba estadística:

Se considerará una prueba paramétrica Anova con un factor INTER sujetos

Prueba Anova con un factor INTER sujetos

Tabla 59: Resultados de la resistencia a la compresión

PATRÓN	6 kg/m ³	8 kg/m ³	10 kg/m ³
338	340	344	354
331	333	346	361
315	339	352	374

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Sacar el promedio de cada grupo

$$\begin{aligned} X_1 &= 328.00 \\ X_2 &= 337.33 \\ X_3 &= 347.33 \\ X_4 &= 363.00 \end{aligned}$$

- Calcular el "n"

$$\begin{aligned} c &= 4 \\ r &= 3 \\ n &= c \cdot r = 12 \end{aligned}$$

- Calcular la gran media

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \bar{x}_4}{\#x} \\ \bar{x} &= \frac{328.00 + 337.33 + 347.33 + 363.00}{4} \\ \bar{x} &= 343.92 \end{aligned}$$

- Suma de cuadrados totales (SCT)

$$SCT = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Tabla 60: Suma de cuadrados totales

X_1	X_2	X_3	X_4	TOTAL
35.01	15.34	0.01	101.67	152.03
166.84	119.17	4.34	291.84	582.19
836.17	24.17	65.34	905.01	1830.69
1038.02	158.69	69.69	1298.52	2564.92

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCT = 2564.92$$

- Suma de cuadrados de tratamientos

$$\begin{aligned}
 SCTR &= \sum_{ij} (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \\
 &= r(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 = 760.02 \\
 &= r(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 = 130.02 \\
 &= r(\bar{x}_3 - \bar{x})^2 = 35.02 \\
 &= r(\bar{x}_4 - \bar{x})^2 = 1092.52 \\
 SCTR &= 2017.58
 \end{aligned}$$

- Suma de cuadrados de error

$$SCE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Tabla 61. Suma de cuadrados totales

X1	X2	X3	X4	TOTAL
100.00	7.11	11.11	81.00	199.22
9.00	18.78	1.78	4.00	33.56
169.00	2.78	21.78	121.00	314.56
278.00	28.67	34.67	206.00	547.33

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCE = 547.33$$

- Cálculo de los diferentes cuadrados.

Tabla 62: Cálculo de los diferentes cuadrados

Cuadrado medio total (CMT)	SCT / (n-1)	233.17
Cuadrado medio tratamiento (CMTR)	SCTR / (c-1)	672.53
Cuadrado medio error (CME)	SCE / (n-c)	68.42

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Prueba de Fisher

$$f = \frac{CMTR}{CME}$$

$$f = \frac{672.53}{68.42}$$

$$f = 9.83(\text{prueba})$$

- Buscar en la tabla de Fisher

$$GL = \frac{(C-1)}{(n-C)}$$

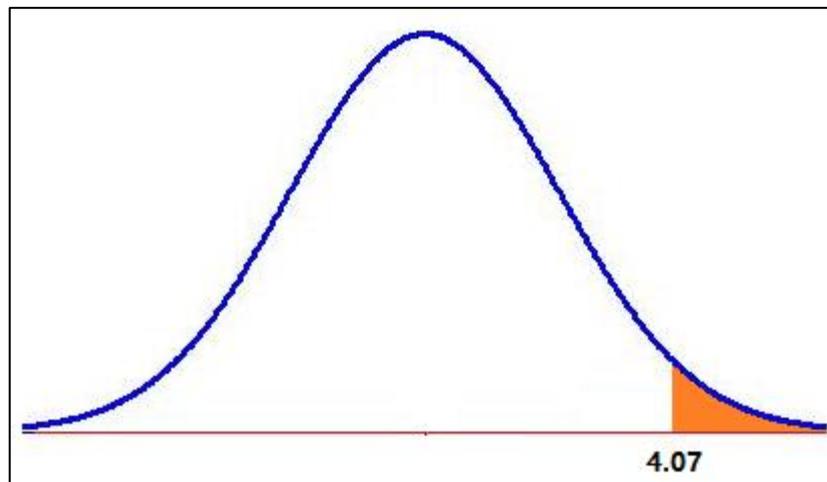
$$GL = \frac{4-1}{12-4}$$

$$GL = \frac{3}{8}$$

Según tabla: interceptamos y nos da un valor de 4.07 (crítica)

Regla de decisión

Figura 24: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 02



Fuente: propia (editado)

Fisher= 9.83

Si Fisher \leq Valor tabla, se acepta la H_0 .

Si Fisher $>$ Valor tabla, se rechaza la H_0 .

$9.83 > 4.07$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

Se usó el programa IBM SPSS para la prueba de Anova, calculando la F de Fisher de los datos de la resistencia a la compresión. Este resultado que se mostrará a continuación:

Tabla 63: Cálculo de Fisher de la resistencia a la compresión, usando IBM SPSS

ANOVA					
RESISTENCIA COMPRESIÓN					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2017,583	3	672,528	9,830	,005
Dentro de grupos	547,333	8	68,417		
Total	2564,917	11			

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Se comprobó la igualdad del Fisher, calculando dicho valor manualmente y mediante el programa.

Hipótesis específica 03

La incorporación de fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto pavimento de rígido influye positivamente en sus propiedades mecánicas aumentando su resistencia a la flexión.

H_1 = Influyen positivamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades mecánicas, aumentando su resistencia a la flexión.

H_0 = No Influyen positivamente las fibras de filamentos de cobre reciclado en un concreto de pavimento rígido en sus propiedades mecánicas, aumentando su resistencia a la flexión.

Por lo tanto:

H_0 : $\sigma \leq 44.6$

H_1 : $\sigma > 44.6$

El promedio del grupo patrón es de 44.6

Se determina el α :

Se considera un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Elección de la prueba estadística:

Se realizará una prueba paramétrica Anova con un factor INTER sujetos

Prueba Anova con un factor INTER sujetos

Tabla 64: Resultados de resistencia a la flexión

PATRÓN	6 kg/m ³	8 kg/m ³	10 kg/m ³
44.05	51.03	53.79	55.97
46.52	51.47	55.83	55.89
43.35	52.49	52.88	56.12

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Sacar el promedio de cada grupo

$$X_1 = 44.64$$

$$X_2 = 51.66$$

$$X_3 = 54.17$$

$$X_4 = 55.99$$

- Calcular el "n"

$$c = 4$$

$$r = 3$$

$$n = c * r = 12$$

- Calcular la gran media

$$x = \frac{\overline{x_1} + \overline{x_2} + \overline{x_3} + \overline{x_4}}{\#x}$$

$$x = \frac{44.64 + 51.66 + 54.17 + 55.99}{4}$$

$$x = 51.62$$

- Suma de cuadrados totales (SCT)

$$SCT = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Tabla 65: Suma de cuadrados totales

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	TOTAL
57.24	0.34	4.73	18.96	81.27
25.97	0.02	17.76	18.27	62.02
68.32	0.76	1.60	20.29	90.97
151.53	1.13	24.08	57.51	234.26

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCT = 234.26$$

- Suma de cuadrados de tratamientos

$$\begin{aligned} SCTR &= \sum ij(\bar{x}_j - \bar{x})^2 \\ &= r(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 = 145.99 \\ &= r(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 = 0.01 \\ &= r(\bar{x}_3 - \bar{x})^2 = 19.52 \\ &= r(\bar{x}_4 - \bar{x})^2 = 57.49 \\ SCTR &= 223.00 \end{aligned}$$

- Suma de cuadrados de error

$$SCE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Tabla 66: Suma de cuadrados error

X1	X2	X3	X4	TOTAL
0.35	0.40	0.14	0.00	0.89
3.53	0.04	2.77	0.01	6.35
1.66	0.68	1.66	0.02	4.02
5.55	1.12	4.56	0.03	11.26

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

$$SCE = 11.26$$

- Cálculo de los diferentes cuadrados.

Tabla 67: Cálculo de los cuadrados diferentes

Cuadrado medio total (CMT)	SCT / (n-1)	21.30
Cuadrado medio tratamiento (CMTR)	SCTR / (c-1)	74.33
Cuadrado medio error (CME)	SCE / (n-c)	1.41

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

- Prueba de Fisher

$$f = \frac{CMTR}{CME}$$

$$f = \frac{74.33}{1.41}$$

$$f = 52.81(\text{prueba})$$

- Buscar en la tabla de Fisher

$$GL = \frac{(C-1)}{(n-C)}$$

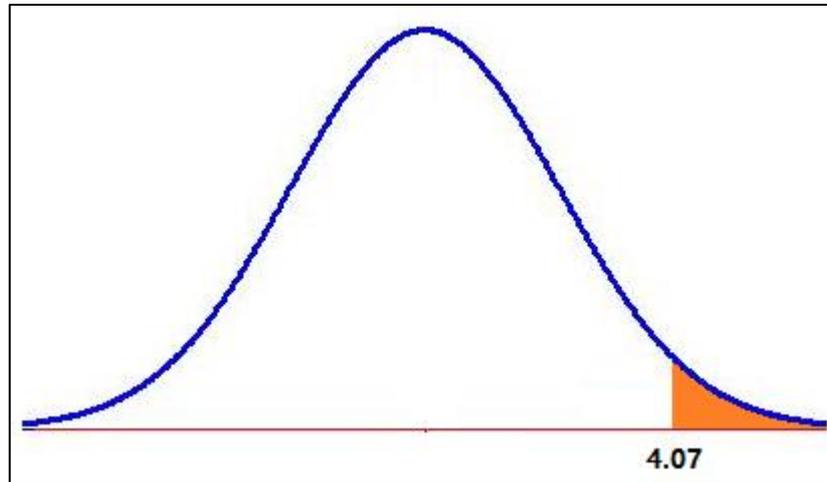
$$GL = \frac{4-1}{12-4}$$

$$GL = \frac{3}{8}$$

Según tabla: interceptamos y nos da un valor de 4.07 (crítica)

Regla de decisión

Figura 25: F crítica en la curva tipo campana, hipótesis 03



Fisher= 52.81

Si Fisher \leq Valor tabla, se acepta la H_0 . (Rechazamos)

Si Fisher $>$ Valor tabla, se rechaza la H_0 . (Aceptamos)

52.81 $>$ 4.07, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Se acepta la hipótesis alternativa la H_1 .

Por otro lado, se usó el programa IBM SPSS para la prueba de Anova, calculando la F de Fisher. Resultado que se mostrará a continuación:

Tabla 68: Cálculo de Fisher para la resistencia a la flexión usando IBM SPSS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	223,001	3	74,334	52.814	,000
Dentro de grupos	11,260	8	1,407		
Total	234,261	11			

Fuente: Base de datos.

Elaboración propia

Se comprobó que el resultado de Fisher fue el mismo al calcularlo manualmente.

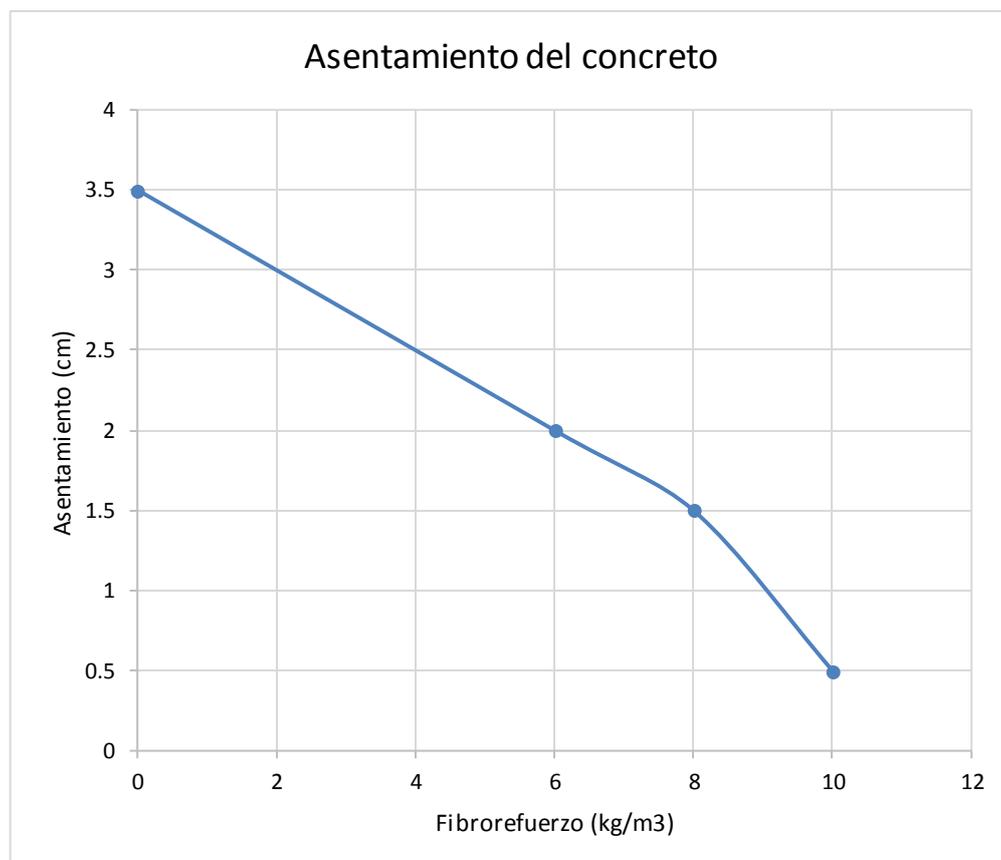
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

En la discusión de resultados, se tomará en cuenta a los que correspondan a la caracterización de agregados, las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia 280 kg/cm^2 .

- Al realizar el ensayo de análisis granulométrico del agregado fino, se calculó un módulo de finura (MF) de 2.56, dicho valor se encuentra en el intervalo de 2.3 y 3.1, estando dentro de un rango recomendado por la norma NTP 400.037.
- Respecto al análisis granulométrico del agregado grueso; se calculó un Tamaño Máximo de 1" y un Tamaño Máximo Nominal de $3/4$ ", dichos valores son correctos, ya que uno es el inmediato inferior del otro.
- En lo que corresponde al contenido de humedad (P), tanto del agregado fino, como del agregado grueso, fueron variables; ya que el agregado fino obtuvo un ($P = 1.7 \%$), mientras que el agregado grueso obtuvo un valor de ($P = 0.4 \%$).
- El realizar el ensayo de peso unitario seco suelto (PUSS) del Agregado Fino, se obtuvo un valor de 1700 kg/m^3 ; y respecto al Agregado Grueso, se obtuvo un valor de 1440 kg/m^3 ; superando el valor del agregado fino al agregado grueso.
- En lo correspondiente al peso unitario seco compacto (PUSC), para el agregado grueso se calculó un valor de 1580 kg/m^3 . Aquellos valores tuvieron concordancia, ya que siendo más pequeñas las partículas de agregado fino, llenan más vacíos en el recipiente de ensayo, y por lo tanto el recipiente obtiene mayor peso. Siendo dicho dato necesario para el cálculo del peso seco del agregado grueso.
- En lo que concierne al peso específico (P_e) del agregado fino, se calculó un valor promedio de 2.59 g/cm^3 ; por otro lado, en el agregado grueso se obtuvo un valor promedio de 2.68 g/cm^3 .

- Respecto al cálculo del porcentaje de absorción de los agregados (% Abs); se obtuvo para el agregado fino un valor promedio de 2.8 %, mientras que para el agregado grueso, se calculó un valor promedio de 0.9 %; márgenes permitidos por la normas NTP 400.022 y NPT 400.021, respectivamente.
- En relación al diseño de mezcla por el método ACI 211, se realizó el cálculo para un concreto de resistencia de 280 kg/cm^2 , con un peso húmedo de $2\,367 \text{ kg/m}^3$. Donde se obtuvo el peso de sus componentes de la siguiente manera: cemento 408 kg/m^3 , agua 202 kg/m^3 , agregado fino 735 kg/m^3 , agregado grueso $1\,022 \text{ kg/m}^3$ y aire incluido del 2%.
- Respecto a la propiedad física evaluada (asentamiento), presentó la curva que se muestra en la siguiente figura:

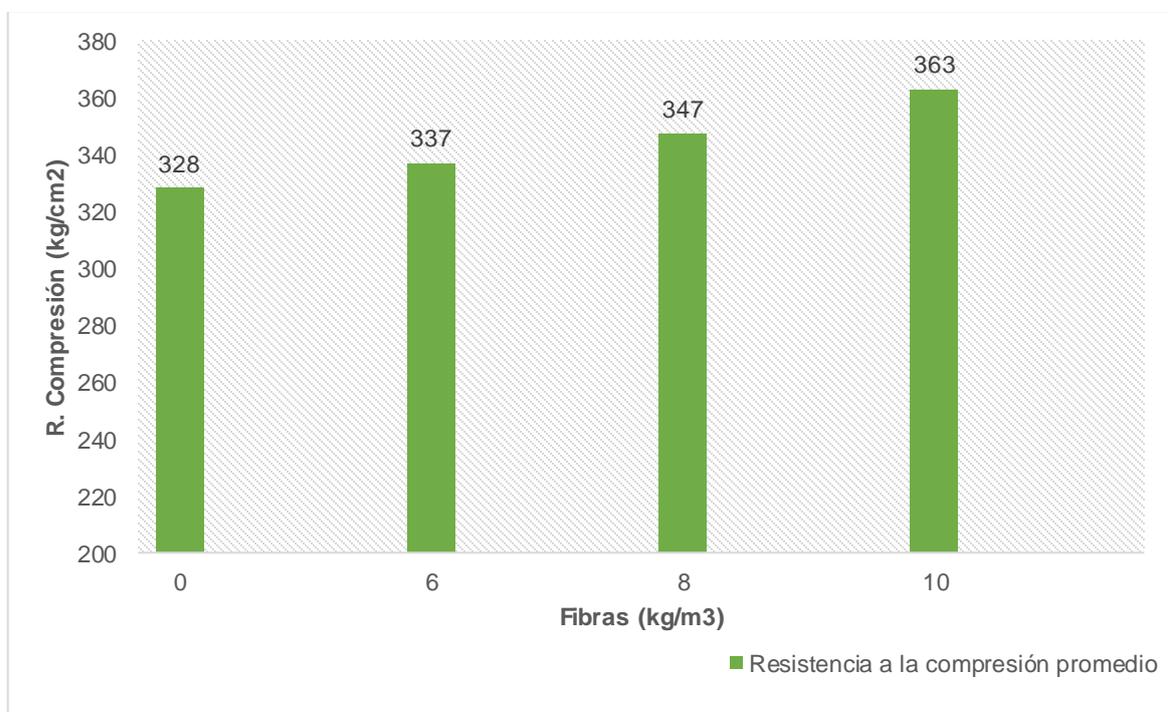
Figura 26: Asentamiento del concreto reforzado con fibras de filamentos de cobre.



Fuente: Elaboración propia

- Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco bajo la norma NTP 339.035. En donde, se sometió a un primer ensayo de asentamiento del concreto patrón (concreto sin incorporación de fibras), que presentó un asentamiento promedio 3.5 cm; por otro lado, se realizó un segundo ensayo incorporando 6 kg/m³, que presentó un asentamiento promedio de 2.0 cm; después se realizó un tercer ensayo donde se incorporó 8 kg/m³, presentando un asentamiento de 1.5 cm; finalmente, se realizó un ensayo en donde se incorporó 10 kg/m³, donde la muestra presentó un asentamiento promedio de 0.5 cm. Se produjo una reducción de asentamiento del concreto a medida que se incorporaron fibras de filamentos de cobre reciclado. La reducción del asentamiento del concreto surgió por la absorción de agua de la mezcla de concreto, por parte de las fibras de cobre. Al aumentar la cantidad de fibras en la mezcla, existirán más partículas que absorberán agua, por lo tanto, disminuirá el asentamiento de la mezcla de concreto.
- Se realizó un análisis de los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto, como se muestra en la *figura 27*.

Figura 27: Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de cobre.



Fuente: Elaboración propia

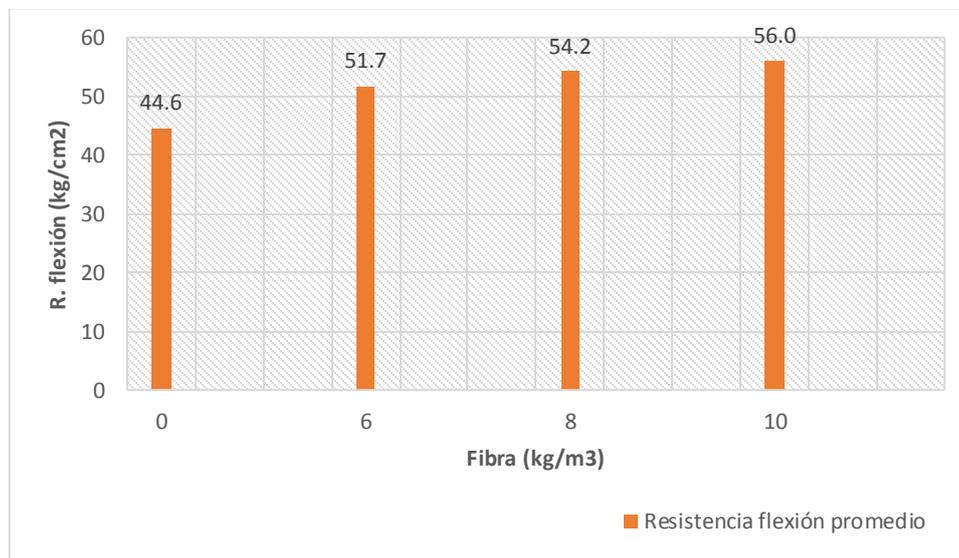
Se obtuvo, que a medida que se le fue incorporando fibras se incrementó ligeramente la resistencia a la compresión. Ya que con 6 kg/m^3 se obtuvo 337 kg/cm^2 superando ligeramente al concreto patrón de 328 kg/cm^2 .

Con las demás proporciones, la resistencia fue creciendo ligeramente; obteniendo 347 kg/cm^2 con 8 kg/m^3 , y 363 kg/cm^2 con 10 kg/m^3 . Al comparar el valor de refuerzo más alto, con la resistencia del concreto patrón, se pudo observar un incremento de resistencia a la compresión de un 11%.

El incremento en las propiedades mecánicas del concreto surge a partir del mecanismo tipo puenteo que ejercen las fibras de filamentos de cobre en el concreto.

- Por último, se realizó un análisis de los resultados de la resistencia a la flexión de las vigas de concreto, como se muestra en la *figura 28*.

Figura 28: Resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras de cobre.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los datos obtenidos a partir del cálculo de la resistencia a la flexión de los especímenes prismáticos. Se observó, que a medida que se incrementó la cantidad de fibras en las vigas de concreto aumentó la resistencia a la flexión.

Tomando en cuenta, que la resistencia base a analizar, fue la del concreto patrón, de un valor promedio de 44.6 kg/cm^2 ; que al reforzarlo con fibras de cobre a razón de 6 kg/m^3 incrementó a 51.7 kg/cm^2 ; por otro lado, con 8 kg/m^3 subió su resistencia a 54.2 kg/cm^2 ; y finalmente con 10 kg/m^3 aumentó a 56.0 kg/cm^2 .

El mayor incremento surgió al reforzar al concreto con 10 kg/m^3 de fibra, obteniéndose así, una resistencia de 56.0 kg/cm^2 , en relación con los 44.6 kg/cm^2 del concreto patrón, surgiendo un evidente aumento del 26% al respecto. Siendo la causa del incremento el mecanismo de puenteo que generan las fibras en el concreto.

- En relación a los espesores de diseño del pavimento rígido, éstos fueron calculados usando el concreto patrón y el concreto reforzado, mediante el método AAHSTO – 93. Se obtuvo un espesor de diseño de 23.24 cm utilizando el concreto patrón y 20.19 cm utilizando el concreto con fibras a razón de 10 kg/m^3 . Se mostró una reducción de 3.05 cm en el espesor de la losa de concreto, siendo la principal causa de este fenómeno, las fibras de filamentos de cobre reciclado, ya que éstas, mejoran las propiedades mecánicas del concreto, en especial la resistencia a la flexión, que es un factor fundamental en el diseño un pavimento rígido por el AASHTO-93. La mejora en el rendimiento del concreto en flexión reduce el espesor de la capa de rodadura en el diseño del pavimento rígido.
- En el análisis económico de los pavimentos diseñados, se utilizó el costo del concreto del estudio definitivo de la carretera trabajada, donde el monto por metro cúbico de concreto ascendió a 435.16 soles . Inmediatamente, se comparó los costos del pavimento rígido por metro lineal, utilizando el concreto patrón y el concreto reforzado óptimo con fibras (10 kg/m^3), que obtuvieron costos de 728.15 soles y 830.32 soles respectivamente. Al realizar una comparación porcentual de los costos, se obtuvo que agregar al concreto fibras de filamentos de cobre reciclado, el costo se incrementa en un 14.03% respecto al concreto patrón.

CONCLUSIONES

- Se determinó la influencia de las fibras de filamentos de cobre reciclado sobre las propiedades físicas, donde se produjo pérdida de asentamiento a medida que se incrementó la dosis de fibra, y en las propiedades mecánicas se produjo un incremento de la resistencia a la compresión y en mayor medida de la resistencia a la flexión, correspondiente a un concreto para un pavimento rígido.
- Se determinó las características del agregado fino (arena) y del agregado grueso (piedra) bajo las normativas ASTM y NTP; donde los agregados seleccionados para la investigación, en su mayoría, cumplieron con los requisitos de la norma ASTM C-33 y/o NTP 400.037.
- Se realizó un diseño de mezcla de 280 kg/cm^2 por el método ACI 211, donde se obtuvieron los pesos húmedos necesarios para completar dicha resistencia; al calcular nos dio valores de un 17.2 % de cemento, 8.5 % de agua, 31.1 % de agregado fino y 43.2 % de agregado grueso; necesarios para un metro cúbico de concreto de 2 367 kg.
- Se elaboraron los especímenes cilíndricos bajo la norma ASTM C-39 / NTP 339.034 y especímenes prismáticos (viga) bajo la norma ASTM C-78 / NTP 339.078.
- Se determinó el asentamiento de cada tipo concreto bajo la norma ASTM C-143 / NTP 339.035 y se comparó el asentamiento del concreto patrón con los reforzados. Apreciándose que al reforzar el concreto con 10 kg/m^3 , se obtuvo mayor pérdida de trabajabilidad, con una reducción de 3.0 cm con respecto al concreto patrón.
- Se evaluó la variación de la resistencia a la compresión entre los especímenes cilíndricos de concreto patrón y los especímenes adicionados a partir de las fibras a base de filamentos de cobre, bajo la norma ASTM C-39; donde se presentó un incremento máximo del 11% del concreto reforzado respecto al concreto patrón.

- Se determinó la variación de la resistencia a la flexión, de las vigas de concreto patrón, con las vigas reforzadas con filamentos de cobre reciclado, bajo la norma ASTM C-78. Las vigas reforzadas presentaron un incremento máximo de resistencia del 26% respecto a las vigas de concreto patrón.
- Se calculó el espesor de la capa de rodadura de un pavimento rígido por el método AAHSTO-93, utilizando concreto patrón y reforzado; obteniendo espesores de 23.24 *cm* y 20.19 *cm* respectivamente. Al comparar los espesores de carpeta de rodadura de ambos pavimentos, se apreció una reducción de 3.05 *cm*.
- El análisis económico de los pavimentos evidenció un incremento de los costos en un 14.03 %, valor que se obtuvo, al comparar los costos del pavimento rígido diseñado con concreto patrón y el pavimento reforzado con fibras de filamentos de cobre reciclado.
- Se determinó que la óptima proporción de refuerzo en el concreto es del 10 *kg/cm*³, produciendo mayores ganancias en la resistencia a la compresión y flexión, con respecto a las otras proporciones de refuerzo estudiadas, reduciendo 3.05 *cm* la carpeta de rodadura del concreto de pavimento rígido.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los futuros tesis que deseen complementar la presente investigación, evaluar la fibra de filamentos de cobre reciclado en cantidades de 10 kg/m^3 , 15 kg/m^3 y 20 kg/m^3 de concreto, teniendo en cuenta que el tamaño a utilizar es de $50 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ en las pruebas de asentamiento, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.
- Se recomienda a aquellos futuros tesis que deseen realizar investigaciones con fibras diferentes a las metálicas; que utilicen fibras naturales y/o sintéticas en proporciones de 6 kg/m^3 , 8 kg/m^3 y 10 kg/m^3 a fin de comparar con los resultados obtenidos en la presente investigación.
- A aquellos tesis que realicen investigaciones relacionadas con el concreto, se les recomienda guardar las muestras de agregados en sacos plastificados, con el objetivo de que la muestra no pierda humedad. También, los sacos deben ser almacenados en un lugar bajo sombra y libre de humedad; para que, de ese modo, se mantengan las muestras en condiciones óptimas.
- Se recomienda aquellos tesis que realicen investigaciones con cobre reciclado, realizar un proceso previo de limpieza a las fibras de filamentos de cobre reciclado. Sumergir en agua con jabón y secar; para después remojar los cables en agua con limón. Al terminar se logrará que el material se encuentre apto para el concreto.

REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993*. Washington DC: AASHTO.
- Acocret. (2018). *Concreto con fibra*. [en línea] Recuperado el 12 de Julio de 2018, de <http://www.ecocret.com.pe/es/tipos-de-concreto/concreto-con-fibra>
- ASTM C143. (2015). *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM C39. (2018). *étodo de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM C78. (2018). *Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro)*. West Conshohocken: ASTM International.
- Cadima, m., Rodroguiz, j., & Aguirre, F. (2005). *Comportamiento de hormigones reforzados con y sin fibras*. La Paz: UPB.
- Cruz, P. & Botto, R.(2017). [en línea] Recuperado 10 junio del 2018, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21742/BottoLugoRaisalSabel2017.pdf?sequence=1>
- De la Cruz , W., & Quispe, W. (2014). *Influencia de la adición de fibras de concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas de la provincia de Huamanga - Ayacucho*. Ayacucho: Repositorio UNH.
- Departamento Nacional de Planeación de Colombia. (2017). [en línea] Recuperado el 5 de mayo del 2018 de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>
- Fernández, M. (2011). *Hormigón*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Imcyc. (2006). *Pruebas de resistencia a la compresión del concreto*. México d.c.: imcyc.
- Instituto mexicano del cemento y el concreto [Imcyc]. (2006). *Prueba de resistencia a la compresión del concreto*. México c.d.: imcyc.
- Jorba, J. G. (s.f.). *¿Por qué cilindros de 15cm. x 30 cm. para obtener la resistencia a la compresión del hormigón*. Madrid .
- Lao, W. (2007). *Utilización de fibras metálicas para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Pucallpa*. Lima: Repositorio URP.
- MACCAFERRI. (s.f.). *grupoestructurasysismicaumng*. [en línea] Recuperado el 02 de diciembre del 2017, de https://grupoestructurasysismicaumng.files.wordpress.com/2014/12/2-fibras_concretos_fibroreforzados_og.pdf
- Mármol. (2010). *Hormigones con fibras de acero caracteísticas mecánicas*. Madrid.
- Millan. (2013). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y su influencia en sus propiedades mecánicas en el Cantón Ambato provincia de Tungurahua*. Tungurahua.
- Noticias 2D. (2017). *La importancia del concreto en la construcción: diferencias respecto a hormigón y cemento*. [en línea]. Recuperado el 18 de noviembre del 2018, de <http://www.noticias2d.com/2017/03/02/la-importancia-del-concreto-en-la-construccion-diferencias-respecto-a-hormigon-y-cemento/>

- NRMCA. (2017). Concreto en la práctica ¿Qué, Por qué y como. [en línea]. Recuperado el 10 de octubre del 2017, de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
- NTP 339. 078. (2012). *Método de ensayo para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del tramo*. Lima: INACAL.
- NTP 339.033. (2009). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. Lima: INDECOPI.
- NTP 339.034. (2008). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Lima: INDECOPI.
- NTP 339.034. (2009). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto*. Lima: Indecopi.
- NTP 339.034. (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima: INACAL.
- NTP 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland*. Lima: INDECOPI.
- NTP 339.035. (2015). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Lima: INACAL.
- NTP 339.036. (2017). *Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco*. Lima: INACAL.
- NTP 339.037. (2003). *Práctica normalizada para el refrendado de testigos cilíndricos de concreto*. Lima: INDECOPI.
- NTP 339.185. (2002). *Método de ensayo normalizado para el contenido de humedad evaporable en agregados por secado*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.012. (2002). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.017. (2011). *Método de ensayo normalizado para la determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos de los agregados*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.021. (2002). *Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.022. (2002). *Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino*. Lima: INDECOPI.
- Oliveira, F. (2018). *IBCH*. [en línea] Recuperado el 2 de abril del 2018, de <https://www.construccionlatinoamericana.com/noticias/ibch-abre-nuevo-curso-de-pavimentacion-en-concreto/132330.article>
- Peñaloza, C. (2015). *Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia .
- Perez, J. (2016). *Comportamiento físico mecánico (resistencia a la compresión, resistencia a flexión y resistencia a tracción) del concreto con fibras de polipropileno - Trujillo - La Libertad* . Trujillo: Repositorio UPN.
- Ramírez Rojas, W. D., & Zavaleta Alvarado, R. J. (7 de Julio de 2018). *Repositorio UPAO*. Obtenido de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3592>
- Rodríguez, A. (s.f.) *Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto*. [en línea] Recuperado el 18 marzo del 2017, de http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf.

- RPP. (2017). *Trujillo: transportistas sufren por mal estado de pistas* [en línea]. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <http://rpp.pe/peru/la-libertad/trujillo-transportistas-sufren-por-mal-estado-de-pistas-noticia-1046358>
- Sanchez Muñoz, F. L., & Tapia Medina, R. D. (2015). *RELACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE*. Trujillo.
- Sika. (2014). *Concreto reforzado con fibras*. Bogotá: Sika .
- Silva, O. (2017). *BLOG 360° EN CONCRETO*. [en línea]. Recuperado el 16 de febrero de 2017, de Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/durabilidad-desempeno-fibras-acero-pavimentos-concreto/>
- Sotil, A., & Jorge, Z. (2015). *Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® FF4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido*. Lima: Repositorio UPC.
- Torres, H. (2014). *Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .
- UNICON (2016). *UNICONSEJOS: Determinación del Asentamiento (Slump) del Concreto* [en línea] recuperado el 3 de mayo de 2016, de <http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-determinacion-del-asentamiento-slump-del-concreto/70>
- UNICON (2017). *Concreto con Fibra UNICON* [en línea]. Recuperado el 02 de Diciembre de 2017, de <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/con-fibra/120/c-120>

ANEXO N°04. Informe de resultados de laboratorio página 01

Solicitante: Junchaya Donayre, Keila Cristel - DNI 71385888

Documento: 01

Institución: Universidad Privada del Norte

Título: "Influencia de las fibras de filamentos de cobre reciclado sobre las propiedades físico – mecánicas de un concreto de pavimento rígido, Trujillo 2018"

MUESTRA

Especímenes:

- 12 cilindros de concreto de dimensiones de 30 cm de largo x 15 cm de diámetro.
- 12 vigas de concreto de dimensiones de 50 cm. de largo x 15 cm x 15 cm.
- 12 especímenes moldeadas por el cono de Abrams.

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Muestreador: La Tesista

ENSAYOS APLICADOS:

- NTP 339.033. Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto.
- NTP 339.035. Medición del asentamiento del concreto por el método del cono de Abrams (ASTM C 143).
- NTP 339.034. Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de concreto (ASTM C 39).
- NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en los puntos tercios del tramo (ASTM C 78).



Coordinador de Laboratorio
Carrera de Ingeniería Civil

Jefe de Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco

Trujillo, 26 febrero del 2017

ANEXO N°05. Informe de resultados de laboratorio página 02

INFORME N° 001- FEB-2018

PARÁMETROS DEL EQUIPO: F-25EX-F-Co-Pilot, precisión $\pm 0.5\%$

Modo	Unidades	Velocidad de carga (Kg/s)
Mode 1 Compresión	SI	550
Mode 2 Flexión	SI	46

PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS:

Fecha de vaciado concreto	Fecha de rotura	Estructura	Tiempo Curado
26/01/2018 27/01/2018 28/01/2018 29/01/2018	22/02/2017 23/02/2017 24/02/2017 25/02/2017	Viga Concreto de reforzado con fibras de filamentos de cobre reciclado	28 días
26/01/2018 27/01/2018 28/01/2018 29/01/2018	22/02/2017 23/02/2017 24/02/2017 25/02/2017	Cilindro Concreto de reforzado con fibras de filamentos de cobre reciclado	28 días

NTP 339.035. Medición del asentamiento del concreto por el método del cono de Abrams (ASTM C 143).

	ASENTAMIENTO 01 (cm)	ASENTAMIENTO 02 (cm)	ASENTAMIENTO 03 (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (in)
PATRÓN	3.5	3.0	3.5	3.5	1 1/2
6 KG/M3	2.0	2.0	2.5	2	3/4
8 KG/M3	1.5	1.0	1.5	1.5	1/2
10 KG/M3	0.5	0.5	0.5	0.5	1/4



Coordinador de Laboratorio
Carrera de Ingeniería Civil

Jefe de Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco

Trujillo, 26 febrero del 2017

ANEXO N°06. Informe de resultados de laboratorio página 03

NTP 339.034. Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de concreto

Dosificación concreto	Dimensiones		Tipo de falla	Carga (kg)	Resistencia compresión f'c (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)	
	Diámetro p. (mm)	Área (cm)					
PATRÓN	P-1	151.6	180.5	(c)	61083	338	328
	P-2	151.8	181	(c)	59828	331	
	P-3	151.9	181.2	(c)	57109	315	
6 Kg/m ³	P6-1	151.2	179.6	(c)	61145	340	337
	P6-2	151.3	179.8	(d)	59865	333	
	P6-3	151.7	180.7	(c)	61273	339	
8 Kg/m ³	P8-1	151.3	179.8	(c)	61841	344	347
	P8-2	151.2	179.6	(c)	62196	346	
	P8-3	151.5	180.3	(c)	63546	352	
10 Kg/m ³	P10-1	150.1	177.0	(d)	62673	354	363
	P10-2	150.1	177.0	(c)	63965	361	
	P10-3	150.3	177.4	(c)	66427	374	

NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en los puntos tercios del tramo

Dosificación concreto	Dimensiones (precisión 1mm) según NTP 339.078			Carga (kg)	Tramo de falla	Resistencia flexión M'r (kg/cm ²)	Resistencia flexión promedio M'r (kg/cm ²)	
	Alto (mm)	Ancho (mm)	Luz libre (mm)					
PATRÓN	P-1	150	150	450	3304	Central	44.05	44.6
	P-2	150	150	450	3489	Central	46.52	
	P-3	150	150	450	3251	Central	43.35	
6 Kg/m ³	P6-1	150	150	450	3827	Central	51.03	51.7
	P6-2	150	150	450	3860	Central	51.47	
	P6-3	150	150	450	3937	Central	52.49	
8 Kg/m ³	P8-1	150	150	450	4034	Central	53.79	54.2
	P8-2	150	150	450	4187	Central	55.83	
	P8-3	150	150	450	3966	Central	52.88	
10 Kg/m ³	P10-1	150	150	450	4198	Central	55.97	56.0
	P10-2	150	150	450	4192	Central	55.89	
	P10-3	150	150	450	4209	Central	56.12	

Jefe de Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco

Trujillo, 26 febrero del 2017



Coordinador de Laboratorio
Carrera de Ingeniería Civil

ANEXO N°07. Ficha técnica del cemento utilizado en la elaboración del concreto.



PACASMAYO

CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Montemar Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 696 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I
Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C-150
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autodave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3 días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 285)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
(*) Requisito opcional.



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

ANEXO N°08. Certificado de calibración del equipo de ensayos mecánicos.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. <small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Fuerza</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 097 - 2017
		Página 1 de 1
1. Expediente	17086	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad	250000 lbf	
Marca	FORNEY	
Modelo	F-25EX-F-CPIL0T	
Número de Serie	12117	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	FORNEY	
Modelo	TA-1252	
Número de Serie	NO INDICA	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Resolución	1 lbf	
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO - PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2017-04-25	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2017-04-28		
 JUAN C. QUISPE MORALES		
Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá N° 71 Lote M, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 372 / 971 439 282 RPM: *849372 / 8971439282 / 8942435342		www: www.metrologiatecnicas.com mail: metrologiatecnicas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com

ANEXO N°09. Ficha 01 de validación del instrumento de recolección de datos.

INFORME N° 001- FEB-2018

PARÁMETROS DEL EQUIPO: F-25EX-F-Co-Pilot, precisión $\pm 0.5\%$

Modo	Unidades	Velocidad de carga (Kg/s)
Mode 1 Compresión	SI	550
Mode 2 Flexión	SI	46

PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS:

Fecha de vaciado concreto	Fecha de rotura	Estructura	Tiempo Curado
		Viga Concreto de reforzado con fibras de filamentos de cobre reciclado	28 días
		Cilindro Concreto de reforzado con fibras de filamentos de cobre reciclado	28 días

NTP 339.035. Medición del asentamiento del concreto por el método del cono de Abrams (ASTM C 143).

	ASENTAMIENTO 01 (cm)	ASENTAMIENTO 02 (cm)	ASENTAMIENTO 03 (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (cm)	ASENTAMIENTO PROMEDIO (in)
PATRÓN					
6 KG/M3					
8 KG/M3					
10 KG/M3					

Jefe de Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco

Trujillo, del 2018

ANEXO N°10. Ficha 02 de validación del instrumento de recolección de datos.



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
Trujillo – Perú

INFORME N° 001- -2018

NTP 339.034. Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de concreto

Dosificación concreto	Dimensiones		Tipo de falla	Carga (kg)	Resistencia compresión f'c (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)
	Diámetro p. (mm)	Área (cm)				
PATRÓN	P-1					
	P-2					
	P-3					
6 Kg/m ³	P6-1					
	P6-2					
	P6-3					
8 Kg/m ³	P8-1					
	P8-2					
	P8-3					
10 Kg/m ³	P10-1					
	P10-2					
	P10-3					

NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en los puntos tercios del tramo

Dosificación concreto	Dimensiones (precisión 1mm) según NTP 339.078			Carga (kg)	Tramo de falla	Resistencia flexión M'r (kg/cm ²)	Resistencia flexión promedio M'r (kg/cm ²)
	Alto (mm)	Ancho (mm)	Luz libre (mm)				
PATRÓN	P-1						
	P-2						
	P-3						
6 Kg/m ³	P6-1						
	P6-2						
	P6-3						
8 Kg/m ³	P8-1						
	P8-2						
	P8-3						
10 Kg/m ³	P10-1						
	P10-2						
	P10-3						

[Handwritten Signature]

Jefe de Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco Trujillo, del 2018

ANEXO N°11. Panel fotográfico de ensayos de laboratorio

Figura 29: Extracción de los agregados de la cantera.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 30: Fibras de filamentos de cobre reciclado.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 31: Agitado de la muestra, para el análisis granulométrico de los agregados.



Fuente: Base de datos.
Elaboración propia

Figura 32: Peso de la muestra retenida por la malla No 50.



Fuente: Base de datos.
Elaboración propia

Figura 33: Peso unitario del agregado grueso



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 34: Enrasado de la muestra para el peso unitario del agregado grueso



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 35: Muestra de agregado grueso para el contenido de humedad.



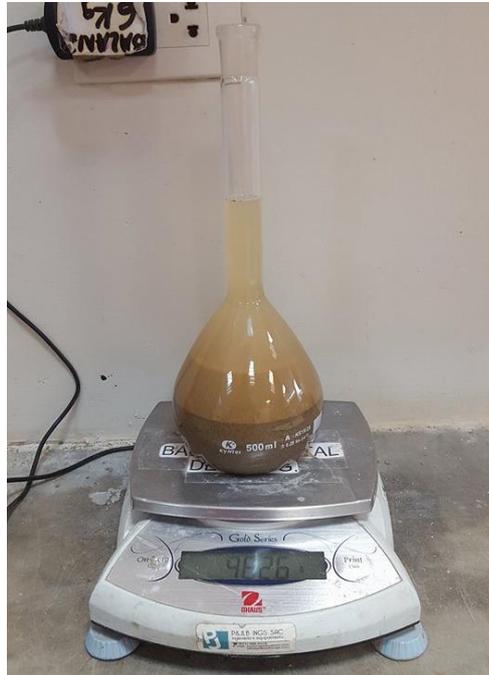
*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 36: Muestra de agregado fino para el contenido de humedad.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 37: Prueba del peso específico y absorción del agregado fino



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 38: Prueba de peso específico y absorción del agregado grueso



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 39: Mezclado de concreto



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 40: Proceso de mezcla de concreto



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 41: Medida de asentamiento del concreto



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 42: Medida del asentamiento del concreto patrón.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 43: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 6 kg/m³.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 44: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 8 kg/m³.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 45: Medida del asentamiento del concreto reforzado a 10 kg/m³.



Fuente: Base de datos.
Elaboración propia

Figura 46: Curado de probetas de concreto



Fuente: Base de datos.
Elaboración propia

Figura 47: Medición del diámetro promedio de los especímenes cilíndricos.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 48: Medición de las secciones de los especímenes tipo viga.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 49: Rotura del espécimen cilíndrico mediante el ensayo de resistencia a la compresión



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 50: Ensayo de resistencia a la flexión en espécimen tipo viga.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 51: Rotura de la primera tanda de especímenes



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 52: Rotura de especímenes por parte de la autora de la tesis.



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 53: Rotura de espécimen sin fibras



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 54: Rotura de espécimen con fibras



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*

Figura 55: Autora de la tesis junto a su asesor



*Fuente: Base de datos.
Elaboración propia*