

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A finales del siglo XX e inicios del siglo XXI el primer material manufacturado por el hombre, conocido como composite, fue el asbesto – cemento, cuyo invento correspondió a Ludwig Hatschek en 1899. Este nuevo material fue la tecnología dominante hasta 1960. En 1920 se patentaron cementos reforzados con fibras de vidrio y acero. En 1963 los investigadores Romualdi y Bason publicaron el resultado de algunas investigaciones sobre concretos con fibras de acero y esto llevó a su aplicación amplia en la industria de la construcción de pavimentos y pistas en la década del 70. En el caso de las fibras de vidrio, su baja resistencia a los álcalis fue un factor que impidió su uso a escala comercial. En la década del 60 al 70, se investigaron otras fibras como el polipropileno, polietileno, nylon, entre otras.

En las últimas décadas se han realizado diversas investigaciones para incorporar fibras de refuerzo al concreto, dando como resultado diversos materiales utilizados en la industria de la construcción. Las fibras utilizadas han sido muy variadas, desde fibra de acero, fibra de vidrio, polipropileno, fibras de nylon, y algunas otras fibras sintéticas y la investigación sobre ellos aún continúa. Sin embargo, a estos se les puede considerar generalmente inapropiados para países en desarrollo, debido a los altos costos y abastecimiento limitado de dichas fibras, lo que ha dirigido la atención hacia las fibras naturales, en particular de origen vegetal como, por ejemplo, el kenaf, el sisal, fique, coco, bambú, etc.

En Bolivia aún no se tienen estudios muy profundos acerca de las propiedades mecánicas, como elemento estructural, para el uso en la construcción; no obstante, se realizaron algunas investigaciones acerca del uso de las fibras de coco como elemento de adición para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón en algunas estructuras, como por ejemplo la adición de fibras de acero en la rehabilitación de la autopista de pavimento

rígido, tramo La Paz - El alto, en ese sentido la investigación de ese material para el uso en la construcción aún no está muy avanzado, por lo cual esta investigación pretende impulsar, el uso de nuevas tecnologías para mejorar la calidad de nuestras vías en cuanto su resistencia, economía, durabilidad, además de ser amigables con el medio ambiente.

Moreira (1986) ocupó fibras de sisal en pastas y morteros, aplicando ensayos de compresión, flexión y tensión. Ocuparon dimensiones de 20 y 50 mm de largo de fibras, las que fueron distribuidas aleatoriamente, se ocupó una relación $A/C=0,74$. Los resultados demostraron que la incorporación de fibras mantenía la resistencia a la compresión, tensión y flexión.

Filho (1990) reforzó morteros con fibras de Sisal variando la longitud, volumen y humedad inicial de las fibras “saturada” y “seca”. Los resultados demostraron que la resistencia a la flexión a los 63 días de edad es mayor en 10% en morteros sin fibras, además se determinó que la resistencia disminuía cuando la fibra tenía una humedad saturada. Se concluyó que la resistencia a flexión es mayor en especímenes con matrices de mortero con menor contenido de fibras.

Las fibras de coco a nivel mundial tienen un uso limitado en el ámbito industrial, ya que gran porcentaje de ésta termina en un horno para el curado de los ladrillos y otra cierta cantidad se destina a la elaboración de colchones, asientos, así como aislante y relleno acústico en autos. Estudios realizados indican que la fibra de coco tiene diversas propiedades dentro de las cuales citamos anti- electrostática, inodora, resistente a la humedad, no atacable por roedores o termitas, no permite la formación de hongos ni se pudre, baja difusión del vapor de agua, pequeños valores de conductividad térmica, elevada reducción de los ruidos por percusión, elevada reducción de ruidos aéreos.

Paricaguan (2015), utilizó fibras naturales de coco como agregado sustituto de una parte del agregado fino en la elaboración hormigones reforzados, utilizó dos tamaños de fibras uno corto entre 3 y 4cm, y uno largo entre 5 y 6cm, además otra variable fue el porcentaje de fibras en la mezcla. La resistencia a compresión para probetas con tamaño corto y largo con un porcentaje de 2,5% de aditivo de fibras fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, para las de 5% de concentración fue de 36,5 y 37 MPa y para las de 10% de concentración

fue de 27,5 y 30,5 MPa respectivamente. La resistencia a tracción en especímenes reforzados con un 2,5% fue de 4,8MPa para un tamaño largo.

En nuestro país aún no hay muchos trabajos de investigación referentes al uso de las fibras de coco o también llamadas estopas de coco, en el área de la industria, construcción o en el desarrollo de nuevas tecnologías para su implementación de proyectos viales de pavimento rígido.

1.2. Justificación

El resultado de la adición de la fibra en el hormigón ayuda a que en el hormigón en masa se mantenga unido o adherido al concreto o material, esto significa que impide que la grieta progrese o aumente en el concreto. Según observaciones y bibliografía consultada, se confirma que los refuerzos de la fibra de coco mejoran la tenacidad del concreto, ya que, si al momento de la falla una grieta que empiece a moverse a través del concreto se choca con una fibra, si la unión entre el concreto y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse por todo el concreto, a fin de continuar el proceso de fractura.

De acuerdo a las investigaciones realizadas, el avance constructivo en el área de vías y carreteras en los últimos años en nuestro país es muy alto, debido a esto se busca un nuevo material que sustituya en un porcentaje a los materiales convencionales como los agregados (Arena, Grava), ya que estos son materiales que son explotados indiscriminadamente afectando el medio ambiente y además que los pavimentos convencionales hoy en día resultan caros, poco económicos y con características técnicas obsoletas; Por esta razón lo que en este trabajo se pretende es mejorar las características mecánicas del hormigón como también su durabilidad y costo de ejecución y mantenimiento. En ese sentido este proyecto será una opción con una nueva metodología para el cálculo de losas de pavimentos rígidos para vías urbanas y carreteras de primer orden. Con lo cual se pretende optimizar económicamente, reduciendo el espesor de la losa y alargando la vida útil de este.

Por lo tanto, esta investigación permite promover el uso de la fibra de estopa de coco en hormigones para el desarrollo de nuevas metodologías de diseño de pavimentos rígidos, y de esa forma contribuir con el progreso del desarrollo vial del país. Así mismo, nos

referimos al desarrollo de materiales como una oportunidad única de mejorar la calidad de nuestras vías en todo el país.

1.3. Situación Problemática

Dentro del contexto de la problemática se define de la siguiente manera:

Sabemos que el hormigón es el material más usado en la construcción ya que tiene una infinidad de atributos que le permiten ser el material de construcción más usado para cualquier tipo de obra, este material presenta ciertas restricciones mecánicas, porque sin un acero de refuerzo es un material frágil. Una de las limitaciones son los cambios de volumen, los que producen tensiones de tracción, vale decir si el movimiento de un elemento es restringido tanto externa como internamente, existe un riesgo creciente que se produzca agrietamiento por causa de la retracción hidráulica que es un fenómeno que afecta a todas las estructuras de hormigón y representa una de las más inciertas propiedades del hormigón; la retracción se centra en factores específicos, siendo uno de ellos la pérdida de agua, dicho efecto genera grietas en el hormigón las cuales tienen incidencia en una poca durabilidad y servicialidad, que generan un impacto técnico, económico y de mala calidad en las obras de construcción civil.

Dentro la elaboración de pavimentos rígidos, el hormigón es el material más importante en el diseño de una losa de concreto, y su espesor dependerá entre otras las condiciones del tráfico, tipo de diseño y de la importancia que tenga la vía que se diseña.

Para el presente trabajo de proyecto de grado, se elaborará un análisis de losa de pavimento rígido incorporando fibra de coco, donde se analizará un hormigón conformado por la mezcla de grava, arena, agua, fibra de coco, cemento y aditivos de ser el caso para mantener su trabajabilidad. Si bien se conoce que el hormigón funciona muy bien a compresión, pero tiene falencias en otros esfuerzos como: la flexotracción que no desarrolla buena resistencia; donde se origina el problema. En ese sentido, muchas veces se refuerza con acero para convertirse en hormigón armado y soportar de mejor forma estos esfuerzos. A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de hormigones para obtener mayores resistencias disminuyendo la relación agua/cemento, Por lo tanto,

se vio que las fibras naturales es una opción para mejorar el comportamiento mecánico del hormigón como a los esfuerzos de compresión y flexotracción.

La fibra de coco se utilizará en este caso para evaluar su incidencia en la resistencia a compresión, flexión, retracción, optimizando la relación agua/cemento y con ello analizar reducción del espesor de losa en este tipo de estructura de pavimento Rígido.

1.3.1. Problema

¿Cómo la adición de fibras de estopa de coco influirá en la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón para una losa de pavimento?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- ✦ Analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas a compresión y a flexotracción del hormigón con adición de fibras de estopa de coco, a través de la rotura de probetas cilíndricas y prismáticas, para su aplicación en un diseño tipo de losa de pavimento según Norma AASHTO 93.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✦ Caracterizar los materiales a utilizar en la dosificación.
- ✦ Realizar la dosificación óptima de las fibras de estopas de coco, para una muestra patrón de hormigón.
- ✦ Determinar las resistencias a compresión y flexotracción de las muestras de hormigón con los diferentes porcentajes de las fibras de estopa de coco.
- ✦ Analizar los resultados de las resistencias a compresión y a flexotracción de las probetas cilíndricas y prismáticas.

1.5. Hipótesis

Sí, la adicción de fibras de estopa de coco en el hormigón, mejorara las propiedades mecánicas en cuanto a su resistencia a la flexotracción para la conformación de una losa de pavimento.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable Independiente

Porcentaje de adición de fibras de estopas de coco

1.6.2. Variables Dependientes

Resistencia a la Flexotracción o módulo de rotura de una losa con adicción de fibras de estopa de coco.

1.7. Unidades de Estudio y Decisión Muestral

1.7.1. Unidad de Estudio

Comportamiento a la tracción de las fibras de estopa de coco como material para adicción en la conformación de hormigón.

1.7.2. Población

Se toma en cuenta las fibras de estopa de coco, también llamada fibra bonote, que se clasifican en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de esteras o hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda, y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones

1.7.3. Muestra

La producción de coco proviene del trópico de la ciudad de Cochabamba, que tiene un suelo apto para las plantaciones de coco, las actuales palmeras de coco no son aprovechados en su comercialización, ya que los frutos se deshidratan espontáneamente en el medio ambiente y no muestran interés económico para la comunidad.

1.7.4. Muestreo

Existen dos tipos de muestreo que son el muestreo aleatorio o probabilístico y el muestreo no aleatorio o no probabilístico, todos útiles para la selección de muestras, sin embargo, se escogerán dependiendo con los recursos con que se cuente y el tipo de investigación a realizar.

Se utilizará el muestreo no Aleatorio, debido a que la investigación puede tener influencia en la selección de la misma, seleccionando a los sujetos a fin de alcanzar un objetivo determinado.

En ese sentido el muestreo se lo realizara tomando en cuenta las normas ASTM C 143, Norma Icontec 121 y 321. Y la Norma Boliviana NB 1225001.

1.8. Métodos y Técnicas empleadas

El proyecto de investigación **“ANÁLISIS EN UNA LOSA PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ESTOPA DE COCO”**

1.8.1. Métodos Utilizados

Se llevará a metodología lógico inductivo y empírico:

- ▲ Se realizará la recopilar información bibliográfica referente a la investigación planteada. Esta información, se la obtendrá a través de revisión de libros, revistas especializadas, páginas web, y artículos científicos.
- ▲ Las fibras serán extraídas de acuerdo a los términos de la muestra del trópico Cochabambino.
- ▲ Consecuentemente, se realizarán los ensayos de laboratorio de hormigones y materiales la U.A.J.M.S para determinar las propiedades mecánicas tanto de la fibra de coco como material independiente, así como el hormigón con la adición de fibras de coco como material estructural. Para este fin se utilizarán 3 tipos de fibras de estopas de coco ensayando 3 probetas prismáticas a los 7, 14 y 28 días; además, se realizarán 3 probetas prismáticas con un hormigón patrón también a los 7,14 y 28

días. Haciendo un total de 36 probetas prismáticas ensayadas.

Por otra parte, se realizará el ensayo de probetas cilíndricas a los 7, 14, y 28 días en un hormigón patrón y en un hormigón con adición de fibras de coco de un solo tipo seleccionado, de los que brinden los mayores esfuerzos a flexotracción en las probetas prismáticas para su comprobación a la compresión; ya que la principal función de una losa es resistir los esfuerzo a flexotracción más que a compresión. Haciendo un total de 18 probetas cilíndricas ensayadas.

1.8.2. Técnicas Utilizadas

Se realizará la observación científica de laboratorio:

- ▲ Con esta técnica, se realizará la observación de los estudios de la preparación de la muestra de hormigón con la utilización de un cemento IP - 40 Portland Tipo 1, las gravas, gravillas serán utilizadas trituradas de rio Guadalquivir de acuerdo a la norma boliviana del hormigón.
- ▲ Se elaborarán tres tipos de mezclas de concreto, y se considera como variable el porcentaje de adición de fibras en obra. Se trabajará con tres porcentajes de fibra, con las que se realizaran tres cantidades de adición de obra al concreto. Para todas las mezclas se trabajará con una misma muestra de concreto patrón, con lo cual se elaborará un cuadro de dosificaciones según el porcentaje de adicción de fibras.
- ▲ El llenado de los moldes se efectuará en tres capas, cada una apisonada por 25 golpes, por último, se golpeará otras 25 veces, pero ya a los lados del molde.
- ▲ Por último, se realizará los ensayos de las probetas prismáticas de la muestra de hormigón patrón y posteriormente las probetas prismáticas de hormigón con la adición de fibras de estopa de coco, de esta manera se podrá determinar el porcentaje de incremento del módulo de rotura de un hormigón con adicción de fibras de coco.

1.9. Procesamiento para el análisis y la interpretación de la información

Para el diseño metodológico de la presente investigación, utilizaremos el **EXPERIMENTAL** porque se manipularán las variables para señalar su relación con los efectos a través de observaciones. La experimentación es una técnica utilizada para encontrar el comportamiento de una variable a partir de diferentes combinaciones de factores o variables de entrada de un proceso, que al cambiar afectan la respuesta, esta técnica busca la manipulación sistemática de las variables de entrada de un proceso para entender el efecto que estas pueden causar en la variable respuesta.

En ese sentido la aplicación del **METODO EXPERIMENTAL**, se lo realizará utilizando la fibra de estopa de coco como variable que tendrá la función de incrementar la resistencia a la flexotracción en una losa de hormigón según la hipótesis planteada, para tal efecto se utilizaran fibras de coco en porcentajes diferentes de 0,25%, 0,5%, 0,75% y 1,00%, con lo cual se determinara el porcentaje óptimo que incremente la resistencia a flexotracción de una losa

Dentro de la gran cantidad de variables que existen, dos son las fundamentales. En primer lugar, la variable independiente es aquella que se manipula y pone a prueba en una investigación para corroborar la veracidad o falsedad de una hipótesis. Específicamente, una variable independiente es una cualidad, aspecto o característica que afecta a otra variable. Como el nombre lo indica, es una variable cuyos valores no se modifican durante la investigación.

En segundo lugar, una variable dependiente es aquella cualidad o característica que se ve afectada como consecuencia de la manipulación de la variable independiente. Estas son, precisamente, las variables que se miden para interpretar los datos de una investigación.

El diseño es experimental con categoría **CUASIEXPERIMENTAL**, porque se buscará la constatación de la hipótesis a través de respuestas de la relación causal entre las variables; la definición del cuasi experimento “Cuando no hay grupo control, no es posible realizar la asignación aleatoria, se realiza dos mediciones en el mismo grupo.

Por otra parte, utilizaremos el **MÉTODO EXPLICATIVO** como un instrumento utilizado en muchos tipos de investigación; es casi como el objetivo final, la meta o la exigencia, ya que busca respuesta a una pregunta fundamental, por el deseo de conocer y saber del ser humano: “¿Por qué?”. Averigua las causas de las cosas, hechos o fenómenos de la realidad. La explicación es un proceso que va mucho más allá de la simple descripción de un objeto, es explicar el por qué.

La investigación explicativa puede ser muy ventajoso al dirigir enfoques de investigación posteriores. Una gran comprensión del tema permite al investigador perfeccionar las preguntas de investigación posteriores y puede aumentar en gran medida la utilidad de las conclusiones de un estudio

Para el caso de nuestra investigación, con el **METODO EXPLICATIVO**, demostraremos, que la adición de fibras de coco en proporciones adecuadas, mejoran las propiedades mecánicas a flexotracción de una losa de hormigón, aplicada al diseño de un pavimento rígido.

Por último, aplicaremos **LA METODOLOGÍA DE ESTADISTICA INFERENCIAL**, que Comprende los métodos y procedimientos para deducir propiedades (hacer inferencias) de una población a partir de una pequeña parte de la misma (muestra).

La estadística inferencial se concentra en la estimación de parámetros y la contrastación de hipótesis (estadísticas), vale decir que se hará la prueba de la hipótesis, para corroborar su veracidad.

1.10. Alcances de la Investigación

En el proyecto de grado se realizó los ensayos de probetas y vigas que serán utilizadas en losas de pavimentos que tiene como elemento cemento El Puente IP- 40, también así se implementó fibras de estopa de coco como un aditivo, adicionando al hormigón con los porcentajes de 0,0 %, 0,25%, 0,5 %, 0,75%, 1,00% 1,5 % y 2,5 %, la resistencia máxima admisible es de 350 kg/cm² en probetas y así teniendo una resistencia a flexión del 15 al 20 % de la resistencia a la compresión, se realizó 3 vigas con cada porcentaje distinto de fibras de coco para así romper a los 7, 14 y 28 días y determinar el porcentaje óptimo y

así analizar las resistencias del hormigón patrón y el hormigón con aditivo (fibras de coco). Finalmente se realizara una evaluación de la incidencia que tienen las estopas de coco en las propiedades mecánicas del hormigón para la conformación de losas de pavimento rígido.

El agregado que se utilizó para la dosificación tanto fino como grueso proviene del Temporal – rio Guadalquivir, realizando la caracterización de cada uno de ellos en los laboratorios de hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

CAPÍTULO II

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL
HORMIGÓN EN MASA**

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL HORMIGÓN EN MASA

2.1. El pavimento rígido

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante. (Coro, 2006)

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

a) Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. (Calo, 2011)

b) Subbase

Según el Ing. Diego Calo, la capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado. Entre otras funciones que debe cumplir son: (Calo, 2011) • Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.

- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción

c) Losa

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. (Calo, 2011) .

Tipos de Pavimentos Rígidos

Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del hormigón, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la capacidad de la subrasante. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos: (Coro, 2006).

- Hormigón simple con juntas
- Hormigón armado con juntas
- Hormigón armado con refuerzo continuo

a) Pavimento de Hormigón simple

El pavimento de hormigón simple no contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño entre 2.50 a 5 metros. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas. (Coro, 2006).

b) Pavimento de Hormigón Armado con juntas

Los pavimentos de hormigón armado con juntas tienen espaciamientos mayores entre juntas entre 5 a 12 metros y llevan armadura distribuida en la losa a los efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción. (Coro, 2006).

c) Pavimento de Hormigón Armado Continuo

Los pavimentos de hormigón armado continuo tienen armadura continua longitudinal y no tienen juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que los de hormigón armado con juntas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas. (Coro, 2006).

2.2. Hormigón

2.2.1. Composición

La composición elegida para la preparación de los hormigones, deberá estudiarse previamente con el fin de que queden garantizadas:

- La obtención de hormigones cuyas características mecánicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.
- La conservación de las características requeridas a lo largo del tiempo.

Los hormigones que vayan a ser utilizados en obras expuestas a ambientes muy agresivos, deberán ser objeto de estudios especiales. Es preciso señalar que las condiciones de durabilidad, sobre todo en el caso de riesgo evidente de agresividad de la atmósfera, obligan a veces utilizar hormigones cuyas composiciones pueden ser superabundantes con respecto a las exigidas por razones resistentes. (Galindo R., 1987).

2.2.2. Propiedades mecánicas del hormigón

Las características de los hormigones utilizados en las estructuras, deberán cumplir la resistencia característica del proyecto f_{ck} .

La resistencia a compresión del hormigón, refiere a la amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayos de rotura por compresión, en número igual o superior a dos (2), realizados sobre probetas normalizadas, fabricadas a partir de la amasada, conservadas y ensayadas. (Galindo R., 1987).

2.2.3. Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres fases: la sólida (áridos y cemento), la líquida (agua). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Entre las propiedades del hormigón fresco podemos citar, como más importantes, la consistencia. (Montoya, 2009)

2.2.4. Manejabilidad

Según el comité 211 de ACI, la manejabilidad, conocida también como trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser determinado sin segregación dañina alguna.

Sin embargo, algunos autores sostienen que establecer que la manejabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación es dar una descripción muy vaga de esta propiedad del concreto.

Por ejemplo, el Road Research Laboratory, de la Gran Bretaña, define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación, ya que, al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción extrema o superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra o del refuerzo, con el fin de extraer el aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible. De esta manera, la manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción. (Sánchez De Gúzman, 2001)

2.2.5. Consistencia

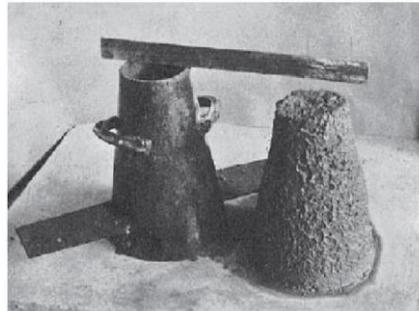
Es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Varía con multitud de factores: cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos, etc.; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo el más empleado el cono de Abrams. (Montoya, 2009)

2.2.5.1. Cono de Abrams

Es un molde troncocónico de 30 cm de altura (fig. 2-1) que se rellena con el hormigón objeto de ensayo. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Figura N°2-1 Cono de Abrams



Fuente: Jiménez Montoya 15ª edición.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos, como se indica en la tabla 2-1. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado. (Montoya, 2009)

Tabla N°2-1 Consistencia del hormigón

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca (S)	0 a 2
Plástica (P)	3 a 5
Blanda (B)	6 a 9
Fluida (F)	10 a 15
Líquida (L)	≥ 16

Fuente: Jiménez Montoya 15ª edición.

2.2.6. Propiedades del hormigón en pavimentos rígidos

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)

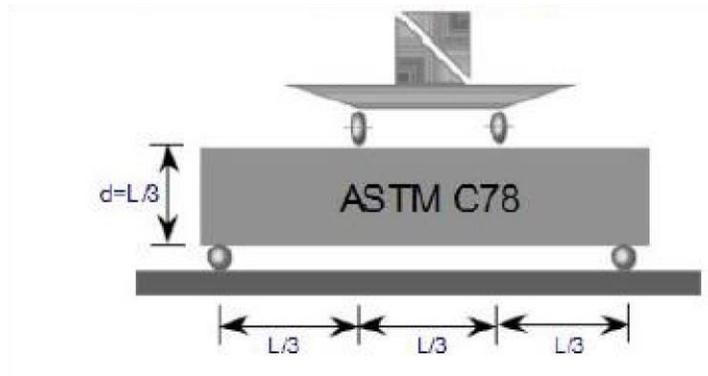
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'_c) o Módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Existe una prueba normalizada por la ASTM C78 para la obtención del módulo de ruptura la cual consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo. Se puede realizar otra prueba similar aplicándole carga el centro del claro; los resultados obtenidos son diferentes aproximadamente entre 15% a 20% mayores. (Diseño Y conservación de pavimentos rígidos, 2013)

EL ensayo descrito en la norma ASTM C78 consiste en apoyar las vigas a 2,5 cm como mínimo de sus extremos, con una luz de 45 cm y cargarlas en dos puntos situados en los tercios medios de la luz. El esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura (MR). (Sánchez De Gúzman, 2001).

Figura N°2-2 Prueba para la obtención del módulo de ruptura



Fuente: Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos

Tabla N°2.2. Resistencia a la flexión

Descripción	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)
Tránsito NT1	38,00
Tránsito NT2	40,00
Tránsito NT3	42,00

Fuente: Normas y especificaciones invias 2012.

2.2.7. Resistencia a la compresión del hormigón

A pesar de que la relación agua/cemento es el factor que más influye en la resistencia del hormigón, no pueden darse valores fijos que relacionen ambas magnitudes porque dependen, además, de otros muchos factores.

La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible, pero teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del hormigón y que debe evitarse, además, el fenómeno de segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados. (Montoya, 2009)

Figura N°2.3. Resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia.

2.2.7.1. Medida de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto dada la importancia que se revise esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos de fuerza, generalmente en kg/cm^2 y con alguna frecuencia en libras por pulgadas cuadradas (p.s.i.), la equivalencia que hay entre los 2 es que 1 p.s.i. es igual a $0,07 \text{ kg/cm}^2$. Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en Mega-Pascales (Mpa), de acuerdo al sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras, se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. (Sánchez De Gúzman, 2001)

2.2.7.2. Ensayo de cilindros

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150 mm de diámetro por 300 mm de altura (relación diámetro: altura 1:2).

Figura N°2.4. Probetas cilíndricas



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8. Fraguado del cemento

La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas, estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual deben producirse el principio y el fin de fraguado. Ambos conceptos se definen de un modo convencional, mediante la aguja de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento sin solución de continuidad.

Las penetraciones de la aguja de Vicat sobre una probeta de pasta normal de cemento, en función del tiempo, dan una idea del proceso de fraguado. (Montoya, 2009)

El tiempo de fraguado inicial varía entre 45 y 60 minutos y de fraguado final entre 10 a 12 horas. (IBNORCA, 2012)

2.2.9. Componentes del hormigón

2.2.9.1. Cemento

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos productos que, amasados con el agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser estables en tales condiciones los compuestos resultantes de su hidratación. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos. (Montoya, 2009)

2.2.9.2. Suministro y almacenamiento

Se recomienda que, si la manipulación del cemento se va a realizar por medios mecánicos, su temperatura no exceda de setenta grados centígrados y si se va a realizar a mano, no exceda del mayor de los dos (2) límites siguientes:

- Cuarenta grados centígrados (40 °C).
- Temperatura ambiente más (5 °C).

Cuando la temperatura del cemento exceda de 70 °C, deberá comprobarse con anterioridad a su empleo, que éste no presenta tendencia a experimentar falso fraguado de otro modo su empleo no está permitido, hasta que se produzca el enfriamiento.

Si el periodo de almacenamiento ha sido superior a un mes, se comprobará que las características del cemento continúan siendo adecuadas. Para ello, se realizarán los oportunos y previos ensayos de fraguado y resistencias mecánicas a tres y siete días, sobre una muestra representativa del cemento almacenado, sin excluir los terrones que hayan podido formarse. (Galindo R., 1987)

2.2.9.3. Clasificación del cemento Pórtland

Con esta denominación existen cinco (5) tipos: (IBNORCA, 2012)

- **Cementos Pórtland, tipo 1**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 95 % en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en esta norma, o mezclas de ellos, en proporción no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con puzolana, Tipo IP**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 60 % ni mayor del 94 % en masa, de puzolana en proporción no menor del 6 % ni mayor del 40 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5% en masa Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con filler o caliza, tipo IF**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 65 % ni mayor del 94 % en masa, filler o caliza en proporción no menor del 6 % ni mayor del 20 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta misma norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con adición de escoria, tipo IS**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 %, escoria en proporción no menor al 6% ni mayor 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0% y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland mixto, tipo IM**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de, Clinker Portland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 % y la combinación entre escoria; filler; caliza y puzolana en proporciones entre el 6 % al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Tabla N°2.3. Clasificación y composición del cemento según la NB-011

Tipos de cemento			Proporción en mesa			
			Componentes principales			Componentes principales (2) (3)
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana natural	Filler Calizo (3)	
Cemento Portland	Cemento Portland	I	95 a 100	-	-	0 a 5
	Cemento Portland con Puzolana	IP	60 a 94	6 a 40	-	0 a 5
	Cemento Portland con Filler o Caliza	IF	80 a 94	-	6 a 20	0 a 5
Cemento Puzolánico		P	45 a 60	40 a 55	-	0 a 5

- (1) Estos valores se incluyen: el regulador de fraguado y aditivos.
- (2) Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolanas filler y calizo, a menos que sepan componentes principales de cemento.
- (3) La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un contenido mínimo de 85% de carbonato cálcico.

Fuente: NB-011

Tabla N°2.4. Tipos de cemento elaborados por las productoras según la NB-011

Tipos de cemento				Características
SOBOCE	IP30	IP40	-	Bajo norma boliviana NB-011
ITACAMBA	-	-	IF30	
COBOCE	IP30	-	-	
FANCESA	IP30	IP40	-	

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por las empresas productoras de cemento.

- **Cemento Portland IP-30**

Es un Cemento Portland con Puzolana, Tipo IP, Categoría resistente Media, con resistencia a la compresión de 30MPa a 28 días en mortero normalizado de cemento. Se caracteriza por su menor calor de hidratación, menor fisuración y retracción térmica, mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, menor reacción álcali/agregado, mayor impermeabilidad, mayor durabilidad.

Recomendado para hormigón armado estructural, prefabricados, hormigones en masa, hormigones con áridos reactivos, hormigones en ambientes agresivos, hormigón compactado a rodillo, obras hidráulicas, cimentaciones, y en general en todo tipo de construcciones. (IBNORCA, 2012)

- **Cemento Portland IP-40**

Es un Cemento Portland con Puzolana, Tipo IP, Categoría resistente alta, con resistencia a la compresión mínimo de 40 MPa a 28 días en mortero normalizado de cemento. Se caracteriza por su moderado calor de hidratación, menor fisuración y retracción térmica, mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, impermeabilidad, mayor durabilidad.

Recomendado para hormigón armado estructural, hormigón pretensado, hormigones con altas resistencias iniciales, prefabricados, hormigón proyectado, hormigones para desencofrados rápidos, pavimentos, y en general en todo tipo de construcciones.

(IBNORCA, 2012)

2.2.9.4. Áridos

Como áridos para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón. (Montoya, 2009)

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas. Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. (Montoya, 2009)

No deben emplearse áridos que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas. Tampoco deben emplearse áridos que contengan sulfuros oxidables (estos áridos pueden provenir de canteras que presentan vetas de pirrotina, marcasita o ciertas formas de piritita), dado el gran riesgo existente de que tales sulfuros se oxiden a largo plazo, lo que entraña un gran aumento de volumen y la consiguiente fisuración y cuarteamiento del hormigón. (Montoya, 2009)

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 5 mm, y arena o árido fino, a la menor de 5 mm. Aparte, es clásico encontrar en cada país y región denominaciones diversas más específicas para la grava, en función del tamaño de las piedras. La arena suele dividirse, a partir de los 2 mm, en arena gruesa y arena fina, llamándose polvo o finos de la arena a la fracción inferior a 0,063 mm. (Montoya, 2009)

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general, en una mayor resistencia química. (Montoya, 2009)

2.2.9.4.1. Clasificación de los agregados para el Hormigón

Se pueden clasificar según tres aspectos por su procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica. En este estudio nos enfocaremos a desarrollar la clasificación según su tamaño.

Los áridos se clasifican en: (Crespo, 2006)

- **Agregado grueso**

Es un material granular que es retenido por el tamiz N°4 (de 4.75 mm). El agregado grueso en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de ésta.

Figura 2.5. Agregados gruesos



Fuente: Elaboración propia.

- **Agregado fino**

Es un material granular que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi en su totalidad por el tamiz N°4 (de 4.75 mm). y es retenido por el tamiz N°200 (0.075 mm). El agregado fino en nuestro medio se denomina “Arena”, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.

El árido de mayor compromiso en el hormigón es la arena, las mejores son las que provienen del río por lo que no hay que preocuparse de su resistencia y la durabilidad que estas obtienen.

Al mismo tiempo se tiene que tener muy en cuenta la humedad que estas poseen, además de que no debe contener sustancias perjudiciales ya que influye de manera directa a la dosificación del hormigón.

La resistencia de la grava es proporcional a la dureza que posee, su densidad y su módulo de elasticidad.

Figura 2.6. Agregados finos



Fuente: Elaboración propia.

- **Estudio granulométrico de los áridos gruesos para la muestra patrón.**

La granulometría de los áridos es uno de los parámetros más importantes, empleados para la dosificación del hormigón (la mayoría de los métodos de dosificación presentan dosificaciones sobre las granulometrías óptimas que deben tener los áridos), puesto que constituye su esqueleto y tienen gran influencia sobre sus propiedades.

El estudio de distribución, por tamaños de un árido se hace cribándolo por una serie de tamices normalizados y que pueden corresponder a las series: internacional ISO,

americanas Tyler o ASTM, española UNE, etc. Y viendo la cantidad que queda retenida en cada una de ellas.

En la tabla 2.5. se recogen los tamices UNE y ASTM, más empleados en los áridos para hormigones.

Tabla 2.5. Tamices UNE y ASTM, más empleados en los áridos para hormigones

Serie de tamices para hormigón		
Norma UNE 7050 Abertura (mm)	Norma ASTM C33-85	
	Nº	Abertura (mm)
80,00	3 in	76,2
40,00	1 1/2 in.	38,1
20,00	3/4 in.	19,0
10,00	3/8in.	9,5
5,00	4	4,75
2,50	8	2,36
1,25	16	1,18
0,63	30	0,600
0,31	50	0,300
0,16	100	0,150
0,08	200	0,075

Fuente: Norma Española, UNE

La granulometría de los áridos, se determinan independientemente, haciendo una por cada tipo de árido que vaya a ser utilizado en el hormigón.

De acuerdo a los criterios expuestos de las normas ASTM y UNE, para el caso de nuestro proyecto realizamos la dosificación de los áridos gruesos con dos tipos de granulometrías gruesas, que cumplen las referencias de la tabla 2.5. con aberturas de tamiz de 3” para grava y 1 ½” para la gravilla, esto con el fin de obtener una granulometría optima, que corresponde a un consumo adecuado de cemento, tener la mínima segregación, mayor trabajabilidad, máxima compacidad.

Constructivamente utilizar dos tipos gradación de grabas, nos ayuda a mejorar el acabado y puesta en obra del hormigón para los pavimentos, ya que los espesores de diseño varían entre los 15,18 o 21 cm, con lo que el uso de la granulometría variable de los áridos nos permite cumplir con los espesores de diseño.

2.2.9.5. Agua

Según la CBH- 87 en general, podrán ser utilizadas tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, todas las aguas consideradas como aceptables por la práctica. Toda agua de calidad dudosa, deberá ser sometida a análisis previos en un laboratorio legalmente autorizado.

2.2.9.5.1. Agua de mezclado

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. (Sánchez De Gúzman, 2001)

La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas, a saber: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable. (Sánchez De Gúzman, 2001)

2.2.9.5.2. Especificaciones y ensayos

El agua, tanto para el amasado como para el curado del hormigón, debe ser limpia y deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH ≥ 5

(Determinando según la norma NB/UNE 7234)

- Sustancias disueltas ≤ 15 g/L

(Determinadas según la norma NB/UNE 7130)

- Sulfatos, expresados en SO₄ ≤ 1 g/L

(Determinados según la norma NB/UNE 7131)

- Ion cloro Cl ≤ 6 g/L

(Determinado según la norma NB/UNE 7178)

- Hidratos de carbono..... 0

(Determinados según la norma NB/UNE 7132)

- Sustancias orgánicas solubles en éter ≤ 15 g/L

(Determinados según la norma NB/UNE 7235)

La toma de muestra para estos ensayos, se hará según la norma NB/UNE 7236.

La temperatura del agua para la preparación del hormigón será superior a los 5 °C. (Galindo R., 1987)

2.2.9.5.3. Agua de curado

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. (Sánchez De Gúzman, 2001)

Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento. En primer lugar, este suministro adicional depende de la humedad del ambiente, ya que la evaporación del agua libre de la pasta ocurre con tanta mayor rapidez cuanto menor es la humedad relativa del ambiente. (Sánchez De Gúzman, 2001)

En segundo lugar, el agua y el cemento al mezclarse ocupan un espacio inicial que permanece constante y que tiende a ser llenado gradualmente por los productos de hidratación (gel). Como éstos desarrollan un volumen que es dos veces mayor que el del

cemento original, resulta que con relaciones agua-cemento demasiado bajas puede no haber espacio suficiente en la pasta para acomodar todo el gel potencialmente desarrollable y la completa hidratación del cemento no llega a producirse por esta limitación. (Sánchez De Gúzman, 2001)

En tercer lugar, el agua químicamente combinada con el cemento (agua no evaporable) tiene una densidad mayor que el agua capilar. Esto significa que, en un momento dado, puede ser mayor el espacio que ha dejado libre en los poros capilares, que aquel con el que ha contribuido a formar el gel. Si no existe aportación de agua exterior para suplir este déficit, la hidratación se vuelve más lenta, e incluso se detiene. (Sánchez De Gúzman, 2001)

2.3. Aditivos

Los aditivos utilizados en el hormigón pueden ser del tipo plastificante reductor de agua, superplastificante y retardador de fraguado, siempre que cumplan con los requisitos de la norma ASTM C 494. En el caso de emplearse aditivo incorporador de aire, este aditivo deberá cumplir con los requisitos generales de la norma ASTM C 494 y los requisitos específicos de la norma ASTM C-260.

La dosificación del aditivo en el hormigón será normalmente la recomendada por el fabricante en función de la temperatura; se puede alterar la cantidad en más o menos, dependiendo de los resultados obtenidos, el tipo de cemento empleado y de otras condiciones. Fijada la cantidad del aditivo en el inicio del hormigonado, esta no debe ser alterada, a menos que existan cambios significativos en las características de los materiales.

A continuación, describimos los principales aditivos utilizados en estructuras de pavimentos, según normas ASTM 494.

2.3.1. Aditivo Tipo A: Plastificante

Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del concreto. Se adicionan a aquellos concretos de

bajo asentamiento y baja relación agua/material cementante para producir un concreto de consistencia fluida, con alto asentamiento, pero trabajable, que se pueda colocar con poca o ninguna vibración. Su empleo ayuda además a minimizar la exudación y a disminuir la segregación, siempre y cuando sea bien colocado. Su característica principal es aumentar la manejabilidad del concreto fresco, y/o reducir la cantidad de agua utilizada para un asentamiento determinado. Las aplicaciones más comunes del concreto fluido son: en secciones muy delgadas, áreas con poco espaciamiento del acero de refuerzo, bajo el agua, concreto bombeado, para reducir la presión de bombeo, en áreas donde no se pueden usar los métodos convencionales de consolidación. (NTC 1299 de 2008).

2.3.2. Aditivo Tipo B: Retardante

Se usan para prolongar la tasa de fraguado del concreto, aunque también son muy útiles para disminuir la pérdida de asentamiento y extender la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación de la mezcla en ambientes con altas temperaturas. Estos aditivos se emplean básicamente en la colocación del concreto en época de calor, contrarrestando el efecto acelerante de la alta temperatura cuando se desea suprimir el efecto de las reanudaciones de trabajo y para el transporte del concreto a grandes distancias. (NTC 1299 de 2008).

2.3.3. Aditivo Tipo C: Acelerante

Son utilizados para aumentar la tasa de hidratación y el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas. El uso difundido de los acelerantes a base de cloruro de calcio ha proporcionado muchos datos y experiencia sobre su efecto en las propiedades del concreto, por lo que se debe tener especial cuidado al emplearlo, determinando la cantidad máxima de iones cloruro, puesto que el cloruro de calcio puede promover un aumento de la contracción por secado, corrosión potencial de la armadura, decoloración (oscurecimiento del concreto) y un aumento del potencial de descascaramiento, generando daños a la estructura. Este tipo de aditivos generalmente se usa para acabados más rápidos de placas, colocación del concreto en clima frío, reducción

de tiempos de desenfrado, prefabricados, sellado, impermeabilización y obturación de grietas y ventanas de agua, entre otros. (NTC 1299 de 2008).

2.3.4. Aditivo Tipo C: Plastificante

La función principal de los aditivos reductores de agua plastificantes es o bien disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o bien aumentar la trabajabilidad sin modificar la relación agua / cemento.

Un plastificante recubre las partículas de cemento haciendo que se repelan entre sí. Esto disminuye la viscosidad y la fricción, haciendo la pasta más fluida. Esta mayor fluidez permite disminuir la cantidad de agua de amasado de modo que el hormigón, con menos agua, verá aumentada su resistencia en estado endurecido. (NTC 1299 de 2008).

2.3.5. Tipo D: Superplastificante.

Los superplastificantes son aditivos de una categoría superior a la de los plastificantes. Permiten dosificaciones hasta 5 veces mayores sin alterar significativamente el tiempo de fraguado ni el contenido de aire del concreto. La aplicación práctica de estos aditivos se encuentra en la elaboración de mezclas con altas resistencias, con un porcentaje de cemento balanceado, sin problemas de contracción y fisuramiento de aquellas que contienen cemento en exceso. Otras aplicaciones inmediatas de las mezclas fluidas se dan en el bombeo del concreto, la colocación de concreto tipo tremie y en elementos esbeltos y/o densamente armados, entre otros, pues el desempeño es muy alto compensando de esta manera los costos. (NTC 1299 de 2008).

2.3.6. Aditivo Tipo AA: Inclusor de aire

El inclusor de aire es un líquido que se adiciona al concreto durante el mezclado, se agrega al agua de la mezcla y se agita para lograr una incorporación homogénea, formando así, un sistema de micro burbujas de aire que actúan como lubricante entre las partículas componentes del concreto aumentando notablemente su trabajabilidad. La inclusión de aire optimiza eficientemente la durabilidad de los concretos que se encuentren expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. Además, el aire incluido mejora

la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. (NTC 1299 de 2008).

2.4. Adiciones

En general las adiciones, a diferencia de lo que ocurre con los aditivos, se agregan al hormigón en cantidades importantes, por lo que es necesario tenerlas en cuenta al determinar la composición volumétrica del hormigón. Podrán utilizarse adiciones, para modificar favorablemente alguna de las propiedades del hormigón o conseguir ciertas características especiales tales como aislamiento térmico o acústico, determinada coloración, mejorar sus propiedades mecánicas de la mezcla, etc.

Tienen el carácter de adiciones, las escorias, cenizas volantes, ciertos polvos minerales, materiales inertes, como los colorantes, materiales no minerales, de naturaleza orgánica, tales como ciertas resinas sintéticas, polietilenos, polímeros, fibras de acero, fibras naturales, etc. Al utilizar adiciones con el hormigón no deben sobrepasarse valores límites ya que, en caso contrario, pueden resultar perjudicadas la durabilidad del hormigón o la protección contra la corrosión, sin que esta influencia desfavorable pueda ser detectada mediante ensayos previos de corta duración. (NTC 1299 de 2008).

2.4.1. Adición de polvo de microsílca densificada

Es una adición que aumenta la resistencia y durabilidad, el microsilice superfino llena los espacios entre las partículas de cemento, creando un hormigón muy denso y menos permeable; además desarrolla alta resistencia temprana y muy alta resistencia final. (NTC 1299 de 2008).

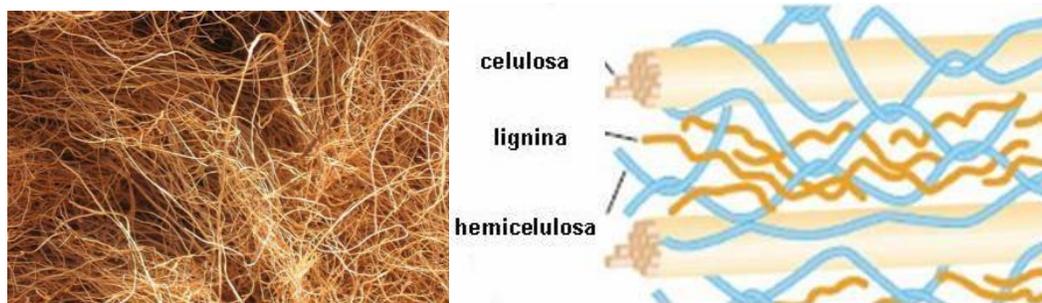
2.4.2. Adición de fibras de polipropileno y acero

Son fibras inorgánicas que sirven como refuerzo secundario para una estructura, su principal objetivo es minimizar el agrietamiento por contracción plástica en el caso del polipropileno y en el caso de la fibra de acero aumentar la resistencia a flexotracción en pavimentos rígidos. (NTC 1299 de 2008).

2.4.3. Adición de fibras naturales de coco

El coco es una fruta tropical que proviene del cocotero, *Cocos Nucifera*, una planta que crece en las costas tropicales de Asia o América gracias a las condiciones climatológicas óptimas que se dan en esas áreas, favoreciendo su desarrollo. La planta, puede alcanzar un tamaño entre los diez y treinta metros y sus hojas tienen una longitud de hasta seis metros. Gracias a sus múltiples propiedades, además de la industria de la alimentación, el coco, también ha sido utilizado en la construcción de pavimentos rígidos. El coco está formado por la copra, la carne blanca que se encuentra en la parte interior. Además, está cubierto por una cáscara dura que se encarga de protegerlo y por una capa fibrosa de la cual se extrae la fibra de coco. Por lo tanto, la fibra de coco es un subproducto derivado del procesamiento de la cáscara de coco. (De Taffin, G, 1998).

Figura 2.7. Fibra de coco y componentes básicos de sus fibras



Fuente: (Agromática, 2020)

2.4.4. Hormigones reforzados con fibras (HRF)

Los hormigones reforzados con fibras nacen de la necesidad de obtener un material mejorado, al incorporar las fibras cortas y desordenadas en su masa se produce una mejora de las propiedades del hormigón. Dependiendo del tipo de fibra utilizado se puede obtener un mejor comportamiento frente a distintas sollicitaciones, como el fuego, el agua, la resistencia mecánica, fisuras u otros daños.

Algunas de las ventajas que presentan los hormigones reforzados con fibras frente a los no reforzados son:

- Control de la fisuración.

- Mejoras en la durabilidad.
- Aumento de la resistencia a impacto.
- Aumento de la resistencia a la abrasión.
- Reducción de los espesores en las construcciones.
- Aplicación más simple y rápida.
- Disminución de los costes de mano de obra.
- Eliminación del mallado.

A la hora de añadir fibras al hormigón, se debe tener en cuenta algunos factores como puede ser el porcentaje de adición, una incorporación demasiado elevada puede llegar a influir de manera negativa en el resultado final. La relación agua – cemento – fibras, influye en la porosidad final de la mezcla y por lo tanto en su comportamiento. La forma y disposición de las fibras incorporadas también influye en la trabajabilidad y efectividad del hormigón. (P. P. Álvarez, 2016).

2.4.5. Fibras estructurales

Son las fibras cuyas propiedades permiten que al ser incorporadas en el hormigón tengan una función estructural y por tanto es necesario su cálculo previo a la incorporación. La resistencia a esfuerzo cortante se ve incrementada cuando hay presencia de fibras con función estructural. Las fibras estructurales no pueden tener una disposición aleatoria, se deben incorporar a la mezcla siguiendo unos procesos que garanticen su correcta ubicación para un funcionamiento óptimo. (P. P. Álvarez, 2016).

2.4.6. Características de las fibras de estopa de coco

El coco es una fruta tropical que proviene del cocotero, *Cocos Nucifera*, una planta que crece en las costas tropicales de Asia o América gracias a las condiciones climatológicas óptimas que se dan en esas áreas, favoreciendo su desarrollo. La planta, puede alcanzar un tamaño entre los diez y treinta metros y sus hojas tienen una longitud de hasta seis metros. Gracias a sus múltiples propiedades, además de la industria de la alimentación, el coco, también ha sido utilizado en otros sectores como la agricultura, ganadería, cosmética, decoración, artesanía o incluso la construcción ecológica. (M. Sánchez, 2020)

El coco está formado por la copra, la carne blanca que se encuentra en la parte interior. Además, está cubierto por una cáscara dura que se encarga de protegerlo y por una capa fibrosa de la cual se extrae la fibra de coco. Por lo tanto, la fibra de coco es un subproducto derivado del procesamiento de la cáscara de coco. (C. Gosálbez, 2020)

Actualmente, la fibra de coco es muy utilizada en el sector agrícola porque sus propiedades la convierten en un buen sustituto del sustrato tradicional. El sector de la automoción también está bastante interesado en la investigación del uso de este tipo de fibras para mezclarlo con resinas y fabricar piezas. En cuanto al sector de la construcción hay varios estudios que analizan su incorporación como agregado del cemento para la mejora de prestaciones. (Agromática, 2020)

Figura 2.8. Fibras de coco en estado natural



Fuente: (Agromática, 2020)

2.4.7. Extracción de la fibra de Coco

La extracción de la fibra de coco, se puede realizar de manera artesanal o mediante el uso de maquinaria especial. Primero, los cocos, se recogen manualmente después de haber estado en la planta entre cinco y seis meses, cada árbol puede dar entre cincuenta y cien cocos al año. Dependiendo de la maduración de los cocos se pueden recoger dos tipos de fibras. Las fibras marrones, menos flexibles, pero con mayor grosor y resistencia a la abrasión. El proceso para conseguir estas fibras es mediante el empleo de agua dulce. Las fibras claras, se extraen de cocos que aún no están completamente maduros, se trata de fibras más finas y lisas con menor resistencia.

En general, el proceso de extracción de la fibra de coco queda recogido en seis etapas. La primera consiste en la recolección de la materia prima, la segunda es el desfibrado, que consiste en separar las fibras que se pueden utilizar de las partes que no. Después, se procede a la fase de lavado, un proceso en el que se eliminan las sales presentes en las fibras utilizando agua de pH neutro. El cuarto paso es el secado y la desinfección de las fibras, sometiéndolas a altas temperaturas y consiguiendo así un secado más rápido y la total esterilización. La siguiente fase es la de cribado y prensado, dos procesos en los que se consigue separar las fibras por tamaños, para eliminar las no deseadas y también se procede a prensarlas para su futura distribución en el formato deseado.

Por último, las fibras se someten a un control exhaustivo para asegurar la calidad del resultado final. (E. Mattresses and I. N. Sacachún, 2017)

Figura 2.9. Extracción de la fibra de Coco



Fuente: (E. Mattresses and I. N. Sacachún, 2017)

2.4.8. Propiedades y características físicas de la fibra de Coco

Entre las principales propiedades y características tenemos las que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2.6. Propiedades y características físicas de la fibra de coco

Diámetro equivalente (mm)	Longitud (cm)	Resistencia tracción (Mpa)	Deformación del material ΔL (mm)	Peso específico Relat.	Absorción (%)
0,18 - 0,69	7,00 – 15,00	157 - 302,096	8,69	0,624	282,77

Fuente: Elaboración propia laboratorios U.A.J.M.S. Anexos B

2.4.9. Ensayos que se realizan a las fibras de Coco

En 2006 se realizó un ensayo sobre el uso de fibra de coco, con la finalidad de comprobar y determinar la longitud y proporción de fibras necesarias para que se produjera una mejora de las propiedades mecánicas del hormigón. Fue realizado en la Universidad de Colombia y se obtienen los siguientes datos y conclusiones:

El ensayo realiza pruebas en laboratorio para comprobar la resistencia del hormigón reforzado con fibra de coco. Utiliza cuatro tipos de muestra alternando y cambiando la longitud de las fibras entre 2 y 5 centímetros y variando el porcentaje utilizado entre 0,5 y 1,5%. Las compara con una muestra testigo de hormigón de elaboración propia que no contiene ninguna fibra. Para la elaboración del hormigón se emplea cemento Portland Tipo 1, arena mediana de río, grava de canto rodado de río de tamaño máximo 19 milímetros, agua potable y cal para blanquear. (S. L. Quintero García and L. O. González Salcedo, 2020)

2.5. Fisuración del concreto

Las fisuras o fisuración en el hormigón son rupturas que aparecen en su superficie, esto se debe a la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Ahora bien, si la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de un elemento estructural, se transforma en grieta. A este punto, debemos definir qué es grieta y qué es fisura para que tengas una idea más clara. (Jiménez Montoya, 2004).

Las grietas son todas las aberturas incontroladas en la superficie de un elemento que afectan su espesor. Por otro lado, las fisuras son las aberturas incontroladas que afectan únicamente a la superficie del elemento sin atravesarlo de lado a lado. Es decir, se producen en las alteraciones de longitud de ciertas caras del hormigón respecto a las otras, producto de las tensiones que desarrolla el material por retracción térmica por una reducción en la temperatura en las piezas de hormigón cuyos movimientos de contracción están impedidos por el empotramiento. Esto produce tensión por tracción y como sabemos, este es uno de los puntos débiles del hormigón, ya que no está capacitado para absorber la tensión por tracción. (Jiménez Montoya, 2004).

También las fisuras pueden aparecer por tensiones hidráulicas o bien por la rigidez que se manifiesta normalmente en las superficies libres. Normalmente, las fisuras no acarrear peligros estructurales y han de ser estudiadas caso por caso, por considerarse atípicas.

Figura 2.10. Fisuración por retracción plástica



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1. Fisuras estabilizadas o por Retracción

El espesor y desarrollo lineal de estas fisuras permanece invariable a lo largo del tiempo. El ejemplo más conocido son las fisuras originadas por las retracciones. Una vez se ha realizado el vaciado del concreto, las retracciones se presentan cronológicamente. En las primeras tres horas aproximadamente (fraguado inicial) se presenta la retracción plástica y el asentamiento plástico. Durante las siguientes horas del primer día usualmente no sucede ningún tipo de retracción. La retracción térmica, la hidráulica y la autógena pueden evidenciarse el primer año después de vaciado el concreto.

2.5.2. Fisuras en movimiento

Son fisuras cuyo espesor y desarrollo lineal varían a lo largo del tiempo hasta que se estabilizan. La causa que origina la fisuración está presente de una forma activa, lo que produce un deterioro del elemento estructural con el paso del tiempo. Estas fisuras también se producen por la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el

desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura.

2.5.3. Fisuras en estado plástico

La fisuración plástica ocurre cuando el concreto está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por la combinación de diferentes factores que incluyen la temperatura del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Estos factores pueden combinarse provocando altos niveles de evaporación superficial tanto en clima cálido como en clima frío.

2.5.3.1. Fisuración por retracción plástica

La **retracción plástica** está relacionada con la tensión capilar del agua en los poros del hormigón, la cual al evaporarse provoca una pérdida de volumen del hormigón que se traduce en una fisuración superficial que no tiene por qué seguir la dirección de los armados. Cuando se produce la desecación superficial del hormigón en estado plástico aparecen las llamadas **Fisuras de Afogado** o también **Fisuras de Exudación**, entre las cuales hay ligeras diferencias en las que no pretendo entrar en detalle.

Dentro de la otra subdivisión de fisuras no estructurales nos encontramos las que se producen cuando el hormigón se encuentra en estado endurecido. No confundir con el hormigón terminado, con toda su capacidad resistente, sino en el hormigón que sigue su proceso de endurecimiento, pero ya no es una masa plástica, sino que ya ha fraguado.

2.5.3.2. Fisuración por precipitaciones de los agregados

Ocurre cuando el concreto en su estado plástico se asienta, este asentamiento es posterior al asentado inicial producto del vaciado y vibrado, la precipitación del agregado es interrumpida por el acero de refuerzo, encofrados y vacíos previos, generando vacíos y fisuras cercanas al elemento que las causa.

Si tenemos un elemento con mucha cantidad de acero y de gran diámetro hay gran probabilidad que se generen fisuras. Para evitar estas fisuras se puede usar concretos de bajo asentamiento, realizar vibrados posteriores para cerrar fisuras generadas por la

precipitación del agregado, diseñar elementos estructurales con bajos diámetros de las barras en relación a la dimensión.

2.5.4. Fisuras de retracción hidráulica.

Las fisuras de retracción hidráulica se producen durante el fraguado del hormigón. Durante el endurecimiento del hormigón, este disminuye de volumen y si el elemento estructural tiene impedido el movimiento, se producirán fisuras. Estas fisuras pueden aparecer años después de la puesta en obra del hormigón y generalmente no suponen un peligro para la estabilidad de la estructura, aunque si pueden afectar a la durabilidad del hormigón.

2.5.5. Fisuras de origen térmico

Estas fisuras se originan por los cambios de volumen, que a su vez son provocados por el gradiente de temperaturas existente en la masa de hormigón. Se presentan como grietas superficiales muy finas, que en ocasiones no apreciaremos a simple vista.

Se distinguen los movimientos de dilatación y contracción de la estructura, que si ven coartado su desplazamiento pueden provocar fisuras. Para evitar esto, generalmente se establecen una serie de juntas de dilatación de la estructura en fase de proyecto.

2.5.6. Fisuras de origen químico.

Durante el proceso de fraguado del hormigón se producen una serie de reacciones químicas expansivas que pueden originar fisuras. No vamos a hondar en este proceso químico, pero se le conoce como reactividad árido-álcali. También se pueden producir fisuras por corrosión de las armaduras, ya que al corroerse el acero aumenta de volumen creando tensiones internas.

2.5.7. Fisuras debidas a acciones mecánicas.

En este apartado se agrupa toda la tipología de fisuras que son síntoma de un funcionamiento incorrecto de la estructura. Las causas son muy numerosas, entre las que nos podemos encontrar: sollicitaciones excesivas (compresión, tracción, cortante, flexión, torsión y punzonamiento), disposición incorrecta de la armadura, exceso de deformación, asientos excesivos, etc.

2.6. Marco normativo

2.6.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute)

El comité 318 de la ACI, define este método como la práctica estándar para seleccionar proporciones en condiciones normales, seleccionar su pesaje y masa de los ingredientes que componen el Hormigón.

El Comité 211 de la ACI, da el método de dosificar hormigones, posteriormente las diferentes tablas se fueron corrigiendo por las exigencias de las solicitaciones que requerían algunos tipos de hormigones.

2.6.1.1. Tablas corregidas método ACI – 211

Tabla N°2.7. Procedimiento de diseño

Paso	Descripción
1	Selección del asentamiento
2	Selección del tamaño máximo del agregado
3	Estimación del contenido de aire
4	Estimación del contenido de agua de mezclado
5	Determinación de la resistencia de diseño
6	Selección de la relación agua - cemento
7	Cálculo del contenido de cemento
8	Estimación de las proporciones de agregados
9	Ajuste por humedad de los agregados
10	Ajuste a la mezcla de pruebas

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N° 2.8. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Pre fábrica de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta, hormigones de proyección neumática (lanzado).	Secciones sujetas a vibración extrema puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi - seca	35-50	Pavimentos, fundaciones de hormigón simple.	Colocación de máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas, con vibración.
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas, muros y vigas.	Colocación manual.	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración.
Humedad	100-150	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo.	Secciones bastantes reforzadas, sin vibración.
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos	Tubo-embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2.9. Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulgadas (mm)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 -29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 – 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N° 2.10. Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido

Tamaño máximo nominal del agregado.		Contenido de aire en porcentaje (por volumen).			
mm	Pulg.	Naturalmente atrapado.	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9,51	3/8"	3,00	4,50	6,00	7,50
12,70	1/2"	2,50	4,00	5,50	7,00
19,05	3/4"	2,00	3,50	5,00	6,00
25,40	1"	1,50	3,00	4,50	6,00
38,10	1 1/2"	1,00	2,50	4,50	5,50
50,80	2"	0,50	2,00	4,00	5,00
76,10	3"	0,30	1,50	3,50	4,50
152,40	6"	0,20	1,00	3,00	4,00

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2.11. Requerimiento aproximado de agua para diferentes asentamientos.

Asentamiento		Tamaño máximo de l agregado, en mm (pulg)							
		9,51	12,7	19	25,4	38,1	50,8	64	76,1
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	Pulg.	Agua de mezclado en kg/cm ² de hormigón.							
0	0	223	210	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	152	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N° 2.12. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes

Asentamiento		Tamaño máximo de l agregado, en mm (pulg)							
		9,51	12,7	19	25,4	38,1	50,8	64	76,1
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	Pulg.	Agua de mezclado en kg/cm ² de hormigón.							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	177	169	158

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2.13. Resistencia de diseño.

Nivel de Control	F'cr
Regular o Malo	1,3 a 1,5 f'c
Bueno	1,2 f'c
Excelente	1,1 f'c

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2.14. Correspondencia entre la resistencia a la compresión y la relación A/C.

Resistencia a la compresión (Mpa)	Relación agua - cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
14,00	-	0,72	0,65
17,50	-	0,65	0,58
21,00	0,70	0,58	0,53
24,50	0,64	0,53	0,49
28,00	0,59	0,48	0,45
31,50	0,54	0,44	0,42
35,00	0,49	0,4	0,38

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2.15. Volumen de agregado grueso.

Tamaño máximo		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,70	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,05	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,40	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,10	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,80	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,10	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152,40	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

2.7. Ensayos a realizar

Tabla N°2.16. Caracterización de los materiales

Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136)
Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29)
Método para determinar la densidad real y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127)
Método para determinar la densidad real y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128)
Peso específico del cemento (ASTM C 188)
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131)
Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de hormigón para ensayos de compresión y flexión (ASTM 192)

Fuente: Elaboración propia.

2.8. Marco referencial

El proyecto de grado referencial fue de la Universidad Privada del Norte, Peru con el título de "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE COCO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO" por el entonces estudiante Nelva Elizabeth Villanueva Monteza, donde se pudo determinar que la fibra de estopa de coco muestra un efecto beneficioso en la resistencia del concreto, se realizó los ensayos a compresión y flexotracción.

Para realizar la investigación usaron diferentes porcentajes de adición de fibras de coco, estos porcentajes se incorporaron a la mezcla en relación al agregado fino, el diseño de mezcla fue realizado por el método del ACI-211 y el método de módulo de finura de la combinación de agregados, Concluyendo que al agregar fibras de coco, los valores de resistencia a compresión en porcentajes a los 28 días de edad reporta así una disminución en la resistencia al adicionarle fibras, en cambio al utilizar los mismos porcentajes en los especímenes de concreto los valores obtenidos en porcentajes a los 28 días de edad incrementa la resistencia a la flexotracción en un 30%.

CAPÍTULO III

**DOSIFICACIÓN DE FIBRAS DE ESTOPA
DE COCO EN UNA MUESTRA PATRÓN
DE HORMIGÓN**

CAPÍTULO III

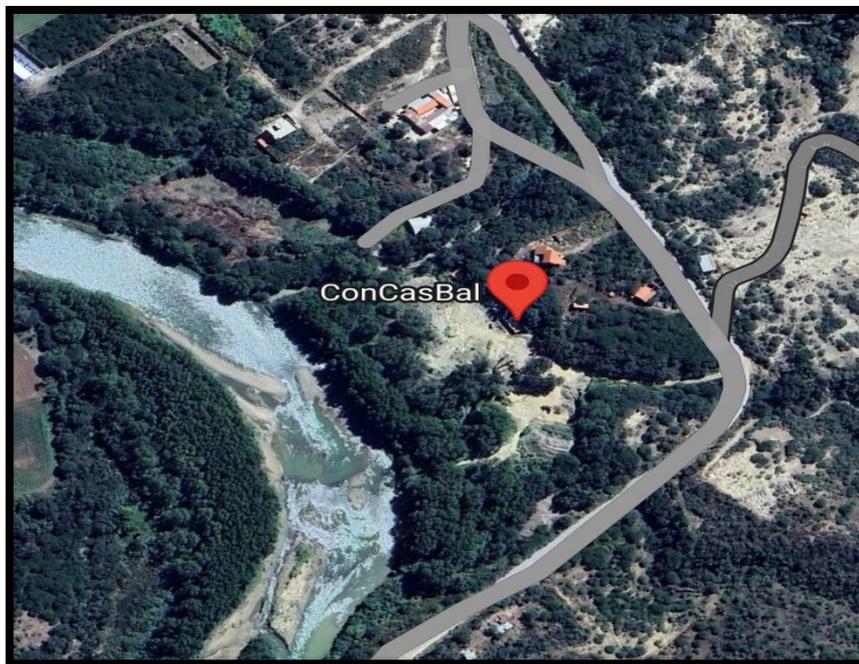
DOSIFICACIÓN DE FIBRAS DE ESTOPA DE COCO EN UNA MUESTRA PATRÓN DE HORMIGÓN

3.1. Localización de los materiales

3.1.1. Localización del agregado grueso

En Tarija tenemos varios bancos de material de distinta calidad, para el estudio de la investigación se realizó los ensayos del agregado tanto grueso como fino, obtenidos de la chancadora CONCASBAL, ubicada en El Temporal – río Guadalquivir con las coordenadas siguientes: Latitud: 21°59'50,96" S, Longitud: 64° 69' 9,72" O.

Figura N° 3.1. Planta chancadora CONCASBAL



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Control y validación interna

3.2.1. Identificación de los elementos

Variables extrañas: Balanza sensible al 0,001 kg, matraz, horno.

3.2.2. Descripción de las acciones

Para poder disminuir los errores a la hora de pesar en la balanza se realiza de 3 a 5 ensayos de cada uno de los ensayos para caracterizar el material.

Uno de los errores más frecuentes para realizar peso específico de los agregados finos es la medición con el menisco de igual manera se realiza de 3 a 5 ensayos para así disminuir los errores a la hora de medir.

El horno nos indica en la norma que debe estar a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ$ C, el horno empleado en el laboratorio de hormigón de la UAJMS no puede estar a una temperatura constante debido a que muchos estudiantes logran abrir y cerrar, lo recomendable es que se encuentre cerrado todo el tiempo.

3.2.3. Descripción de los equipos y herramientas

- **Tamices:** Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla N°3-6, esta serie de tamaños numerales está normada por IBNORCA.

Tabla N°3.1. Serie de tamices escogidos

Tamaños nominales de abertura	
Mm	ASTM
76,1	3"
50,8	2"
38,1	1 1/2"
25,4	1"
19	3/4"
12,7	1/2"
9,5	3/8"
6,3	1/4"
4,75	N°4
25	N°8
2	N°10
1,18	N°16
0,6	N°30
0,3	N°50
0,15	N°100
0,075	N°200

Fuente: (Ing. Perez Droguet).

Horno a temperatura constante ($110 \pm 5^\circ$)

Balanza sensible al 0,0001kg

Figura N°3.2. Tamices



Fuente: Elaboración propia.

- **Varilla Pisón:** este equipo se lo utiliza para apisonar la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida y así también apisonar las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior en el ensayo de Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29).

Figura N°3.3. Varilla pisón



Fuente: Elaboración propia.

- **Canastillo porta muestra:** se lo utiliza para colocar la muestra del agregado grueso y sumergirlo en el agua por un periodo de tres minutos para determinar la masa sumergida, aproximando a 1 g. y registrar su valor en el ensayo de método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127).

Figura N°3.4. Canastillo porta muestra



Fuente: Elaboración propia.

- **Matraz:** Se lo utiliza para colocar la muestra y cubrirla con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$), hasta alcanzar aproximadamente $2/3$ del volumen del matraz en el ensayo de Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128).

Figura N°3.6. Matraz



Fuente: Elaboración propia.

- **Máquina del desgaste de los ángeles:** consiste en un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones: 70 cm (28”) y 50 cm (20”) de largo. El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplado a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto en el ensayo de Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131).

Figura N°3.6. Máquina del desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

- **Mezcladora:** Es utilizada para mezclar los agregados gruesos, agregado fino, cemento y agua para poder conseguir la mezcla requerida de hormigón.

Figura N°3.7. Mezcladora



Fuente: Elaboración propia.

- **Moldes cilíndricos y vigas:** Utilizados para colocar la mezcla de hormigón y así poder realizar su posterior curado y rompimiento.

Figura N°3.8. Moldes cilíndricos y vigas



Fuente: Elaboración propia.

- **Molde forma de tronco como recto:** Para poder realizar el ensayo correspondiente del cono de Abrams.

Figura N°3.9. Cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

- **Varilla pisón:** Es utilizado para apisonar cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.

Figura N°3.10. Varilla pisón



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Caracterización de materiales

3.3.1. Criterios de extracción

El agrado grueso, fino se lo trajo del barrio Temporal Chancadora CONCASBAL, para realizar la caracterización del proyecto de investigación que lleva el nombre de **“ANÁLISIS EN UNA LOSA PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ESTOPA DE COCO”**, se realizó el muestreo del material la fecha del 05 de marzo del 2023 por la universitaria Quiroga Cayo Rocio Guadalupe.

3.3.1.1. Determinación precisa del lugar

Los agregados gruesos y fino utilizados en la investigación proceden del barrio Temporal que se encuentra a una distancia de 8,2 km aproximadamente del centro de la ciudad de Tarija sus coordenadas son las siguientes. Latitud: 21° 59' 50,96" S, Longitud: 64° 69' 9,72" O.

3.4. Determinación de los Materiales para 1m³ de Hormigón

Para la presente dosificación se tomó los siguientes datos obtenidos en los distintos ensayos de laboratorio:

Tabla N°3.2. Resultados de los ensayos de laboratorio.

Ensayo	Unidad	Valor
Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,91
Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kN/m ³	15,75
Peso específico de la arena (γ_f)	kN/m ³	23,4
Peso específico de la grava (γ_g)	kN/m ³	26,1
Absorción de la arena (Aar)	%	1,38
Absorción de la Grava (Agr)	%	1,18
Humedad de la Arena (Har)	%	2,12
Humedad de la Grava (Hgr)	%	0,46
Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	1 1/2
Tamaño Máximo (TM)	pulg	2
Peso específico del cemento	kN/m ³	31,5

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Determinación de la resistencia a compresión y flexión (Fmc)

Se tomó la resistencia característica de $F_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2 = 35 \text{ Mpa}$ en el SI, para así poder determinar una resistencia a la flexión según la normativa ACI 363 $f_{ct} = 2,25\sqrt{350} = 42 \text{ kg/cm}^2 = 4,209 \text{ Mpa}$ como mínimo.

A la resistencia característica se aumentará la resistencia teniendo en cuenta el grado de control de calidad en la obra, según la tabla N°2.13, tendremos como resultado:

$$F_{mc} = 1.2 * 350 = 420 \text{ kg/cm}^2 = 42 \text{ Mpa}$$

3.5.1. Relación agua/cemento (a/c)

Para poder determinar el valor de la relación agua/cemento partimos del dato de $F_{mc} = 42 \text{ Mpa}$ para así poder analizar los datos de la tabla N°2 – 14 tenemos como valor:

Para una resistencia a la compresión de 42 Mpa se tiene una relación agua/cemento según la línea superior de 0,50

3.5.2. Requerimiento de agua (A)

Para poder determinar el requerimiento del agua se analizaron los datos de la tabla N°2.

11, que depende del tamaño máximo del agregado grueso que tenemos de 1 1/2" y un asentamiento de 2".

Con los datos correspondientes se obtiene el requerimiento de agua aproximado de:

Requerimiento de agua (A)= 166,00 Kg/m³

3.5.3. Cálculo del peso del agregado grueso (Gr)

Se obtiene de la tabla N°2.15, teniendo los valores del módulo de finura de la arena (M.F) y el tamaño máximo nominal (T.M.A.) se obtiene el valor del Vol. Agr. Grueso/ Vol. Unitario del concreto (V_{r/v}):

2,80	0,72
2,91	V _{r/v}
3,00	0,70

Realizando el cálculo de interpolación tenemos como resultado:

$$V_{r/v} = 0,7129$$

Cálculo del peso del agregado grueso:

Gr= V_{r/v} * P.U.C. de la grava

$$Gr = 0,7129 * 15,75 * 100 = 1122,71 \text{ Kg/m}^3$$

3.5.4. Cálculo de la cantidad de cemento (Cc)

Cantidad de cemento calculado:

$$Cc = \frac{166 \text{ kg/m}^3}{0,50} = 332,00 \text{ kg/cm}^2$$

3.5.5. Cálculo del peso del agregado fino (Ar)

Ya determinadas todas las cantidades necesarias, se procede a calcular la cantidad del agregado fino mediante la siguiente ecuación:

$$Ar = (1m^3 - (Vc + Vgr + Va + \%Aire)) * \gamma_f$$

$$Ar = \left(1m^3 - \left(\frac{C}{\gamma_C} + \frac{Gr}{\gamma_{Gr}} + \frac{Ag}{\gamma_{Ag}} + \frac{\%Aire}{100} \right) \right) * \gamma_{Ar}$$

Donde:

Ar= Arena (Kg/m³).

C= Masa del cemento (Kg).

γ_C = Peso específico del cemento (Kg/m³).

Gr.= Masa de la grava (Kg).

γ_{Gr} = Peso específico de la grava (Kg/m³).

Ag= Masa del agua (Kg).

γ_{Ag} = Peso específico del agua (asumimos 1000 Kg/m³).

%Aire= Aire atrapado (%).

γ_{Ar} = Peso específico de la arena (Kg/m³).

Reemplazamos los resultados obtenidos en los ensayos realizados tenemos:

$$Ar = \left(1m^3 - \left(\frac{332,00}{3150} + \frac{1122,71}{2610} + \frac{166}{1000} + \frac{1}{100} \right) \right) * 2340$$

$$Ar = 675,69kg/m^3$$

Tabla N°3.3. Cantidades para 1 m³ de hormigón, para el diseño de mezclas patrón.

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Volumen absoluto kg/m ³
Cemento	332,00	0,105
Agua	166,00	166,00
Grava	1122,71	0,430
Arena	675,69	0,289
Total	2296,4	166,824

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.4. Proporciones de mezcla seca

Proporciones de mezcla seca		
Cemento	Arena	Grava
1,00	2,00	3,4

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados

- Peso del agregado fino = Peso Arena * Contenido de humedad Arena + Peso Arena

Contenido de humedad Arena = 2.12%

$$P_{arena} = 675,69 \text{ kg/m}^3 * 0,0212 + 675,69 = 690,015 \text{ kg/m}^3$$

- Peso del agregado grueso = Peso Grava * Contenido de humedad Grava + Peso Grava

Contenido de humedad Grava = 0,46%

$$P_{grava} = 1122,71 \text{ kg/m}^3 * 0,0046 + 1122,71 = 1127,87 \text{ kg/m}^3$$

3.5.7. Corrección de agua de mezclado

- Agua en el agregado grueso = Peso Grava * % Absorción grava – Peso Grava * Contenido de humedad grava

Porcentaje de absorción de la grava = 1,18%

$$A_{grava} = 1122,71 * 0,0118 - 1122,71 * 0,0046 = 8,0835$$

- Agua en el agregado fino = Peso Arena * % Absorción arena – Peso Arena * Contenido de humedad arena

Porcentaje de absorción de la arena = 1,38%

$$A_{arena} = 675,69 * 0,0138 - 675,69 * 0,0212 = -5,000$$

Total agua corregida

$$Agua_{corregida} = 166 \text{ l/m}^3 - 5,00 \text{ l/m}^3 + 8,0835 \text{ l/m}^3 = 169,08 \text{ l/m}^3$$

3.5.8. Presentación del diseño en estado húmedo

Tabla N°3.5. Proporciones de mezcla húmeda

Proporciones de mezcla húmeda		
Cemento	Arena	Grava
1,00	2,00	3,41

Fuente: Elaboración propia.

3.5.9. Corrección de agua por material incorporado

3.5.9.1. Agua corregida para fibra de estopa coco para 0,25%

- Peso fibra de coco * % Absorción fibra de coco – Peso fibra de coco * Contenido de humedad fibra de coco

$$\text{Porcentaje de absorción fibra de coco \%} = 282,77$$

$$A_{\text{fibra de coco}} = 1,75 * 2,8277 - 1,75 * 0,000 = 4,948$$

Agua total corregida para 0,25% de fibra de coco

$$Agua_{correg.} = 166 \text{ l/m}^3 - 5,00 \text{ l/m}^3 + 8,0835 \text{ l/m}^3 + 4,948 \text{ l/m}^3 = 174,032 \text{ l/m}^3$$

3.5.9.2. Agua corregida para fibra de estopa coco para 0,5%

- Peso fibra de coco * % Absorción fibra de coco – Peso fibra de coco * Contenido de humedad fibra de coco

$$\text{Porcentaje de absorción fibra de coco \%} = 282,77$$

$$A_{\text{fibra de coco}} = 3,5 * 2,8277 - 3,5 * 0,000 = 9,897$$

Agua total corregida para 0,5% de fibra de coco

$$Agua_{correg.} = 166 \text{ l/m}^3 - 5,00 \text{ l/m}^3 + 8,0835 \text{ l/m}^3 + 9,897 \text{ l/m}^3 = 178,98 \text{ l/m}^3$$

3.5.9.3. Agua corregida para fibra de estopa coco para 0,75%

- Peso fibra de coco * % Absorción fibra de coco – Peso fibra de coco * Contenido de humedad fibra de coco

$$\text{Porcentaje de absorción fibra de coco \%} = 282,77$$

$$A_{\text{fibra de coco}} = 5,25 * 2,8277 - 5,25 * 0,000 = 14,845$$

Agua total corregida para 0,75% de fibra de coco

$$A_{\text{agua correg.}} = 166 \text{ l/m}^3 - 5,00 \text{ l/m}^3 + 8,0835 \text{ l/m}^3 + 14,845 \text{ l/m}^3 = 183,93 \text{ l/m}^3$$

3.5.9.4. Agua corregida para fibra de estopa coco para 1,0%

- Peso fibra de coco * % Absorción fibra de coco – Peso fibra de coco * Contenido de humedad fibra de coco

$$\text{Porcentaje de absorción fibra de coco \%} = 282,77$$

$$A_{\text{fibra de coco}} = 7,00 * 2,8277 - 7,00 * 0,000 = 19,794$$

Agua total corregida para 1,0% de fibra de coco

$$A_{\text{agua correg.}} = 166 \text{ l/m}^3 - 5,00 \text{ l/m}^3 + 8,0835 \text{ l/m}^3 + 19,794 \text{ l/m}^3 = 188,88 \text{ l/m}^3$$

3.6. Análisis de dosificación para 1 m³ de hormigón tomando en cuenta el agregado fino referente a la adición de fibras de coco

Tabla N°3.6. Proporción para hormigón patrón

Para hormigón patrón (kg/m³)	
Cemento	332,00
Arena	690,015
Agua	169,08
Grava	1127,87

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento} & \text{Arena} & \text{Grava} & \text{Agua} \\
 \frac{332,000}{332,000} & : \frac{690,015}{332,000} & : \frac{1127,87}{332,000} & : \frac{169,08}{332,000} \\
 1,00 & : 2,08 & : 3,41 & : 0,51
 \end{array}$$

Tabla N°3.7. Proporción para hormigón con 0,25%

Para hormigón con 0,25% de fibras de coco (kg/m³)	
Cemento	332,00
Arena	688,265
Agua	174,032
Grava	1127,87
Fibra de coco	1.75

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento} & \text{Arena} & \text{Grava} & \text{Agua} \\
 \frac{332,000}{332,000} & : \frac{688,265}{332,000} & : \frac{1127,87}{332,000} & : \frac{174,032}{332,000} \\
 1,00 & : 2,07 & : 3,41 & : 0,52
 \end{array}$$

Tabla N°3.8. Proporción para hormigón con 0,5%

Para hormigón con 0.5% de fibras de coco (kg/m³)	
Cemento	332,00
Arena	686,515
Agua	178,98
Grava	1127,87
Fibra de coco	3,5

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento} & \text{Arena} & \text{Grava} & \text{Agua} \\
 \frac{332,000}{332,000} & : \frac{686,515}{332,000} & : \frac{1127,87}{332,000} & : \frac{178,98}{332,000} \\
 1,00 & : 2,06 & : 3,41 & : 0,54
 \end{array}$$

Tabla N°3.9. Proporción para hormigón con 0,75%

Para hormigón con 0,75% de fibras de coco (kg/m³)	
Cemento	332,00
Arena	684,765
Agua	183,928
Grava	1127,87
Fibra de coco	5,25

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento} & \text{Arena} & \text{Grava} & \text{Agua} \\
 \frac{332,000}{332,000} & : \frac{684,765}{332,000} & : \frac{1127,87}{332,000} & : \frac{183,928}{332,000} \\
 1,00 & : 2,06 & : 3,41 & : 0,55
 \end{array}$$

Tabla N°3.10. Proporción para hormigón con 1,00%

Para hormigón con 1% de fibras de coco (kg/m³)	
Cemento	332,00
Arena	683,015
Agua	188,878
Grava	1127,87
Fibra de coco	7,00

Fuente: Elaboración propia.

Cemento	Arena	Grava	Agua
$\frac{332,000}{332,000}$	$\frac{683,015}{332,000}$	$\frac{1127,87}{332,000}$	$\frac{188,878}{332,000}$
1,00	: 2,05	: 3,41	: 0,57

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS
DE UNA MUESTRA PATRÓN DE HORMIGÓN
CON UNA CON ADICIÓN DE FIBRAS DE
ESTOPA DE COCO PARA EL DISEÑO TIPO
DE UN PAVIMENTO RÍGIDO NORMA
AASHTO 93**

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DE UNA MUESTRA PATRÓN DE HORMIGÓN CON UNA CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ESTOPA DE COCO PARA EL DISEÑO TIPO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO NORMA AASHTO 93

4.1. Análisis de resultados obtenidos en laboratorio

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase de colocación en obra y de uso.

Por lo general la aceptabilidad del hormigón se basa en ensayos a los 28 días, pero puede especificarse para cualquier otra edad, más temprana o más tardía. Los ensayos que se realizan sobre las muestras de hormigón a otras edades, diferentes de la especificada para la aceptación del hormigón, son útiles para conocer el desarrollo de su resistencia.

Ha sido necesario desarrollar un procedimiento de evaluación que permita establecer los límites de aceptabilidad en función, no sólo de los resultados de los ensayos de las probetas, sino de la posible regularidad de la producción del hormigón y de las exigencias, derivadas del tipo de obra, sobre los límites mínimos de esa aceptabilidad.

Se diseñó un concreto con un $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ utilizando el método ACI 211 ya que es el más utilizado en Bolivia y a nivel mundial, este se basa directamente en tablas que se rigen bajo el principio del módulo de fineza y emplea agregados que cumplen con las ASTM C-33 donde se establecen los límites de sustancias nocivas o perjudiciales de los agregados en el concreto. De acuerdo a los ensayos realizados a los agregados, notamos que el agregado fino tiene un módulo de finura de 2,09, lo que ingresa dentro de los rangos permitidos según el cuadro límite de sustancias nocivas que tiene como rango $2,3 < MF < 3,1$ y cumple con las especificaciones técnicas de la norma ACI 211.1; para el contenido de humedad nos regimos a la norma ACI 211.1 que el agregado fino debe contener como máximo un 8 %, según nuestro ensayo realizado el resultado obtenido es de un 1,38 % lo

que nos indica que se encuentra dentro del parámetro propuesto por la norma, de la misma manera para el agregado grueso, la norma propone un máximo de 4 % y los resultados obtenidos fueron de un 1,46 %, es decir los dos agregados cumplen con lo establecido inicialmente.

Para conseguir que se cumplan estas dos condiciones fue necesario diseñar en laboratorio, la mezcla de hormigón para un valor f'_{cr} (**resistencia requerida**) mayor que f'_{c} .

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos a compresión del hormigón patrón

Rotura de probetas cilíndricas de hormigón patrón										
N°	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Peso (Kg)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	Probeta muestra 1	09/05/2023	16/05/2023	7	179,08	13,21	548,40	55936,80	312,36	433,61
2	Probeta muestra 2	23/05/2023	30/05/2023	7	181,46	13,20	539,10	54988,20	303,03	420,66
3	Probeta muestra 3	23/05/2023	30/05/2023	7	179,08	13,18	533,53	54420,06	303,89	421,85
4	Probeta muestra 4	23/05/2023	06/06/2023	14	179,08	13,17	635,40	64810,80	361,91	425,78
5	Probeta muestra 5	23/05/2023	06/06/2023	14	181,46	13,15	628,10	64066,20	353,06	415,37
6	Probeta muestra 6	23/05/2023	06/06/2023	14	179,08	13,18	633,50	64617,00	360,83	424,51
7	Probeta muestra 7	09/05/2023	06/06/2023	28	179,08	13,28	792,90	80875,80	451,62	451,62
8	Probeta muestra 8	09/05/2023	06/06/2023	28	179,08	12,97	705,40	71950,80	401,78	401,78
9	Probeta muestra 9	23/05/2023	20/06/2023	28	179,08	13,00	735,23	74993,46	418,77	418,77
PROMEDIO									423,77	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.1. muestra los resultados de los ensayos a compresión del hormigón patrón; a los 7, 14 y 28 días y el promedio proyectado de la resistencia alcanzada a los 28 días de todas las muestras, siendo este de 423,77 Kg/cm², sobrepasando la resistencia mínima requerida de 35 Mpa.

Tabla 4.2. Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 0,25%

Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 0,25%										
No	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Peso (Kg)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	Probeta muestra 1	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,15	530,30	54090,60	302,05	419,30
2	Probeta muestra 2	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,06	511,23	52145,46	291,19	404,22
3	Probeta muestra 3	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,17	556,47	56759,94	316,95	439,99
4	Probeta muestra 4	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,14	637,10	64984,20	362,88	426,92
5	Probeta muestra 5	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,15	642,81	65566,62	366,13	430,74
6	Probeta muestra 6	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,20	649,17	66215,34	369,75	435,01
7	Probeta muestra 7	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,15	721,30	73572,60	410,84	410,84
8	Probeta muestra 8	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,30	788,92	80469,84	449,35	449,35
9	Probeta muestra 9	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,09	687,64	70139,28	391,67	391,67
PROMEDIO										423,11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3. Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco del 0,5%

Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 0,5%										
Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Peso (Kg)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	Probeta muestra 1	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,16	550,32	56132,64	313,45	435,13
2	Probeta muestra 2	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,12	531,10	54172,20	302,50	419,93
3	Probeta muestra 3	12/03/2024	19/03/2024	7	179,08	13,05	503,37	51343,74	286,71	398,00
4	Probeta muestra 4	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,18	660,11	67331,22	375,99	442,34
5	Probeta muestra 5	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,14	642,26	65510,52	365,82	430,38
6	Probeta muestra 6	12/01/2024	26/01/2024	14	179,08	13,14	637,43	65017,86	363,07	427,14
7	Probeta muestra 7	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,02	713,02	72728,04	406,12	406,12
8	Probeta muestra 8	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,04	670,27	68367,54	381,77	381,77
9	Probeta muestra 9	08/01/2024	05/02/2024	28	179,08	13,29	794,43	81031,86	452,49	452,49
PROMEDIO										421,48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4. Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 0,75%

Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 0,75%										
N°	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Peso (Kg)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	Probeta muestra 1	13/03/2024	20/03/2024	7	179,08	13,11	510,06	52026,12	290,52	403,29
2	Probeta muestra 2	13/03/2024	20/03/2024	7	179,08	13,20	550,23	56123,46	313,40	435,05
3	Probeta muestra 3	13/03/2024	20/03/2024	7	179,08	13,17	541,71	55254,42	308,55	428,32
4	Probeta muestra 4	15/01/2024	29/01/2024	14	179,08	13,15	623,01	63547,02	354,85	417,48
5	Probeta muestra 5	15/01/2024	29/01/2024	14	179,08	13,17	631,12	64374,24	359,47	422,91
6	Probeta muestra 6	15/01/2024	29/01/2024	14	179,08	13,22	645,90	65881,80	367,89	432,81
7	Probeta muestra 7	09/01/2024	06/02/2024	28	179,08	13,13	702,40	71644,80	400,07	400,07
8	Probeta muestra 8	09/01/2024	06/02/2024	28	179,08	13,29	779,03	79461,06	443,72	443,72
9	Probeta muestra 9	09/01/2024	06/02/2024	28	179,08	13,20	711,34	72556,68	405,17	405,17
PROMEDIO										420,98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 1,00%.

Rotura de probetas cilíndricas con adición de fibras de coco de 1,0%										
N°	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Peso (Kg)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	Probeta muestra 1	08/02/2024	15/02/2024	7	179,08	13,05	513,93	52420,86	292,72	406,35
2	Probeta muestra 2	08/02/2024	15/02/2024	7	179,08	13,17	531,77	54240,54	302,89	420,46
3	Probeta muestra 3	08/02/2024	15/02/2024	7	179,08	13,20	523,98	53445,96	298,45	414,30
4	Probeta muestra 4	08/02/2024	22/02/2024	14	179,08	13,00	610,10	62230,20	347,50	408,83
5	Probeta muestra 5	08/02/2024	22/02/2024	14	179,08	13,11	628,27	64083,54	357,85	421,00
6	Probeta muestra 6	08/02/2024	22/02/2024	14	179,08	13,13	637,38	65012,76	363,04	427,11
7	Probeta muestra 7	07/02/2024	06/03/2024	28	179,08	13,04	734,59	74928,18	418,41	418,41
8	Probeta muestra 8	07/02/2024	06/03/2024	28	179,08	13,00	698,66	71263,32	397,94	397,94
9	Probeta muestra 9	07/02/2024	06/03/2024	28	179,08	13,21	763,90	77917,80	435,10	435,10
PROMEDIO										416,61

Fuente: Elaboración propia.

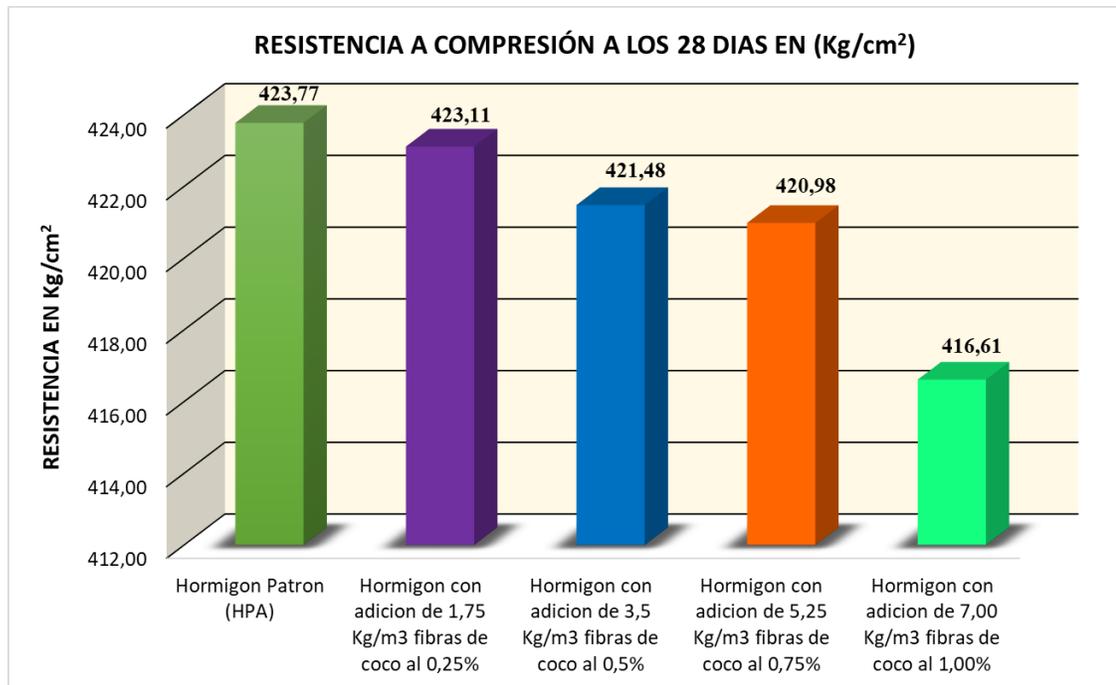
Tabla 4.6. Cuadro comparativo de la resistencia a compresión del hormigón patrón Vs hormigón con porcentajes de adición de fibras de estopa de coco

TIPO	Hormigón Patrón H-35		Hormigón con 1,75 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,25%		Hormigón con 3,5 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,5%		Hormigón con 5,25 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,75%		Hormigón con 7 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 1,00%	
	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²
7	3	306,43	3	303,40	3	300,89	3	304,16	3	298,02
14	3	358,60	3	366,25	3	368,29	3	360,74	3	356,13
28	3	424,06	3	417,29	3	413,46	3	416,32	3	417,15
Prom. Proy. 28 días	9	423,77	9	423,11	9	421,48	9	420,98	9	416,61
Diferencia de resistencia en Kg/cm ²				- 0,66		- 2,29		-2,79		-7,16
Nro. Total de probetas ensayadas									45	

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente diagrama muestra la diferencia de valores de la resistencia a compresión del hormigón patrón comparado con el hormigón con diferentes porcentajes de adición de fibras de estopa de coco. Se puede observar que estas tienen un leve decremento en un 0,25% el decremento es de - 0,66 kg/cm², 0,5% el decremento es de - 2,29 kg/cm², 0,75% el decremento es de -2,79 kg/cm² y por último en 1,00% el decremento es de - 7,16 kg/cm². Sin embargo ratifica que la resistencia característica del hormigón H-35 cumple y sobrepasa en todos los casos.

Figura 4.1. Diagrama comparativo de las resistencias a compresión de un hormigón patrón y diferentes porcentajes de fibra de estopa de coco.



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia del hormigón patrón llega a una resistencia promedio de 423,77 Kg/cm² con la adición del 0,75% que viene a ser el porcentaje óptimo en la resistencia a flexotracción llega a una resistencia promedio de 420,98 Kg/cm² lo que significa que hay decremento de la resistencia de 2,79 Kg/cm², correspondiente a un porcentaje de 0,66%, que no influye en el diseño del pavimento rígido, ya que ambas resistencias sobrepasan la resistencia característica del hormigón H-35.

4.2. Análisis de vigas ensayadas a flexotracción

La tabla 4.7. muestra los resultados de los ensayos a flexotracción del hormigón patrón; a los 7, 14 y 28 días y el promedio proyectado de la resistencia alcanzada a los 28 días de todas las muestras, siendo este de 45,45 Kg/cm², sobrepasando la resistencia mínima requerida de 4,5 Mpa. Requeridos para el diseño de pavimentos rígidos, según norma de diseño AASHTO 93.

Tabla 4.7. Resultados de los ensayos a flexotracción del hormigón patrón

Rotura de vigas patrón										
Prob. N°	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct,f) (Mpa)	Flextr (fct,f) (Kg/cm ²)	Res. Flextr (fct,f) 28 días (Kg/cm ²)
1	Viga Muestra 1	09/05/2023	16/05/2023	7	15,70	26,4	2692,80	3,21	32,77	45,50
2	Viga Muestra 2	09/05/2023	16/05/2023	7	15,50	25,5	2601,00	3,19	32,48	45,09
3	Viga Muestra 3	23/05/2023	30/05/2023	7	15,40	25,6	2611,20	3,24	33,03	45,85
4	Viga Muestra 4	23/05/2023	06/06/2023	14	15,50	30,6	3121,20	3,82	38,97	45,85
5	Viga Muestra 5	23/05/2023	06/06/2023	14	15,50	29,9	3049,80	3,73	38,08	44,80
6	Viga Muestra 6	23/05/2023	06/06/2023	14	15,40	30,4	3100,80	3,85	39,22	46,15
7	Viga Muestra 7	09/05/2023	06/06/2023	28	15,50	35,5	3621,00	4,43	45,22	45,40
8	Viga Muestra 8	23/05/2023	20/06/2023	28	15,60	35,4	3610,80	4,37	44,51	44,70
9	Viga Muestra 9	23/05/2023	20/06/2023	28	15,20	34,4	3508,80	4,47	45,56	45,75
									PROMEDIO	45,45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8. Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,25%

Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,25%										
Prob. N°	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct,f) (Mpa)	Flextr (fct,f) (Kg/cm ²)	Res. Flextr (fct,f) 28 días (Kg/cm ²)
1	Viga Muestra 1	12/03/2024	19/03/2024	7	15,40	25,7	2621,40	3,25	33,16	46,032
2	Viga Muestra 2	12/03/2024	19/03/2024	7	15,50	30,1	3070,20	3,76	38,34	53,219
3	Viga Muestra 3	12/03/2024	19/03/2024	7	15,50	26,9	2743,80	3,36	34,26	47,561
4	Viga Muestra 4	12/01/2024	26/01/2024	14	15,60	30,6	3121,20	3,77	38,48	45,266
5	Viga Muestra 5	12/01/2024	26/01/2024	14	15,70	31,3	3192,60	3,81	38,86	45,714
6	Viga Muestra 6	15/01/2024	29/01/2024	14	15,70	32,6	3325,20	3,97	40,47	47,612
7	Viga Muestra 7	08/01/2024	05/02/2024	28	15,40	38,4	3916,80	4,86	49,55	49,754
8	Viga Muestra 8	08/01/2024	05/02/2024	28	15,00	35,7	3640,38	4,76	48,54	48,741
9	Viga Muestra 9	09/01/2024	06/02/2024	28	15,40	37,6	3834,18	4,76	48,50	48,704
									PROMEDIO	48,07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9. Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,5%

Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,5%										
Prob. N°	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct,f) [Mpa]	Flextr (fct,f) [Kg/cm²]	Res. Flextr (fct,f) 28 días (Kg/cm²)
1	Viga Muestra 1	13/03/2024	20/03/2024	7	15,20	29,8	3039,60	3,87	39,47	54,789
2	Viga Muestra 2	13/03/2024	20/03/2024	7	15,20	29,1	2968,20	3,78	38,54	53,502
3	Viga Muestra 3	12/03/2024	19/03/2024	7	15,50	27,9	2845,80	3,48	35,54	49,329
4	Viga Muestra 4	15/01/2024	29/01/2024	14	15,70	36,1	3682,20	4,39	44,82	52,724
5	Viga Muestra 5	15/01/2024	29/01/2024	14	15,40	34,8	3549,60	4,40	44,90	52,825
6	Viga Muestra 6	15/01/2024	29/01/2024	14	15,50	35,7	3641,40	4,46	45,47	53,494
7	Viga Muestra 7	09/01/2024	06/02/2024	28	15,00	39,3	4008,60	5,24	53,45	53,672
8	Viga Muestra 8	09/01/2024	06/02/2024	28	15,00	40,1	4090,20	5,35	54,54	54,764
9	Viga Muestra 9	09/01/2024	06/02/2024	28	15,20	39,9	4069,80	5,18	52,85	53,067
									PROMEDIO	53,13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10. Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,75%

Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 0,75%										
Prob. N°	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct,f) [Mpa]	Flextr (fct,f) [Kg/cm²]	Res. Flextr (fct,f) 28 días (Kg/cm²)
1	Viga Muestra 1	13/03/2024	20/03/2024	7	15,10	29,8	3039,60	3,92	39,99	55,517
2	Viga Muestra 2	13/03/2024	20/03/2024	7	15,00	29,9	3049,80	3,99	40,66	56,449
3	Viga Muestra 3	13/03/2024	20/03/2024	7	15,00	28,8	2937,60	3,84	39,17	54,372
4	Viga Muestra 4	15/01/2024	29/01/2024	14	15,50	37,7	3845,40	4,71	48,02	56,491
5	Viga Muestra 5	15/01/2024	29/01/2024	14	15,20	36,3	3702,60	4,71	48,08	56,562
6	Viga Muestra 6	15/01/2024	29/01/2024	14	15,20	36,4	3712,80	4,73	48,21	56,717
7	Viga Muestra 7	09/01/2024	06/02/2024	28	15,10	40,8	4161,60	5,37	54,76	54,985
8	Viga Muestra 8	09/01/2024	06/02/2024	28	15,00	39,9	4069,80	5,32	54,26	54,491
9	Viga Muestra 9	09/01/2024	06/02/2024	28	15,00	41,0	4183,02	5,47	55,77	56,007
									PROMEDIO	55,74

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 1,00%

Rotura de vigas con adición de fibras de coco de 1,00%										
Prob. N°	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct,f) (Mpa)	Flextr (fct,f) (Kg/cm ²)	Res. Flextr (fct,f) 28 días (Kg/cm ²)
1	Viga Muestra 1	08/02/2024	15/02/2024	7	15,20	24,9	2539,80	3,23	32,98	45,780
2	Viga Muestra 2	08/02/2024	15/02/2024	7	15,70	25,1	2560,20	3,06	31,16	43,255
3	Viga Muestra 3	08/02/2024	15/02/2024	7	15,90	26,7	2723,40	3,17	32,32	44,862
4	Viga Muestra 4	07/02/2024	21/02/2024	14	15,50	29,8	3039,60	3,72	37,96	44,653
5	Viga Muestra 5	07/02/2024	21/02/2024	14	15,50	30,1	3070,20	3,76	38,34	45,103
6	Viga Muestra 6	07/02/2024	21/02/2024	14	15,40	31,3	3192,60	3,96	40,39	47,512
7	Viga Muestra 7	07/02/2024	06/03/2024	28	15,50	37,5	3825,00	4,68	47,76	47,963
8	Viga Muestra 8	07/02/2024	06/03/2024	28	15,70	36,9	3763,80	4,49	45,81	46,000
9	Viga Muestra 9	07/02/2024	06/03/2024	28	15,90	36,7	3743,40	4,36	44,42	44,607
									PROMEDIO	45,53

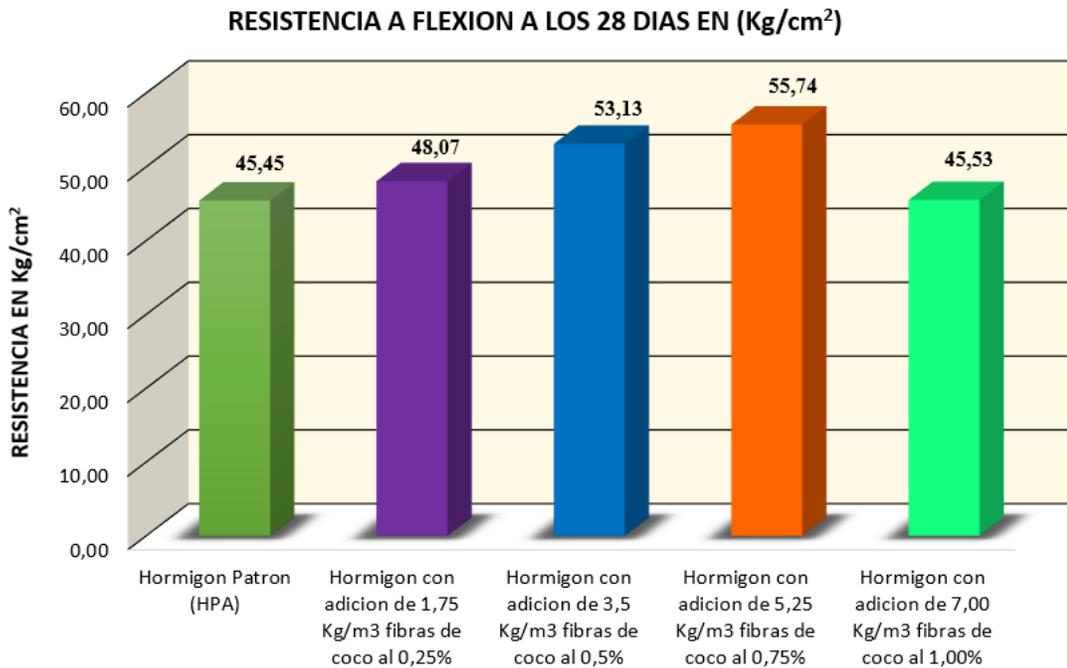
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Cuadro comparativo de la resistencia a flexotracción del hormigón patrón Vs hormigón con porcentajes de adición de fibras de estopa de coco.

TIPO	Hormigón Patrón H-35		Hormigón con 1,75 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,25%		Hormigón con 3,5 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,5%		Hormigón con 5,25 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 0,75%		Hormigón con 7 kg/m ³ de adición de fibra de estopa de coco al 1,00%	
	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²	Nro. de prob.	Promedio de la resist. Kg/cm ²
Edades										
7	3	32,76	3	35,25	3	38,85	3	39,45	3	32,15
14	3	38,76	3	39,27	3	45,06	3	48,98	3	38,89
28	3	45,10	3	48,86	3	53,61	3	54,60	3	46,00
Prom. Proy. 28 días	9	45,45	9	48,07	9	53,13	9	55,74	9	45,53
Diferencia de resistencia en Kg/cm ²				2,62		7,68		10,29		0,08
Nro. Total de probetas ensayadas									45	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2. Diagrama comparativo de resistencia a flexotracción de hormigón patrón Vs. Diferentes porcentajes de fibras de fibras de coco.

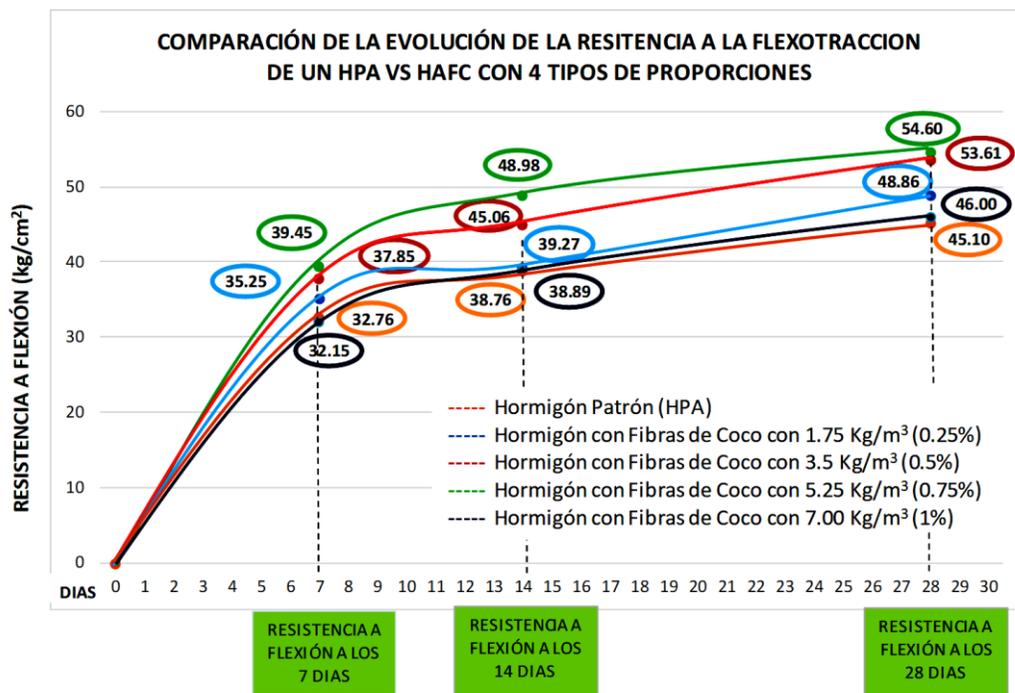


Fuente: Elaboración propia.

El módulo de rotura del hormigón patrón llega a una resistencia promedio de 45,45 Kg/cm²; Hormigón con el 0,25% de adición de fibras de coco tiene un módulo de rotura promedio de 48,07 Kg/cm² lo que significa que hay incremento del módulo de 2,62 Kg/cm², lo que corresponde un porcentaje de 5,45%, que influye positivamente en la disminución del espesor del pavimento rígido; Hormigón con el 0,5% de adición de fibras de coco tiene un módulo de rotura promedio de 53,13 Kg/cm² lo que significa que hay incremento del módulo de 7,68 Kg/cm², lo que corresponde a un porcentaje de 14,46%, que influye positivamente en la disminución del espesor del pavimento rígido; Hormigón con el 0,75% de adición de fibras de coco tiene un módulo de rotura promedio de 55,74 Kg/cm² lo que significa que hay incremento del módulo de 10,29 Kg/cm², lo que corresponde a un porcentaje de 18,46%, que también influye positivamente en el incremento del espesor del pavimento rígido; Hormigón con el 1% de adición de fibras de coco tiene un módulo de rotura promedio de 45,53 Kg/cm², que no influye ni positiva ni negativamente en el hormigón, pero si disminuye su valor respecto a la adición con 0,75%

Con lo que se concluye que la adición del 0,75% de fibra de coco incrementa el módulo de rotura mínimo requerido de 4,5 Mpa. Por tanto, En la siguiente figura se muestra la evolución comparativa de la resistencia a flexotracción del hormigón patrón comparado con el hormigón con 1,75 Kg/m³, 3,5 Kg/m³, 5,25 Kg/m³, 7 Kg/m³, de adición de fibras de estopa de coco correspondiente al 0,25, 0,5%, 0,75%, y 1% respectivamente.

Figura 4.3. Curva comparativa de resistencia a flexión



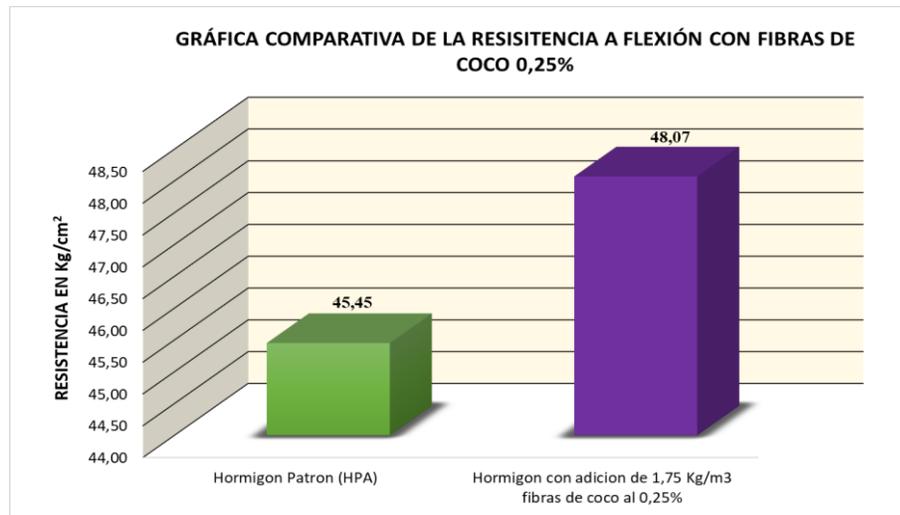
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis realizado, se pudo evidenciar que el hormigón con 5,25 Kg/m³ de adición al 0,75% de fibra de estopa de coco, es la más óptima ya que con esta adición se obtiene el mayor valor del módulo de rotura del hormigón a los 28 días, que es de $M_r = 54,60 \text{ Kg/cm}^2 \approx 5,36 \text{ Mpa}$, y un valor de la resistencia a compresión a los 28 días, de $420,98 \text{ Kg/cm}^2 \approx 41,28 \text{ Mpa}$; aunque es un poco menor que el valor de la resistencia del hormigón patrón, está por encima de la resistencia requerida de $350 \text{ Kg/cm}^2 \approx 35 \text{ Mpa}$, valores que se extractaron del análisis comparativo de la tabla 4.6. respectivamente.

4.3. Análisis individual de los resultados

El módulo de rotura de la resistencia patrón promedio a los 28 días es de 45,45 Kg/cm² al incorporar fibras de coco en un 0,25% observamos que tiene un módulo de rotura promedio de 48,07 Kg/cm² lo que significa que hay incremento de un porcentaje de 5,45%, que influye positivamente en la disminución del espesor del pavimento rígido.

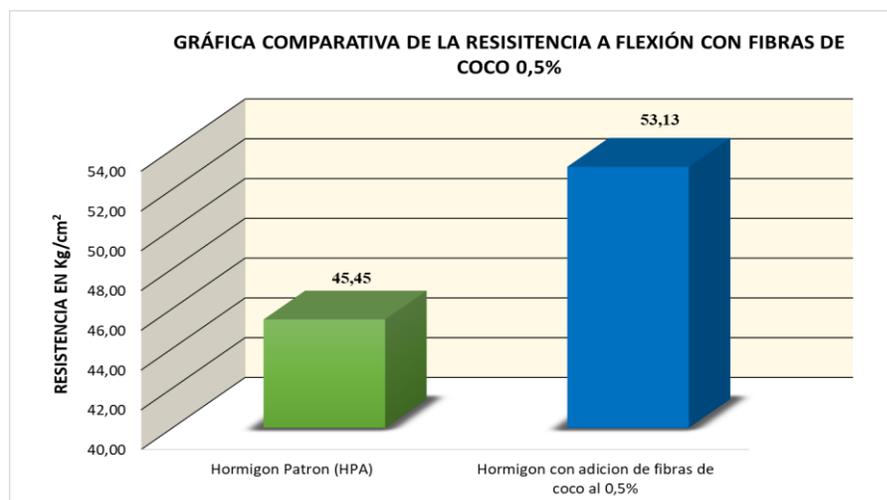
Figura 4.4. Adición de 0,25% de fibras de coco en el hormigón



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura podremos observar de como las fibras de coco al incorporarse al hormigón con un porcentaje del 0,5% aumentó su resistencia 14,46 % en relación el hormigón patrón.

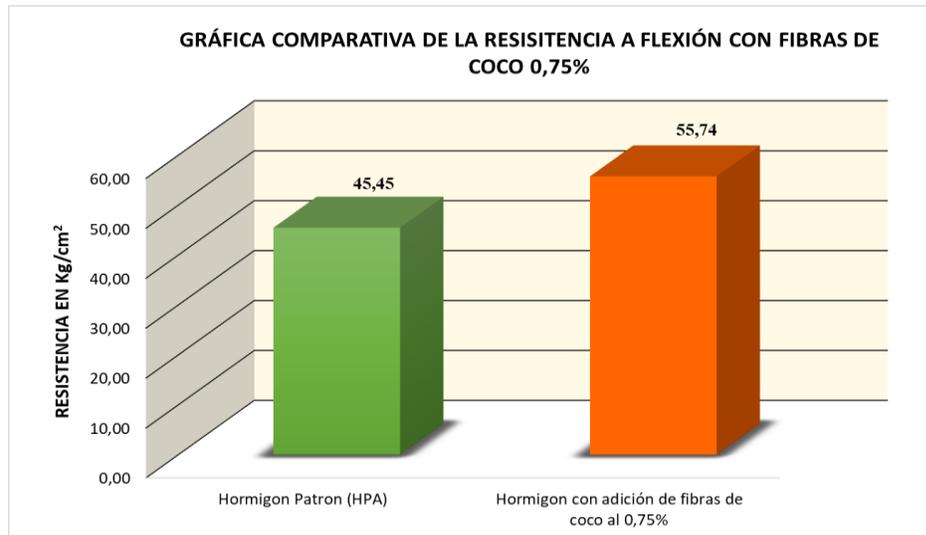
Figura 4.5. Adición de 0,5% de fibras de coco en el hormigón



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.6. observamos que al adicionar un 0,75% de fibras de coco en el hormigón demostró que hay incremento del módulo de $10,29 \text{ Kg/cm}^2$, lo que corresponde a un porcentaje de 18,46%, que influye positivamente en el incremento del espesor del pavimento rígido siendo este el porcentaje más óptimo de la investigación.

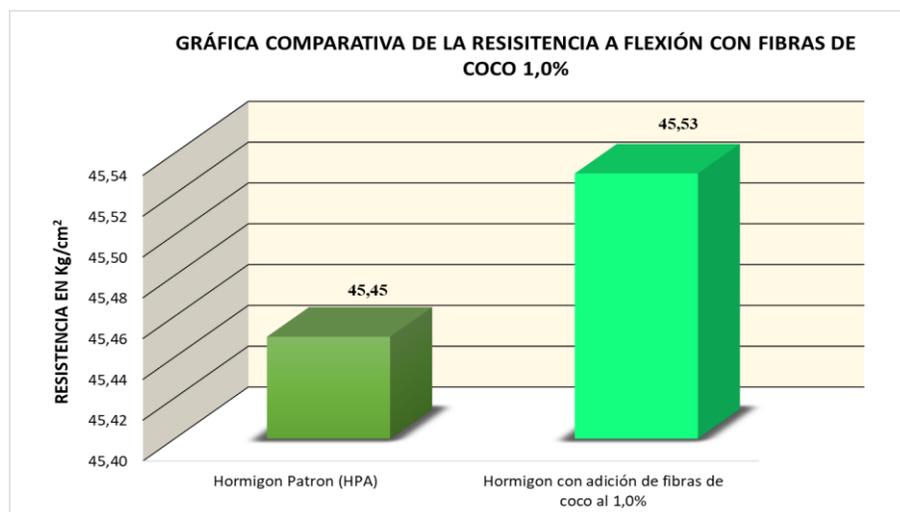
Figura 4.6. Adición de 0,75% de fibras de coco en el hormigón



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 4.7. podremos observar de como las fibras de coco al incorporarse al hormigón con un porcentaje del 1,0% tiene un módulo de rotura promedio de 45,53 Kg/cm^2 , que no influye ni positiva ni negativamente en el hormigón, pero si disminuye su valor respecto a la adición con 0,75%.

Figura 4.7. Adición de 1,0% de fibras de coco en el hormigón

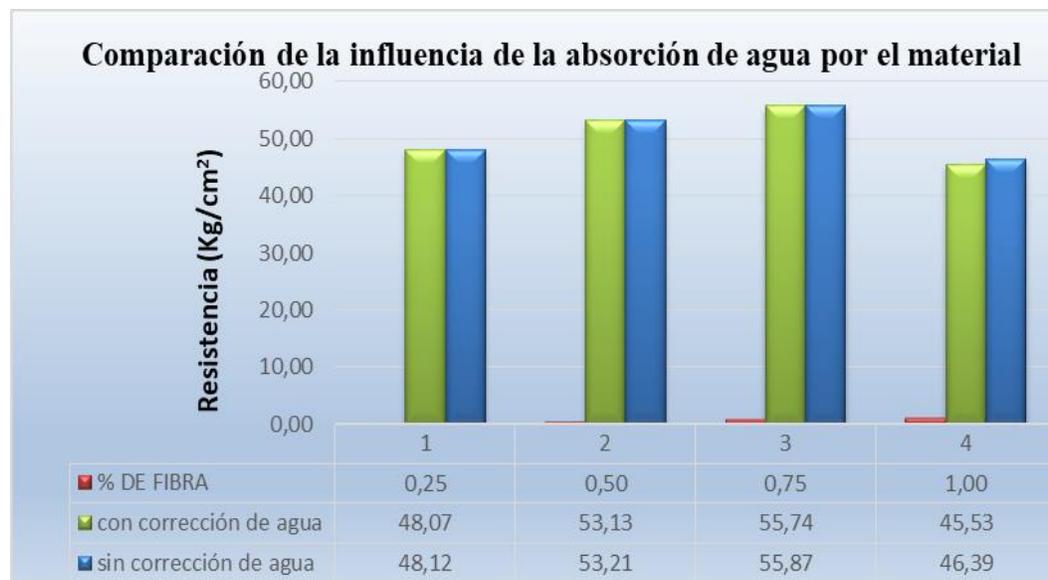


Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis de la influencia del material en referencia a la relación agua cemento

De acuerdo a los valores obtenidos en la rotura de probetas para un hormigón sin corrección de agua por el material adicionado vs el hormigón con diferentes correcciones de agua correspondientes a cada porcentaje de material y una relación de agua/cemento constante, se muestra en la siguiente grafica la influencia que se tiene en los valores de resistencia para cada porcentaje.

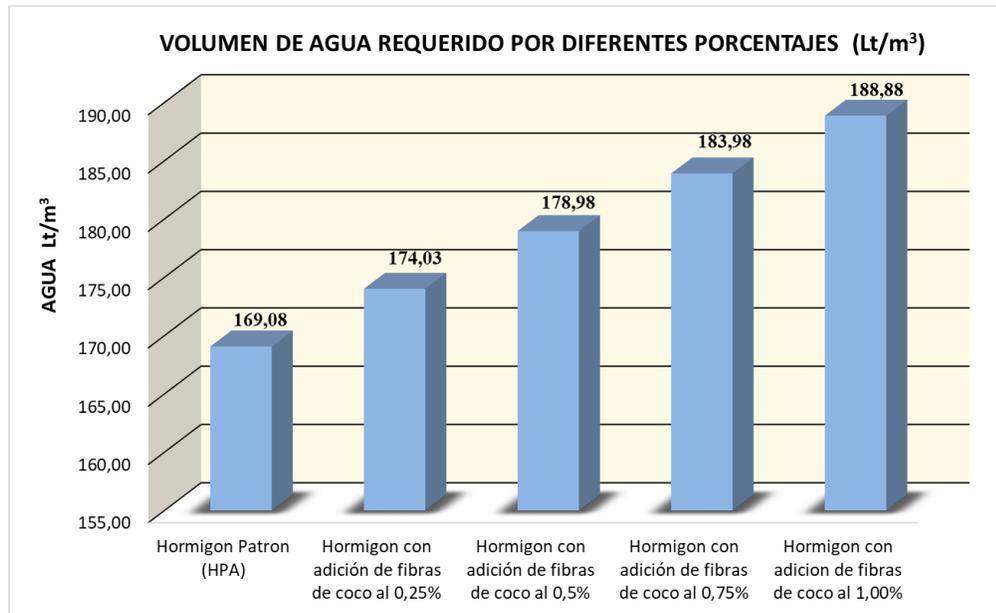
Figura N° 4.8. Gráfica comparativa de las resistencias con la influencia de la absorción de agua por el material



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.8. Se puede observar una insignificante diferencia de valores de resistencia debido a la pequeña diferencia de absorción y agua corregida que se tiene por el material debido al peso utilizado del mismo. Para un 0,25% de material adicionado la diferencia de resistencia sin corrección de agua es de + 0,05 kg/cm² correspondiente al 0,10%, en 0,5% de material adicionado la diferencia de resistencia sin corrección de agua es de + 0,08 kg/cm² correspondiente al 0,15%, en 0,75% de material adicionado la diferencia de resistencia sin corrección de agua es de + 0,13 kg/cm² correspondiente al 0,24% y por ultimo para el 1,00% de material adicionado la diferencia de resistencia sin corrección de agua es de + 0,86 kg/cm² correspondiente 1,89%.

Figura N° 4.9. Volumen de agua requerido por diferentes porcentajes de material agregado



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.9. Muestra el volumen requerido calculado de agua para cada porcentaje de material adicionado por m³ de hormigón.

Para el diseño del pavimento rígido tipo, consideraremos el uso del programa DIPAV, ya que este programa nos ayudara a simplificar los calculo, y obtener los valores más exactos para el diseño.

Figura 4.10. Diseño del espesor de un pavimento de alto volumen de tráfico con el módulo de rotura de un hormigón patrón

Variable	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)	4.54	MPa
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)	658.47	psi
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)	29.000	MPa
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)	4,206.094.39	psi
Coeficiente de Drenaje (Cd)	1	
Coeficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)	100.76	kPa/mm
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)	371.2	pci
Confiabilidad (R)(%)	90	
Desviación Estándar (So)	0.31	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	7,500,000	
Calcular ESALs		
Espesor de Losa (mm)	225	
Calcular		
Borrar todo		

Fuente: Elaboración propia

Con las variables de entrada descritas en la tabla 4.13. y el módulo de rotura de un hormigón patrón $M_r = 4,46$ Mpa, obtenemos un espesor de losa de 225 mm con lo cual asumimos un espesor de losa adoptado de 230 mm o 23 cm.

Para el diseño de la losa con la adición de $5,25 \text{ Kg/cm}^2$ al 0,75% de fibras de estopa de coco, tomaremos en cuenta los mismos valores de la tabla 4.13, asiendo simplemente variar el módulo de rotura obtenido en laboratorio a los 28 días, con el valor de $M_r = 5,46$ Mpa. Como se muestra en la figura 4.11.

Figura 4.11. Diseño del espesor de un pavimento de alto volumen de tráfico con el módulo de rotura de un hormigón con adición de 5,25 Kg/m³ al 0,75% de fibras de estopa de coco.

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is 'DIPAV 2.3'. The menu bar includes 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. The main window has two tabs: 'HORMIGÓN PATRON' and 'HORMIGÓN CON ADICION DE FIBRAS DE COCO'. Below the tabs are several sub-tabs: 'Rígido', 'Módulo', 'ESALs', 'Información Adicional', 'Barras de Amarre', 'Reservorio de Juntas', and 'Gráfico'. The 'ESALs' tab is selected, showing a form with the following fields and values:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo de Rotura del Hormigón (S _c)(MPa) - (psi)	5,57	MPa ==> 807.86 psi
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	29,000	MPa ==> 4,206,094.39 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (I)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	100.76	kPa/mm ==> 371.2 pci
Confiabledad (R)(%)	90	
Desviación Estándar (So)	0.31	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	7,500,000	Calcular ESALs
Espesor de Losa (mm)	198	

At the bottom left, there are radio buttons for 'Espesor' (selected) and 'ESALs', with 'Calcular' and 'Borrar todo' buttons next to them.

Fuente: Elaboración propia.

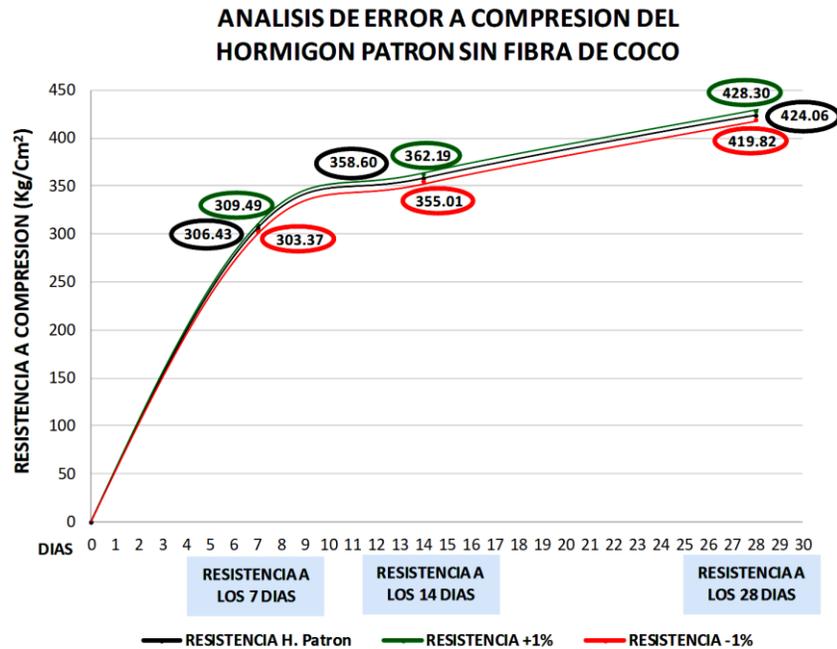
Tomando en cuenta las mismas variables de diseño como ya se menciona, y variando simplemente el módulo de rotura con $M_r = 5,57$ Mpa. Del hormigón con adición de fibras de estopa de coco, obtenemos un espesor de losa de 198 mm con lo cual asumimos un espesor de losa adoptado de 200 mm o 20 cm.

4.6. Análisis del error considerando la calibración de los equipos

De acuerdo al certificado de calibración de la prensa utilizada para la rotura de probetas cilíndricas y prismáticas. En las siguientes graficas se presenta la estimación de error de los resultados de los ensayos de las probetas de hormigón patrón y hormigón con 0,25%, 0,5%, 0,75% y 1% de adición de fibras de estopa de coco.

Para este análisis se considera el error de +/-1%, tal como indica el certificado de calibración presentado en el Anexo C.

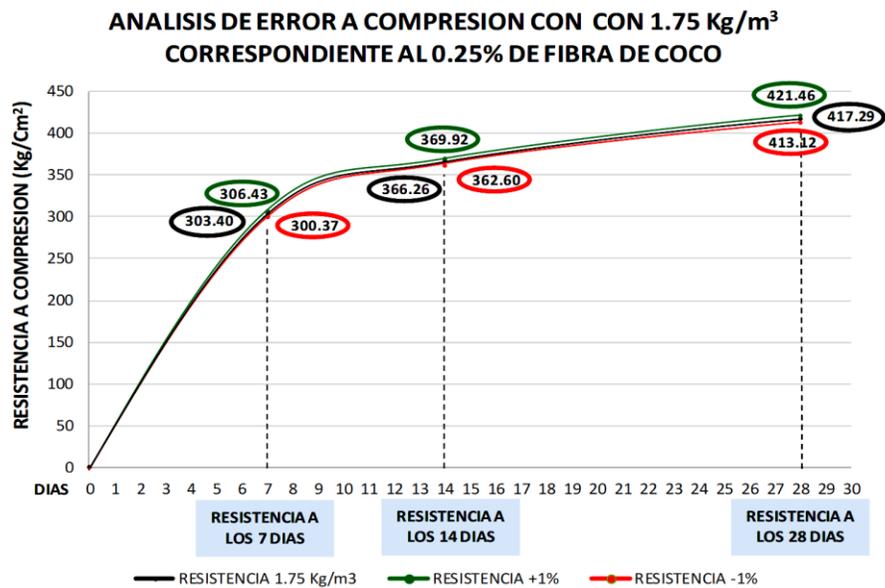
Figura 4.12. Análisis de error para un ensayo a compresión de un Hormigón Patrón



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.12, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 3,06 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 3,59 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 4,24 Kg/cm²

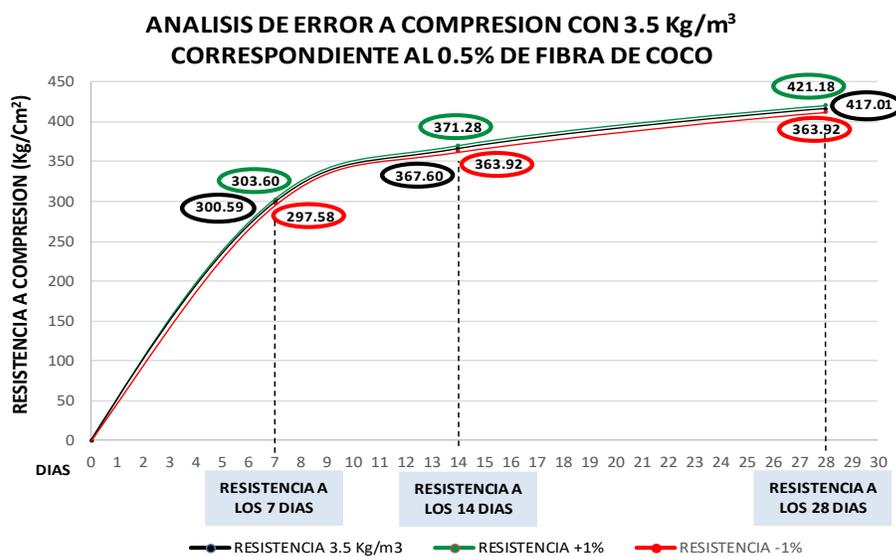
Figura 4.13. Análisis de error para un ensayo a compresión con un porcentaje de 0,25% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 1,75 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.13, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 3,03 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 3,66 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 4,17 Kg/cm²

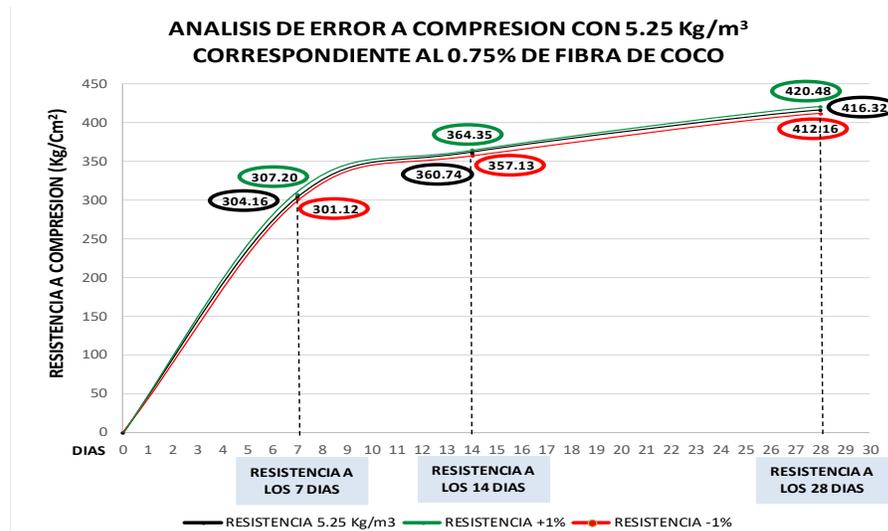
Figura 4.14. Análisis de error para un ensayo a compresión con un porcentaje de 0,5% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 3,5 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.14, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 3,01 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 3,68 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 4,17 Kg/cm²

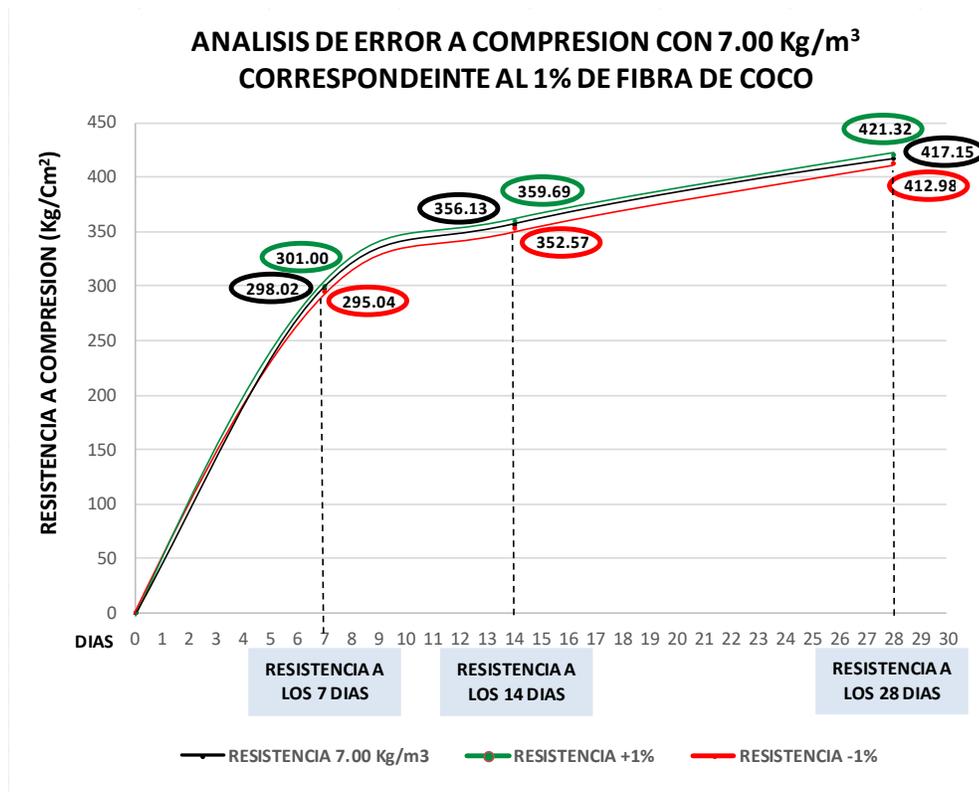
Figura 4.15. Análisis de error para un ensayo a compresión con un porcentaje de 0,75% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 5,25 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.15, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 3,04 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 3,61 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 4,16 Kg/cm²

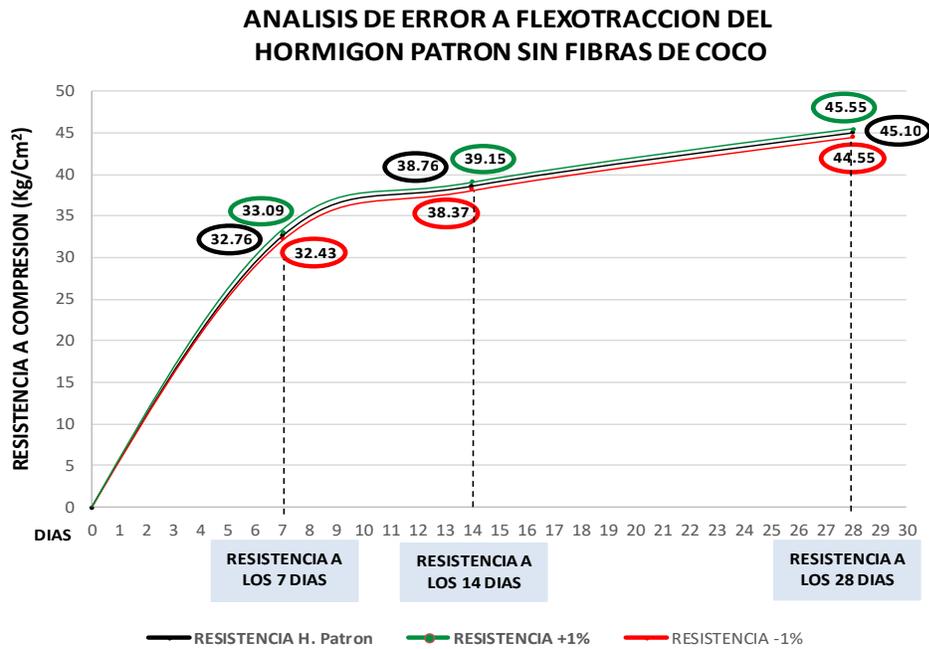
Figura 4.16. Análisis de error para un ensayo a compresión con un porcentaje de 1% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 7,00 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.16, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 2,98 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 3,56 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 4,17 Kg/cm²

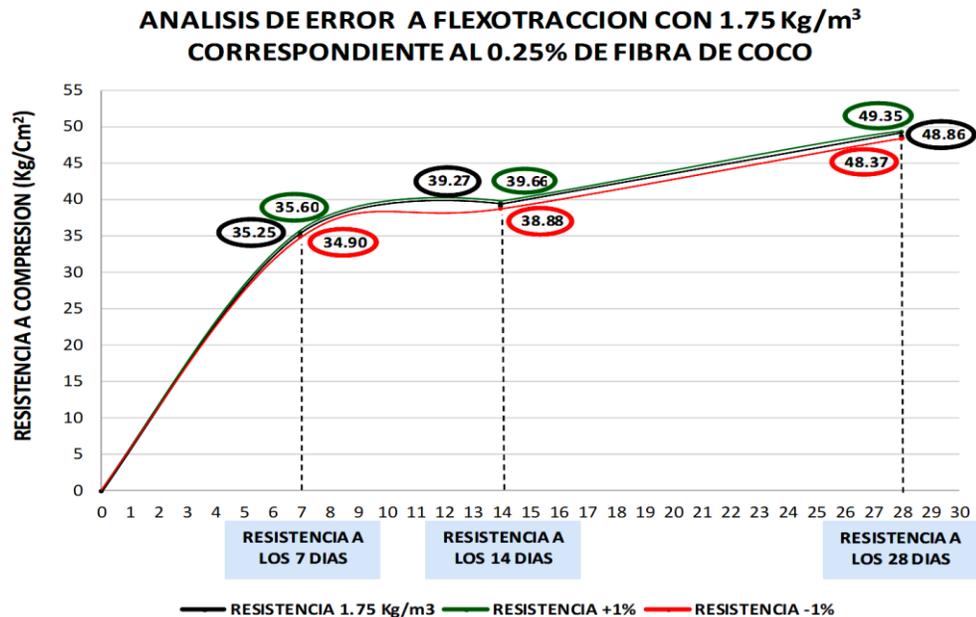
Figura 4.17. Análisis de error para un ensayo a flexotracción de un Hormigón Patrón



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.17, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 0,33 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 0,39 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 0,45 Kg/cm²

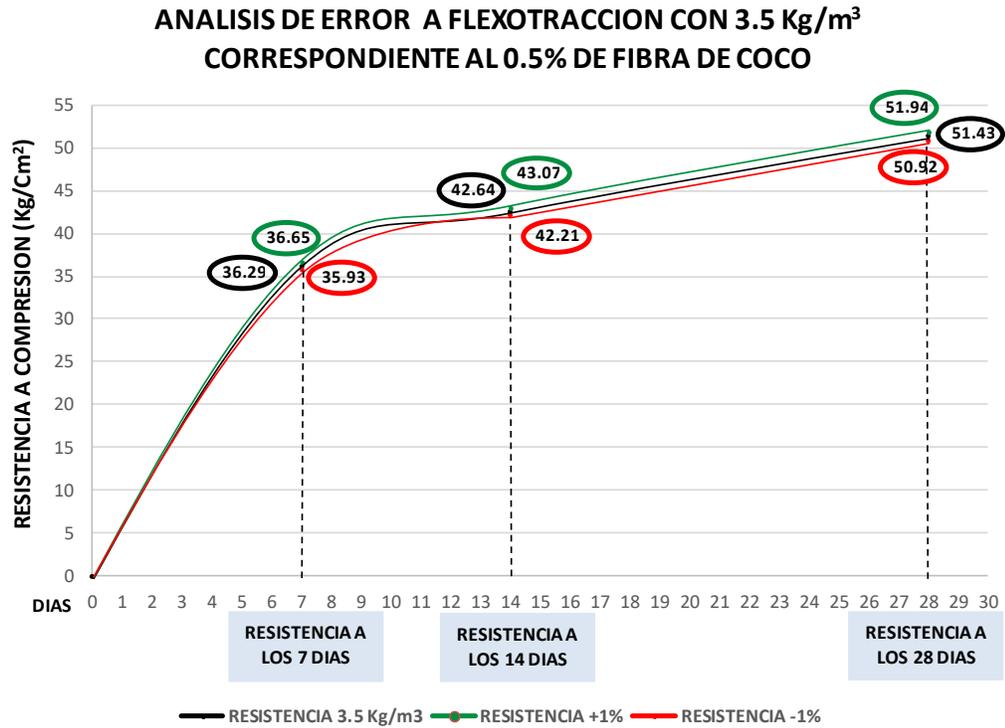
Figura 4.18. Análisis de error para un ensayo a flexotracción con un porcentaje de 0,25% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 1,75 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.18, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 0,35 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 0,35 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 0,39 Kg/cm²

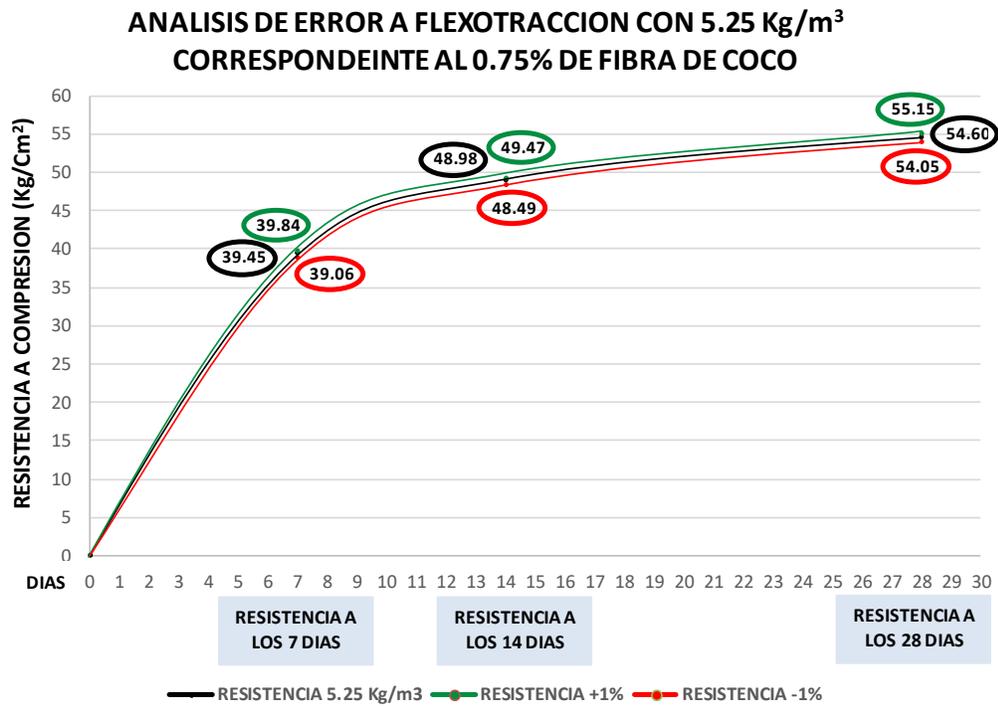
Figura 4.19. Análisis de error para un ensayo a flexotracción con un porcentaje de 0,50% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 3,5 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.19, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 0,36 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 0,42 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 0,51 Kg/cm²

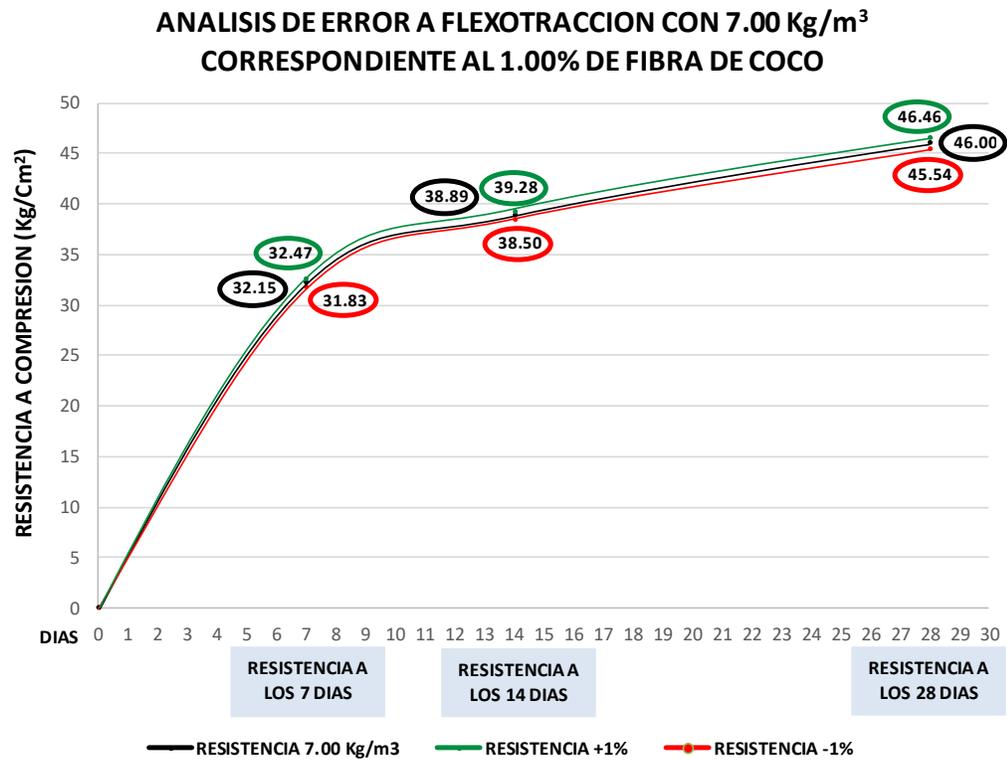
Figura 4.20. Análisis de error para un ensayo a flexotracción con un porcentaje de 0,75% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 5,25 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.20, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 0,39 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 0,49 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 0,58 Kg/cm²

Figura 4.21. Análisis de error para un ensayo a flexotracción con un porcentaje de 1,00% de fibras de coco, correspondiente a una cantidad de 7,00 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.21, se observa que el error a la compresión a los 7 días es de +/- 0,32 Kg/cm², a los 14 días es de +/- 0,39 Kg/cm², y a los 28 días es de +/- 0,46 Kg/cm².

4.7. Estadística descriptiva

4.7.1. Cálculo de curva de frecuencia relativa hormigón patrón

Tabla N°4.14. Cálculo de frecuencia relativa con los datos patrón

fct (Kg/cm ²)	Fi	Frecuencia relat,	Frecuencia relat, (%)
44,70 45,00	2	0,22	22,22
45,00 45,30	1	0,11	11,11
45,30 45,60	2	0,22	22,22
45,60 45,90	3	0,33	33,33
45,90 46,20	1	0,11	11,11
Total	9	1,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.15. Cálculo de frecuencia relativa con los datos H° optimo

fct (Kg/cm ²)	Fi	Frecuencia relat,	Frecuencia relat, (%)
54,37 54,87	2	0,22	22,22
54,87 55,37	1	0,11	11,11
55,37 55,87	1	0,11	11,11
55,87 56,37	1	0,11	11,11
56,37 56,87	4	0,44	44,44
Total	9	1,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Cálculo de curva de frecuencia acumulada hormigón patrón

Tabla N°4.16. Cálculo de frecuencia acumulada con los datos patrón

fct (Kg/cm ²)	fi	Frecuencia acum,
44,70 45,00	2	2,00
45,00 40,30	1	3,00
45,30 45,60	2	5,00
45,60 45,90	3	8,00
45,90 46,20	1	9,00
Total		9

Fuente: Elaboración propia.

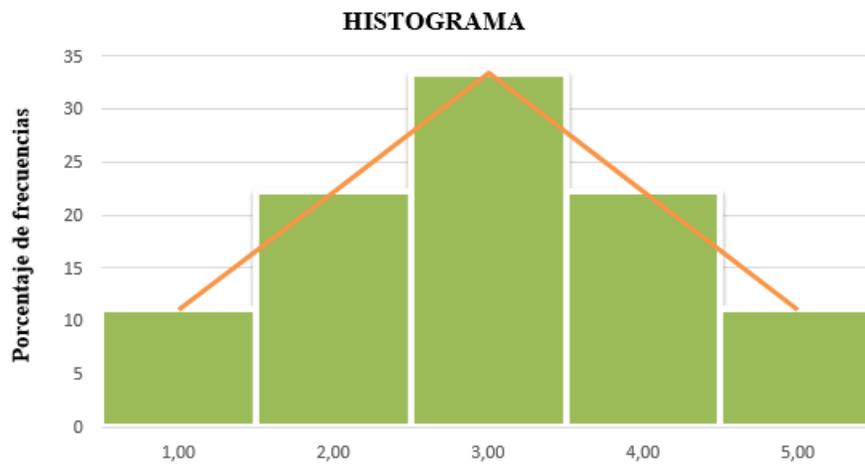
Tabla N°4.17. Cálculo de frecuencia acumulada con datos H° óptimo

fct (Kg/cm ²)	fi	Frecuencia acum,
54,37 54,87	2	2,00
54,87 55,37	1	3,00
55,37 55,87	1	4,00
55,87 56,37	1	5,00
56,37 56,87	4	9,00
Total		9

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. Determinación del Histograma

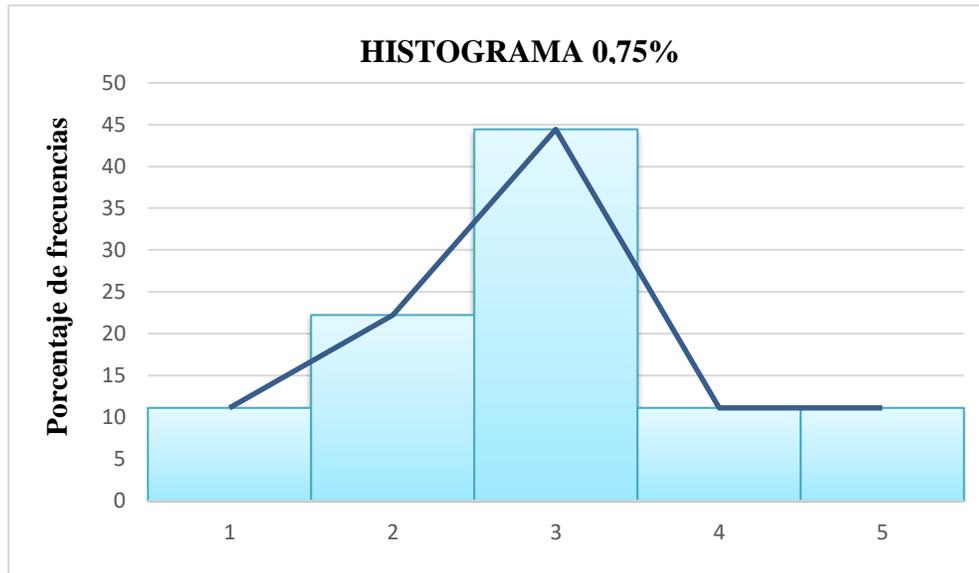
Figura N° 4.22. Determinación del histograma con datos patrón



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el histograma podemos observar cómo se distribuyen las frecuencias relativas, el 33% de los datos obtenidos de la rotura a flexión se encuentra entre los intervalos de (45,60 – 45,90) como se observa en la tabla N°4.14.

Figura N° 4.. Determinación del histograma con datos hormigón óptimo.



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el histograma podemos observar cómo se distribuyen las frecuencias relativas, el 44% de los datos obtenidos de la rotura a flexión se encuentra entre los intervalos de (56,37 – 56,87) como se observa en la tabla N°4.15.

4.7.4. Cálculos de medidas de tendencia central

Tabla N°4.18. Resultados de las medidas de tendencia central H° patrón

Media	45,45	(Kg/cm ²)
Mediana	45,50	(Kg/cm ²)
Moda	45,70	(Kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.19. Resultados de las medidas de tendencia central H° optimo

Media	55,74	(Kg/cm ²)
Mediana	56,01	(Kg/cm ²)
Moda	56,58	(Kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia.

4.7.5. Cálculo de medidas de dispersión

Tabla N°4.20. Resultados de las medidas de dispersión H° patrón

Desviación estándar	1,16	(Kg/cm ²)
Varianza	1,34	(Kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.21. Resultados de las medidas de dispersión H° óptimo

Desviación estándar	2,15	(Kg/cm ²)
Varianza	4,61	(Kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia.

4.19. Estadística inferencial y Nivel de confiabilidad

4.19.1. Rango de confiabilidad T-Student

Tabla N°4.22. Parámetros estadístico H° patrón

Parámetro estadístico		Estadístico
90% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	44,69
	Límite superior	46,21

Fuente: Elaboración propia.

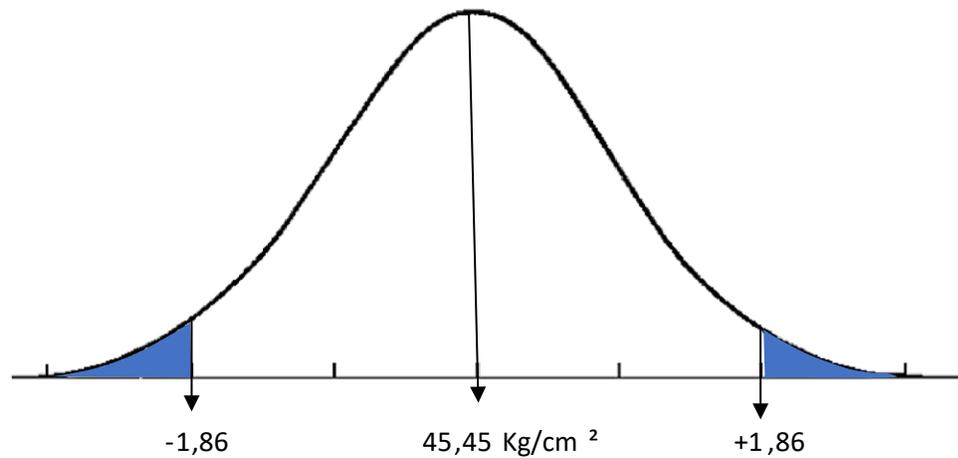
Mediante el cálculo de la estadística inferencial por el método T-student en la tabla N°4.23. teniendo una confiabilidad del 90% calculamos el límite inferior y superior.

Tabla N°4.23. Datos que se encuentran el límite superior e inferior H° patrón

Tracción (fct) (Kg/cm ²)
44,70
44,80
45,09
45,40
45,50
45,75
45,85
45,85
46,15

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4.24. Campana de Gauss



90% de aceptación

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°4.24. se puede observar la distribución de datos de las variables, donde su punto medio es el promedio de la resistencia a la flexión y a los extremos nos indican el valor calculado (t), muestra los datos obtenidos en la rotura a flexión que se encuentra dentro de la campana de Gauss con una confiabilidad del 90 %, los datos dentro de la campana de Gauss se ven reflejados en la tabla N°4.23.

4.8.2. Rango de confiabilidad T-Student para el hormigón óptimo

Tabla N°4.24. Parámetros estadístico H° optimo

Parámetro estadístico		Estadístico
90% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	54,33
	Límite superior	57,15

Fuente: Elaboración propia.

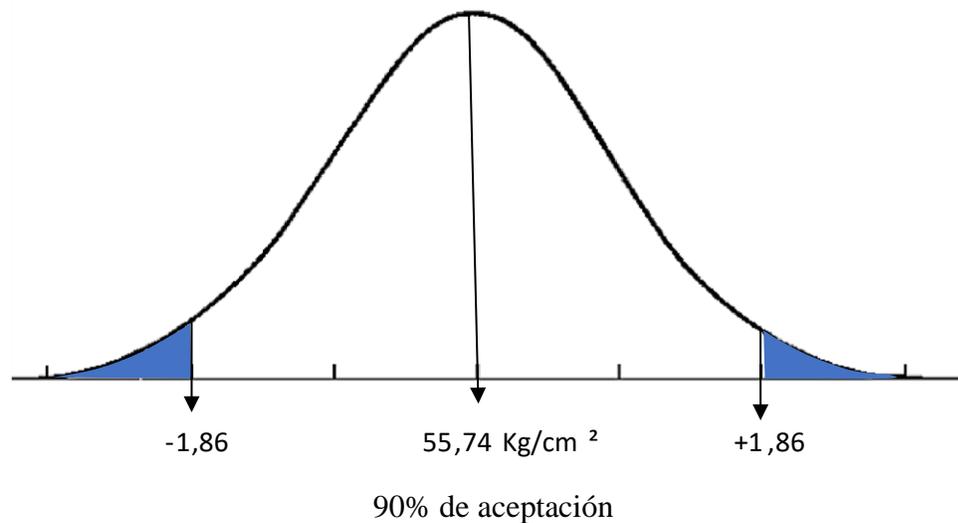
Mediante el cálculo de la estadística inferencial por el método T-student en la tabla N°4.25. teniendo una confiabilidad del 90% calculamos el límite inferior y superior.

Tabla N°4.25. Datos que se encuentran el límite superior e inferior H° óptimo

Tracción (fct) (Kg/cm ²)
54,37
54,49
54,98
55,52
56,01
56,45
56,49
56,56
56,72

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4.25. Campana de Gauss



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°4.25. se puede observar la distribución de datos de las variables, donde su punto medio es el promedio de la resistencia a la flexión y a los extremos nos indican el valor calculado (t), muestra los datos obtenidos en la rotura a flexión que se encuentra dentro de la campana de Gauss con una confiabilidad del 90 %, los datos dentro de la campana de Gauss se ven reflejados en la tabla N°4.25. Dando cumplimiento al nivel de confianza.

4.9. Interpretación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación, realizaremos la interpretación de resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a compresión y a flexotracción de las probetas cilíndricas y prismáticas de todas las muestras de hormigón; determinando de esta manera que influencia tiene la adición de fibras de estopa de coco en el diseño del espesor de una losa de pavimento rígido mediante la norma de diseño AASHTO 93. Resumen que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.26. Interpretación de resultados de diseño del espesor de una losa de pavimento

Diseño	Resistencia a compresión a los 28 días	Resistencia a flexotracción a los 28 días	Espesor Calculado	Mínimo requerimiento $M_r = 4,5 \text{ Mpa.}$
Hormigón Patrón H-35	423.77 Kg/cm ² 42.38 Mpa.	45.45 Kg/cm ² 4.54 Mpa.	e = 23 cm	Cumple
Hormigón con 1.75 Kg/m ³ de fibra de estopa de coco al 0.25%	423.11 Kg/cm ² 41.49 Mpa.	48.07 Kg/cm ² 4.71 Mpa.	e = 22 cm	Cumple
Hormigón con 3.5 Kg/m ³ de fibra de estopa de coco al 0.5%	422.19 Kg/cm ² 42.22 Mpa.	50.73 Kg/cm ² 4.98 Mpa.	e = 21 cm	Cumple
Hormigón con 5.25 Kg/m³ de fibra de estopa de coco al 0.75%	420.98 Kg/cm² 41.28 Mpa.	55.74 Kg/cm² 5.57 Mpa.	e = 20 cm	Cumple
Hormigón con 5.25 Kg/m ³ de fibra de estopa de coco al 1%	416.61 Kg/cm ² 40.86 Mpa.	45.53 Kg/cm ² 4.47 Mpa.	e = 23 cm	Cumple
Hormigón con 10.5 Kg/m ³ de fibra de estopa de coco al 1.5%	No Ensayada	35.71 Kg/cm ² 3.57 Mpa.	No Calculado	No Cumple
Hormigón con 17,5 Kg/m ³ de fibra de estopa de coco al 2.5%	No Ensayada	31.16 Kg/cm ² 3.12 Mpa.	No Calculado	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Según la presentación de resultados de la tabla 4.26. se puede evidenciar que el hormigón con 5,25 Kg/m³ de adición de fibras de estopa de coco al 0,75%, puede optimizar el espesor de un pavimento en 3 cm de altura comparado con el hormigón patrón; ya que la resistencia a flexotracción del hormigón con la adición de fibras de coco aumenta de 45,45 Kg/cm² a 55,74 Kg/cm² con un incremento de 10.29 Kg/cm² ,siendo este un 122.64%, Dando a evidenciar que su mejora en resistencia a flexotracción es de un 22.64%.

4.10. Análisis Técnico – Económico, comparativo de un hormigón con aditivo superplastificante y la muestra de hormigón con adición del 0,75% de fibra de coco.

1) Análisis Técnico del hormigón con adición de aditivo superplastificante

Tomando en cuenta, la investigación de la Tesis “El efecto de la adición de superplastificante en las propiedades mecánicas y físicas del concreto para pavimentos.” Nataly Roxana Angeles Suazo, 2021. Presentamos los siguientes resultados de rotura de probetas a flexión de un hormigón H-35, con la adición optima de 1.50% de aditivo superplastificante correspondiente a 5,00 Kg/m³

Tabla 4.27. Resultados para la resistencia a la flexión del concreto con adición de superplastificante al 1,50%

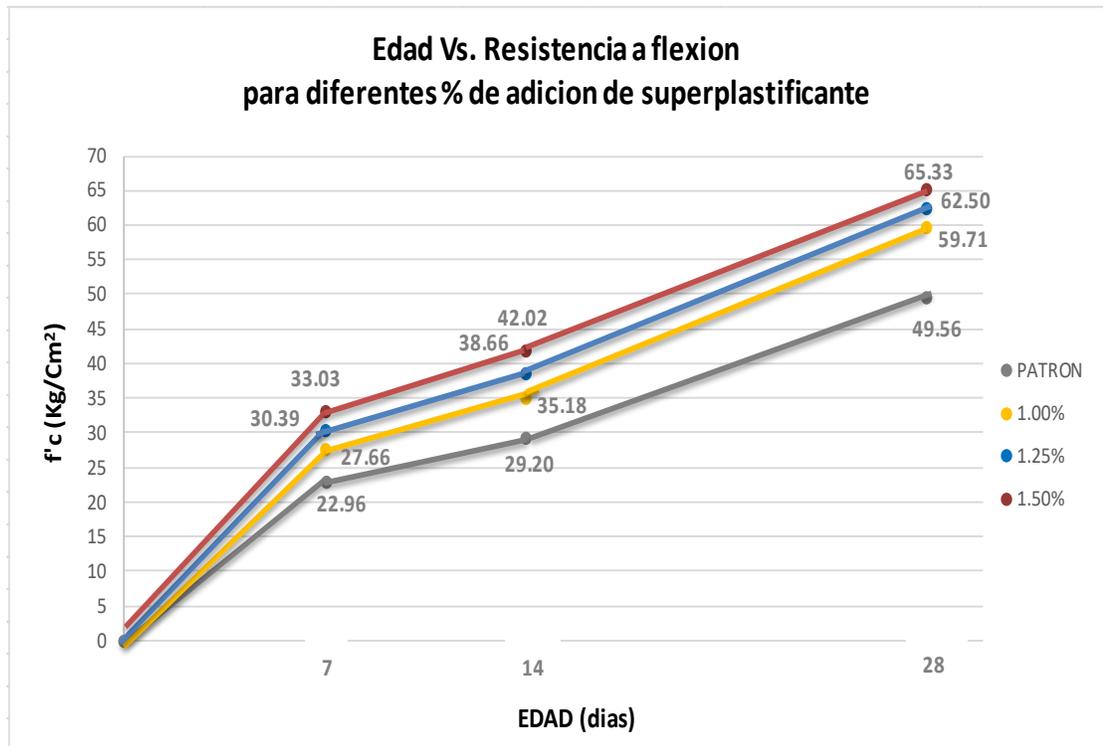
Diseño de Mezcla	Edad (Dias)	Carga Maxima (KN)	Módulo de Rotura f'c (Mpa)	Módulo de Rotura f'c (Kg/cm ²)	Resistencia Promedio a la flexión (Kg/cm ²)
F'c = 350 (Kg/cm ²)	7	24.82	3.19	33.11	33.03
	7	24.37	3.32	32.45	
	7	25.15	3.30	33.55	
	14	31.85	4.18	42.46	42.02
	14	30.10	3.96	42.35	
	14	30.96	4.07	41.25	
	28	48.67	6.38	64.90	65.33
	28	49.63	6.49	66.22	
	28	49.36	6.45	65.78	

Fuente: Roxana Angeles Suazo, 2021

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 4.27. del trabajo de tesis de Roxana Ángeles, 2021. Esta muestra que la resistencia a flexión a los 28 días llega a un valor del módulo de Rotura de 65.33 Kg/cm², equivalente a 6.41 Mpa, considerando que el mayor incremento de resistencia a flexión se da con 1.5%. de aditivo superplastificante.

En la siguiente grafica se presenta la evolución de resultados a flexión de las probetas prismáticas del hormigón con 1.00%, 1.25% y 1.5% de adición de aditivo superplastificante, correspondiente a la tesis “El efecto de la adición de superplastificante en las propiedades mecánicas y físicas del concreto para pavimentos.” Roxana Ángeles S, 2021

Figura 4.26. Gráfica de la resistencia promedio a la flexión del concreto endurecido patron con 1.00%, 1.25% y 1.50% de adiccion de aditivo superplastificante.



Fuente: Roxana Angeles Suazo, 2021

De acuerdo a la figura 4.26, muestra que la resistencia a la flexión con aditivo al 1.5% tienen el mayor incremento a la flexotracción como se mostró en la tabla 4.27. Los porcentajes de resistencia para este ensayo se observan en la siguiente tabla 4.28.

Tabla 4.28. Resumen de resultados para la resistencia a flexión en porcentajes respecto a las edades (días) del concreto patrón.

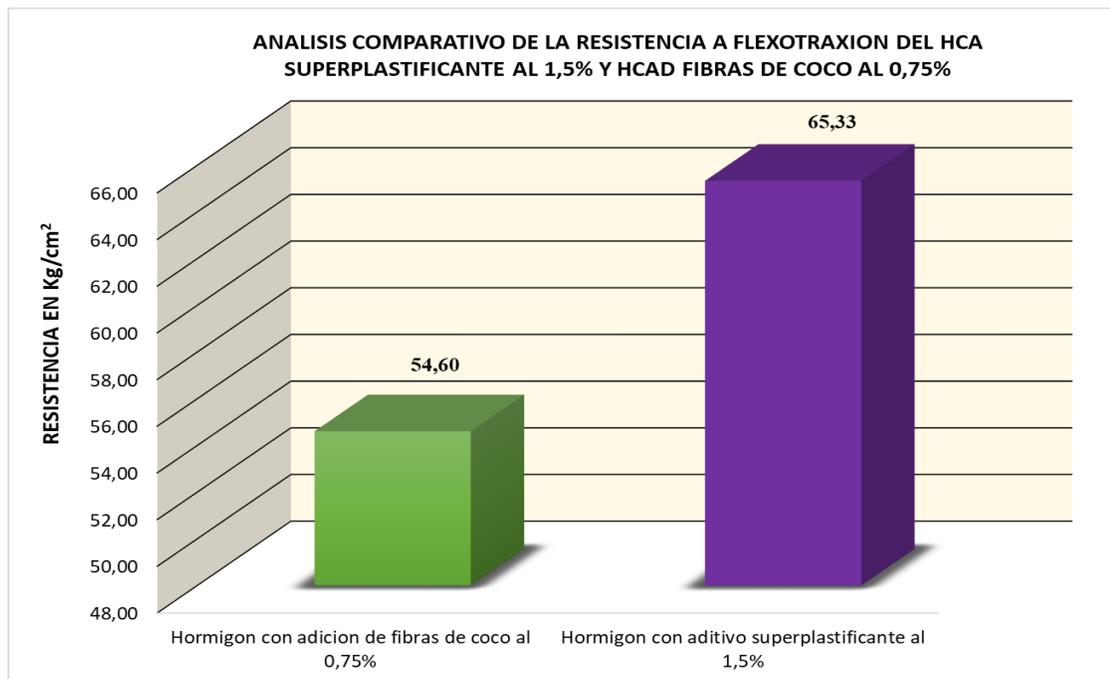
F'C	EDAD (Días)	CP	CP+1.00%	CP+1.25%	CP+1.50%
350 Kg/cm ²	7	100%	117.00	124.45	130.49
	14	100%	118.99	125.37	131.51
	28	100%	119.87	121.71	124.14

Fuente: Roxana Angeles Suazo, 2021

De acuerdo a los resultados de esta investigación se observa que el contenido óptimo de aditivo es del 1.50% de superlastificante, ya que el valor de la resistencia a flexión se incrementa en un valor del 124.14%, lo que quiere decir que el incremento real es de 24.14% respecto a un hormigón patrón.

2) **Análisis técnico y comparativo del hormigón patrón con un contenido óptimo al 1,5% de aditivo superplastificante y el hormigón patrón con adición del 0,75% de fibras de estopa de coco.**

Figura 4.27. Grafica comparativa de la resistencia promedio a flexotracción de un hormigón con adición de 0,75% de fibras de coco comparado con un hormigón con aditivo superplastificante al 1,5%



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.27. Se muestra la diferencia de resistencia a flexión de un hormigón con 0,75% de fibra de coco comparado con un hormigón con 1,5% de aditivo superplastificante. La evolución nos muestra a los 28 días, la diferencia de la resistencia es de 10,73 Kg/cm², correspondiente al 16,42 %. En este caso a favor del hormigón con aditivo superplastificante al 1,50%.

Po lo tanto, en el análisis realizado de la investigación de la tesis. “El efecto de la adición de superplastificante en las propiedades mecánicas y físicas del concreto para pavimentos.” Nataly Roxana Angeles Suazo, 2021. Muestra que la resistencia del hormigón a flexión con el aditivo superplastificante al 1,5%, a los 28 días el hormigón

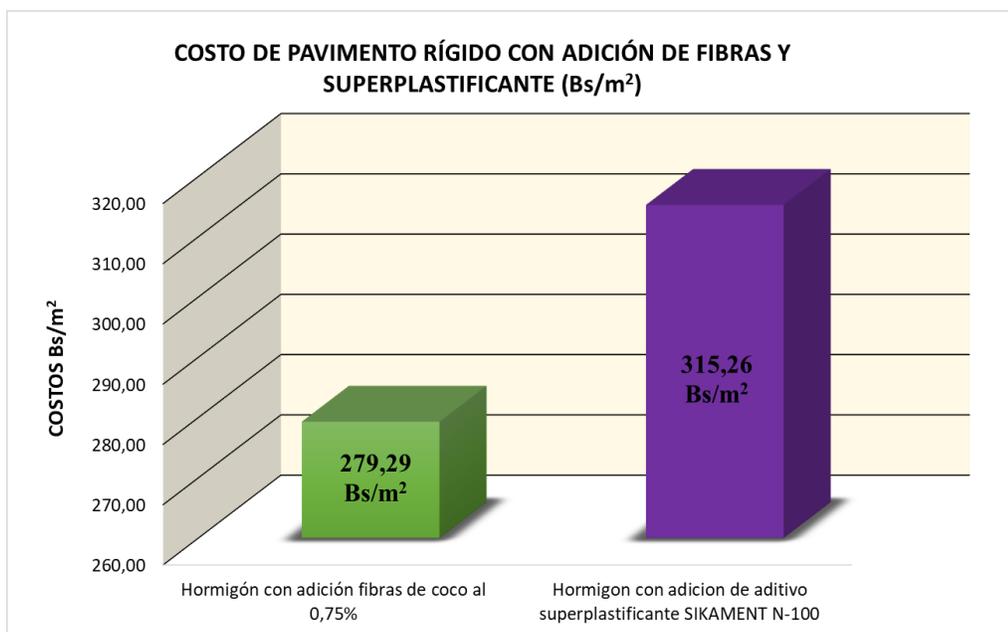
con el aditivo superplastificante al 1,5%, sube sustancialmente su resistencia a flexión, que supera la resistencia a flexión del hormigón con adición del 0.75% de fibras de coco.

3) Análisis económico

Se presenta el análisis de precios unitarios de PRESCOM 2013, del hormigón patrón con aditivo superplastificante al 1,5%, en función de la investigación de referencia de la tesis “El efecto de la adición de superplastificante en las propiedades mecánicas y físicas del concreto para pavimentos.” Nataly Roxana Angeles Suazo, 2021. Comparado con nuestra investigación de un hormigón patrón con 0,75% de adición de fibra de estopa de coco.

Con lo cual se podrá diferenciar en los 2 Ítems; los precios de los insumos, tanto de los insumos como: materiales, mano de obra y equipo, pero considerando las mismas incidencias para ambos casos, el análisis de precios unitarios se muestra en anexos E

Figura 4.28. Costo de pavimento rígido con adición de fibras de coco y superplastificante



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.28. Se observa el costo de acuerdo al análisis de precios referenciales de los materiales, mano de obra y equipo, se tiene que un Pavimento de hormigón premezclado H-35 e = 18 cm, con un Aditivo Superplastificante al 1,50%, tiene un precio referencial

de 315.26 Bs/m². Así mismo pudiendo observar el costo de un pavimento de hormigón premezclado H-35 e = 20cm, con adición de fibras de coco, tiene un precio referencial de 279,29 Bs/m².

Por lo tanto, se puede observar que existe una diferencia de precios de ambos ítems con un valor de 35.97 Bs/m², a favor del hormigón con 0,75% de adición de fibras de estopa de coco, con lo que se obtiene un 11.41 % de ahorro por metro cuadrado de pavimento, en referencia a un hormigón con aditivo superplastificante, lo que lo hace un material muy apto para su implementación en la construcción de un pavimento rígido, tanto por su economía y su durabilidad.

4.22. Verificación de la hipótesis

De acuerdo a los resultados alcanzados en el presente proyecto de investigación, podemos afirmar y corroborar que la adición de 5,25 Kg/m³ de fibras de estopa de coco correspondiente al 0,75%, aumenta la resistencia a la flexotracción del hormigón, en un porcentaje del 22,64 %, respecto al hormigón patrón.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ La consistencia del hormigón con adición de fibras de estopa de coco disminuye en 1,5 cm ya que el hormigón patrón llega a un asentamiento de 4,5 cm, y del hormigón con fibra de coco a 3 cm, no obstante, ambas mezclas de prueba se mantienen en el rango de la consistencia plástica.
- ✓ A medida que se aumenta la cantidad de fibras de estopa de coco baja la trabajabilidad del hormigón ya que en la mezcla se forman erizos de la fibra.
- ✓ En una primera prueba se verifico que la longitud de 5 cm de fibra estopa de coco, disminuye significativamente la resistencia a flexotracción del hormigón; por lo cual se estableció usar fibras de estopa de coco con una longitud promedio de 15 cm, que dieron mejores resultados.
- ✓ Según el análisis realizado en el último capítulo, se logró establecer que la resistencia a flexotracción de un hormigón patrón comparado con el hormigón con $5,25 \text{ Kg/m}^3$ de adición de fibras de estopa de coco al 0,75%, incrementa su resistencia en un 22,64%
- ✓ Referente a la comparación de la resistencia a compresión del hormigón patrón y el hormigón con $5,25 \text{ Kg/m}^3$ de adición de fibras de estopa de coco al 0,75%, este disminuye levemente su resistencia en un 0,66% llegando a un valor de $420,98 \text{ Kg/cm}^2$, con lo que ambas mezclas de prueba, superan la resistencia de característica del hormigón de 35 Mpa. no presentando inconvenientes.
- ✓ Una vez realizados los cálculos del espesor de losa mediante la norma AASHTO 93. Considerando la resistencia a flexotracción del hormigón, se demostró que se puede optimizar el espesor de la losa de 23 cm con el hormigón patrón a 20 cm con el hormigón con $5,25 \text{ Kg/m}^3$ de adición de fibras de estopa de coco al 0,75%, obteniendo de esta manera una disminución de 3 cm del espesor de diseño.

- ✓ De acuerdo al informe de Técnicas y Metrología, indican que el error de la prensa hidráulica de concreto, esta en un rango de $\pm 1\%$, de error; con lo cual las gráficas comparativas de resistencia a compresión realizadas en el punto 4.10, muestran que la variación de todas las probetas ensayadas es de $(\pm 4,16$ a $\pm 4,24)$ Kg/cm² y la variación de la resistencia a flexotracción de todas las probetas ensayadas es de $(\pm 0,58$ a $\pm 0,39)$ Kg/cm², obteniendo una variación total de 0,08 Kg/cm² en las probetas cilíndricas y 0,47 Kg/cm² en las probetas prismáticas.

- ✓ Dentro el análisis técnico económico de un hormigón con Aditivo Superplastificante al 1,5% y el hormigón con adición de fibras de estopa de coco al 0,75%, se observó que hay una diferencia en cuanto a la resistencia a la flexotracción de 10,73 Kg/cm², correspondiente al 16,42 %. En favor del hormigón con el aditivo Superplastificante al 1,5%, no obstante, en el aspecto económico este hormigón es más caro en un monto de 35.97 Bs/m², correspondiente a un 11,41 % de incremento, con lo cual se hace un material antieconómico para la construcción de un pavimento, además que este aditivo no es muy comercial, por lo que su adquisición es limitada.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda utilizar aditivos fluidificantes para tener una mejor trabajabilidad, ya sea el caso donde la consistencia del hormigón con la adición de fibras de coco sea seca con un asentamiento menor de 3 cm.

- ✓ En ningún caso se recomienda utilizar la fibra de estopa de coco en proporciones iguales o mayores de 1,5%, ya que se ha demostrado que una cantidad excesiva de fibras de coco disminuye notablemente la resistencia a flexotracción del hormigón.

- ✓ Se recomienda utilizar longitudes de fibra de coco mayores a los 10 cm, ya que estos coadyuvan a mejorar la cohesión generada en la mezcla y aumentan el valor del

módulo de rotura MR del hormigón, tal como indica Gutiérrez, 2021 y que queda plenamente demostrada en la presente investigación.

- ✓ En función de los módulos de rotura del hormigón se sugiere investigar mezclas con otros tipos de fibra como por ejemplo fibras de cáñamo, para verificar si hay comportamiento, donde se pueda aún más incrementar el módulo de rotura del hormigón con la adición de esta fibra natural.
- ✓ Para el diseño de la losa de pavimento, se recomienda tomar en cuenta todas las consideraciones y recomendaciones de diseño de la Norma AASTHO 93. Además de realizar las verificaciones de tensiones en la losa antes de ejecutar un proyecto.
- ✓ La presente tesis proporciona el fundamento necesario para futuras investigaciones sobre este tema. Por lo tanto, se sugiere realizar más investigaciones de hormigón con adiciones de fibra de coco referente a estudios de degradación, durabilidad, viscosidad, estudios químicos y físicos de los aditivos en conjunto ya que al ser naturales se podrían degradar con el tiempo, lo que nos permitiría darle un mejor tratamiento.