

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto
para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Fredy Concepcion TAQUIRI LOPEZ

Asesor:

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto
para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL
PRESIDENTE

Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN
MIEMBRO

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 084-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto
para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. TAQUIRI LOPEZ, Fredy Concepcion

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. YARASCA CORDOVA, Pedro

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Civil

Índice de Similitud

4 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 05 de marzo del 2024


UNDA - UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Regués Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis seres queridos, fuente inagotable de apoyo y amor. Su constante aliento ha iluminado mi camino y ha sido el motor que impulsa mis éxitos. Gracias por ser mi inspiración y mi refugio.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera a este proyecto. A mi familia y amigos por su inquebrantable apoyo, a mis colegas por su colaboración valiosa, y a quienes brindaron su tiempo y conocimientos para enriquecer este esfuerzo.

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en explorar de qué manera el uso de fibra natural de maguey influye significativamente en la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, examinando las posibles mejoras que esta incorporación pueda proporcionar a las propiedades estructurales del pavimento en un entorno geográfico y climático específico. Por tanto, se presenta como objetivo: determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. Se desarrolló una metodología de tipo aplicada, de nivel explicativo a una muestra de 45 probetas de concreto los cuales se sometieron a diversos análisis y ensayos. Como resultados se presenta: la adición de fibra de maguey tiende a aumentar la mediana de la resistencia a la compresión del concreto, con el mayor incremento con un 8% de fibra. Además, a los 7 días, la resistencia media con un 8% de fibra fue de 19.36 kg/cm², a los 14 días fue de 24.00 kg/cm² y a los 28 días fue de 28.44 kg/cm². Asimismo, en un porcentaje de 8%, se incrementa la resistencia a flexión del concreto. Se aplicó la prueba ANOVA, resultando p-valor de 0.000 y la prueba Post Hoc, concluyendo que la muestra con un 8% de fibra de maguey ofrecía la mayor media de resistencia a la compresión, con 247.90 kg/cm². Por tanto, el uso de fibra natural de maguey mejoró la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

Palabras claves: Fibra natural de maguey, proporción de fibra de maguey, resistencia del concreto para pavimento rígido, propiedades de estado endurecido del concreto.

ABSTRACT

The present study focused on exploring how the use of natural maguey fiber significantly influences the resistance of concrete for rigid pavement in Cerro de Pasco, examining the possible improvements that this incorporation can provide to the structural properties of the pavement in an environment. geographical and climatic specific. Therefore, the objective is presented: to determine the influence of the use of natural maguey fiber to improve the resistance of concrete for rigid pavement in Cerro de Pasco. An applied methodology was developed, at an explanatory level to a sample of 45 concrete probes which were subjected to various analyzes and tests. The results are presented: the addition of maguey fiber tends to increase the median compressive strength of the concrete, with the greatest increase being 8% fiber. Furthermore, at 7 days, the average resistance with 8% fiber was 19.36 kg/cm², at 14 days it was 24.00 kg/cm² and at 28 days it was 28.44 kg/cm². Likewise, by a percentage of 8%, the flexural strength of the concrete is increased. The ANOVA test was applied, resulting in a p-value of 0.000, and the Post Hoc test was applied, concluding that the sample with 8% maguey fiber offers the highest average compression resistance, with 247.90 kg/cm². Therefore, the use of natural maguey fiber improved the compressive strength of concrete for rigid pavement in Cerro de Pasco.

Keywords: Natural maguey fiber, proportion of maguey fiber, strength of concrete for rigid pavement, hardened state properties of concrete.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible de infraestructuras en entornos urbanos y rurales ha llevado a la búsqueda constante de materiales innovadores que no solo mejoren el rendimiento de las construcciones, sino que también minimicen su impacto ambiental. En este contexto, el presente estudio se enfoca en explorar el potencial del uso de fibra natural de maguey como un componente clave para mejorar la resistencia del concreto utilizado en pavimentos rígidos en la región de Cerro de Pasco.

Cerro de Pasco, ubicada en una región geográfica desafiante, demanda soluciones constructivas que no solo enfrenten los rigores climáticos y las condiciones topográficas adversas, sino que también promuevan prácticas amigables con el medio ambiente. La incorporación de fibra natural de maguey en el concreto para pavimentos rígidos se presenta como una propuesta prometedora que busca fusionar la tradición local con la innovación técnica.

Entonces, se plantea, ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey en la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco? Y el objetivo es determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. Se desarrolló una metodología de tipo aplicada, de nivel explicativo a una muestra de 45 probetas de concreto los cuales se sometieron a diversos análisis y ensayos. De esta manera abordar un estudio, debido a que los pavimentos rígidos convencionales sufren deterioros antes de los previstos, causando molestias a los usuarios, además, generan gastos de reparación. Estos deterioros son ocasionados por las condiciones climáticas, calidad de materiales empleados, mal diseño, entre otros factores más; que hacen que la resistencia a la compresión, la tracción y la flexión tengan valores mínimos permitidos de acuerdo a las normas internacionales y nacionales. Con la adición de porcentajes de fibras naturales de maguey, permitirá

obtener valores aceptables en resistencia a la compresión, la tracción y la flexión, que contribuyó al alargamiento de la vida útil y la estabilidad de los pavimentos rígidos reforzados con fibras naturales de maguey.

Este esfuerzo de investigación consta de un total de cinco capítulos. El capítulo inicial describe el planteamiento, la descripción, las limitaciones, la definición y la justificación del problema, así como los objetivos de la investigación. El segundo capítulo proporciona una visión general del marco teórico, abarcando el contexto local, nacional e internacional del estudio, junto con los fundamentos teóricos y el marco conceptual. El tercer capítulo presenta la metodología de la investigación, el método, el tipo, el nivel, el diseño, la población, la muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, las técnicas de procesamiento y los aspectos éticos de la investigación se tratan en el cuarto capítulo. En el capítulo cuatro, presenta los resultados y la discusión. Y finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	4
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema general.....	4
1.3.2. Problemas Específicos	4
1.4. Formulación de objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	8
2.2. Bases teóricas – científicas	19

2.2.1.	Fibra natural de maguey	19
2.2.2.	Características fibra de maguey	21
2.2.3.	Propiedades morfológicas y químicas de la fibra de maguey	22
2.2.4.	Pavimento rígido	25
2.2.5.	Metodología de diseño AASHTO 93	26
2.2.6.	Refuerzos de pavimento rígido	33
2.3.	Definición de términos básicos	48
2.3.1.	Aditivos	48
2.3.2.	Celulosa.....	49
2.3.3.	Concreto	49
2.3.4.	Compresión	49
2.3.5.	Flexibilidad	49
2.3.6.	Maguey.....	49
2.3.7.	Pavimentos	50
2.3.8.	Resistencia.....	50
2.3.8.	Sellador	50
2.3.8.	Tracción.....	50
2.3.8.	Tensión.....	50
2.4.	Formulación de hipótesis.	50
2.4.1.	Hipótesis general	50
2.4.2.	Hipótesis específicas.	51
2.5.	Identificación de las variables.....	51
2.5.1.	Variables independientes.	51
2.5.2.	Variables dependientes.....	51
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.	52

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	54
3.2. Nivel de investigación.....	54
3.3. Métodos de investigación.....	55
3.4. Diseño de investigación.	55
3.5. Población y muestra.	56
3.5.1. Población.....	56
3.5.2. Muestra.....	57
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.	58
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.	58
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	58
3.8. Tratamiento estadístico.	59
3.9. Orientación ética filosófica y epsitémica	59

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo	60
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	61
4.2.1. Análisis de la resistencia a la compresión.....	61
4.2.2. Análisis de la resistencia a la tracción.....	67
4.2.3. Análisis de la resistencia a la flexión	72
4.3. Prueba de Hipótesis.....	77
4.3.1. Prueba de Normalidad.....	77
4.3.2. Prueba de la primera hipótesis especifica	78

4.3.3. Prueba de segunda hipótesis específica.....	81
4.3.4. Prueba de la tercera hipótesis específica.....	83
4.3.5. Prueba de hipótesis general.....	86
4.4. Discusión de resultados.....	88

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de precisión	41
Tabla 2: Operacionalización de Variables e indicadores.....	52
Tabla 3: Muestras de la investigación	57
Tabla 4: Análisis de Granulometría del relave minero.....	61
Tabla 5. Resultados globales para la resistencia a la compresión por muestra	63
Tabla 6. Resultados de resistencia a la tracción por edad y muestra.....	67
Tabla 7. Resultados globales para la resistencia a la tracción por muestra	69
Tabla 8. Resultados de resistencia a la flexión por edad y muestra	73
Tabla 15: Prueba de normalidad.....	77
Tabla 10. ANOVA para resistencia a la compresión.....	79
Tabla 11. Post Hoc para resistencia a la compresión	79
Tabla 12. ANOVA para resistencia a la tracción	81
Tabla 13. Post Hoc para resistencia a la tracción	82
Tabla 14. ANOVA para resistencia a la flexión.....	84
Tabla 15. Post Hoc para resistencia a la flexión.....	85
Tabla 16. ANOVA para la hipótesis general.....	86

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El concreto es un material que es usado por la mayoría de personas al momento de hacer algún tipo de construcción, su preferencia se debe a las características favorables a la resistencia. Esto ha permitido que en estos últimos años su uso conjuntamente con los aditivos, se vaya incrementando de manera muy significativa, ya que, este último permite el mejoramiento de la durabilidad y un buen acabo (Galiana 2017). La incorporación de las fibras en los materiales cerámicos, plásticos y en el cemento, permite la mejorar de las propiedades mecánicas y físicas, esto con la finalidad de disminuir el uso de los compuestos sintéticos. Las fibras naturales representan uno de los avances más grandes en la construcción (Marañón 2018). Las circunstancias como la economía, la política o cambios del clima han influido en componentes como el mantenimiento, refuerzos y conservación de los pavimentos. Se debería realizar la pavimentación con refuerzo con fibras como el propileno, poliéster, nailon o naturales, estos son

usados con mayor frecuencia con el propósito de reducir la fisuración por contracción del concreto (TexDelta 01).

Los pavimentos de concretos reforzados con fibras, son elementos que contienen fibras pequeñas y que están dispuestas de manera uniforme. Hace 10 años el uso de la fibra de asbesto era de manera frecuente, debido a su buen aporte en resistencia del concreto, sin embargo, esto dejó de usarse debido a que el asbesto es considerado como un material peligroso por presentar características de toxicidad (Pajares 2016). Debido a esto se buscó nuevas alternativas de fibras que puedan brindar las mejores resistencias al concreto, es por ello que una de las alternativas más estudiadas y que han traído buenos resultados, son las fibras de agave o maguey, ya que mejoran la resistencia de los pavimentos, adobes y de los concretos en general (Juarez 2016).

A nivel mundial, el pavimento rígido reforzados con fibras es considerado como una alternativa fundamental, ya que, este va experimentando cambios en su composición que ayuda a alargar su vida útil, contribuyendo así a que se disminuyan los costos y evite molestias a los usuarios (Quesada 2019). Es importante mencionar que el pavimento está en constante sometimiento a las condiciones climáticas, a cargas como las del tránsito y a las deformaciones de las capas ya sean externas o internas, por lo que, el reforzamiento con las fibras naturales como el maguey, contribuyen a que estas condiciones no puedan afectar de manera muy significativa, permitiendo a que los pavimentos rígidos tengan buena resistencia a la tracción, compresión y la flexión (Herrera y Polo 2017).

En el Perú se está implementando con mayor frecuencia el uso de las fibras naturales como las del agave, también conocido como el maguey, en el concreto, los adobes y en pavimentos, debido a la buena resistencia que tiene.

Usar la fibra de maguey puede llegar a mejorar las características de los pavimentos, o de manera general en la construcción. Esta fibra no solo se usa en el sector de la construcción, sino que también se emplea en las industrias textiles, bioplásticos, muebles entre otros. Cabe mencionar que se obtienen de algún producto como por ejemplo el tequila, y estas fibras naturales son desechados, sin valor alguno, por lo que en estos últimos años se está pensando en dar un segundo uso a los residuos naturales como la fibra, ya que puede, ser muy beneficioso en sectores como la construcción (Miranda, y otros 2014).

De acuerdo a estudio realizado en Perú por Juan Mori, el pavimento rígido reforzado con fibras naturales tienen más ventajas en comparaciones de otros pavimentos de concreto, debido a su bajo costo de mantenimiento y operación, y esto da como resultado el ahorro de 30 a 40% menos con respecto al asfalto; las ventajas del pavimento rígidos es que tiene menor consumo de combustible, es menos agresivo para el medio ambiente, no genera mucho calor, es resistente al fuego, tiene mayor estabilidad y tiene mayor adherencia. El color claro que presenta, mejora la visibilidad nocturna (Mori 2016).

En Cerro de Pasco los pavimentos en muchos de los casos no tienen la resistencia adecuada, debido a las condiciones climáticas; los pavimentos suelen presentar defectos de manera frecuente, por lo que el uso de las fibras naturales en los concretos de pavimentos rígidos serán la solución a la durabilidad y resistencia. Por lo mencionado antes en esta tesis se busca investigar las propiedades de la fibra de maguey en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 4% y 8% como un aditivo y la influencia en las propiedades del concreto en pavimentos rígidos; resistencia de flexión, compresión y tracción.

1.2. Delimitación de la investigación

Temporal

El estudio se encontró delimitada desde marzo del 2023 a agosto del 2023

Conceptual

La investigación tuvo una delimitación conceptual sobre la resistencia del concreto y uso de fibra de Maguey para la mejora.

Ubicación

La tesis se realizó en Cerro de Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey en la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia de la compresión para pavimento rígido en Cerro de Pasco?
- ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la tracción de concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco?
- ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la compresión concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- Determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la tracción concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- Indicar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la flexión concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

La investigación se justifica de manera teórica, porque valido los aportes de muchos autores y teóricos, sobre las variables de investigación que están referidos al uso de la fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto en pavimento rígido, por lo que los autores y teóricos que fundamentarán esta tesis (Aragón 2013, Fintel 1985, MTC 2016, Kishore 2011, NRMCA 2013).

Se fundamenta en la premisa de que los pavimentos rígidos convencionales experimentan deterioro prematuro, ocasionando molestias a los usuarios y generando gastos adicionales para reparaciones. Este deterioro es atribuible a diversas causas, como condiciones climáticas adversas, la calidad de los materiales utilizados y diseños deficientes, entre otros factores. Estos

elementos, a su vez, resultan en valores insatisfactorios de resistencia a la compresión, tracción y flexión, que no cumplen con los estándares establecidos por normativas internacionales y nacionales. La introducción de porcentajes específicos de fibras naturales de maguey en la mezcla de pavimentos busca mejorar significativamente los niveles de resistencia a la compresión, tracción y flexión, contribuyendo así a prolongar la vida útil y garantizar la estabilidad de los pavimentos rígidos reforzados con estas fibras naturales.

La investigación empleó la metodología científica de enfoque cuantitativo. El tipo aplicado fue explicativo y el nivel se estableció como experimental. La técnica utilizada fue la observación, y el instrumento seleccionado fue una ficha de observación. Todo esto se realizó con la finalidad de recopilar la mayor cantidad de información necesaria para la posterior toma de decisiones. Por otro lado, la metodología empleada encaminó a acciones más prácticas que pudieran determinar si el uso de las fibras naturales de maguey mejoraba la resistencia del concreto en pavimento rígido. Esto permitió la justificación de manera metodológica. Además, la investigación ha servido como aporte para investigaciones futuras que busquen mejorar las propiedades del concreto, especialmente en los pavimentos rígidos.

1.6. Limitaciones de la investigación

La principal preocupación radica en la posible falta de generalización de los resultados, ya que las condiciones climáticas, geológicas y ambientales específicas de Cerro de Pasco podrían no ser representativas de otras regiones. Además, la disponibilidad sostenible de fibras de maguey, la diversidad del suelo, la variabilidad en la calidad del maguey y posibles limitaciones financieras podrían afectar la aplicabilidad y la extrapolación de los hallazgos a escala más

amplia. Reconocer y abordar estas limitaciones es crucial para contextualizar adecuadamente los resultados de la investigación y comprender sus aplicaciones potenciales en diferentes entornos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

- Chinchayhuara C. realizó la tesis “Adición de fibras de agave para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto de 210 kg/cm², La Libertad – 2020”. Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo, Lima, Perú, 2020 (Chinchayhuara 2020).

La tesis tuvo como finalidad identificar si al adicionar la fibra del maguey mejora las propiedades físicas y mecánicas. Se aplicó el método científico con un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño experimental de tipo aplicado y un nivel explicativo. Los resultados obtenidos indicaron que al agregar porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de maguey al concreto, se lograron valores de resistencia de 179.9 kg/cm², 175.1 kg/cm² y 168.4 kg/cm² a los 7 días. Esto sugiere que las concentraciones de 0.5% y 1% de fibra de maguey tuvieron un impacto positivo en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto estándar. En cuanto a la

resistencia a la tracción a los 7 días, se registraron valores de 22.9 kg/cm², 21 kg/cm² y 19.8 kg/cm² al incorporar 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de maguey, destacando que las concentraciones de 0.5% y 1% influyeron favorablemente en la resistencia del concreto. En conclusión, los hallazgos respaldan la idea de que la adición de fibra de maguey tiene un impacto positivo, especialmente con concentraciones del 0.5% y 1%, según las evaluaciones realizadas a los 7, 14 y 28 días.

- Aliaga S. y Gonzales E. elaboraron la tesis “Propuesta de mallas de fibras de maguey para mejorar la resistencia de muros de adobe en el distrito de Colcabamba - Huancavelica”. Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, 2020 (Aliaga y Gonzales 2020).

El objeto fue diseñar una propuesta para reforzar mediante fibras de maguey para mejorar la resistencia de los muros de las viviendas. Para alcanzar el objetivo la investigación fue de tipo aplicada, el nivel fue exploratorio y el diseño fue experimental. El resultado que llegaron las investigadoras fue que a los 28 días de edad los bloques que fueron reforzados con maguey con 60% de arcilla y lima; 15% arena, 10% de maguey y 15% de agua, alcanzaron una resistencia a la compresión de 13.6 kg/cm². La investigación concluye en que de acuerdo a la propuesta las mallas deben contener entre 45 y 50 hilos de maguey para un espesor de 5mm de diámetro y el tamaño de las rejillas apropiado fue de 3 cm. El prototipo que obtuvo mejores resultados fue el T3 alcanzado una resistencia a la tracción de 5 KN/m². La propuesta es muy conveniente debido a que emplea recursos disponibles en la localidad y de un bajo costo.

- Condori A. y Solano Y. realizaron la investigación “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y adsorción del adobe”. Tesis presentada a la Facultad de Ciencia de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú, 2019 (Condori y Solano 2019).

La investigación tuvo como propósito mencionar el porcentaje de fibra de maguey en el bloque de adobe que modifica de manera significativa las características del concreto. Para lograr el propósito los investigadores hicieron uso de la metodología científica, método específico fue analítico y sintético, de enfoque cuantitativo, tipo de investigación fue aplicada, el alcance fue explicativo y el diseño fue experimental simple, la población estuvo compuesta por 144 adobes y la muestra estuvo constituida por 72 adobes, la técnica fue la observación y el instrumento fue la ficha de laboratorio. Los resultados para la gradación de suelo fueron de 1% de grava, 55% de arena, 11% arcilla y 33% de limo. Para la tracción de las fibras de maguey en longitudes de 10 y 20 cm, en la prueba 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron 10.52 kg/mm², 8.83 kg/mm², 10.23 kg/mm², 10 kg/mm², respectivamente. El resultado para absorción de la fibra de maguey fue de 80% en una muestra de 11 gramos sin saturación y una muestra saturada de 19 gramos. Los resultados para la resistencia a la compresión de 0%, 8%, 16% y 33% de fibra de maguey fueron de 11.4 kg/cm², 30.0 kg/cm², 38.4 kg/cm² y 46.5 kg/cm² respectivamente. La conclusión a que llegó los investigadores fue de que el grupo de control con 0% de fibra de maguey, así como los grupos experimentales de 8%, 16% y 33% con contenido de fibra de maguey con

una edad de 30 días, modificaron de manera eficiente las propiedades del adobe.

- Herrera C. y Quispe R. elaboraron la tesis “Análisis del comportamiento del concreto hidráulico reforzado con fibras naturales de agave para el diseño de pavimento rígido con el método mecanístico – empírico en la Av. Universitaria de la provincia de Huancavelica 2018”. Tesis presentada a la Facultad de Ciencia de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú, 2019 (Herrera y Quispe 2019).

La investigación tu como objetivo principal analizar del comportamiento del concreto hidráulico reforzado con fibra natural de agave en el diseño de pavimento rígido con el método mecanístico empírico. Para alcanzar este objetivo los investigadores emplearon la metodología general científica, la metodología específica analítica, tipo aplicada, alcance explicativo y diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron: a los 28 días de edad las probetas cilíndricas reforzados con fibra de agave tuvieron una resistencia a la compresión de 346 kg/cm², la resistencia a la tracción fue de 10 kg/cm², la resistencia a la flexión reforzadas con fibra de maguey fue de 41.6 kg/cm². Concluyendo en que al agregar la fibra de maguey en la mezcla de hormigón mejoró la resistencia del concreto hidráulico en el diseño de pavimento rígido con el método mecanístico empírico, por lo que el modelo es adecuado.

- Alegre C. realizó la tesis “Resistencia a la flexión en vigas de concreto f_c=210 kg/cm², al adicionar un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla”. Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de

Ingeniería Civil de la Universidad San Pedro, Huaraz, Perú, 2018 (Alegre 2018).

La investigación tuvo como propósito determinar la resistencia a la flexión de una viga de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, al agregar un 5% y 10% de fibra de agave tratada con parafina con el propósito de que la resistencia a la flexión sea mayor. Para alcanzar el propósito el investigador empleó la metodología general científica y la específica analítica, el tipo fue aplicada, el nivel fue explicativo el diseño fue experimental. Los resultados a lo que llegó el investigador fueron que el porcentaje de absorción de la fibra de agave sin tratamiento fue de 95% y para el agave con tratamiento fue de 67%; el porcentaje de tracción del agave fue de 13%. La resistencia a flexión del hormigón armado $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de edad en 0%, 5% y 10% de adición de fibras agave fue 98 kg/cm^2 , 99 kg/cm^2 Y 94 kg/cm^2 respectivamente, en los 14 días de edad 0%, 5% y 10% de adición de fibras agave fue 117.1 kg/cm^2 , 117.7 kg/cm^2 y 120 kg/cm^2 respectivamente; a los 28 y 14 días de edad 0%, 5% y 10% de adición de fibras agave fue 125.1 kg/cm^2 , 122.1 kg/cm^2 y 130 kg/cm^2 respectivamente. Finalmente se concluye en que la adición de fibras de maguey o agave son beneficiosos cuando se quiere mejorar la resistencia a flexión.

- Castillo J. et al. publicaron la investigación “Propiedades mecánicas de la fibra natural reforzada con concreto espumado”. Artículo presentado a la revista Materials, Centro de Investigación de Yucatán, Yucatán, México, 2020 (Castillo, y otros 2020).

La investigación tuvo como propósito determinar las propiedades mecánicas de la fibra natural reforzada con concreto espumado. Para alcanzar este

propósito los investigadores emplearon la metodología científica de enfoque cuantitativo, el nivel fue explicativa, el tipo fue explicativo y el diseño fue experimental. Los resultados obtenidos en el artículo fueron, los siguiente: La integridad mejorada de las muestras por el refuerzo de fibra, es más evidente para las muestras con fracciones de 1% y 1,5%. También se observó que, para los FRFC, la carga comenzó a aumentar con una deformación del 15-20%, lo que indica que en algunas partes del espécimen se alcanzó una deformación de densificación local. Los resultados después de 28 días de curado presentaron una desviación estándar de al menos en tres repeticiones. En cuanto a las densidades de mezcla, se pudo observar que la densidad más alta fue de 734 kg / m³, que es menos del 5% de la densidad objetivo. El PFC presentó una fuerza de 1,42 MPa. Para las mezclas reforzadas con fibra de henequén, se observó un aumento en la compresión, con el aumento en el contenido de fibra. La mayor resistencia a la compresión fue obtenida con las fracciones de volumen de fibra más altas, es decir, se observaron incrementos del 22,5% y 25% para el H1.5FC y HT1.5FC, respectivamente, en comparación con el PFC. Para las mezclas reforzadas con PP, se observó un aumento en la resistencia de hasta un 51% en comparación con el PFC. Los investigadores concluyen en que la deformación por densificación del material no pudo ser medido más allá de una deformación de 0,35, ya que el área transversal de las muestras era mayor que el área inicial de sección transversal y de forma irregular. Se estima que la deformación por densificación debe estar en el rango de 0.5-0.6.

- Caballero M. et al. publicaron el artículo “Efecto sobre la resistencia a la compresión y flexión del adobe reforzado con fibra de agave”. Artículo

presentado a la revista Journal of Natural Fibers, Departamento de Ingeniería Mecánica, Oaxaca, México, 2017 (2017).

La investigación tuvo como propósito indicar el efecto sobre la resistencia a la compresión y flexión del adobe reforzado con fibra de agave. Para alcanzar este propósito la investigación empleó la metodología científica de enfoque cuantitativo, el tipo fue aplica, el nivel fue explicativo y el diseño es experimental. Los resultados a los que llegó la investigación fueron: que las muestras de adobe reforzado alcanzan su máxima resistencia a la flexión al 1.0% concentración y 25 mm de longitud, aumentando la resistencia a la flexión de 0,57 MPa hasta una resistencia valor de 0,61 MPa que representa una mejora de aproximadamente 7,01%. El efecto de la fibra de agave sobre la resistencia a la flexión en la concentración 1.0% y una longitud de 25 mm fue la más alta resistencia a la flexión (0,61 MPa). Concluyendo en que se analizaron muestras de ladrillos de adobe reforzados con fibra de bagazo de agave *Angustifolia haw*. Se estudió el efecto de la longitud y la concentración de las fibras. La resistencia a la compresión del bloque mejora conforme la concentración de la fibra es mayor. Ladrillos de adobe reforzados con 1.0% de fibra, 25 mm de largo, muestran una mejora en la resistencia a la compresión en un porcentaje de 32%, de acuerdo como lo establece las normas de clase C y D de acuerdo al reglamento de construcción mexicano de la norma N-CMT-2-01-001 / 02.

- Sastry S. y Veena N. publicaron en artículo “Efecto de la fibra de agave sobre las propiedades de resistencia de concreto”. Artículo presentado a la revista Internacional de Investigación y Tecnología en Ingeniería, Colegio de Ingenieros de Raja Rajestiwari, India, 2019 (Sastry y Veena 2019).

La investigación se planteó como objetivo establecer el efecto de la fibra de agave en la resistencia del hormigón. Para poder alcanzar el objetivo el investigador empleó la metodología científica cuantitativo, del tipo aplicada, nivel explicativo y el diseño fue experimental. Los investigadores tuvieron como resultado que la resistencia a la compresión fue más alta con adiciones de 2%, 4% ,6% y 8% de fibra de agave a los 3, 7 y 28 días en comparación con el concreto convencional. La adición de fibra de agave superior al 8% tuvo una resistencia menor que el hormigón convencional. Se realizó una comparación de la adición de fibra de agave en el concreto en 4 porcentajes, con el concreto tradicional. Los 4 porcentajes de adición de fibra de agave tuvieron una mayor resistencia a la tracción dividida en comparación con el concreto convencional. Los investigadores concluyen en que independientemente del porcentaje de adición de fibra de agave, existió una significativa relación entre las resistencias tanto de tracción dividida y la compresión.

- Tameem N. et al. Publicaron la investigación “Investigación experimental del efecto de la fibra de agave sobre las propiedades del concreto”. Artículo publicado en la revista Avances de Ciencia y Tecnología, Karimnagar, India, 2016 (Tameem, Mohiuddin y Haleem 2016).

La investigación tuvo como finalidad determinar el efecto de la fibra de agave sobre las propiedades del concreto. Para alcanzar el objetivo los investigadores emplearon la metodología científica cuantitativo analítico, de tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron que en 0%, 1%, 2%, 3% y 4% de fibra de agave muestran el aumento en resistencia a la compresión y a la tracción en 25,77 N / mm²

y 3,55 N / mm² para 0% a 26,74 N / mm² y 3,62 N / mm² para 4% de fibra de Agave. Se ha observado que la resistencia ha disminuido cuando se le agregó un 8% de la fibra natural de maguey. La resistencia a la compresión de las muestras fue aumentando en los porcentajes de 1 hasta 4% de forma gradual. Las características de ductilidad han mejorado con la adición de fibras de agave. La formación de grietas es más frecuente en los concretos sin fibras en comparación con los concretos con fibra de Agave.

- Olivera A. et al Publicaron el artículo “Cemento de tepexil biocompuesto reforzado con fibras de Agave *Angustifolia* haw como un mortero ligero”. Artículo publicado en la revista Scielo México, Oaxaca, México, 2018 (Olivera, y otros 2018).

El artículo tuvo como propósito indicar la resistencia a la compresión de los cementos reforzados con fibras de Agave. Para alcanzar este objetivo los investigadores emplearon la metodología científica de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron que el aumento de fibras disminuyó la resistencia a la compresión. Para los especímenes que se sustituyeron la fibra en un 100% de llegaron a obtener 80 % a la resistencia a la compresión. La relación (CPC: tepexil: fibras) presento una disminución de la mitad de su en comparación a la relación de control 1: 1: 0, está evaluación se realizó a los 28 días. En todos los especímenes que fueron analizados a los 14 días tuvieron una resistencia a la compresión mayor a 5,2 MPa, que es superior a la requerida por ASTM C 270-07. Se pudo observar el aumento de la resistencia a la compresión conforme pasan los días. Los investigadores concluyen en que de acuerdo a la norma ASTM C 270-07, está norma

establece que la resistencia a tener en consideración debe ser más a 2,4 MPa. Por lo que se concluye que las proporciones de 1:0.2, se puede realizar bloques, tabiques, tejas y otros productos más que son resistentes.

- Purwanto E. et al Publicaron el artículo “Efecto de la fracción de volumen y la relación de aspecto de la fibra de Agave Cantula Roxb con la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción directa”. Artículo presentado a la Acta de Conferencias AIP, Central Java, Indonesia, 2019 (Purwanto, y otros 2019).

La investigación se planteó como finalidad determinar el efecto del volumen y el aspecto de la fibra de Agave Cantula Roxb con la resistencia a la compresión y la tracción directa. Para alcanzar el objetivo los investigadores emplearon la metodología científica con un enfoque cualitativo, el tipo fue aplicada, el diseño fue no experimental y el nivel fue explicativo. Los resultados que obtuvieron fueron: que el crecimiento de la resistencia a la compresión (resistencia desarrollo) de FRC-1.0 cm, FRC-1.5 cm, FRC-2.0 cm, FRC-2.5 cm y FRC-3.0 cm con variaciones en el tiempo de 3, 7 y 28 días. Según ASTM C-39M, se requiere una tasa de tensión de $0,25 \pm 0,05$ MPa para sobrecargar el objeto de prueba con un diámetro de 75 mm. A través de experimentos de prueba y error, la tasa de tensión se convierte en una tasa de deformación para que el valor es de 15 mm / minuto. se pudo observar en la FRC de 3 días que hubo un aumento en la adición de fibra de 1% a 3% pero en la adición de fibra, 4% disminuye. Con respecto a la resistencia a la tracción directa disminuye de 1% a 3% de adición de fibra. Concluyendo finalmente en que, la muestra a los 28 días presentó una variación de 2,0 cm de longitud de fibra y la mayor resistencia a la tracción

con un valor de 1,68 MPa. Considerando que, basado en el 3% del volumen de la fracción a los 3 días, proporciona una resistencia a la tracción de 0,84 MPa y a los 28 días a 1.28 MPa, este valor es menor que la concentración de fibra de 1% y 2% de volumen de fracción. El aumento del volumen de la fracción de fibra puede aumentar la resistencia a la tracción directamente de FRC a una edad temprana. Sin embargo, la adición de fibra excesiva debilitará la resistencia a la tracción de FRC a la edad de 28 días.

- Balasubramanian M. et al Publicaron el artículo “Una investigación experimental sobre la durabilidad de hormigón mediante uso del agave Lecheguilla”. Artículo presentado a la revista Internacional de Ingeniería y Tecnología, Tamil Nadu, India, 2015 (Balasubramanian, Varghese y Selvan 2015).

La investigación se planteó como objetivo determinar la durabilidad del concreto haciendo uso del agave Lecheguilla. Para alcanzar este propósito los investigadores emplearon el método científico con enfoque cuantitativo, el tipo de esta investigación fue aplicada, el nivel fue explicativo y el diseño fue experimental. Los investigadores obtuvieron los siguientes resultados: Al agregar las fibras de agave en una relación de 300 con una dosis de 1.5%, aumento la resistencia a la flexión en comparación al concreto convencional, asimismo la adición de fibras en un 0.5% mostro un aumento en la resistencia a la tracción dividida en comparación con el hormigón convencional. Además, la adición de fibras en una dosis de 1% muestra un aumento en la resistencia a la flexión como en comparación con el hormigón convencional. Los investigadores concluyen en que añadiendo esta fibra de sisal se ha

encontrado que hay un aumento en propiedades del concreto fresco y endurecido.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Fibra natural de maguey

Las fibras también se denominan “fibras de pita”. Estas fibras son de naturaleza celulósica. El Agave o maguey es una especie de plantas con flores de la familia Agavaceae. La planta es originaria de México, Arizona y Texas, pero cultivada en todo el mundo como planta ornamental. Se ha naturalizado en muchas regiones del mundo. El género Agave tiene alrededor de 275 especies. El agave florece solo una vez durante su vida y luego muere, pero produce retoños o brotes desde la base que hace que continúe su crecimiento. Las plantas de agave se cultivan a lo largo de líneas de ferrocarril, bordes de carreteras y riberas de ríos y como plantas de cobertura en áreas de tierras secas en muchas regiones del mundo. Hasta la fecha se ha cultivado en las fronteras incluso en condiciones muy descuidadas. Crece de forma natural, especialmente en zonas áridas y semiáridas. El cultivo puede crecer en suelos secos, no aptos para el cultivo de plantas agrícolas. El maguey crece vigorosamente en suelos franco arenosos secos y bien drenados o con poca porosidad. Las hojas del maguey están listas para la cosecha a partir del tercer año. Cada planta puede tener de 40 a 50 hojas al año. El ciclo de vida de la planta va desde 8 a 30 años. El contenido de fibra varía según la variedad entre el 2,5% y el 4,5%. El color de la fibra varía de blanco lechoso a amarillo dorado y tiene un tacto duro debido a la existencia de lignina en su superficie (García 1892).

El rendimiento por hectárea de esta planta es de 300 toneladas por año, lo que brinda alrededor de 6 toneladas de fibra. El maguey es una planta de tallo

corto que tiene una roseta de aproximadamente 1,2 m de ancho con hojas de color verde grisáceo de hasta 1,8 m hojas largas y carnosas, las hojas tienen un margen espinoso y una espiga pesada en la punta. Cuando florece, la espiga tiene grandes flores amarillas y puede alcanzar de 2,4 m a 7,6 m de altura. Las hojas maduras de la planta de maguey se cosechan del campo para la extracción de su fibra. Las hojas del maguey se cortan de la planta por medio de una herramienta de corte afilada. Después de la cosecha, las hojas se transportan a una fábrica para la extracción de su fibra. Antes de la extracción, se eliminan las espinas en los márgenes de las hojas y la espina que está en la punta de la hoja. Los métodos utilizados para la extracción de fibras de las hojas de las plantas de maguey, son similares a los métodos que se utilizan para la extracción de fibras de sisal. Hay tres métodos principales de extracción de fibras: extracción mecánica, extracción química y proceso de reencolado. Después de la extracción de fibras por cualquiera de estos métodos, se realiza un lavado de hojas antes de secarse. El secado adecuado es importante ya que el contenido de humedad en la fibra afecta calidad de la fibra. El secado artificial da como resultado fibras de mayor calidad que el secado al sol. A continuación, las fibras secas se peinan y se clasifican en diferentes grados, y finalmente son empaquetados (Hulle, Kadole y Katkar 2014).

La planta de maguey son tallos de gran tamaño y que siempre están de forma erguida, estas plantas son mayormente densas en población, la forma de sus hojas son radicales, alargada, puntiagudas, carnosas, acanaladas, espino dentadas, angostas, su altura varia de 2 y 7 metros, de ancho pueden llegar a medir has 20 centímetros, y de largo pueden alcanzar una longitud de 2 metros, su colore es verde, está planta solo florece una vez en todo su vida y la flor es de color

blanco verdoso, la edad de esta planta es de aproximadamente de 25 años (Jaramillo 2009).

2.2.2. Características fibra de maguey

El agave se caracteriza por sus fibras fuertes y ásperas, que son superiores y más flexibles que las de Cábano de manila. Estas fibras celulósicas naturales se caracterizan por una alta absorción de humedad de hasta el 9%, baja densidad de 1,36 g / cm³ y alta tenacidad en el rango de 16 a 41 MPa. Las fibras obtenidas son flexibles, suaves y brillantes y tienen características de combustión similares a otras fibras celulósicas conocidas. Las fibras contienen alrededor del 73% a 78% de las formas lignificadas de celulosa. La superficie de la fibra está cubierta de lignina. Después de eliminar la lignina de la superficie de la fibra, las fibras se vuelven flexibles, lisas y brillantes. Las fibras tienen una longitud promedio de 652 mm. Generalmente, las fibras naturales son de naturaleza hidrofílica ya que su contenido de humedad puede llegar hasta un 9%. Las fibras de maguey varían mucho en sus propiedades. Estas fibras se desintegran cuando se exponen a ácidos fuertes y muy alcalinos, pero son resistentes a ácidos débiles y no muy alcalinos (Kolte 2012).

Las fibras de maguey tienen interesantes propiedades morfológicas y físicas, especialmente en su estructura y su peso. Estas fibras se pueden caracterizar por dos parámetros: la longitud media de un lado de la espiral que es de aproximadamente 10,1 μm y el diámetro medio que es igual a 3,1 μm . El diámetro medio es muy pequeño en comparación con otras fibras naturales como el lino (cuyo diámetro varía entre 10 y 30 μm), sisal (alrededor de 24 μm) y alfa (alrededor de 6 a 22 μm) (Satta, Hagege y Sotto 1986).

Cada fibra de maguey consta de una serie de células, generalmente denominadas ultimates o ultimate células. Las últimas superposiciones de células se mantienen juntas con una película cerosa para formar las fibras del filamento. Este implica que una fibra individual esté formada por un haz vascular completo o un grupo de haces vasculares. El haz vascular consta de vasos de tejido de transporte rodeados por una gruesa capa de células de fibras. Cada último haz es de forma poligonal y tiene un lumen. Las fibras de maguey en una hoja están compuestas por el xilema y floema y varias células envolventes, que se encuentran dispersas a través de una matriz concisa. Las fibras están lignificadas en mayor o menor grado y son duras en comparación con las fibras blandas. La totalidad el haz fibrovascular sirve como fibra unitaria (Msahli, y otros 2007).

2.2.3. Propiedades morfológicas y químicas de la fibra de maguey

A. Morfología de la fibra de maguey:

En este caso, los haces de fibras tienen una morfología similar a la de otras fibras vegetales, como el Agave. sisalana y Agave tequilana, porque todas ellas están compuestas por muchas células fibrosas. Cada celda de fibra está unida por la laminilla media, que consta de celulosa y lignina, pero se diferencian por factores como el número de células de fibra, el tamaño de la pared celular, el grosor de las paredes de la celda secundaria, la sección transversal real (el área total menos el área del lumen) y la fibra área de la sección transversal. Es posible correlacionar la morfología de las fibras con propiedades de resistencia a la tracción. Por tanto, cada haz de fibras tiene sus propias características morfológicas específicas y por lo tanto su respectivo comportamiento mecánico (Kestur, y otros 2013).

La resistencia de la fibra puede ser un factor importante en la selección de una fibra natural específica para un aplicación particular y cambios en las propiedades físicas que puede deberse a diferencias en la morfología de las fibras (Alves, y otros 2013). Las principales diferencias en la estructura, como la densidad y el grosor de la pared celular, longitud y diámetro, son diferencias en las propiedades físicas. El conocimiento de la longitud y el ancho (diámetro) del haz de fibras es muy importante debido a que proporciona una indicación de las posibles propiedades de resistencia de diferentes tipos de fibras naturales. Las fibras de maguey muestran una amplia variabilidad en longitud media (144 mm) de la fibra (Kestur, y otros 2013). La variación de la longitud se debe a factores como la variedad, madurez y la parte analizada de planta, pero también depende en gran medida del proceso de extracción del material (Hidalgo, y otros 2015).

B. Densidad:

El valor de densidad de la fibra de maguey es en promedio de 414,7 kg / m³, (Kestur, y otros 2013). En este sentido, cabe señalar que el bagazo al ser sometidos a pruebas físicas y químicas pueden causar una descomposición natural que también puede influyen en la densidad. Las fibras naturales son adecuadas para reforzar compuestos de matriz polimérica debido a la densidad que posee (Hidalgo, y otros 2015).

C. Composición química:

La composición química también influye en las propiedades de fibras naturales. Generalmente, las resinas naturales son térmicamente

estables e insoluble, lo que permite que puedan influir en los valores de solubilidad en agua caliente. El porcentaje de solubilidad en agua caliente (4,39%) (Kestur, y otros 2013) para fibras de bagazo de maguey cocidas. Para determinar la extensión de ataque de hongos y el efecto de otros microorganismos, se analiza el material como la oxidación, el calor, la luz y entre otros (Hidalgo, y otros 2015). Las fibras pueden mostrar signos de descomposición a aproximadamente a los 30 días. Cabe mencionar que el principal componente de la resistencia de la fibra es la celulosa (Hidalgo, y otros 2015).

D. Análisis de difracción de rayos X (XRD):

El índice cristalino es en promedio de 43% para las fibras de maguey, cuando se hace el análisis de la difracción de rayos también es común observar el carácter cristalino, debido a las sustancias como el azúcar que se le agrega al momento de la fermentación (Hidalgo, y otros 2015).

E. Estudios Térmicos:

Uno de los factores limitantes en el uso de fibras naturales como el maguey es su baja estabilidad térmica. La pérdida de peso que se produce a temperaturas superior a 220 ° C y hasta 620 ° C se atribuye a la descomposición de los diferentes tipos de células dentro de la fibra. Las fibras son seguras de usar hasta llegar a una temperatura máxima de 225 ° C. Esta temperatura puede considerarse un valor de estabilidad térmica para esta fibra y está directamente relacionado con los altos valores de cristalinidad 43,0% y el alto contenido de lignina 20,69% (Hidalgo, y otros 2015).

F. Propiedades de tracción:

Las fibras con mayor diámetro tienen valores más altos, en términos de propiedades mecánicas. El alargamiento de la fibra demuestra que es un material frágil, y así, sus características son similares a las de la mayoría de los refuerzos para materiales compuestos (Kestur, y otros 2013).

2.2.4. Pavimento rígido

El pavimento rígido es un término técnico que es empleado para describir las superficies que están hechas de concreto. Los caminos que fueron hechos con concreto, también conocido como hormigón, tiene la denominación de rígidos mientras que las carreteras asfaltadas con flexibles. Ambos términos tienen referencia a que la deformación se va a producir en la superficie debido al continuo uso y al tiempo. Las ventajas más significativas del pavimento rígido es su capacidad de mantener su forma y la durabilidad. Su diseño es simple, la primera capa está formada por losas de concreto que está a su vez se asienta sobre un grupo de sub capas, la capa que está debajo del concreto tiene mayor flexibilidad que el concreto, sin embargo, sigue siendo demasiado rígida. Esta capa sirve como base y permite el drenaje para el concreto (UNAM 2014).

Según el Ministerio de Transporte y Comunicación, el pavimento rígido consiste en una estructura que está conformada básicamente por capas; base, subbase granular o base granular y capa de rodadura de losa de concreto de cemento con aglomerantes y agregados; está sobre la subrasante del camino con la finalidad de que pueda distribuir y resistir los esfuerzos que son ocasionados por los vehículos. Existen 3 categorías de pavimentos rígidos con juntas, son juntas y el pavimento rígido continuo (MTC 2014):

Los pavimentos rígidos están conformados por una capa de losa de cemento portland que está apoyada en una subcapa base, esta capa compuesta por grava, esta capa a su vez reposa en una capa de suelo que está compactado, que comúnmente se le conoce como subrasante. Es importante tener en cuenta que la resistencia de la estructura va a depender de la losa de concreto de cemento portland (MTC 2013).

2.2.5. Metodología de diseño AASHTO 93

Según AASHTO 93 su nivel de servicio del pavimento es alto y conforme se va haciendo uso de ella este nivel disminuye, por lo que este método propone un servicio final, el cual se debe mantener hasta que concluya su periodo de diseño. Esto se da mediante una secuencia interactiva, para lo cual se asumen los espesores de losa o hasta que la aplicación de la ecuación AASHTO 93 pueda llegar al equilibrio. Una vez calculado el espesor, debe soportar un número determinado de cargas sin que este pueda producir algún deterioro. A continuación, se muestra la ecuación de AASHTO 93 (MTC 2014).

$$\log_{10}W_{8.2} = Z_R S_O + 7.53 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_{dx}(0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51xJ(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right)$$

Donde:

ΔPSI =Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

Z_r = Desviación estándar.

S_O = Error estándar combinado.

D = Espesor del pavimento de concreto (mm).

Pt= Índice de servicio final.

Mr=Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días.

Cdx= Coeficiente de drenaje.

J= Coeficiente transmisión de cargas en las juntas.

Ec= Módulo de elasticidad.

W8.2=Número de ejes equivalen a 8.2 toneladas a lo largo de hacer el diseño.

K=Modulo de reacción dado en MPa/m de la superficie.

Para poder calcular el espesor se hace uso de la fórmula de AASHTO 93 a través del empleo de hojas de cálculo, usando nomogramas o empleando softwares especializados. Los parámetros que interviene (MTC 2014):

Periodo de diseño: se considera que el periodo de diseño para pavimentos rígidos es de 20 años, sin embargo, el ingeniero encargado del diseño puede hacer algunos ajustes de periodo de acuerdo a las condiciones del proyecto y de acuerdo a lo que sugiere la entidad.

Variables: Las variables tener en consideración son las siguientes.

- El transito (ESALs): la cantidad de tránsito tiene relación con el periodo. La característica propia que tiene el método AASHTO 93, es que se puede simplificar el efecto de tránsito teniendo en cuenta el concepto de ejes verticales. Mejor dicho, convierte las cargas de cualquier vehículo en cargas simples que equivalen a 8.2 toneladas, tradicionalmente denominados ESALs (Equivalent Single Axel Load).
- Servicio: Para la ecuación se emplea la diferencia entre ambos (Δ PSI). El servicio está defino por la capacidad que tiene el pavimento en servir al

tránsito que recorre por la vía, que va de una escala de 0 a 5, donde el 0 representa no transitable y un 5 que significa excelente. Es importante tener en cuenta que el valor cero es un indicador pesimista, ya que, AASHTO 93 hace empleo del valor de 1.5 como índice de servicio terminal del pavimento (MTC 2014).

- La confiabilidad: La confiabilidad es un factor de seguridad que es similar a aumentar en una proporción el tránsito estimado en todo el periodo de diseño. AASHTO sugiere un rango que está entre $0.3 < 0.35 < 0.4$ (MTC 2014).
- El suelo y el efecto de las capas de apoyo: Se puede apreciar la mejora cuando se adiciona capas granulares en la subrasante, este efecto puede llegar a disminuir el grosor o espesor que se calculó para el concreto. El ensayo de placa permite determinar la reacción de la subrasante, cuyo objetivo es hallar la presión que logra una cierta deformación. Este ensayo está normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222 (MTC 2014).
- Resistencia a flexotracción: La mayoría de los pavimentos trabajan a flexión ya que este parámetro está presente en la ecuación de AASHTO 93. A las vigas se debe realizar ensayos aplicando cargas en los tercios y obligando la falla en el tercio central de la viga, todo esto se debe realizar a los 28 días. El módulo de compresión ($f'c$) está relacionado con el módulo de rotura (Mr) a través de la regresión que a continuación se muestra. De acuerdo a ACI 363, donde los valores de “a” pueden variar de 1.99 a 3.18 (MTC 2014).

$$Mr = a\sqrt{f'c} \text{ (Valores en kg/cm}^2\text{)}$$

- Modulo elástico del concreto: Es modulo es un parámetro importante para poder hacer el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. El pronóstico del módulo se puede verificar mediante el flexo tracción o la

resistencia compresión, mediante las correlaciones establecidas. Cuando se trata de concretos con alto desempeño, con resistencia a compresión mayor a 40 Mpa, realizar una estimación mediante las fórmulas podrían resultar inciertas ya que existirán variables que no se han tomado en cuenta, lo que hará que se haga estudios y algunos ajustes de manera continua. El módulo elástico se puede estimar mediante una correlación, de acuerdo a AASHTO'93, donde la correlación que recomienda en ACI: $E = 57\,000 \times (f'c)^{0.5}$; ($f'c$ en PSI). Para calcular la elasticidad del concreto se hace uso del ensayo ASTM C – 469 (MTC 2014).

- Drenaje (cd): una estructura de pavimento que contenga humedad o agua puede traer muchos problemas como: Ablandamiento de la sub rasante debido a la saturación prolongada, erosión del suelo debido al movimiento de partículas, corrosión de la carpeta de rodadura debido a la humedad, fisuración y deformación debido a la pérdida de la capacidad estructural. AASHTO 93 ha incorporado en el diseño el coeficiente de drenaje (Cd). Esta condición permite representar la probabilidad de que la estructura que está debajo de la losa de concreto pueda mantener humedad y agua libre con un determinado periodo de tiempo. El drenaje de las capas intermedias depende de, la permeabilidad y tipo de capa de subbase, los tipos de drenajes que fueron diseñados, el tipo de la sub rasante, el grado de precipitación, las condiciones climáticas. Es importante mencionar que los valores del coeficiente de drenaje están comprendidos entre 0.70 y 1.25, teniendo en cuenta las condiciones que se mencionaron anteriormente. Un coeficiente de drenaje alto quiere decir que tiene buen drenaje y que esto favorecerá a la

estructura, disminuyendo el espesor del concreto que se va a calcular (MTC 2014).

- Transferencia de cargas: La transferencia de cargas es un parámetro que se emplea para poder realizar el diseño del pavimento de concreto, donde enuncia la capacidad de la estructura entre fisuras y juntas. Los valores van a depender del tipo de pavimento que se va a construir, la presencia de dispositivos de transmisión de carga, la existencia de berma lateral. El valor final del espesor de la losa va a ser directamente proporcional al valor de J. Es decir, si J tiene un valor bajo entonces el espesor del concreto será menor (MTC 2014).

2.2.5.1. Juntas longitudinales y juntas transversales

El propósito de estas juntas es poder ejercer un control en las fisuras o agrietamientos que puede sufrir las losas del pavimento, que es ocasionado por la contracción del concreto debido a la pérdida de humedad, asimismo, como los cambios de temperatura por la exposición al medioambiente, y también debido al cambio de temperatura que va desde la superficie hasta la subbase. Las principales funciones de las juntas son los siguientes:

- Dividir los pavimentos en compartimiento adecuados para poder construirse y en concordancia con la dirección del tránsito.
- Controlar los agrietamientos longitudinales y transversales.
- Abastecer la caja para el material de sellado.
- Admitir el alabeo y el movimiento de las losas.
- Admitir la transferencia de cargas entre losa y losa.

La disposición de las juntas longitudinales y transversales están determinadas principalmente por el tamaño de las losas. Es importante tener en cuenta que la longitud de las losas no debe exceder 1.25 veces y que el ancho no debe ser mayor a 4.5 m. en lugares de tengas altitudes mayores a los 3000 metros sobre el nivel del mar, se recomienda que las losas sean de tipo cuadrada o pueden ser losas cortas que puedan conservar el espesor que define AASHTO. Una oportuna y adecuada construcción con un buen diseño, es fundamental para que las juntas puedan tener un buen rendimiento. Un eficiente sellado es importante para poder mantener el sistema en funcionamiento.

Tener en cuenta condiciones como la temperatura, la humedad, los esfuerzos, movimiento son indispensables al momento de realizar el diseño. ya que todas estas condiciones inducen al movimiento de las losas, ocasionando concentraciones de alabeos y esfuerzos. Por lo que es importante considerar que:

- Tipo de la Berna, diseño, presencia de sobreanchos, estos afectan al soporte lateral y a la capacidad de las juntas para la transferencia de cargas a considerar.
- El nivel de tránsito, el volumen y el tipo de vehículo influyen de manera considerable en los mecanismos de transferencia de carga.
- Las características de los insumos, materiales de concreto influyen en el dimensionamiento y la resistencia de las juntas. Los insumos son los que determinan el movimiento que se produce entre losas.
- Lo que influye en los esfuerzos que ocasionan deflexiones y alabeos, es el espesor de la losa.

- Considerar el sistema de carga ya que es fundamental en toda junta (MTC 2014).

2.2.5.2. Bermas del pavimento rígido

La finalidad de las bermas es brindar soporte de borde a la calzada del pavimento, incrementar la seguridad, prevenir la posible erosión de las capas inferiores, asistencia de los vehículos que se puedan encontrar en problemas. Los tipos disponibles de las bermas son los siguientes (MTC 2014):

- Bermas granulares: Estas bermas son empleadas en pavimentos de bajo tránsito y para zonas rurales.
- Bermas de concreto: Las bermas de concreto tiene varios tipos que son empleados:
- Espesor parcial (bermas ancho mayor a 1.20m): El espesor se basa en un 5% que equivale al carril de diseño. Cuando la berma tiene como finalidad sostener un parte importante del tránsito, el ingeniero diseñador procederá de igual forma para el pavimento de calzada. El espesor mínimo que se tiene que tener en cuenta es de 0.15 m. El corte de las juntas tiene que contar con el mismo patrón que mantiene la línea principal y luego aplicar pasadores. Para lo cual es importante hacer el empleo de las barras de amarre.
- Espesor total (bermas ancho igual o menor a 1.20m): Su utiliza con mayor frecuencia en los pavimentos urbanos cuyo acceso es limitado y hace el empleo para poder hacer mantenimientos o realizar ampliaciones. Aquí se emplea las barras de amarre en la juntas transversales y longitudinales.

- Bermas de asfalto: aquí se tienen las mismas consideraciones que en los pavimentos flexibles.

2.2.5.3. Materiales de pavimento rígido

- Los materiales que se tiene en consideración para el pavimento rígido son:
 - Selladores
 - Concreto
 - Cordones de respaldo
 - Acero y canastillas

2.2.6. Refuerzos de pavimento rígido

Cuando el pavimento presente fallas estructurales, asientos, daños en la superficie, roturas o escalonamiento de las juntas, es cuando recién se empleará el refuerzo, ya que no se pueden reparar con métodos convencionales y que estos puedan afectar en un corto plazo a los usuarios. Para lo cual es importante realizar un estudio con la finalidad de poder determinar cuáles fueron las causas que ocasionaron las fallas y posteriormente poder adoptar medidas como: drenaje, parchados, colar barras de transferencia de carga, entre otros, antes de realizar el refuerzo, con la finalidad de que el pavimento antiguo sirva como asiento estable para poder realizar las nuevas capas. El refuerzo se realizará con la mezcla asfáltica con concreto hidráulico o en caliente. Cuando se realiza el refuerzo asfáltico, para impedir la reflexión de grietas y juntas se deberá analizar la atenuación a la flexión de grietas y juntas, empleando las mallas (MTC 2014).

Resistencia de concreto

Las estructuras de concreto armado y los pavimentos rígidos, están expuestos a tensiones debido al impacto de cargas repetidas. Muchos consideran que el concreto es un material resistente y duradero. Existen diversas formas de evaluar la resistencia del concreto. Quizás es tener en consideración que estas propiedades de resistencia agregan diferentes cualidades al concreto que lo convierten en una opción ideal en varios casos de uso. Los diferentes tipos de resistencia son importantes para conocer de qué manera estos afectan a la calidad, la vida útil y el costo de los proyectos de concreto. La resistencia del concreto tiene mucha relación con la pasta de cemento hidratado. El aire en el concreto produce huecos o poros. El exceso de agua en el hormigón se evapora y deja los huecos en el hormigón. En consecuencia, a medida que aumenta la relación A / C, también aumenta la porosidad de la pasta de cemento en el hormigón. A medida que aumenta la porosidad, disminuye la resistencia del concreto en este caso a la compresión del concreto (Kishore 2011).

La rotura del concreto puede ser causada por un esfuerzo de tracción aplicado, un esfuerzo cortante o por un esfuerzo de compresión o una combinación de dos de los esfuerzos anteriores. El concreto, que es un material quebradizo, es mucho más débil en tensión que en compresión, y las fallas de las muestras de concreto de carga baja de compresión son más comunes. Como la resistencia a la rotura se debe tanto a la cohesión como a la fricción interna, el ángulo de rotura no es de 45° (plano de esfuerzo cortante máximo), sino que es función del ángulo de fricción interna. Se puede demostrar matemáticamente que el ángulo ϕ que forma el plano de falla con el eje de carga es igual a $(45^\circ - \phi / 2)$ (Fintel 1985).

2.2.6.1. Importancia de la resistencia del concreto

Los métodos y equipos para la producción de concreto se modernizan continuamente. Los métodos de prueba, junto con la interpretación de datos, también se están actualizando y volviéndose más sofisticados. Pero la calidad del concreto se basa principalmente en su resistencia. Es la resistencia del concreto u hormigón, es la que forma la base de la aceptación o el rechazo del concreto en la construcción. Una deficiencia en la resistencia requerida puede conducir a reparaciones costosas, peligrosas y desafiantes o, en el peor de los casos, conducir a una falla colosal. Entonces, obviamente, la fuerza general de cualquier construcción tiene una importancia inmensa, pero el grado va depender de sus elementos estructurales. También, es necesario considerar las especificaciones de resistencia al momento de estimar la mezcla propuesta.

Obviamente, la resistencia de cualquier estructura, o parte de una estructura, es importante. Una deficiencia en la resistencia puede conducir a reparaciones costosas y difíciles o, en el peor de los casos, una grande falla. La resistencia suele ser la base para la aceptación o el rechazo del concreto en la estructura. En aquellos casos en los que las probetas de resistencia no alcanzan el valor requerido, generalmente se especifican pruebas adicionales del concreto en el laboratorio o en el campo. Esto puede implicar perforar núcleos de la estructura o probar con ciertos instrumentos no destructivos que miden la dureza del concreto. Algunas especificaciones permiten un margen de incumplimiento, siempre que no sea grave. Métodos estadísticos, ahora aplicados a la evaluación de

pruebas brindan un enfoque más realista para el análisis de los resultados de las pruebas, lo que permite al ingeniero reconocer las variaciones normales en la resistencia y evaluar pruebas individuales en su verdadera perspectiva, ya que encajan en toda la serie de pruebas de la estructura. La resistencia del concreto es necesaria cuando se calcula una mezcla propuesta para concreto, ya que las proporciones de mezcla contempladas se basan en las propiedades esperadas de refuerzo de los componentes (Fintel 1985).

2.2.6.2. Factores que influyen en la resistencia del concreto

Cuando se plantea la pregunta qué contribuye a la resistencia del concreto, la respuesta es: casi todo. Pero los factores comunes incluyen (Aragón 2013):

- Tipo de cemento.
- Cantidad y calidad o marca de cemento.
- Sustitución accidental de cemento.
- Limpieza y clasificación del árido.
- Proporciones de agua.
- Presencia o falta de aditivos.
- Métodos de entrega y colocación.
- Temperatura.
- La mezcla.
- Condiciones de curado.

A veces, incluso sustancias extrañas se introducen en la mezcla, lo que afecta a su fuerza. Así que eliminar los elementos que no se aplican y considerar los elementos significativos es un paso fundamental para

lograr la fuerza deseada del concreto. Además, una inspección adecuada asegura que no surjan variaciones que puedan afectar la resistencia del hormigón (Aragón 2013).

2.2.6.3. Resistencia a la compresión

Permite determinar la resistencia de compresión de aquellos especímenes cilíndricos de concreto, está limitado a concretos que presentan pesos unitario mayores a 800kg/m³.

El ensayo hace que se pueda aplicar una carga axial de compresión sobre los cilindros, con una velocidad que ya está determinada. Para determinar la resistencia se realiza la división de la carga aplicada en el ensayo entre la sección transversal de la carga aplicada. El ensayo contribuye a tener conocimiento sobre el control de calidad del mezclado, dosificación y colocación del concreto. Los valores que se puedan obtener dependerán de la forma y tamaño del espécimen, la edad, la temperatura, moldes, los métodos de muestreo y las consideraciones de humedad durante el curado (MTC 2016).

Equipos y materiales

Diseño: La máquina opera con energía eléctrica, esta máquina mantiene la carga de forma continua y no presenta ningún tipo de choque. Se tiene que tener en consideración que la maquina tiene que tener varias velocidades de carga. Se tiene que contar con un espacio suficiente para que los especímenes se puedan acomodar, además, se debe de contar con un equipo de calibración de la máquina que permite realizar el ensayo y debe cumplir con los requisitos que de la ASTM E 74. Los equipos más

conocidos son el anillo de carga circular y las celdas de carga (MTC 2016).

Precisión: Las máquinas donde se realizarán los ensayos tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

El porcentaje de error tiene que estar entre $\pm 1,0\%$ de la carga.

Para poder verificar la precisión de la máquina se tiene que realizar 5 cargas de ensayo en 4 con incrementos de forma ascendente.

Las cargas se tienen que registrar en cada punto de ensayo, se aplicará la siguiente ecuación:

$$E = A - B$$

$$Ep = 100 \frac{A - B}{B}$$

Donde:

A=Este dato lo indica la máquina.

B= Está determinado por el elemento de calibración.

Es importante tener en consideración que en ningún caso se tiene que considerar el valor de carga sea 100 veces el cambio más pequeño de carga.

No se tiene que hacer correcciones a la carga indicada por las máquinas.

- Indicador de carga: Si la máquina llegara a registrar un dial, este deberá tener una escala que esta graduada permita hacer lecturas de precisión de 0.1% de la carga total. Es indispensable tener en cuenta que el dial tiene que ser legible alrededor del 1%. La distancia a

considerar es de 0.5 mm a lo largo que describe el puntero. Cada uno de los diales tienen que estar equipados con un dispositivo de ajuste cero, con una exactitud de 1%.

Muestras:

Las muestras que presentan variaciones en el diámetro de más de 2% no se les tiene que realizar el ensayo. La variación de los diámetros de los especímenes se puede deber a que los molde estuvieron dañados o sufrieron deformaciones al momento de trasladarlos.

- Las muestras que se van a ensayar no se deben separar de la perpendicularidad del eje de más de 0.5° . Si el extremo de la muestra no es plano en 0.05mm, se deberá refrendar como lo indica la norma MTC E 703. Cuando se quiera determinar el área transversal, se tiene que tener en cuenta la precisión de 0.25mm, realizando la premediación de los diámetros medidos.

Procedimiento:

El ensayo se tiene que realizar inmediatamente que las muestras se han movido del lugar de donde fueron curadas.

- Todas las muestras tienen que estar húmedas haciendo uso de cualquier método que sea conveniente, desde del lugar que fueron removidas hasta el lugar onde se va a realizar el ensayo. Estas muestras deben ser ensayadas húmedas.
- Las muestras se tienen que colocar sobre la plataforma de la maquina donde se va a realizar el ensayo, directamente por debajo del bloque superior. Previamente se tiene que realizar la limpieza con un paño.

Antes de realizar el ensayo se tiene que verificar que el indicador de carga este en cero.

- La velocidad de carga se tiene que aplicar de manera continua y sin golpes muy fuertes. Las velocidades de carga se tienen que aplicar en un rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (MTC 2016).

Cálculos:

Para determinar la resistencia a la compresión se divide la carga máxima soportada por el espécimen, por el promedio del área de la sección transversal que se determinó. Este resultado tiene que tener una aproximación de 0.1 Mpa. Si la relación diámetro longitud del espécimen es 1.75 o menor a este, se tiene que corregir, realizando una multiplicación con el factor que sea apropiado.

- Cuando sea necesario, se calculará la densidad teniendo en cuenta la presión de 10kg/m³.

$$densidad = \frac{W}{V}$$

Donde:

W= Masa (kg).

V= Volumen (m³)

Cuando la muestra está sumergida se determinará con la siguiente formula.

$$V = \frac{W - W_s}{Y_w}$$

Donde:

$W = \text{Masa (kg)}$.

$Y_w = \text{Densidad del agua a } 23^\circ = 997.5 \text{ kg/m}^3$.

Precisión:

La precisión que se realizan por un solo operador sobre los cilindros individuales de 150 mm por 300mm, con resistencia a la compresión de 15 y 55 MPa, están dadas en la siguiente tabla:

Tabla 1: Tabla de precisión

Un solo operador	Rango aceptable		Coeficiente de variación
	Dos Resultados	Tres resultados	
Condiciones de laboratorio	6.6%	7.8%	2.37%
Condiciones de campo	8%	9.5%	2.87%

FUENTE: Tomado de “Manual de ensayo de materiales”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 p. 812.

2.2.6.4. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es el esfuerzo de tracción mecánico máximo, con el que una probeta puede someterse a carga. Un material se rompe cuando la resistencia a tracción es superada, cabe mencionar previo a la ruptura del material este sufre una deformación plástica. La resistencia a tracción es un valor que permite evaluar el comportamiento de la resistencia (MTC 2016).

Equipos; materiales e insumos:

- Las máquinas para realizar el ensayo se tienen que ajustar de acuerdo a la norma de MTCE 704.
- La platina de apoyo suplementaria de acero maquinado solo se usará cuando las dimensiones o el diámetro de las placas de apoyo son superiores o inferiores. Las superficies de estas platinas deberán ser de forma plana con una tolerancia de 0.025mm.
- Los listones de apoyo pueden ser de cartón o de madera, sin que pueda tener imperfecciones, de espesor de 3.2mm y de ancho 25mm.

Muestra:

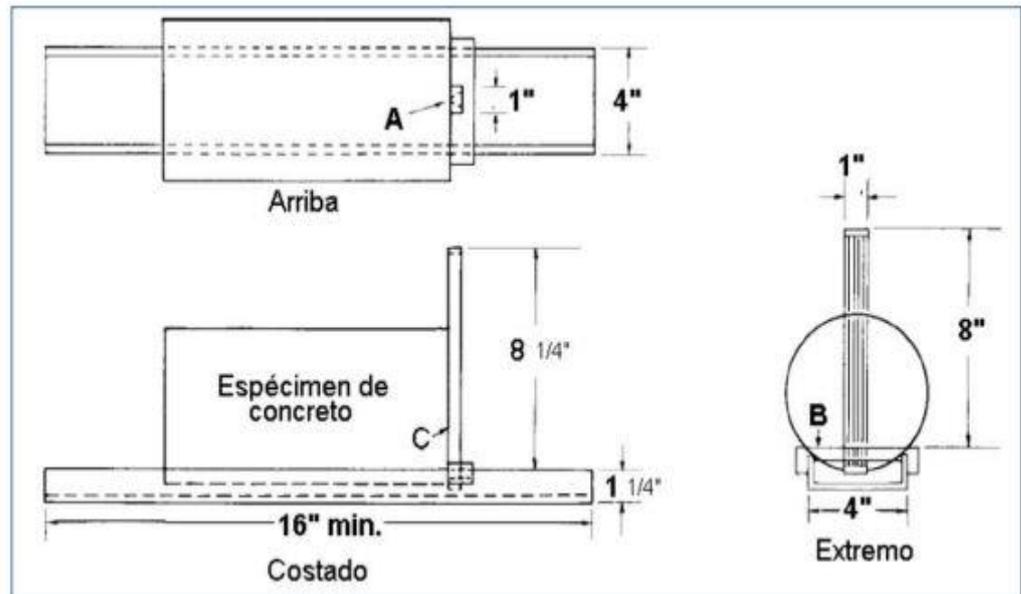
Los especímenes a muestrear deberán ser fabricados de acuerdo a los métodos de curado y hechura, en el laboratorio o en campo. El espécimen sometido a ensayo, a los 28 días, estará bajo la condición de aire seco por un periodo de 21 días a una temperatura de 23°C y a una humedad de 50%, estos valores se tomarán en cuenta después de los 7 días de haberse realizado el curado.

Procedimiento:

- Marcas: Se realizará dibujos de diámetros en cada extremo del espécimen, haciendo uso de aparatos adecuados, asegurando que estos se encuentren en el mismo plano axial.
 - Medida de Diámetro y Longitud: Para poder determinar el diámetro se tiene que tener en cuenta la aproximación de 0.25 mm a través del promedio de tres medidas que se realizan, una que está cerca a los extremos y otra en el centro del cilindro. Para

poder determinar la longitud se tiene en cuenta la aproximación de 0.25 mm, a través del promedio de al menos dos medidas.

Figura 1. Equipo determinación del diámetro final



FUENTE: Tomado de “Manual de ensayo de materiales”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 p. 821.

- Listones de apoyo: Estos listones se colocan en todo en centro de la placa inferior. De manera que el punto de tangencia se concentre en la lámina de apoyo. El segundo listón se tiene que colocar de manera longitudinal sobre el cilindro.
- Velocidad de carga: al cilindro se le tiene que aplicar la carga de manera continua con una velocidad constante entre 689 kPa/min y 1380 kPa/min, mientras se va rompiendo el cilindro. Por lo que se tiene que tener en cuenta la velocidad de los cilindros 50 y 100 kN/min. Luego se procede a anotar la carga de la máquina en el momento que se produce la rotura, el tipo y la apariencia del concreto.

Cálculos:

Para calcular el esfuerzo de tracción se tiene que calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

Donde:

L = Longitud del cilindro.

T = Esfuerzo de tracción indirecta.

d = Diámetro del cilindro.

P = Carga máxima.

Precisión:

Hasta el momento no existe estudio que se hallar realizado en diversos laboratorios de este ensayo. Pero hay sugerencias de que los valores de coeficiente de variación de 5% de un mismo lote de muestras cilíndrica de 152 mm × 305 mm con un promedio de 2.8 MPa de esfuerzo a la tracción. Los resultados que se realicen a dos ensayos no deben diferir en más de 14% del promedio de esfuerzos de tracción.

2.2.6.5. Resistencia a la flexión

Esta resistencia está referida a la cantidad de tensión que soportará un material antes de que se desgarre, se rompa o se doble permanentemente. Las unidades de medida son la fuerza, en newtons o libras-fuerza; área, en metros cuadrados o pulgadas cuadradas. Saber cuánta fuerza puede soportar un material antes de romperse puede ser útil durante el proceso de diseño. Otros nombres para esta característica del

material incluyen resistencia a la flexión y módulo de ruptura. Puede ser un buen indicador de las características isotrópicas de un material, es decir, qué tan homogéneo es el material. Cuanto más homogéneo es un material, generalmente es más fuerte (NRMCA 2013).

El objetivo de realizar el ensayo de la resistencia de flexión es determinar pasos que se tiene que seguir para hallar la resistencia la flexión del concreto, haciendo uso de una viga simple. Los valores que están establecidos de acuerdo al Sistema Internacional se deberán considerar como la norma (MTC 2016).

Equipos:

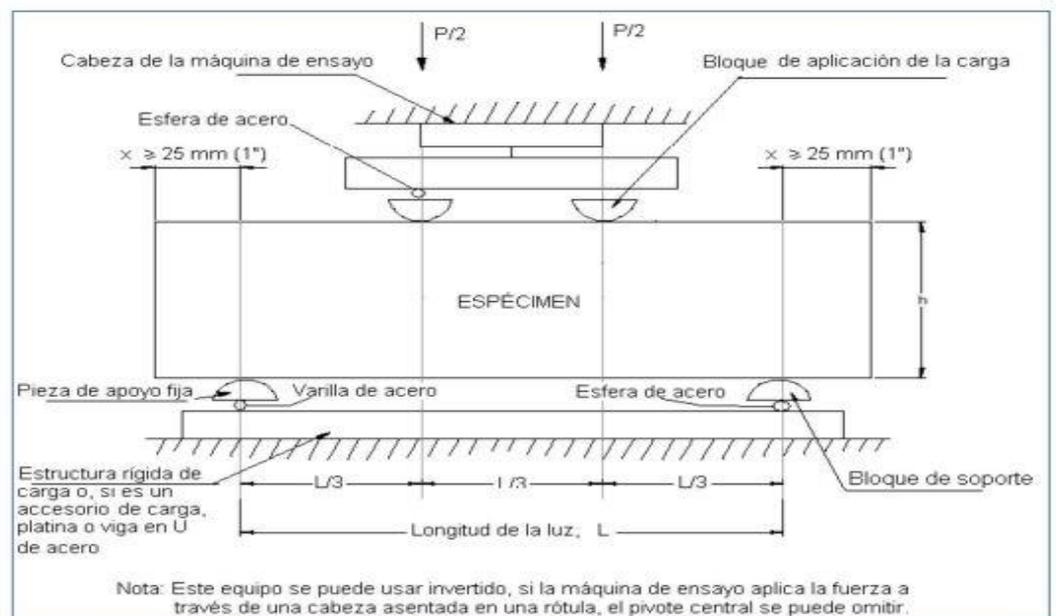
- Máquina de ensayo: Es importante mencionar que las máquinas que nos operadas a mano que no puedan suministrar cargas continuas no serán permitidas. Se permite aquellas máquinas que tengan bombas a motor con un desplazamiento positivo. El método de carga se utilizará al momento de realizar los ensayos de flexión, haciendo el uso de bloques de carga, ya que estos aseguran que las fuerzas aplicadas a la viga sigan siendo perpendiculares a la cara del espécimen ensayado.
- Las reacciones que se puedan producir deberán ser paralelas a la dirección de la fuerza que se está aplicando en ese instante.
- Los bloques de apoyo y de carga tiene que mantenerse en posición vertical y en contacto por medio de tornillos cargados con resortes con la esfera o la barra.
- Todos los especímenes que serán sometidos ensayos deberán cumplir con los requerimientos que están normados en el MTC E 702.

Muestra:

Todos los especímenes que serán sometidos a ensayos tienen que cumplir con la norma MTC E 702.

- Las muestras deberán tener una distancia libre de 3 veces su altura, con una tolerancia de 2%. Las superficies que están en contacto con los bloques de aplicación de carga deberán ser suaves y no tener ningún a grieta.

Figura 2. Esquema de un equipo para el ensayo de flexión



FUENTE: Tomado de “Manual de ensayo de materiales”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 p. 825

Procedimiento:

- El sistema se centra con relación a la fuerza aplicada. Se pone en contacto los bloques con la superficie del espécimen y emplea una carga de 3% a 6%. Haciendo uso de calibradores normalizados se determinará la longitud de 25mm. Para eliminar los vacíos que se puedan presentar se procederá a limar o rellenar con láminas de cuero,

estás laminas deberán tener un espesor de 0.25 pulgadas y un ancho de 1 a 2 pulgadas. Si las separaciones presentan dimensiones mayores a 0.015 pulgadas estas deberán ser eliminadas. Se sugiere no hacer uso frecuente del pulimento, debido a que esto puede hacer que pueda variar las características físicas de las muestras y puede influir en los resultados del ensayo.

- La aplicación de la carga se debe realizar de manera continua. La rata de incremento se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

Donde:

r = Rata de carga.

b = Ancho promedio de la muestra.

d = Altura promedio de la muestra.

S = Rata de incremento de la tensión en la fibra extrema.

L = Longitud de la luz de la muestra.

Cálculos:

El módulo de rotura se procederá a calcular si la fractura se inició en la zona de tensión, para lo cual se usa la siguiente ecuación.

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

Donde:

R = módulo de rotura

d = altura promedio de la muestra.

l = longitud libre entre apoyos.

P = máxima carga aplicada.

b = ancho promedio de la muestra.

También se puede calcular el módulo de rotura, teniendo en cuenta de que la distancia no sea mayor de 5% de la luz libre, para determinar el módulo se empleará la siguiente ecuación.

$$R = \frac{3Pxa}{bx d^2}$$

Donde:

a = distancia la línea de fractura y el soporte más cercano.

Precisión:

Se sabe que el coeficiente de variación que puedan presentar los resultados va a depender del nivel de las cargas de las vigas. Para un solo operador el coeficiente de variación es de 5.7%. por lo que si un operador va a realizar dos ensayos de manera apropiada no deberán influir uno en el otro con porcentaje mayor a 16%. Se ha determinado que un 7% de coeficiente de variación es para los ensayos multilaboratorios (MTC 2016).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Aditivos

Se denomina aditivo a la sustancia que es añadida a componentes que son fundamentales en los concretos con la finalidad de poder cambia o transforma las propiedades mecánicas como física (MVCS 2006).

2.3.2. Celulosa

Es un compuesto orgánico y el biopolímero más abundante en la Tierra. Es un carbohidrato o polisacárido complejo que consta de cientos o miles de moléculas de glucosa, unidas entre sí para formar una cadena. Si bien los animales no producen celulosa, la producen las plantas, las algas y algunas bacterias y otros microorganismos. La celulosa es la principal molécula estructural de las paredes celulares de plantas y algas (Campbell y Reece 2005).

2.3.3. Concreto

El hormigón o también conocido como hormigón es un material de construcción ampliamente utilizado que es una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos (Aragón 2013).

2.3.4. Compresión

Un concepto fundamental que los ingenieros, arquitectos y constructores deben comprender a fondo antes de emprender el trabajo en cualquier estructura. Cada material tiene la capacidad de soportar una cierta cantidad de compresión y una cierta cantidad de tensión (Sika 2013).

2.3.5. Flexibilidad

Los materiales flexibles se pueden caracterizar por la capacidad de doblarse o comprimirse fácilmente sin agrietarse en condiciones normales (MTC 2014).

2.3.6. Maguey

El maguey es también conocida como agave, esta planta es de origen mexicano, esta planta puede desarrollarse en climas áridos y semiáridos, no requiere de mucha agua para su desarrollo (Campbell y Reece 2005).

2.3.7. Pavimentos

Un pavimento es un tipo de superficie dura hecha de material de superficie duradero que se coloca en un área destinada a transportar vehículos o peatones. Su función principal es distribuir las cargas aplicadas del vehículo al subsuelo a través de diferentes capas (MTC 2016).

2.3.8. Resistencia

La resistencia a la resistencia se refiere a la carga máxima sobre un material sin signos considerables de fatiga o incluso defectos a resistencia. La resistencia a la resistencia depende de la carga y es proporcional a la resistencia a la tracción (MTC 2016).

2.3.8. Sellador

Es un material que evita la humedad, el salitre y cualquier otro problema que pueda afectar al concreto (MVCS 2006).

2.3.8. Tracción

Es realizar un estiramiento hasta que se pueda producir la rotura del material, que gracias a esto se podrá medir la resistencia de está (Aragón 2013).

2.3.8. Tensión

Es aquel esfuerzo mecánico que se le realiza a un material con capacidad de responder a una carga. (Aragón 2013).

2.4. Formulación de hipótesis.

2.4.1. Hipótesis general

El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variables independientes.

- Fibra natural de maguey

2.5.2. Variables dependientes.

- Resistencia del concreto para pavimento rígido

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

Tabla 2: Operacionalización de Variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	
Fibra natural de maguey	Las fibras también se denominan “fibras de pita”. Estas fibras son de naturaleza celulósica. El Agave o maguey es una especie de plantas con flores de la familia <i>Agavaceae</i> . La planta es originaria de México, Arizona y Texas, pero cultivada en todo el mundo como planta ornamental. Se ha naturalizado en muchas regiones del mundo. El género Agave tiene alrededor de 275 especies (García 1892).	El Agave o maguey es una especie de plantas con flores de la familia <i>Agavaceae</i> . Esta planta es muy usada en diversas industrias ya que trae beneficios haciendo uso de diversas proporciones de la fibra de maguey (Hulle, Kadole y Katkar 2014).	Proporción de fibra de maguey	No Aplica	
Resistencia del concreto	Las estructuras de concreto armado y los pavimentos rígidos, están expuestos a tensiones debido al impacto de cargas repetidas. Muchos	Las estructuras de concreto de pavimentos rígidos, están expuestos a tensiones debido al impacto de cargas repetidas, por lo que es	Propiedades de estado endurecido del concreto.	Resistencia a la compresión.	La fibra mejora la resistencia a la compresión

para pavimentos rígidos

consideran que el concreto es un material resistente y duradero. Existen diversas formas de evaluar la resistencia del concreto. Quizás es tener en consideración que estas propiedades de resistencia agregan diferentes cualidades al concreto que lo convierten en una opción ideal en varios casos de uso. Los diferentes tipos de resistencia son importantes para conocer de qué manera estos afectan a la calidad, la vida útil y el costo de los proyectos de concreto (Kishore 2011).

importante tener en cuenta las propiedades de estado endurecido del concreto (Fintel 1985).

Resistencia a la tracción.	La fibra de maguey mejora la resistencia a la tracción
Resistencia a Flexión	La fibra de maguey mejora la resistencia a la flexión

FUENTE: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que la investigación tuvo como propósito fundamental la de resolver problemas generar nuevos conocimientos, así como determinar si es correcto o no la afirmación planteada (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014); además, este tipo de investigación busca solucionar un problema en determinados contextos, basados en la revisión teórica; ya que está orientada a la aplicación de manera inmediata (Lino 2009). En esta tesis empleo el tipo aplicada, ya que, se hizo uso de conocimientos que fueron obtenidos de diversas investigaciones teóricas, que permitirá dar respuesta a preguntas fundamentales que estén relacionados con el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

3.2. Nivel de investigación.

El alcance fue explicativo. Según Hernández et al. (2014), este tipo de investigaciones tiene como objetivo ofrecer explicaciones sobre las razones

detrás de la ocurrencia de un fenómeno y las circunstancias en las que se manifiesta. Es decir, establecer la interdependencia entre dos o más variables. De acuerdo a lo indicado, este método fue empleado para el desarrollo del estudio debido a los objetivos planteados, pues debe guardar relación con el desarrollo del estudio.

3.3. Métodos de investigación.

Se siguió un método científico. Según Baena indica que los procesos tomados en cuenta en este tipo de método formulan preguntas o problemas de acuerdo a la realidad (2017). Asimismo, Hernández, et al. menciona que este método tiene como característica encaminarse a la veracidad de las cosas, De acuerdo a lo indicado, este método fue empleado para el desarrollo del estudio a través de un procedimiento delimitado, el cual permitió la formulación de los problemas, propósitos e hipótesis, que luego a través de la evaluación estadística, se logró establecer o comprobar las aseveraciones fundamentadas, a fin de brindar soluciones a los problemas del estudio.

3.4. Diseño de investigación.

Según Hernández et al, el diseño experimental es propia de la investigación científica cuyo enfoque es cuantitativo que requiere la manipulación intencional de una de las variables para poder hacer un análisis de los efectos sobre la otra variable que sería la dependiente,2014 (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014). En esta investigación emplearemos el diseño experimental ya que realizaremos manipulaciones en la cantidad de la fibra de maguey que se añadirá a la mezcla de concreto para poder analizar la resistencia a la compresión, tracción y flexión de pavimento rígido.

Desde el punto de vista de Espinoza L. el diseño factorial experimental en donde se realiza la manipulación de dos o más variables donde pueden incluir dos o más niveles en cada una de las variables. Realizar la construcción del diseño factorial básicamente consiste en tomar todos los niveles de las variables independientes combinándolos con los niveles de la otra variable (Espinoza 2010).

3.5. Población y muestra.

3.5.1. Población.

La población representa a todos los elementos que se va a estudiar tienen las mismas características y que serán los estudiados en la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014). en el estudio, la población se conformó de las probetas de concreto de pavimentos que estarán ubicados en Cerro de Pasco.

De acuerdo con Hernández et al. la muestra es una parte de la población representativa, esta muestra tiene que tener características idénticas a las de la población (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014). Para la investigación la muestra estuvo constituida por el conjunto de probetas necesarias para los ensayos a diferentes porcentajes de adición de la fibra de maguey.

En base a la normativa, se requieren tres probetas como mínimo para cada ensayo. En la Tabla 3, se detallan las probetas a emplear según el porcentaje de fibra de maguey a añadir.

Tabla 3: Muestras de la investigación

Niveles o tratamiento	Población		
	Compresión	Tracción	Flexión
Fibra de maguey al 0%.	3	3	3
Fibra de maguey al 1%.	3	3	3
Fibra de maguey al 2%.	3	3	3
Fibra de maguey al 4%.	3	3	3
Fibra de maguey al 8%.	3	3	3
Subtotal	15	15	15
Total		45	

FUENTE: Elaboración propia

3.5.2. Muestra.

El tamaño de la muestra será de 45 probetas de concreto los cuales se sometieron a los diversos análisis y ensayos, para poder determinar la resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto.

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia. De acuerdo con Hernández et al. (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014), el no probabilístico es una técnica basada en juicios subjetivos y no por elección al azar. Dentro de este tipo de muestreo, se encuentra el muestreo por conveniencia, que es seleccionar una muestra de estudio por su disponibilidad para el investigador, ya que son fáciles de reclutar y sirven para lograr los resultados que se esperan de la investigación.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1. Técnicas de recolección de datos.

Para Arias (2006), la observación es una técnica que consiste la captura de los hechos o la visualización de fenómenos o las situaciones que pueden ocurrir en la sociedad o en la naturaleza esto basado en los objetivos predeterminados de la investigación. Por lo que, en esta investigación esta técnica brindo ayuda en la recopilación de los datos y la obtención de la información que sea necesaria sobre uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

Para poder hacer un análisis de las variables uso de fibra natural de maguey y la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, se elaboró una ficha de observación en el cual se recopilaron los datos necesarios de la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión, estos datos sirvieron para la toma de decisiones.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.

La valides del instrumento que en este caso es la ficha de observación, fue mediante el juicio de expertos, por lo cual se les consulto a profesionales expertos en la materia que puedan validar el instrumento.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

La investigación tuvo un procesamiento de acuerdo a su enfoque cuantitativo, ya que utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández, Fernández y Baptista, Metodología de la Investigación 2014).

Luego se realizó un procesamiento estadístico con el software SPSS, que previamente se recogió datos sobre la variable (fibra natural de maguey) a investigar en este caso, y se realizó un procesamiento estadístico de los datos para describir la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia tracción.

3.8. Tratamiento estadístico.

Luego de recopilar los datos se procedió a su análisis, para lo cual, se empleó el estadístico ANOVA para evaluar las diferencias significativas entre los diferentes porcentajes de fibra en relación con la resistencia a la compresión. Posteriormente, se llevaron a cabo las pruebas Post hoc para realizar comparaciones específicas entre los diferentes grupos de porcentajes de fibra.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Para el desarrollo de la presente investigación se consideró los procedimientos adecuados, respetando los principios de ética para iniciar y concluir los procedimientos según el Reglamento General de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

La información, los registros, datos que se tomaron para incluir en el trabajo de investigación serán fidedignas. Por cuanto, a fin de no cometer faltas éticas, tales como el plagio, falsificación de datos, no citar fuentes bibliográficas, etc., se consideró fundamentalmente desde la presentación del Proyecto, hasta la sustentación de la Tesis.

Es así que, me sometió a las pruebas respectivas de validación del contenido del presente proyecto con el objeto de validar la originalidad.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de mecánica de suelos, materiales y concreto, teniendo en cuenta el diseño de mezcla (210 kg/cm²). Se tomaron muestras de las cuales se tomaron datos sobre el peso suelto, compacto y específico, además, sobre la humedad y la absorción. Asimismo, se evaluó la estructura según las probetas, de las cuales se determinó la edad, diámetro, área y resistencia. Por tanto, se realizaron los siguientes pasos:

- Selección y Preparación de Materiales: Este paso involucra elegir los materiales adecuados para el concreto, incluyendo la fibra de maguey, el cemento, y los agregados, así como su preparación y dosificación precisa.
- Diseño de la Mezcla de Concreto: En esta etapa, se determinan las proporciones exactas de cada componente en la mezcla de concreto. Se realizan cálculos basados en normativas y estudios previos para optimizar la mezcla tanto en términos de trabajabilidad como de resistencia.

- **Moldeo de Probetas:** Se procede a moldear las probetas en formas cilíndricas y prismáticas, que se utilizarán para los ensayos. Estas probetas se curan en condiciones controladas para garantizar su adecuada maduración.
- **Ensayos de Resistencia a la Compresión:** Utilizando una prensa hidráulica, se aplican cargas a las probetas cilíndricas para determinar el punto de falla y así medir la resistencia a la compresión del concreto.
- **Ensayos de Resistencia a la Tracción:** Estos ensayos se realizan para evaluar la capacidad del concreto para resistir fuerzas que tienden a estirarlo. Se utilizan máquinas específicas para aplicar fuerzas de tracción a las probetas.
- **Ensayos de Flexión:** Se miden las propiedades de flexión del concreto aplicando carga en el centro de las probetas prismáticas hasta que ocurra la fractura. Estos ensayos ayudan a entender cómo se comportará el concreto bajo condiciones de carga en flexión.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Análisis de la resistencia a la compresión

En este apartado se presentan los resultados sobre la resistencia a la compresión, lo cual aborda la edad y la muestra. Además, resultados globales para la resistencia y la barra de medias.

Tabla 4: Resultados de resistencia a la compresión por edad y muestra

		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
Edad	Muestra	Media	D.E.	Min.	Máx.
7 días	Sin fibra	155.11	3.45	152.78	159.08
	Con 1%	159.38	3.45	157.05	163.35
	Con 2%	162.18	3.45	159.85	166.15
	Con 4%	169.13	3.45	166.79	173.09
	Con 8%	182.58	3.45	180.25	186.55
14 días	Sin fibra	193.84	2.27	191.58	196.11

	Con 1%	198.11	2.27	195.85	200.38
	Con 2%	200.91	2.27	198.65	203.18
	Con 4%	207.85	2.26	205.60	210.12
	Con 8%	221.31	2.27	219.05	223.58
28 días	Sin fibra	220.43	1.02	219.31	221.32
	Con 1%	224.70	1.02	223.58	225.59
	Con 2%	227.50	1.03	226.38	228.40
	Con 4%	234.45	1.03	233.32	235.34
	Con 8%	247.90	1.03	246.78	248.80

Fuente: elaboración propia

Los datos presentados en la revelan los resultados de resistencia a la compresión del concreto con adición de fibra de maguey a diferentes porcentajes por volumen (0%, 1%, 2%, 4%, y 8%) y a distintas edades (7, 14 y 28 días) de curado.

A los 7 días de edad, la muestra sin fibra mostró una resistencia media a la compresión de 155.11 kg/cm². Al añadir un 1% de fibra, la resistencia media aumentó ligeramente a 159.38 kg/cm². Con un 2% de fibra, el incremento continuó siendo moderado, alcanzando una media de 162.18 kg/cm². Sin embargo, se observa una tendencia más marcada al incrementar el porcentaje de fibra a 4%, donde la resistencia media subió a 169.13 kg/cm². Este aumento continuo de manera significativa con un 8% de fibra, alcanzando la resistencia media más alta de la serie a 7 días con 182.58 kg/cm².

A los 14 días de edad, se observó una tendencia similar. La muestra sin fibra presentó una resistencia media a la compresión de 193.84 kg/cm². La adición de un 1% de fibra incrementó la resistencia a 198.11 kg/cm², y con un 2% a 200.91 kg/cm². Con un 4% de fibra, la resistencia media aumentó a 207.85 kg/cm², y con un 8% a 221.31 kg/cm², mostrando nuevamente que el mayor

porcentaje de fibra resulta en una mayor resistencia a la compresión. Finalmente, a los 28 días de edad, la resistencia a la compresión de las muestras sin fibra fue de 220.43 kg/cm². El agregar un 1% de fibra aumentó la resistencia a 224.70 kg/cm², y con un 2% a 227.50 kg/cm². Con un 4% de fibra, la resistencia fue de 234.45 kg/cm², y el incremento más notable se dio con un 8% de fibra, alcanzando una resistencia máxima de 247.90 kg/cm².

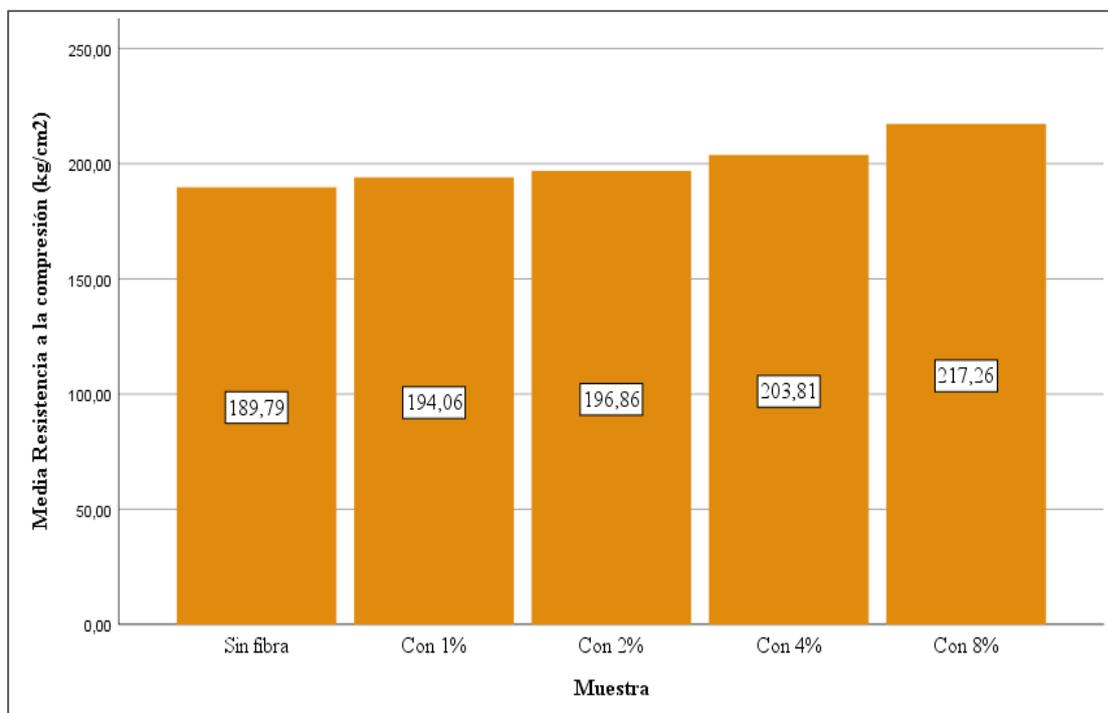
La conclusión es que la muestra con 8% de fibra de maguey consistentemente tuvo el mejor rendimiento en términos de resistencia a la compresión a lo largo de las tres edades evaluadas. A los 7 días, la resistencia media fue de 182.58 kg/cm², a los 14 días fue de 221.31 kg/cm², y a los 28 días fue de 247.90 kg/cm², siendo este último el valor más alto registrado en toda la prueba. Esto sugiere que la adición de fibra de maguey puede mejorar significativamente la resistencia del concreto para pavimento rígido, especialmente a medida que aumenta el porcentaje de fibra y el tiempo de curado.

Tabla 5. Resultados globales para la resistencia a la compresión por muestra

Muestra	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
	Media	D.E.	Min.	Máx.
Sin fibra	189.79	28.52	152.78	221.32
Con 1%	194.06	28.52	157.05	225.59
Con 2%	196.86	28.53	159.85	228.40
Con 4%	203.81	28.53	166.79	235.34
Con 8%	217.26	28.53	180.25	248.80

Fuente: elaboración propia

Figura 3. Barras de las medias por muestra de resistencia a la compresión



Fuente: elaboración propia

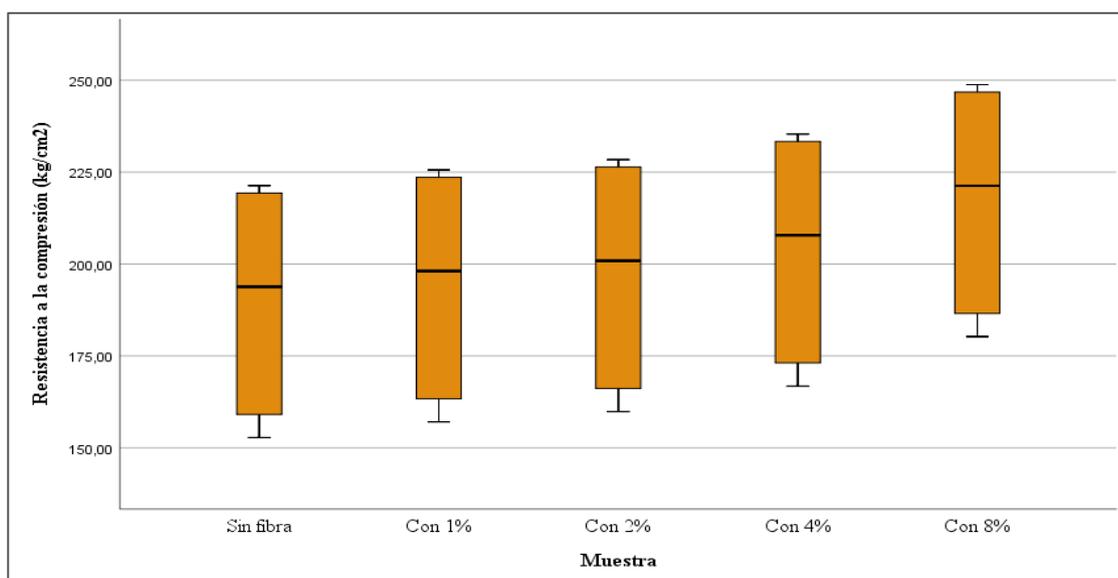
Interpretación:

En la Tabla 5 y la Figura 3 se muestra la media de la resistencia a la compresión del concreto para diferentes porcentajes de adición de fibra de maguey. Se observa una tendencia creciente en la resistencia a la compresión a medida que aumenta el contenido de fibra en la mezcla. La muestra sin fibra tiene una resistencia media a la compresión de 189.79 kg/cm². Al añadir un 1% de fibra, la resistencia media aumenta a 194.06 kg/cm². Con un 2% de fibra, la resistencia media se incrementa ligeramente a 196.86 kg/cm². Un mayor aumento se observa con un 4% de fibra, donde la resistencia media es de 203.81 kg/cm². La muestra con un 8% de fibra presenta la mayor resistencia media a la compresión con 217.26 kg/cm².

La conclusión es que el aumento en el porcentaje de fibra de maguey en el concreto mejora significativamente su resistencia a la compresión. Este es un hallazgo crucial dado que la resistencia a la compresión es una propiedad fundamental del concreto, ya que indica la capacidad del material para resistir cargas que tienden a reducir su tamaño. Para aplicaciones prácticas, especialmente en la construcción de pavimentos rígidos, una alta resistencia a la compresión es esencial para soportar las cargas repetidas de vehículos y condiciones climáticas adversas sin fracturarse o deformarse.

La implicancia práctica de estos resultados es que el uso de fibra de maguey en porcentajes óptimos puede conducir a pavimentos más duraderos y resistentes, lo que podría resultar en una vida útil más larga del pavimento y una reducción en la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes. Además, la utilización de materiales naturales como la fibra de maguey podría ofrecer beneficios ambientales y económicos, al utilizar recursos renovables y potencialmente más accesibles.

Figura 4. Diagrama de cajas para resistencia a la compresión, separado por muestra



Fuente: elaboración propia

El diagrama de caja de la Figura 4 representa la distribución de la resistencia a la compresión del concreto para distintas muestras con variadas concentraciones de fibra de maguey. La muestra sin fibra muestra una mediana cercana a los 190 kg/cm² con un rango intercuartílico (IQR) relativamente estrecho, lo que indica una variabilidad moderada en los datos. Las barras de error, que posiblemente representen el rango completo o los percentiles 10 y 90, se extienden desde aproximadamente 155 hasta 225 kg/cm², indicando que la mayoría de los datos se encuentra dentro de este rango.

Para la muestra con un 1% de fibra, la mediana se incrementa ligeramente por encima de la muestra sin fibra, y el IQR parece mantenerse constante. Las barras de error se extienden de manera similar a la muestra sin fibra, lo que sugiere que la adición de un 1% de fibra no afecta significativamente la variabilidad de los resultados. Las muestras con 2% y 4% de fibra presentan medianas más altas que las muestras anteriores, y el IQR aumenta ligeramente, lo que puede indicar una mayor dispersión de los resultados. Las barras de error para estas muestras también se extienden más, particularmente en la muestra con un 4% de fibra, lo que sugiere una mayor variabilidad en los datos.

Finalmente, la muestra con un 8% de fibra muestra la mediana más alta, aproximadamente 220 kg/cm², lo cual es un indicativo de una resistencia a la compresión sustancialmente mayor en comparación con las muestras con menor porcentaje de fibra. El IQR es más amplio en esta muestra, lo que indica una mayor variabilidad en los datos. Las barras de error se extienden desde alrededor de 190 kg/cm² hasta casi 250 kg/cm², lo que muestra la gama más amplia de resultados.

La conclusión del análisis de este diagrama de caja es que la adición de fibra de maguey tiende a aumentar la mediana de la resistencia a la compresión del concreto, con el mayor incremento observado en la muestra con un 8% de fibra. Sin embargo, también parece incrementar la variabilidad de la resistencia, como se evidencia por los IQR más amplios y las barras de error más largas para las muestras con mayor porcentaje de fibra. Desde una perspectiva práctica, mientras que un mayor contenido de fibra de maguey mejora la resistencia a la compresión media del concreto, la mayor variabilidad podría ser un factor a considerar en el control de calidad y en la consistencia del producto final. Es importante asegurarse de que la variabilidad no comprometa la confiabilidad del concreto en aplicaciones estructurales, y que los procedimientos de mezcla y curado se optimicen para minimizar esta variabilidad.

4.2.2. Análisis de la resistencia a la tracción

Se presentan los resultados sobre la resistencia a la tracción, teniendo en cuenta la edad y la muestra. Además, resultados globales para la resistencia y la barra de medias.

Tabla 6. Resultados de resistencia a la tracción por edad y muestra

		Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			
Edad	Muestra	Media	D.E.	Min.	Máx.
7 días	Sin fibra	15.06	0.15	14.92	15.21
	Con 1%	15.63	0.14	15.50	15.78
	Con 2%	16.21	0.14	16.08	16.36
	Con 4%	17.20	0.15	17.06	17.35
	Con 8%	19.36	0.14	19.23	19.51
14 días	Sin fibra	19.70	0.10	19.59	19.79
	Con 1%	20.27	0.10	20.16	20.36
	Con 2%	20.85	0.10	20.75	20.94

	Con 4%	21.84	0.10	21.73	21.93
	Con 8%	24.00	0.10	23.89	24.09
28 días	Sin fibra	24.01	0.59	23.37	24.52
	Con 1%	24.58	0.59	23.94	25.09
	Con 2%	25.17	0.59	24.52	25.68
	Con 4%	26.15	0.59	25.51	26.66
	Con 8%	28.44	0.67	27.67	28.83

Fuente: elaboración propia

Interpretación:

Los datos presentados en la tabla 5 muestran los resultados de resistencia a la tracción del concreto con adición de fibra de maguey para las muestras evaluadas a 7, 14 y 28 días de edad. A los 7 días de edad, la muestra de concreto sin fibra mostró una resistencia media a la tracción de 15.06 kg/cm². Con la adición de un 1% de fibra, la resistencia media aumentó ligeramente a 15.63 kg/cm². Con un 2% de fibra, la media fue de 16.21 kg/cm², y con un 4% de fibra, la resistencia media incrementó a 17.20 kg/cm². La muestra con un 8% de fibra presentó la mayor resistencia media a la tracción de 19.36 kg/cm² a esta edad.

Al evaluar las muestras a los 14 días de edad, la resistencia a la tracción de la muestra sin fibra fue de 19.70 kg/cm². La adición de un 1% de fibra elevó la resistencia media a 20.27 kg/cm², con un 2% a 20.85 kg/cm², con un 4% a 21.84 kg/cm², y la muestra con un 8% de fibra nuevamente exhibió la mayor resistencia media, alcanzando 24.00 kg/cm². A los 28 días, la resistencia media a la tracción de la muestra sin fibra fue de 24.01 kg/cm². La adición de un 1% de fibra incrementó esta medida a 24.58 kg/cm², con un 2% a 25.17 kg/cm², y con un 4% a 26.15 kg/cm². La muestra con un 8% de fibra de maguey alcanzó la resistencia más alta con una media de 28.44 kg/cm².

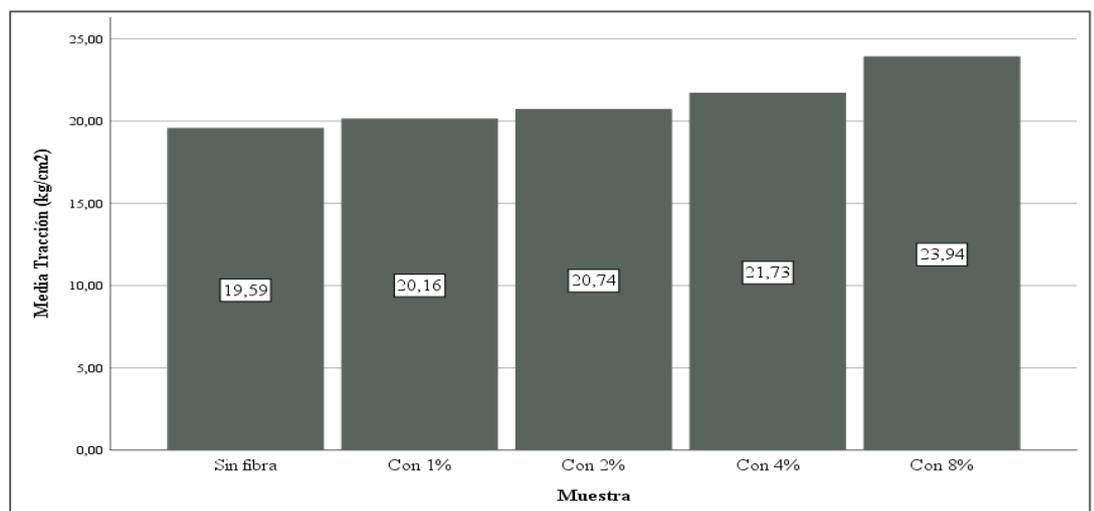
En resumen, las muestras con un 8% de fibra de maguey mostraron consistentemente la mayor resistencia a la tracción en todas las edades evaluadas. Los resultados sugieren que la adición de fibra mejora significativamente la resistencia a la tracción del concreto, con incrementos más notables a medida que el porcentaje de fibra y el tiempo de curado aumentan. A los 7 días, la resistencia media con un 8% de fibra fue de 19.36 kg/cm², a los 14 días fue de 24.00 kg/cm² y a los 28 días fue de 28.44 kg/cm², destacando el potencial de la fibra de maguey como refuerzo en el concreto para pavimentos rígidos.

Tabla 7. Resultados globales para la resistencia a la tracción por muestra

Muestra	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			
	Media	D.E.	Min.	Máx.
Sin fibra	19.59	3.89	14.92	24.52
Con 1%	20.16	3.89	15.50	25.09
Con 2%	20.74	3.89	16.08	25.68
Con 4%	21.73	3.89	17.06	26.66
Con 8%	23.94	3.95	19.23	28.83

Fuente: elaboración propia

Figura 5. Barras de las medias por muestra de resistencia a la tracción



Fuente: elaboración propia

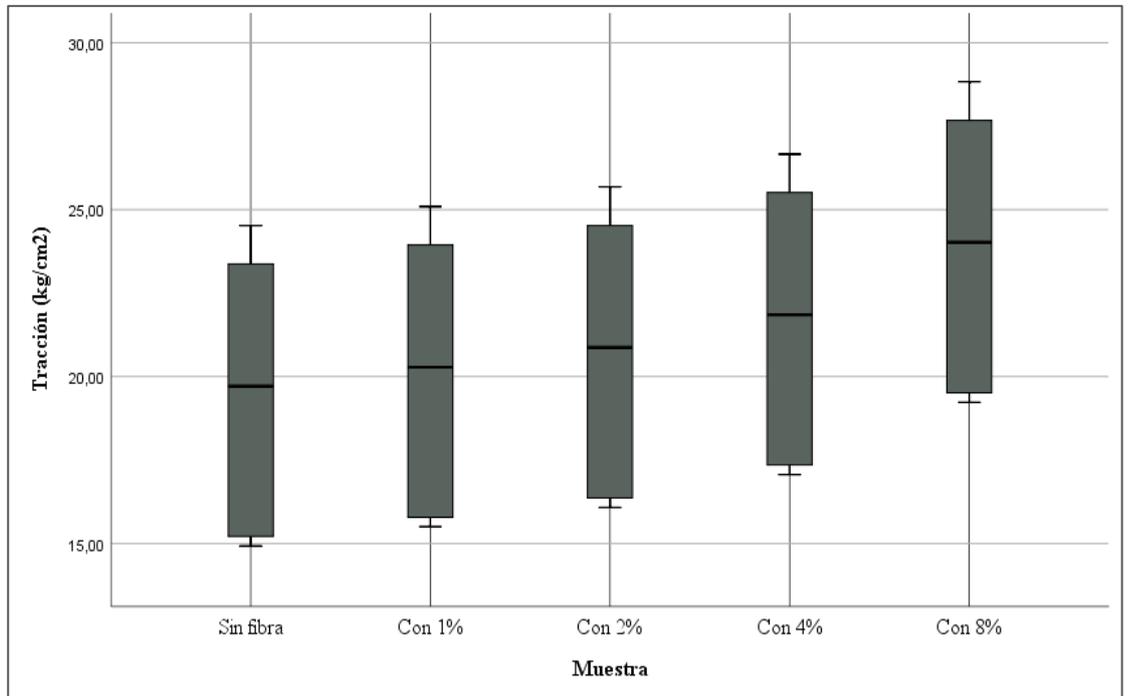
Interpretación:

De la Tabla 7 y la Figura 5, la muestra de concreto sin fibra tiene una resistencia media a la tracción de 19.59 kg/cm². Al añadir un 1% de fibra, esta resistencia se incrementa ligeramente a 20.16 kg/cm². Con un 2% de fibra, la resistencia media es de 20.74 kg/cm². La muestra con un 4% de fibra muestra un aumento mayor, con una resistencia media a la tracción de 21.73 kg/cm². La mayor resistencia media se observa en la muestra con un 8% de fibra, alcanzando 23.94 kg/cm².

Estos resultados indican que la adición de fibra de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto de manera consistente. La resistencia a la tracción es una medida crítica para el concreto, especialmente para pavimentos rígidos, ya que refleja la capacidad del material para resistir las fuerzas que tienden a estirarlo o separarlo. Esta propiedad es importante para prevenir la formación de grietas y fracturas, lo que es especialmente valioso en condiciones de tráfico pesado y cambios de temperatura que pueden causar expansiones y contracciones repetidas en el pavimento.

La conclusión es que incorporar un 8% de fibra de maguey en el concreto ofrece la mayor mejora en términos de resistencia a la tracción. La implicación práctica de este hallazgo es significativa: al diseñar mezclas de concreto para pavimentos rígidos, la adición de fibra de maguey puede resultar en una mayor durabilidad y vida útil de la infraestructura. Esto podría traducirse en ahorros a largo plazo en mantenimiento y reparaciones, así como en una mejor performance frente a las demandas mecánicas del tráfico y el medio ambiente. Además, el uso de fibras naturales puede proporcionar ventajas de sostenibilidad al reducir la dependencia de materiales sintéticos o no renovables.

Figura 6. Diagrama de cajas para resistencia a la tracción, separado por muestra



Fuente: elaboración propia

El diagrama de caja de la Figura 6 muestra la distribución de la resistencia a la tracción del concreto reforzado con diferentes concentraciones de fibra de maguey. La muestra sin fibra presenta una mediana cercana a los 20 kg/cm², con un rango intercuartílico (IQR) que sugiere una variación moderada. Las barras de error, que podrían representar los valores máximos y mínimos o percentiles específicos, indican que la mayoría de los datos para esta muestra se encuentran entre aproximadamente 17 y 23 kg/cm².

Al analizar las muestras con fibra, se observa lo siguiente:

- La muestra con 1% de fibra tiene una mediana ligeramente superior a la muestra sin fibra, y el IQR es similar, lo que indica una variabilidad comparable en la resistencia a la tracción.

- Con un 2% de fibra, la mediana se incrementa un poco más, manteniendo un IQR semejante, lo que muestra un aumento leve en la resistencia a la tracción sin un cambio significativo en la variabilidad.
- La muestra con 4% de fibra presenta un incremento adicional en la mediana y un IQR ligeramente más amplio, lo que sugiere un pequeño aumento en la variabilidad.
- Finalmente, la muestra con 8% de fibra exhibe la mediana más alta, alrededor de 24 kg/cm², y un IQR ampliado, lo que indica una mayor variabilidad en los datos. Las barras de error para esta muestra también son más largas, extendiéndose desde alrededor de 19 hasta cerca de 28 kg/cm².

La conclusión del análisis es que la adición de fibra de maguey incrementa la resistencia a la tracción del concreto, con el aumento más significativo en la muestra con un 8% de fibra. Sin embargo, también se observa un incremento en la variabilidad de los resultados a medida que se aumenta el porcentaje de fibra.

Desde un punto de vista práctico, estos resultados son positivos, ya que una mayor resistencia a la tracción es beneficiosa para la durabilidad y la resistencia al agrietamiento del concreto. El aumento en la variabilidad, sin embargo, sugiere que podría ser necesario un control más estricto en la producción y preparación del concreto para garantizar la consistencia en la calidad del material, especialmente en aplicaciones estructurales donde la uniformidad es crítica.

4.2.3. Análisis de la resistencia a la flexión

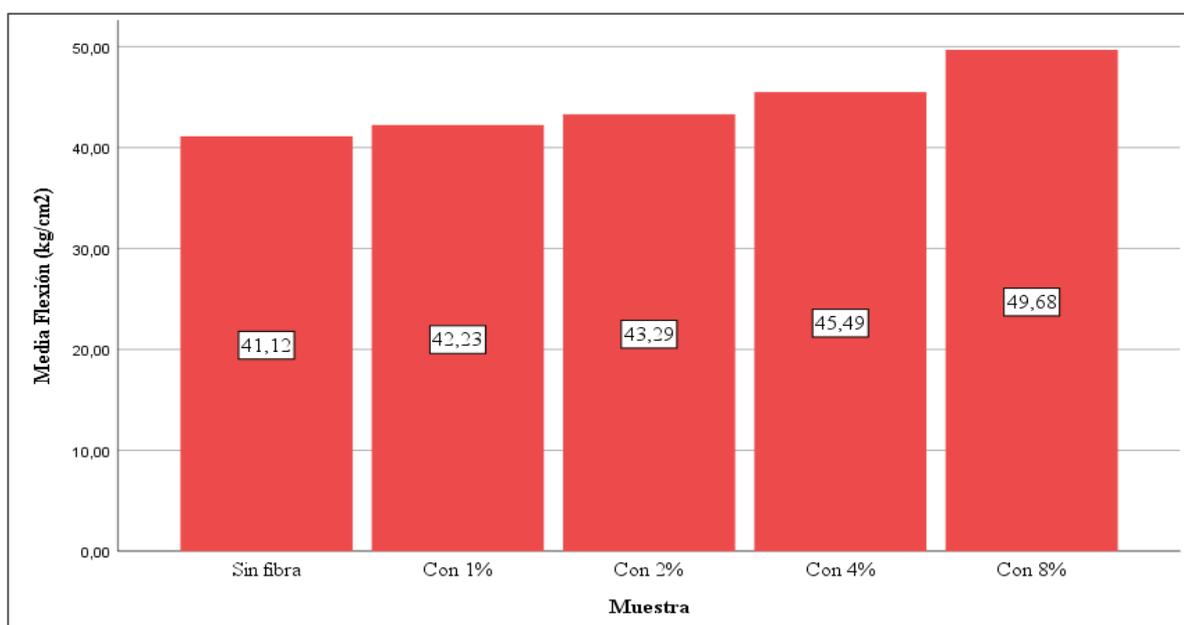
Se presentan los resultados sobre la resistencia a la flexión, teniendo en cuenta la edad y la muestra. Además, resultados globales para la resistencia y la barra de medias.

Tabla 8. Resultados de resistencia a la flexión por edad y muestra

Muestra	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)			
	Media	D.E.	Min.	Máx.
Sin fibra	41.12	0.34	40.81	41.48
Con 1%	42.23	0.34	41.92	42.60
Con 2%	43.29	0.34	42.98	43.66
Con 4%	45.49	0.34	45.18	45.86
Con 8%	49.68	0.34	49.37	50.04

Fuente: elaboración propia

Figura 7. Barras de las medias por muestra de resistencia a la flexión



Fuente: elaboración propia

Interpretación:

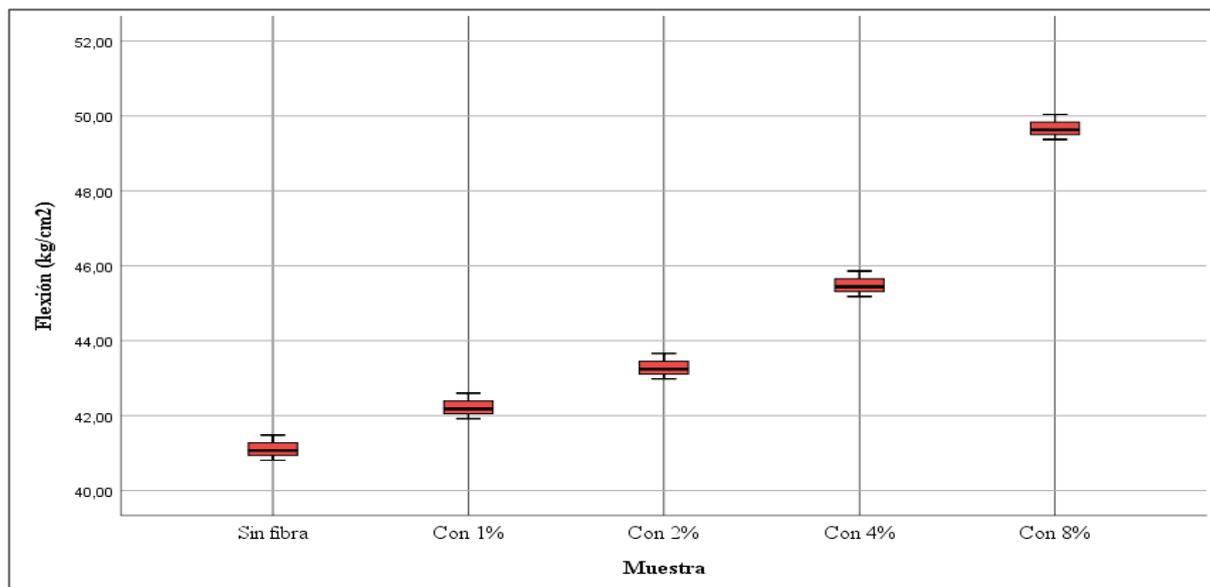
De la Tabla 8 y la Figura 7, la muestra sin fibra presenta una resistencia media a la flexión de 41.12 kg/cm². Al introducir un 1% de fibra de maguey, esta resistencia aumenta ligeramente a 42.23 kg/cm². Con un 2% de fibra, la resistencia media sube a 43.29 kg/cm². Un incremento más notable se observa con un 4% de fibra, alcanzando una resistencia media a la flexión de 45.49

kg/cm². La muestra con un 8% de fibra muestra la mayor resistencia media a la flexión de 49.68 kg/cm².

Estos resultados indican que la adición de fibra de maguey al concreto mejora la resistencia a la flexión del material. La resistencia a la flexión es una propiedad importante para el concreto, particularmente en aplicaciones de pavimentos, ya que indica la capacidad del material para resistir fuerzas de flexión sin romperse. Esto es especialmente relevante en pavimentos rígidos que están sujetos a cargas dinámicas y pueden experimentar flexiones debido al tráfico pesado o a cambios en el subsuelo.

La conclusión es que la fibra de maguey, en particular en un porcentaje de 8%, incrementa significativamente la resistencia a la flexión del concreto, lo que sugiere que su uso puede ser muy beneficioso en la construcción de pavimentos rígidos. La implicación práctica es que los pavimentos fabricados con un porcentaje más alto de fibra de maguey podrían tener una vida útil más larga, ya que serían capaces de soportar mejor las cargas de tráfico y las presiones ambientales sin sufrir daños estructurales. Además, al mejorar la resistencia a la flexión, se podría reducir la necesidad de juntas y, por ende, disminuir el mantenimiento requerido, lo que aportaría ventajas tanto económicas como operativas en la construcción de infraestructuras viales.

Figura 8. Diagrama de cajas para resistencia a la flexión, separado por muestra



Fuente: elaboración propia

Interpretación:

El diagrama de caja según la Figura 8 ilustra la distribución de la resistencia a la flexión del concreto reforzado con diferentes porcentajes de fibra de maguey. La muestra sin fibra muestra una mediana de resistencia a la flexión aproximadamente en 42.5 kg/cm², con un rango intercuartílico (IQR) muy estrecho, lo que indica una variación mínima en los datos. Las líneas de extensión (bigotes del diagrama) sugieren que no hay valores extremos o atípicos, y los datos se concentran en un rango pequeño.

Para las muestras con fibra de maguey:

- Con un 1% de fibra, la mediana de resistencia a la flexión permanece cercana a la de la muestra sin fibra, y el IQR sigue siendo estrecho, lo que indica una variación mínima y una resistencia a la flexión similar.

- Al agregar un 2% de fibra, la mediana aumenta ligeramente, y el IQR se mantiene compacto, lo que señala una ligera mejora en la resistencia sin una variación significativa.
- La muestra con un 4% de fibra muestra una mediana más alta, aún con un IQR estrecho. Esto indica un aumento más notorio en la resistencia a la flexión manteniendo una baja variabilidad.
- La muestra con un 8% de fibra muestra la mediana más alta de todas, superando los 48 kg/cm², con un IQR ligeramente más amplio, pero aun indicando baja variabilidad. Las líneas de extensión son más largas en esta muestra, pero no muestran una variabilidad excesiva.

La conclusión es que la adición de fibra de maguey aumenta la resistencia a la flexión del concreto de manera significativa, especialmente con un 8% de fibra, donde se observa la mayor mediana. A pesar del ligero aumento en la variabilidad con el mayor porcentaje de fibra, la consistencia de los resultados se mantiene en un rango aceptable.

La implicación práctica de estos resultados es muy positiva, ya que una mayor resistencia a la flexión significa que el concreto puede soportar mayores tensiones sin romperse, lo que es crucial para pavimentos y otras estructuras sometidas a cargas de flexión. Esto podría traducirse en estructuras de concreto más duraderas y menos propensas a fallas, reduciendo los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo. La baja variabilidad en la resistencia a la flexión también sugiere que la adición de fibra de maguey puede ser un proceso controlable y predecible, lo que es esencial para la implementación en la práctica de ingeniería civil.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Prueba de Normalidad

Según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la distribución de la resistencia a la compresión, a la tracción y flexión es normal. Entonces, se hizo uso de la prueba ANOVA, pues es apropiado cuando se tienen más de dos grupos para comparar. Las pruebas de Shapiro-Wilk indican que los datos para todas las propiedades son aproximadamente normales. El ANOVA asume normalidad en los datos, y dado que esta condición se cumple en este caso, es apropiado utilizar el ANOVA. En este estudio, se están evaluando múltiples porcentajes de fibra en tres propiedades mecánicas distintas. Además, permite determinar si existen diferencias significativas entre los grupos en general. En este caso, se puede utilizar para verificar si hay diferencias en las propiedades mecánicas entre los diferentes porcentajes de fibra.

Después de realizar el ANOVA y confirmar que hay diferencias significativas, se emplean las pruebas Post hoc de Tukey para realizar comparaciones específicas entre pares de grupos. La prueba de Tukey es especialmente útil cuando se están realizando múltiples comparaciones, ya que controla el error tipo I y ayuda a identificar qué grupos son significativamente diferentes entre sí.

Tabla 9: Prueba de normalidad

Propiedad	Muestra	Shapiro-Wilk			Resultado
		Estadístico	gl	p-valor	
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Sin fibra	0.853	9	0.080	Normal
	Con 1%	0.853	9	0.080	Normal
	Con 2%	0.853	9	0.080	Normal
	Con 4%	0.853	9	0.080	Normal

	Con 8%	0.853	9	0.080	Normal
Tracción (kg/cm ²)	Sin fibra	0.866	9	0.112	Normal
	Con 1%	0.866	9	0.111	Normal
	Con 2%	0.866	9	0.111	Normal
	Con 4%	0.866	9	0.111	Normal
	Con 8%	0.861	9	0.099	Normal
Flexión (kg/cm ²)	Sin fibra	0.984	3	0.754	Normal
	Con 1%	0.982	3	0.742	Normal
	Con 2%	0.982	3	0.742	Normal
	Con 4%	0.982	3	0.742	Normal
	Con 8%	0.984	3	0.754	Normal

FUENTE: Elaboración propia

4.3.2. Prueba de la primera hipótesis específica

- i. Hipótesis a probar: El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- ii. Hipótesis estadísticas:
 - H₀: No existen diferencias en las medias de la resistencia a la compresión entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} = \mu_{1\%} = \mu_{2\%} = \mu_{4\%} = \mu_{8\%}$$

- H₁: Existen diferencias de la resistencia en las medias de la resistencia a la compresión entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} \neq \mu_{1\%} \neq \mu_{2\%} \neq \mu_{4\%} \neq \mu_{8\%}$$

- iii. Nivel de significancia: 0.05

iv. Prueba ANOVA:

Tabla 10. ANOVA para resistencia a la compresión

	ANOVA	gl	F	p-valor
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Entre grupos	4	327.737	0.000
	Dentro de grupos	10		
	Total	14		

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 10 se observa un p-valor de 0.00, al ser menor a 0.05, se rechaza la H₀ de igualdad de medias; entonces ello indica que al menos una de las medias, de la resistencia a la compresión, de una de las muestras evaluadas se distingue del resto. Ahora para evaluar las diferencias entre cada uno de las muestras, es necesario evaluar las pruebas Post Hoc.

v. Pruebas Post Hoc:

Tabla 11. Post Hoc para resistencia a la compresión

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Sin fibra	3	220.4300				
Con 1%	3		224.7000			
Con 2%	3			227.5033		
Con 4%	3				234.4467	
Con 8%	3					247.9033
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

vi. Análisis:

Para identificar entre qué grupos se encontraban estas diferencias, se aplicó la prueba post hoc de Tukey según la Tabla 11. Esta prueba

arrojó que cada nivel de porcentaje de fibra evaluado — 0% (sin fibra), 1%, 2%, 4% y 8% — presentó una media única de resistencia a la compresión: 220.43 kg/cm² para la muestra sin fibra, 224.70 kg/cm² para la muestra con 1% de fibra, 227.50 kg/cm² con 2%, 234.45 kg/cm² con 4% y 247.90 kg/cm² con 8%. Cada porcentaje formó un subconjunto distinto, lo que indica que el incremento en el porcentaje de fibra conducía a un aumento estadísticamente significativo en la resistencia a la compresión respecto al nivel anterior.

Se determinó que la muestra con un 8% de fibra de maguey ofrecía la mayor media de resistencia a la compresión, con 247.90 kg/cm², superando significativamente a las muestras con menor porcentaje de fibra. Estos resultados confirmaron la hipótesis de que la adición de fibra de maguey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimentos rígidos, siendo el concreto con un 8% de fibra el que presentó el mejor desempeño dentro de las proporciones estudiadas en Cerro de Pasco.

vii. Conclusión:

Se acepta la hipótesis planteada; es decir, El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

4.3.3. Prueba de segunda hipótesis específica

i. Hipótesis a probar: El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

ii. Hipótesis estadísticas:

- H0: No existen diferencias en las medias de la resistencia a la tracción entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} = \mu_{1\%} = \mu_{2\%} = \mu_{4\%} = \mu_{8\%}$$

- H1: Existen diferencias de la resistencia en las medias de la resistencia a la tracción entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} \neq \mu_{1\%} \neq \mu_{2\%} \neq \mu_{4\%} \neq \mu_{8\%}$$

iii. Nivel de significancia: 0.05

iv. Prueba ANOVA:

Tabla 12. ANOVA para resistencia a la tracción

	ANOVA	gl	F	p-valor
Tracción (kg/cm ²)	Entre grupos	4	24.859	0.000
	Dentro de grupos	10		
	Total	14		

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 12 se observa un p-valor de 0.00, al ser menor a 0.05, se rechaza la H0 de igualdad de medias; entonces ello indica que al menos una de las medias, de la resistencia a la tracción, de una de las muestras evaluadas se distingue del resto. Ahora para

evaluar las diferencias entre cada uno de las muestras, es necesario evaluar las pruebas Post Hoc.

v. Pruebas Post Hoc:

Tabla 13. Post Hoc para resistencia a la tracción

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Sin fibra	3	24.0100		
Con 1%	3	24.5800	24.5800	
Con 2%	3	25.1667	25.1667	
Con 4%	3		26.1500	
Con 8%	3			28.4433
Sig.		0.209	0.059	1.000

Fuente: Elaboración propia

vi. Análisis:

Se llevó a cabo la prueba post hoc de Tukey según la Tabla 13 para discernir entre qué grupos específicos existían diferencias significativas. Las medias de resistencia a la tracción para las muestras sin fibra y con adiciones de 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey fueron de 24.01 kg/cm², 24.58 kg/cm², 25.17 kg/cm², 26.15 kg/cm² y 28.44 kg/cm², respectivamente.

Los resultados de la prueba post hoc indicaron que las muestras con 1% y 2% de fibra no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí, como se refleja en su agrupación en el mismo subconjunto para un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, la muestra con 8% de fibra se distinguió claramente en su propio subconjunto, lo que señala que su resistencia a la tracción

es significativamente superior en comparación con las concentraciones más bajas de fibra.

Se observó que la muestra con 8% de fibra de maguey presentaba la resistencia a la tracción más alta, con una media de 28.44 kg/cm², lo que sugiere que esta concentración de fibra es la más efectiva para mejorar la resistencia a la tracción del concreto destinado a pavimentos rígidos en la región de estudio. Estos hallazgos corroboran la hipótesis b planteada y enfatizan la eficacia de la fibra de maguey como refuerzo en la mezcla de concreto, particularmente en la proporción más elevada que fue examinada.

vii. Conclusión:

Se acepta la hipótesis planteada; es decir, El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

4.3.4. Prueba de la tercera hipótesis específica

- i. Hipótesis a probar: El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.
- ii. Hipótesis estadísticas:
 - H₀: No existen diferencias en las medias de la resistencia a la flexión entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} = \mu_{1\%} = \mu_{2\%} = \mu_{4\%} = \mu_{8\%}$$

- H1: Existen diferencias de la resistencia en las medias de la resistencia a la flexión entre las muestras con 0%, 1%, 2%, 4% y 8% de fibra de maguey.

$$\mu_{0\%} \neq \mu_{1\%} \neq \mu_{2\%} \neq \mu_{4\%} \neq \mu_{8\%}$$

iii. Nivel de significancia: 0.05

iv. Prueba ANOVA:

Tabla 14. ANOVA para resistencia a la flexión

	ANOVA	gl	F	Sig.
Flexión (kg/cm2)	Entre grupos	4	295.052	0.000
	Dentro de grupos	10		
	Total	14		

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 14 se observa un p-valor de 0.00, al ser menor a 0.05, se rechaza la H0 de igualdad de medias; entonces ello indica que al menos una de las medias, de la resistencia a la flexión, de una de las muestras evaluadas se distingue del resto. Ahora para evaluar las diferencias entre cada uno de las muestras, es necesario evaluar las pruebas Post Hoc.

v. Pruebas Post Hoc:

Tabla 15. Post Hoc para resistencia a la flexión

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Sin fibra	3	41.1200				
Con 1%	3		42.2333			
Con 2%	3			43.2933		
Con 4%	3				45.4933	
Con 8%	3					49.6800
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

vi. Análisis:

Para determinar con precisión entre qué grupos existían estas diferencias, se realizó la prueba post hoc de Tukey según la Tabla 15. La media de resistencia a la flexión para la muestra sin fibra fue de 41.12 kg/cm². Al incorporar un 1% de fibra de maguey, la resistencia a la flexión media aumentó a 42.23 kg/cm². Con un 2% de fibra, la media se elevó a 43.29 kg/cm²; con un 4% de fibra, la media fue de 45.49 kg/cm²; y con un 8% de fibra, se alcanzó la media más alta, 49.68 kg/cm².

La prueba de Tukey agrupó los porcentajes de fibra en subconjuntos distintos, indicando diferencias significativas entre ciertos grupos. Específicamente, la muestra con un 8% de fibra de maguey se distinguió en su propio subconjunto, lo que demuestra que su resistencia a la flexión es significativamente mayor en comparación con las concentraciones más bajas de fibra.

De esta manera, se concluyó que la muestra con un 8% de fibra de maguey presentaba la mejor resistencia a la flexión, lo que confirma la hipótesis de que la adición de fibra mejora esta propiedad del concreto para pavimentos rígidos. Los resultados resaltan la efectividad de la fibra de maguey como un material de refuerzo significativo, especialmente al utilizar un 8% en la mezcla de concreto.

vii. Conclusión:

Se acepta la hipótesis planteada; es decir, El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

4.3.5. Prueba de hipótesis general

i. Hipótesis a probar: El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

ii. Pruebas:

Tabla 16. ANOVA para la hipótesis general

Propiedad	p-valor	Valor más bajo (Muestra)	Valor más alto (Muestra)
Compresión	0.000	Sin fibra (220.43 kg/cm ²)	Con 8% (247.90 kg/cm ²)
Tracción	0.000	Sin fibra (24.01 kg/cm ²)	Con 8% (28.44 kg/cm ²)
Flexión	0.000	Sin fibra (41.12 kg/cm ²)	Con 8% (49.68 kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia

iii. Análisis:

La investigación llevada a cabo para determinar el efecto de la fibra natural de maguey en la resistencia del concreto para

pavimento rígido en Cerro de Pasco condujo a las siguientes conclusiones para cada una de las propiedades evaluadas:

- **Compresión:** Se encontró que el uso de fibra de maguey mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto. El análisis ANOVA resultó en un p-valor de 0.000, indicando diferencias significativas entre las medias de las muestras. La resistencia a la compresión aumentó con cada incremento en el porcentaje de fibra, siendo la muestra con 8% de fibra la que presentó la mayor resistencia media.
- **Tracción:** Similarmente, la resistencia a la tracción del concreto se incrementó con la adición de fibra de maguey. El p-valor del ANOVA fue también de 0.000, mostrando una mejora significativa. La muestra con 8% de fibra registró la mayor resistencia media a la tracción.
- **Flexión:** La resistencia a la flexión del concreto siguió un patrón similar, con un aumento significativo en la resistencia conforme se añadía más fibra de maguey. El p-valor de 0.000 del ANOVA confirmó que las diferencias entre las medias son estadísticamente significativas, y nuevamente, la muestra con 8% de fibra mostró la resistencia media más alta.

iv. **Conclusión:**

Se concluye que, para cada propiedad mecánica evaluada, el p-valor es extremadamente bajo (0.000), lo que confirma la significancia estadística de las mejoras en la resistencia del concreto atribuibles al uso de fibra de maguey. En todos los casos,

la muestra sin fibra presentó el valor más bajo de resistencia, mientras que la muestra con un 8% de fibra de maguey mostró el valor más alto, destacando la contribución positiva de la fibra al concreto utilizado en pavimentos rígidos.

Entonces, se acepta la hipótesis del estudio, el uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.

4.4. Discusión de resultados

Como resultado general, se halló que el uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. En primer lugar, los resultados obtenidos respaldan las conclusiones de Chinchayhuara C. (2020), que destacaron la eficacia de la fibra de maguey para aumentar la resistencia a la compresión y la tracción en concretos de resistencia moderada. A su vez, la investigación de Aliaga S. y Gonzales E. (2020) sobre muros de adobe refuerza la idea de que las fibras de maguey tienen un impacto positivo en la resistencia estructural, aunque en un contexto diferente del concreto. Condori A. y Solano Y. (2019) también encontraron una influencia beneficiosa de la fibra de maguey en la resistencia de bloques de adobe, lo que sugiere una aplicación versátil de la fibra en diferentes composiciones de materiales. Asimismo, los hallazgos de Herrera C. y Quispe R. (2019) en el concreto hidráulico y los de Alegre C. (2018) en vigas de concreto corroboran la contribución de la fibra a la resistencia a la flexión, un parámetro crucial para el diseño de pavimentos rígidos.

A nivel internacional, las investigaciones de Castillo J. et al. (2020) en México y de Sastry S. y Veena N. (2019) en India ofrecen un apoyo adicional a

la tesis de que las fibras naturales como la del maguey mejoran las propiedades mecánicas del concreto. Los estudios indican que estas mejoras no son meramente incidentales sino consistentes y predecibles, proporcionando una base sólida para su incorporación en prácticas de construcción sostenibles.

Además, el trabajo de Tameem N. et al. (2016) en India reafirma la tendencia de incremento en la resistencia a la compresión y la tracción con la adición de fibra de maguey, aunque apuntan a un óptimo porcentual de inclusión para maximizar los beneficios. De forma similar, los resultados de Balasubramanian M. et al. (2015) sobre la durabilidad del concreto mejorado con fibra de agave Lecheguilla apuntan hacia un aumento de las propiedades del concreto fresco y endurecido, un aspecto esencial para la longevidad de las infraestructuras de pavimentos.

Según el enfoque de García (1892) proporciona información sobre el maguey, destacando su ciclo de vida, el proceso de cosecha de las hojas y la variabilidad en el contenido de fibra según la variedad. Jaramillo (2009) ofrece detalles adicionales sobre las características de la planta, como su altura, forma de las hojas y su ciclo de vida, contribuyendo a una comprensión más completa de la especie. Hulle, Kadole y Katkar (2014) detallan el proceso de extracción de fibras de maguey, subrayando la importancia del secado adecuado y la clasificación posterior. Kolte (2012) profundiza en las propiedades de las fibras, mencionando su resistencia a ácidos débiles y su desintegración en presencia de ácidos fuertes y alcalinos. Además, Satta, Hagege y Sotto (1986) proporcionan datos sobre las propiedades morfológicas de las fibras de maguey, destacando su pequeño diámetro en comparación con otras fibras naturales. En conjunto, la información recopilada de estos autores brinda una visión integral de la planta de

magüey, el proceso de extracción de fibras, y las características físicas y morfológicas de las fibras resultantes. Esta base teórica y normativa respalda el análisis y la comprensión de los resultados obtenidos en el estudio sobre la resistencia de las muestras con diferentes porcentajes de fibra.

La relevancia de estos resultados es multifacética para la ingeniería civil. Primero, en términos de diseño estructural, la mayor resistencia a la compresión, tracción y flexión permite considerar secciones transversales más esbeltas y eficientes en pavimentos, lo cual puede resultar en ahorros de material y costos. Segundo, la durabilidad de los pavimentos podría verse aumentada debido a la mayor resistencia a la formación de fisuras y a la fatiga, lo cual es esencial en vías con alto tráfico y cargas repetitivas. Además, estos resultados tienen implicaciones prácticas importantes. Por ejemplo, la mejora en la resistencia a la flexión es particularmente relevante para los pavimentos rígidos que deben resistir las cargas dinámicas y las variaciones térmicas sin sufrir deformaciones permanentes. La resistencia mejorada a la tracción puede reducir la formación de grietas y la resistencia a la compresión ampliada puede aumentar la vida útil del pavimento.

Por otro lado, la utilización de fibras naturales como las del magüey representa un enfoque sostenible en la construcción, alentando la utilización de recursos locales y renovables y reduciendo la dependencia de materiales sintéticos, con los consiguientes beneficios ambientales. Asimismo, los resultados de esta investigación potencian la innovación en los métodos de diseño de concreto, sugiriendo que el concreto reforzado con fibra de magüey podría ser una solución viable para mejorar la infraestructura vial en regiones similares a Cerro de Pasco. Así, la presente investigación no solo valida el uso de la fibra de

magüey en el concreto desde una perspectiva teórica y experimental, sino que también establece un precedente para su aplicación práctica en la ingeniería civil moderna. En suma, estos estudios colectivamente sugieren un panorama prometedor para la utilización de fibras de magüey en concreto, donde la sinergia entre la tradición de uso de materiales locales y la innovación en ingeniería civil puede conducir a métodos de construcción más resistentes, económicos y ecológicamente sostenibles. La investigación actual, al corroborar y extender estos hallazgos, no solo subraya la importancia de la fibra de magüey en la mejora de las propiedades del concreto, sino que también insta a una reconsideración de las prácticas de diseño en ingeniería civil, donde la sostenibilidad y la optimización de recursos deben ir de la mano con la integridad estructural y la funcionalidad.

Sobre el primer resultado específico, se halló que, el uso de fibra natural de magüey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. Los hallazgos actuales muestran una mejoría significativa en la resistencia a la compresión del concreto cuando se adiciona un 8% de fibra de magüey. Este resultado se asemeja al de Chinchayhuara C. (2020), quien encontró que la adición de fibras de magüey en concentraciones menores también generaba un aumento en la resistencia a la compresión, aunque en ese estudio el incremento más notable se observó con concentraciones de 0.5% y 1%. A su vez, el trabajo de Condori A. y Solano Y. (2019) respalda la noción de que la fibra de magüey puede modificar eficientemente las propiedades del concreto, mostrando una mejoría en la resistencia a la compresión a medida que se incrementa el porcentaje de fibra en el adobe.

El resultado es similar al de Herrera C. y Quispe R. (2019), quienes concluyeron que la fibra de maguey mejoraba la resistencia del concreto hidráulico, enfatizando su aplicabilidad en el diseño de pavimentos rígidos. Asimismo, Alegre C. (2018) sostuvo que la adición de fibras de maguey mejoraba la resistencia a la flexión del hormigón, lo que indirectamente apoya la idea de que las fibras naturales contribuyen a un concreto más resistente y duradero. La investigación de Castillo J. et al. (2020) en Yucatán, México, proporciona un contexto internacional que corrobora la tendencia observada en este estudio, donde se evidenció que las mezclas de concreto reforzadas con fibras naturales presentaban un aumento en la resistencia a la compresión. Por otro lado, Sastry S. y Veena N. (2019) también evidenciaron que la inclusión de fibra de agave mejoraba la resistencia a la compresión del concreto, aunque señalaron que porcentajes superiores al 8% podrían disminuir la resistencia en comparación con el concreto convencional, lo cual sugiere un rango óptimo de adición de fibra que es coherente con los resultados de la presente investigación.

La normativa del MTC (2016) establece claramente los requisitos y procedimientos para el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Además, proporciona especificaciones detalladas sobre los equipos y materiales, asegurando la precisión y la verificación de las máquinas utilizadas. Los cálculos para determinar la resistencia a la compresión son fundamentales y se detallan de manera específica, incluyendo correcciones necesarias en función de la relación diámetro-longitud del espécimen. Además, se aborda el cálculo de la densidad, considerando la presión de 10 kg/m³ cuando sea necesario. La precisión del ensayo es evaluada en función del rango aceptable y el coeficiente de variación bajo condiciones de laboratorio y campo. Estos criterios, tomados

del "Manual de ensayo de materiales", son fundamentales para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión. Por tanto, la normativa proporciona una base sólida para la ejecución del ensayo, asegurando la calidad y precisión de los resultados obtenidos, lo que es esencial para la toma de decisiones en proyectos de construcción y control de calidad del concreto.

La importancia de estos resultados para la ingeniería civil radica en su contribución al diseño de concretos más resistentes y sustentables. La adición de fibra de maguey no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también propone una alternativa eco-amigable al incorporar materiales naturales y renovables en la construcción. Esto podría significar un avance significativo en la construcción de infraestructuras más resistentes y duraderas, como pavimentos rígidos, que requieren una alta resistencia a la compresión para soportar cargas pesadas y condiciones ambientales extremas. En términos prácticos, la incorporación de fibras de maguey en la mezcla de concreto podría optimizar los métodos de diseño, ofreciendo una mayor durabilidad y resistencia, al tiempo que se reduce el impacto ambiental asociado con la producción de concreto. Esto, a su vez, puede traducirse en ahorros económicos a largo plazo debido a la menor necesidad de mantenimiento y reparación, solidificando el papel de las fibras naturales como una adición valiosa y sostenible en la ingeniería de materiales de construcción.

Sobre el segundo resultado específico, se determinó que el uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. De manera específica, los resultados indican un aumento significativo en esta propiedad mecánica con la inclusión de un 8% de

fibra. Estos hallazgos concuerdan con múltiples estudios previos que han explorado el impacto de las fibras naturales en las propiedades del concreto. La investigación realizada por Chinchayhuara C. (2020) en La Libertad, Perú, revela que la adición de fibra de maguey en concentraciones de 0.5% y 1% resultó en una mejora de la resistencia a la tracción del concreto. Aunque en dicho estudio las concentraciones eran inferiores a las que se determinaron como más efectivas en el presente trabajo, los resultados apoyan la hipótesis de que la fibra de maguey tiene un impacto positivo en la resistencia a la tracción del concreto. De manera similar, los resultados de Aliaga S. y Gonzales E. (2020), aunque en un contexto diferente, demuestran que la fibra de maguey puede mejorar la resistencia de estructuras de adobe, lo que sugiere que las fibras naturales pueden mejorar la tracción en diversos materiales de construcción. Además, los resultados son respaldados por la investigación de Condori A. y Solano Y. (2019), que también encontró mejoras en la resistencia a la tracción al incorporar fibra de maguey en bloques de adobe, resaltando el potencial de este material en diversas aplicaciones de la ingeniería civil.

Según el MTC (2016) la resistencia a la tracción es un parámetro crucial para evaluar la capacidad de un material para resistir fuerzas de tracción mecánica. La fabricación de especímenes, su curado y la posterior prueba a los 28 días bajo condiciones específicas aseguran que los resultados reflejen propiedades mecánicas realistas y aplicables. La ecuación utilizada para calcular el esfuerzo de tracción ($T=2P/\pi Ld$) y la precisión propuesta refuerzan la confiabilidad de los resultados. Aunque se carece de estudios específicos sobre la variabilidad del ensayo, las sugerencias de un coeficiente de variación del 5% para un lote de muestras similares respaldan la coherencia y confiabilidad del

procedimiento. La normativa del MTC y las sugerencias de coeficiente de variación proporcionan un marco de referencia para evaluar la validez de los resultados. Sin embargo, la declaración sobre el aumento significativo no permite determinar si se cumple con mínimos establecidos por el MTC u otras normativas internacionales. Sería fundamental identificar estos mínimos para una evaluación más precisa.

La relevancia de estos hallazgos para la ingeniería civil es considerable, ya que la resistencia a la tracción es crítica para la durabilidad y la integridad estructural del concreto, especialmente en elementos sometidos a cargas dinámicas o tensiones que podrían provocar fisuras o fallos. La inclusión de fibra de maguey en la mezcla de concreto podría resultar en una reducción de la formación de grietas y, por lo tanto, en una extensión de la vida útil de las estructuras de concreto. En un sentido práctico, los usos de concreto reforzado con fibras naturales pueden extenderse a la construcción de pavimentos rígidos, losas, y otros elementos estructurales que se benefician de una mayor resistencia a la tracción. Esto podría permitir el diseño de elementos más delgados y económicos, sin comprometer la seguridad o la funcionalidad. Además, el uso de materiales sostenibles como la fibra de maguey contribuye a la construcción ecológica y promueve la utilización de recursos locales renovables, alineándose con los objetivos de sostenibilidad en la ingeniería civil y la construcción.

Sobre el tercer resultado específico, se halló que el uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. De manera concreta se muestra una mejora significativa cuando se incorpora un 8% de fibra, resultado que está en armonía con diversas investigaciones previas en el campo de la ingeniería civil. Como es el caso de los

estudios de Chinchayhuara C. (2020) y Alegre C. (2018) sostienen que la adición de fibras de maguey incrementa la resistencia a la flexión del concreto, aunque estos estudios se enfocaron en porcentajes de fibra diferentes. La presente investigación extiende esos hallazgos al demostrar que porcentajes mayores continúan ofreciendo beneficios en cuanto a la resistencia a la flexión, lo cual es crucial para elementos estructurales como vigas y losas que soportan cargas distribuidas y momentos flexionantes. Además, la conclusión de Herrera C. y Quispe R. (2019) sobre la mejora de la resistencia del concreto hidráulico al incluir fibra de maguey apoya la idea de que las fibras naturales son beneficiosas para el concreto utilizado en pavimentos rígidos. Esto coincide con los resultados obtenidos en la investigación actual, donde se observó que el concreto con un 8% de fibra de maguey presentó la mayor resistencia a la flexión. En el ámbito internacional, Castillo J. et al. (2020) encontraron que las fibras naturales mejoran la integridad y las propiedades mecánicas del concreto, un hallazgo que respalda la tendencia observada en los resultados de la presente investigación.

Según el MTC (2013) la resistencia a la flexión es un indicador clave de la capacidad de un material para soportar tensiones antes de desgarrarse o deformarse. En este caso, se emplea una viga simple para evaluar la capacidad de flexión del concreto, un aspecto vital para el diseño de pavimentos rígidos. El MTC establece criterios rigurosos para los equipos utilizados en los ensayos de flexión, permitiendo únicamente máquinas con bombas a motor de desplazamiento positivo. Se hace hincapié en la necesidad de que las reacciones y fuerzas sean paralelas para garantizar la validez de los resultados. Las muestras, al igual que los ensayos, deben seguir estrictamente las normativas. Los cálculos del módulo de rotura se realizan considerando la fractura en la zona de tensión.

La precisión del ensayo se evalúa mediante el coeficiente de variación, con un valor de 5.7% para un solo operador y un límite del 16% para dos ensayos consecutivos. Se establece un 7% de coeficiente de variación para ensayos multilaboratorios. Aunque los resultados indican una mejora significativa con la incorporación del 8% de fibra, es esencial determinar si estos cumplen con los mínimos establecidos por el MTC. La resistencia a la flexión es crucial para pavimentos rígidos, y asegurar que los resultados estén en armonía con las normativas es fundamental para su aplicabilidad práctica. Sin embargo, para una aplicación efectiva en pavimentos rígidos en Cerro de Pasco, se requiere una evaluación más detallada en términos de cumplimiento con las normativas del MTC. Se sugiere realizar comparaciones específicas con los valores mínimos establecidos para determinar la idoneidad de la incorporación de fibra en términos de resistencia a la flexión para pavimentos rígidos.

La importancia de estos descubrimientos radica en su aplicabilidad práctica en la ingeniería civil. Un concreto con mayor resistencia a la flexión puede llevar a diseños de pavimentos más delgados y económicos, que sin embargo mantienen la integridad estructural necesaria para soportar las cargas de servicio. Además, la utilización de fibras naturales como las del maguey promueve la sostenibilidad en la construcción, ofreciendo una alternativa ecológica que reduce la huella de carbono y utiliza recursos renovables locales. En suma, los resultados de esta investigación no solo están alineados con estudios previos que destacan los beneficios de las fibras naturales en el concreto, sino que también proporcionan una base sólida para futuras aplicaciones prácticas en la industria de la construcción. La adición de fibra de maguey al concreto representa un avance significativo en el diseño de mezclas de concreto, mejorando las

propiedades mecánicas y la durabilidad de los elementos estructurales, a la vez que se alinea con los principios de construcción sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

CONCLUSIONES

- Se concluye que la fibra natural de maguey influye en la mejora de la resistencia del concreto para pavimentos rígidos en Cerro de Pasco, es así que la incorporación de esta fibra natural tiene un impacto significativamente positivo en las propiedades mecánicas del concreto. Los resultados obtenidos son estadísticamente significativos, como lo demuestran los p-valores de 0.000 en las pruebas de resistencia a la compresión, tracción y flexión. Además, el diseño óptimo de mezcla de concreto, enriquecido con un 8% de fibra de maguey, ha demostrado ser superior, alcanzando los valores más altos de resistencia en todas las pruebas realizadas. Este hallazgo es de gran relevancia práctica, ya que sugiere que el concreto reforzado con fibra de maguey no solo cumple con los requisitos estructurales para pavimentos rígidos, sino que también supera a las mezclas convencionales, ofreciendo un material más resistente y duradero para la infraestructura vial. La utilización de fibra de maguey como un refuerzo en el concreto no solo implica beneficios técnicos, sino que también lleva implícita una perspectiva de sostenibilidad. La adopción de este material natural, renovable y localmente disponible, representa una estrategia viable y ecológica que contribuye al desarrollo sostenible en el sector de la construcción. En consecuencia, esta investigación subraya el potencial de las fibras naturales como una alternativa prometedora y sostenible que mejora la calidad y rendimiento del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, al tiempo que fomenta la innovación y la aplicación de prácticas de construcción más verdes. Las aplicaciones prácticas de estos resultados son significativas. La mejora en la resistencia del concreto gracias a la fibra de maguey no solo es beneficiosa para aumentar la durabilidad y reducir el mantenimiento de los pavimentos rígidos, sino que también presenta una oportunidad para la innovación en materiales de construcción

sostenibles. Utilizando recursos naturales locales como la fibra de maguey, Cerro de Pasco puede avanzar hacia la construcción de infraestructura vial que no solo cumple con los estándares de rendimiento, sino que también favorece el medio ambiente y la economía local. En resumen, la fibra de maguey se posiciona como un aditivo óptimo para el concreto en la región, ofreciendo una solución ecológica y eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del pavimento rígido.

- Se estableció que la fibra natural de maguey mejora de forma significativa la resistencia a la compresión del concreto. Con un p-valor de 0.000, la significancia estadística es indiscutible. El diseño óptimo se observó en la muestra con un 8% de fibra, que alcanzó la mayor resistencia media de 247.90 kg/cm². En la práctica, este incremento en la resistencia a la compresión podría traducirse en pavimentos más duraderos capaces de soportar cargas más pesadas, lo que es esencial para la infraestructura vial en Cerro de Pasco.
- La investigación determinó que la adición de fibra de maguey aumenta la resistencia a la tracción del concreto, con un p-valor de 0.000 que confirma la relevancia estadística del hallazgo. La resistencia más alta a la tracción se registró en la muestra con 8% de fibra, con una media de 28.44 kg/cm², lo que sugiere un concreto menos propenso a fisuras y fallas, resultando en un mantenimiento menos frecuente y prolongando la vida útil del pavimento.
- Se ha indicado que el uso de fibra natural de maguey contribuye positivamente a la resistencia a la flexión del concreto. El p-valor de 0.000 respalda fuertemente esta afirmación. Con un valor más alto de 49.68 kg/cm² en la muestra con 8% de fibra, se destaca la capacidad del concreto para resistir mejor las deformaciones bajo carga, lo que es crítico para el rendimiento y la longevidad de los pavimentos rígidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la adopción de la fibra de maguey como un estándar en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto en proyectos de ingeniería civil en Cerro de Pasco. Esta recomendación se basa en el aumento comprobado de la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto, que son críticas para la integridad y longevidad de los pavimentos rígidos. Es aconsejable que los ingenieros civiles y las autoridades locales contemplen la inclusión de la fibra de maguey en las especificaciones técnicas de construcción y en las normativas de materiales para pavimentación. Esta práctica no solo mejorará la calidad y durabilidad de la infraestructura vial, sino que también promoverá el uso de recursos locales sostenibles, impulsando la innovación y la responsabilidad ambiental en la ingeniería civil de la región.
- Se recomienda la incorporación de un 8% de fibra de maguey en la mezcla de concreto para obras de pavimentación en Cerro de Pasco, dado que este porcentaje maximizó la resistencia a la compresión. Esta recomendación es particularmente pertinente para áreas que soportarán cargas de tráfico pesado o que requieren una vida útil extendida del pavimento. Adicionalmente, se sugiere realizar estudios de costos a largo plazo para evaluar la rentabilidad de esta práctica, considerando el posible ahorro en mantenimiento y reparaciones.
- Dado que la fibra de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto, se recomienda su uso para prevenir la formación de grietas y fisuras. Esto es crucial para el mantenimiento preventivo y la durabilidad de las estructuras de pavimento rígido. Se sugiere, además, que los ingenieros civiles consideren el diseño de mezclas de concreto con un 8% de fibra de maguey en zonas con fluctuaciones

térmicas significativas, donde la tracción puede causar daños estructurales con el tiempo.

- La recomendación se orienta hacia la implementación de un 8% de fibra de maguey en la mezcla de concreto para mejorar la resistencia a la flexión, lo cual es esencial para soportar las cargas dinámicas en pavimentos rígidos. Esto puede ser especialmente beneficioso en regiones con suelos que puedan experimentar asentamientos o movimientos, reduciendo así el riesgo de fallas estructurales. Se recomienda también la realización de más investigaciones para optimizar las proporciones de mezcla y las técnicas de colocación del concreto que maximicen esta propiedad. Estas recomendaciones apuntan hacia una práctica de ingeniería civil más innovadora y sostenible en Cerro de Pasco, promoviendo el uso de materiales locales renovables y mejorando las propiedades del concreto para pavimentos rígidos. Además, la implementación de estas prácticas podría tener un impacto positivo en la percepción de la sostenibilidad y responsabilidad ambiental en proyectos de infraestructura vial.

BIBLIOGRAFÍA

- Alegre, Christian. Resistencia a la flexion en vigas de concreto $f'_c=210$ kg/cm² al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla. Huaraz: Universidad San Pedro, 2018.
- Aliaga, Susana, y Eugenia Gonzales. Propuesta de mallas de fibras de maguey para mejorar la resistencia de muros de adobe en el distrito de Colcabamba - Huancavelica. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020.
- Alves, Maria, Thatiana Castro, Otávio Martins, Flávio Andrade, y Romildo Toledo. «The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers.» (Elsevier) 2, n° 2 (2013).
- Aragón, Sergio. Manual de Elaboración de concreto en obra. San José: Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, 2013.
- Arias, Fidias. El proyecto de la investigación. Sexta. Caracas: Episteme, 2006.
- Baena, Guillermina,. Metodología de la investigación. México : Grupo Editorial Patria, 2017.
- Balasubramanian, M., Akhil Varghese, y Senthil Selvan. «An experimental investigation on the durability of concrete though the use of Lecheguilla agave.» (International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)) 2, n° 1 (2015).
- Caballero, Magdaleno, Fernando Chinas, José Montes, Rafael Bernabé, y María Silva. «Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes.» Journal of Natural Fibers 15, n° 4 (2017): 8-11.
- Campbell , F, y G Reece. Biología. Madrid: Panamericana, 2005.
- Castillo, Joaquin, y otros. «Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Foamed Concrete.» (Journal Materials) 13, n° 14 (2020).

- Chinchayhuara, Cleison. Adición de fibras de agave para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto de 210 kg/cm², La Libertad – 2020. Lima: Universidad César Vallejo, 2020.
- Condori, Anylu, y Yair Solano. Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019.
- Espinoza, Ciro. Metodología de investigación tecnológica. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2010.
- Fintel, Mark. Handbook of concrete engineering. Melbourne: Van nostrnd Reinhold Company, 1985.
- Galiana, Mercedes. «Fibra de yute como material de construcción: arquitectura sostenible.» Arquitectura y empresa. Arquitectura sostenibles. 27 de Junio de 2017. <https://arquitecturayempresa.es/noticia/fibra-de-yute-como-material-de-construccion-arquitectura-sostenible> (último acceso: 07 de octubre de 2021).
- García, Juan. Libro primero de Botánica. Nueva York: Sociedad Científica, 1892.
- Hernández, Roberto, Carlos Fernández, y María Baptista. Metodología de la Investigación. Sexta. México D.F: Mc Graw Hill, 2014.
- Hernández, Roberto, Carlos Fernández, y María del Pilar Baptista. Metodología de la investigación. Sexta. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- Herrera, Carlos, y Ruth Quispe. Análisis del comportamiento del concreto hidráulico reforzado con fibras naturales de agave para el diseño de pavimento rígido con el método macanístico . empírico en la Av. Universitaria de la provincia de Huancavelica 2018. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019.

- Herrera, S, y M. Polo. Estudio de las propiedades mecánicas del concreto en la ciudad de Arequipa, utilizando fibras naturales y sintéticas, aplicado para el control de fisuras por retracción plástica. Arequipa: Universidad Católica Santa María, 2017.
- Hidalgo, Martín, Magdaleno Caballero, Luis Hernández, y Guillermo Urriolagoitia. «Chemical and morphology characterization of agave angustifolia bagasse fibers.» (Botanical Sciences) 4, n° 93 (2015).
- Hulle, Ashis, Pradyumkumar Kadole, y Pooja Katkar. «Agave Americana Leaf Fibers.» (Fibers) 3, n° 64 (2014).
- Jaramillo, Leyla. Evaluación del jugo de fique como aditivo ocluser de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- Juarez, Cesar. Concretos base cemento portland reforzado con fibras naturales, como materiales para construcción en México. Mexico D.C: Universidad Autónoma, 2016.
- Kestur, Satyanarayana, H Flores-Sahagun, Lucas Pereira Dos Santos b, Juliana Dos Santos, Irineu Mazzaro, y Alexandre Mikowski. «Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico.» (Elsevier) 2013.
- Kishore, Kaushal. What is Concrete Strength and what are the factors affecting it? Materials Engineer, Roorkee. 12 de agosto de 2011. <https://www.engineeringcivil.com/what-is-concrete-strength-and-what-are-the-factors-affecting-it.html> (último acceso: 06 de Octubre de 2021).
- Kolte, Prafull. Agave Americana : The Natural Leaf Fiber. Buldana: Anuradha Engineering College, 2012.

- Lino, Juan. Metodología de la investigación científica. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009.
- Marañón, Alejandro. «Fibras naturales nueva cara de la industria de la construcción.» Hoy Construcción. Camacol. 1 de noviembre de 2018. <https://hoyconstruccion.com/sostenibilidad-rse/141/fibras-naturales-seran-la-cara-de-la-industria-de-la-construccion> (último acceso: 07 de octubre de 2021).
- Miranda, Liliana, Eduardo Niera, Rocio Torres, y Richard Valdivia. Hacia la construcción sostenible en escenario de cambio climático. Lima: Ministerio de Construcción y Saneamiento, 2014.
- Mori, Juan. Pavimentos de concreto: Estado de arte de los pavimentos en el Perú. Lima: ASOCEM, 2016.
- Msahli, S, Y Chaabouni, F Sakli, y Y Drean. Mechanical Behavior of agave American L. fibers: Correlation between fine structure and mechanical properties. Mulhiuse: Applied Sciences, 2007.
- MTC. Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.
- . Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.
- . Manual de ensayo de materiales. Lima: Ministerio de transportes y Comunicaciones, 2016.
- MVCS. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Ministerio de Construcción y Saneamiento, 2006.
- NRMCA. Hormigón el concreto en la práctica. Mexico D.C: NRMCA, 2013.
- Olivera, Andy, Magdaleno Caballero, Rafael Alavéz, Fernando Chiñas, José Montes, y María Silva. «Cemento de tepexil biocompuesto reforzado con fibras de

Agave Angustifolia Haw como un mortero ligero.» (Mexicana de Ciencia de Ciencias Agrícolas) 9, nº 21 (2018).

Pajares, Edwind. Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal. Cajamarca: Uniersidad Nacional de Cajamarca, 2016.

Purwanto, Edy, Stefanus Adi, Endah Safitri, y Fabiana Yoda. «Effect of Volume Fraction and Aspect Ratio of Agave Fiber Cantula Roxb against Compressive Strength and Direct Tensile Strength.» (AIP Conference Proceedings 2114) 2114, nº 1 (2019).

Quesada, David. «La ciencia descubre en la fibra de los vegetales un material perfecto para construir casas.» Arquitectura diseño. Diseño Sostenible. 13 de setiembre de 2019. https://www.arquitecturaydiseno.es/pasion-eco/mi-casa-esta-hecha-con-zanahorias_1819 (último acceso: 07 de octubre de 2021).

Sastry, Sahana, y N Veena. «Effect of Agave Fiber on the Strength Properties of Concrete with Fly Ash.» (International Journal of Engineering Research & Technology) 8, nº 6 (2019).

Satta, A., R. Hagege, y M Sotto. Relation entre la structure et le comportement de la fibre élémentaire. Paris: l'Institut Textile de France, 1986.

Sika. Concreto reforzado con fibras. Lima: Construyendo confianza Sika, 2013.

Tameem, Naimathullah, Younus Mohiuddin, y A Haleem. «Experimental Investigation for the effect of agave fiver on the properties of concrete.» (Journal of Advances in Sciencie and Technology) 11, nº 22 (2016).

TexDelta. «Pavimentaciones de hormigón reforzado con fibras de polipropileno.» Tex Delta. 2018 de Octubre de 01. <https://texdelta.com/blog/pavimentaciones-de->

hormigon-reforzado-con-fibras-de-polipropileno/ (último acceso: 07 de Octubre de 2021).

UNAM. Diseño y Conservación de pavimentos rígidos. Mexico D.C: Universidad Autónoma de México, 2014.

ANEXOS

Anexo 1. Propuesta del Instrumento

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN														
FACULTAD DE INGENIERÍA														
FICHA DE OBSERVACIÓN: PORCENTAJE DE FIBRA NATURAL DE MAGUEY														
Código:														
<p>Buen día, esta ficha de observación pretende recopilar información sobre el porcentaje de adición de la fibra de maguey en el concreto para mejorar la resistencia a la compresión, tracción y flexión. La sinceridad con que respondan a las afirmaciones será de gran utilidad con fines de investigación. Asimismo, se indica que las respuestas brindadas se conservarán de forma discreta y confidencial.</p>														
I.	REGISTRO DE DATOS													
<p>A continuación, se le presenta 3 afirmaciones. Evalúe en nivel de cada situación. Use la escala de puntuación y marque con una "X" en la alternativa que crea conveniente:</p>														
III. RESISTENCIA DE CONCRETO					FIBRA DE MAGUEY									
					0%		1%		2%		4%		8%	
					SI	N O	SI	N O	SI	NO	SI	N O	SI	NO
1	Mejora la resistencia a la compresión													
2	Mejora la resistencia a la tracción													
3	Mejora la resistencia a la flexión													
OBSERVACIONES														

Anexo 2. Base de datos

Data de resistencia a la compresión y tracción

Muestra	Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Tracción (kg/cm ²)
0	7	152.78	14.92
0	7	159.08	15.21
0	7	153.48	15.05
1	7	157.05	15.5
1	7	163.35	15.78
1	7	157.75	15.62
2	7	159.85	16.08
2	7	166.15	16.36
2	7	160.55	16.2
4	7	166.79	17.06
4	7	173.09	17.35
4	7	167.5	17.18
8	7	180.25	19.23
8	7	186.55	19.51
8	7	180.95	19.35
0	14	193.82	19.71
0	14	196.11	19.59
0	14	191.58	19.79
1	14	198.09	20.28
1	14	200.38	20.16
1	14	195.85	20.36
2	14	200.89	20.87
2	14	203.18	20.75
2	14	198.65	20.94
4	14	207.84	21.85
4	14	210.12	21.73
4	14	205.6	21.93
8	14	221.29	24.02
8	14	223.58	23.89
8	14	219.05	24.09
0	28	221.32	23.37
0	28	220.66	24.52
0	28	219.31	24.14
1	28	225.59	23.94
1	28	224.93	25.09
1	28	223.58	24.71
2	28	228.4	24.52
2	28	227.73	25.68
2	28	226.38	25.3
4	28	235.34	25.51
4	28	234.68	26.66

4	28	233.32	26.28
8	28	248.8	27.67
8	28	248.13	28.83
8	28	246.78	28.83

Data de resistencia a la flexión

Muestra	Edad	Flexión (kg/cm2)
0	28	40.81
0	28	41.48
0	28	41.07
1	28	41.92
1	28	42.6
1	28	42.18
2	28	42.98
2	28	43.66
2	28	43.24
4	28	45.18
4	28	45.86
4	28	45.44
8	28	49.37
8	28	50.04
8	28	49.63

Anexo 3. Diseño de mezcla

Dosificación y asentamiento.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO

DISEÑO DE MEZCLA ($f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$)

PROYECTO: *"Uso de fibra natural de maquey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"*

INFORME N°: 01 CANTERA: SACRAFAMILIA
MATERIAL USADO PARA: CONCRETO UBICACIÓN: SACRAFAMILIA
FECHA DE MUESTRO: 25/06/2023 FECHA DEL ENSAYO: 27/06/2023

DOSIFICACIÓN ($f'c=210\text{Kg/cm}^2$)

CEMENTO:	CEMENTO ANDINO
Peso específico:	3.03 gr/cm ³
Peso del cemento:	42.5 kg

ASENTAMIENTO	:	4 "
FACTOR CEMENTO	:	7.43 bc/m ³
RELACIÓN AGUA CEMENTO DE OBRA	:	0.420
RELACIÓN AGUA CEMENTO DE DISEÑO	:	0.450

PROPORCIÓN EN PESO	Distribución	Cemento(kg)	Arena(kg)	Piedra(kg)	Agua (lt)
	De Diseño		1.000	3.828	2.256
PROPORCIÓN EN VOLUMEN		Cemento(pie ³)	Arena(pie ³)	Piedra(pie ³)	Agua (lt)
	De Diseño		1.000	2.454	2.094

Muestras previstas por el solicitante



Muestra 1 y curva granulométrica.



LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Uso de fibra natural de maquey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023

PROYECTO:

N° DE MUESTRA: 01 CANTERA: SACRAFAMILIA
 MATERIAL USADO PARA: CONCRETO UBICACIÓN: SACRAFAMILIA
 FECHA: 25/06/2023

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	% Ret.	%Ret. Acum.	% Q' Pasa	Especificación	Descripción de la Muestra
4"	101.600	-	-	-	-	-	- Peso Inicial de la Muestra (g) : 1,505.00
3"	76.200	-	-	-	-	-	- CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES ESPECIFICACION
2 1/2"	63.500	-	-	-	-	-	- Tamaño Máximo (Pulg): 3/8"
2"	50.800	-	-	-	-	-	- Tamaño Máximo Nominal : N° 4
1 1/2"	38.100	-	-	-	-	-	- Peso Especifico (seco gr/cm ³) 2.49
1"	25.400	-	-	-	-	-	- Absorción(%): 1.72
3/4"	19.050	-	-	-	-	-	- Humedad(%): 6.40
1/2"	12.700	-	-	-	-	-	- Peso Unitario Suelto (Kg/m ³) 1.710
3/8"	9.525	-	-	-	-	100.0	- Peso Unitario Compactado (K) 1.894
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	- Modulo de fineza 2.91
4	4.760	75	5.0	5.0	95.0	95.0	- Fracción Pasa No 200 = 0.47
8	2.380	125	8.3	13.3	86.7	80.0	100.0
10	2.000	-	-	13.3	-	-	OBSERVACIONES:
16	1.190	401	26.6	39.9	60.1	50.0	- El material se ajusta relativamente dentro de los límites indicados en la NTP 400.037 o ASTM C 33 la granulometria preferentemente debe ser uniforme y continua
20	0.840	-	-	39.9	-	-	
30	0.590	256	17.0	56.9	43.1	25.0	60.0
40	0.420	-	-	56.9	-	-	
50	0.297	341	22.7	79.6	20.4	10.0	30.0
60	0.250	-	-	79.6	-	-	RECOMENDACIONES:
80	0.177	-	-	79.6	-	-	-
100	0.149	245	16.3	95.9	4.1	2.0	10.0
200	0.074	55	3.7	99.5	0.5	-	-
< 200	0	7	0.47	100.0	-	-	-
TOTAL		1,505.0					Se diseñara teniendo en cuenta estos datos.

CURVA GRANULOMETRICA

Muestras provistas por el solicitante



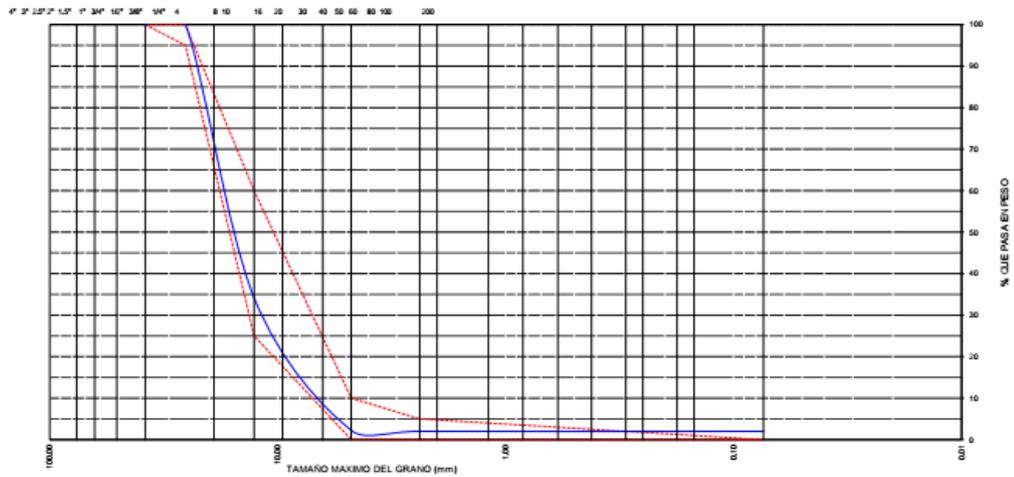
Muestra 1 y curva granulométrica.



Dirección: Urbanización Julian Huamali Yauli
 N° MZ-D LT C.P. - Villa de Pasco
 RUC: 206064438339 - Cel: 984616090
 e-mail: egetcoc.contratos@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO									
Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023									
PROYECTO:									
N° DE MUESTRA:	01	CANtera:	SACRAFAMILIA						
MATERIAL USADO PARA:	CONCRETO	UBICACIÓN:	SACRAFAMILIA						
FECHA:	25/06/2023								
Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	% Ret.	%Ret. Acum.	% Q' Pasa	Especificación	Descripción de la Muestra		
4"	101.600	-	-	-	-	-	- Peso Inicial de la Muestra (g): 4,687.28		
3"	76.200	-	-	-	-	-	- CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES		
2 1/2"	63.500	-	-	-	-	-	- Tamaño Máximo (Pulg): 1 1/2"		
2"	50.800	-	-	-	-	-	- Tamaño Máximo Nominal: 1"		
1 1/2"	38.100	-	-	-	-	100	100	Peso Específico (seco gr/cm ³): 2.77	
1"	25.400	152.2	3.2	3.2	96.8	95	100	Absorción(%): 0.88	
3/4"	19.050	-	-	3.2	-	-	-	Humedad(%): 1.20	
1/2"	12.700	3,255.2	69.4	72.7	27.3	25	60	Peso Unitario Suelto (Kg/m ³): 1.750	
3/8"	9.525	-	-	72.7	-	-	-	Peso Unitario Compactado (t): 1.845	
1/4"	6.350	-	-	72.7	-	-	-	Modulo de fineza: 6.53	
4	4.760	755.4	16.1	88.8	11.2	-	10.0	Fracción Pasa No 200: 2.33	
8	2.380	415.1	8.9	97.7	2.3	-	5.0	OBSERVACIONES:	
10	2.000	-	-	97.7	-	-	-	Se ajusta al HUSO 57	
16	1.190	-	-	97.7	-	-	-	Modulo de fineza usualmente se determina para el agregado fino, pero el conocimiento del modulo de fineza del agregado grueso puede ser necesario para la aplicación de algunos metodos de proporcionamiento de mezcla	
20	0.840	-	-	97.7	-	-	-	RECOMENDACIONES:	
30	0.590	-	-	97.7	-	-	-		
40	0.420	-	-	97.7	-	-	-		
50	0.297	-	-	97.7	-	-	-		
60	0.250	-	-	97.7	-	-	-		
80	0.177	-	-	97.7	-	-	-		
100	0.149	-	-	97.7	-	-	-		
200	0.074	-	-	97.7	-	-	-		
FONDO	0	109.4	2.3	100.0	-	-	-		
TOTAL		4,687.3							

CURVA GRANULOMETRICA



Muestras provistas por el solicitante



Muestra 1, contenido de humedad y absorción.



Dirección: Urbanización Julian Huamali Yauli
 N° MZ-D LT C.P. - Villa de Pasco
 RUC: 206064438339 - Cel: 984616090
 e-mail: egetcoc.contratos@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO

ESTUDIO DEL AGREGADO FINO

PROYECTO: *Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023*

N° DE MUESTRA: 01 CANTERA: SACRAFAMILIA
 MATERIAL USADO PARA: CONCRETO UBICACIÓN: SACRAFAMILIA
 FECHA DE MUESTRO: 25/06/2023 FECHA DEL ENSAYO: 27/06/2023

PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.25	8.25	8.25	8.25
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	33.50	33.40	33.60	33.50
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	25.25	25.15	25.35	25.25
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m³	0.014	0.014	0.014	0.0144
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	(B-A)/C	kg/m³	1757	1750	1764	1757

PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.25	8.25	8.25	8.25
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	35.22	35.20	35.24	35.22
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	26.97	26.95	26.99	26.97
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m³	0.014	0.014	0.014	0.0140
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	(B - A)/C	kg/m³	1926	1925	1928	1926

PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PMSH	A	gr	495.44	492.33	491.22	493.00
2	PPAH2O	B	gr	1058.00	1054.00	1059.00	1057.00
3	PPAH2O+PSSS	C	gr	1211.00	1217.00	1219.00	1215.67
4	PSSS	S	gr	500.00	500.00	500.00	500.00
CÁLCULO							
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B+S-C)	gr/cm³	1.43	1.46	1.44	1.44
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B+S-C)	gr/cm³	1.43	1.46	1.44	1.44
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(B+A-C)	gr/cm³	1.45	1.49	1.48	1.47

CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)			
MUESTRA	P _{MN}	P _{MSS}	W%
M - 1	500.00	463.00	7.99%
M - 2	500.00	467.00	7.07%
M - 3	500.00	465.00	7.53%
W _{promedio}			7.53%

ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)			
MUESTRA	P _{MN}	P _{MSS}	Ab%
M - 1	500.00	495.44	0.92%
M - 2	500.00	492.33	1.56%
M - 3	500.00	491.22	1.79%
Ab _{promedio}			1.42%



Muestras provistas por el solicitante

P_{MN}: Peso de la Muestra Natural
 P_{MSS}: Peso de la Muestra Seca al Horno
 P_{SSS}: Peso de la Muestra Superficialmente Seco
 P_{PAH2O}: Peso del picnómetro aforado lleno de agua
 P_{PAH2O+MSSS}: Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua

Muestra 1, peso unitario suelto, compacto y específico.



LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO

ESTUDIO DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA)

"Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"

PROYECTO:

N° DE MUESTRA: 01 CANTERA: SACRAFAMILIA
MATERIAL USADO PARA: CONCRETO UBICACIÓN: SACRAFAMILIA
FECHA DE MUESTRO: 25/06/2023 FECHA DEL ENSAYO: 27/06/2023

PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.55	8.55	8.55	8.55
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	33.20	33.21	33.19	33.20
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	24.65	24.66	24.64	24.65
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m ³	0.014	0.014	0.014	0.0144
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	(B-A)/C	kg/m ³	1715	1716	1715	1715

PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.50	8.50	8.50	8.50
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	30.55	30.54	30.55	30.55
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	22.05	22.04	22.05	22.05
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m ³	0.014	0.014	0.014	0.0140
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	(B - A) / C	kg/m ³	1575	1574	1575	1575

PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	P _{MNH}	A	gr	2488.00	2489.00	2491.00	2489.33
2	P _{SSS}	B	gr	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00
3	P _{SSS} SUMERGIDO + CANASTILLA		gr	2422.00	2425.00	2424.00	2423.67
4	PESO DE LA CANASTILLA		gr	913.00	913.00	913.00	913.00
5	P _{SSS} SUMERGIDO	C	gr	1509.000	1512.000	1511.000	1510.6667
CÁLCULO							
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B - C)	gr/cm ²	2.51	2.52	2.52	2.52
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B - C)	gr/cm ²	2.51	2.52	2.52	2.52
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(A - C)	gr/cm ³	2.54	2.55	2.54	2.54

CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)			
MUESTRA	P _{MNH}	P _{SSH}	W%
M - 1	500.00	498.00	0.40%
M - 2	500.00	496.00	0.81%
M - 3	500.00	495.00	1.01%
W% ^{PROMEDIO}			0.74%

ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)			
MUESTRA	P _{SSS}	P _{MNH}	Ab%
M - 1	2500.00	2466.00	1.38%
M - 2	2500.00	2488.00	0.48%
M - 3	2500.00	2444.00	2.29%
Ab% ^{PROMEDIO}			1.38%

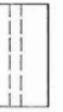


Muestras provistas por el solicitante

P_{MN}: Peso de la Muestra Natural
P_{MNH}: Peso de la Muestra Seca al Horno
P_{SSS}: Peso de la Muestra Superficialmente Seco

Anexo 4. Pruebas de laboratorio

Compresión con probetas 1, 2 y 3.

																
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"																
UBICACION: CERRO DE PASCO			CONCRETO: 210 KG/CM2													
SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION			REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L													
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro ϕ (cm)	Área (cm ²)	Lectura en (KG)	$f_c =$ kg/cm ²	Resistencia Diseño (kg/cm ²)	% f_c Obtenido						
SIN FIBRA DE MAGUEY	1.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	26,998.00	152.78	210.00	72.75						
SIN FIBRA DE MAGUEY	2.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	28,111.00	159.08	210.00	75.75						
SIN FIBRA DE MAGUEY	3.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	27,122.00	153.48	210.00	73.09						
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="display: flex; gap: 10px;">      </div> <div style="margin-left: 20px;"> TIPO DE ROTURA </div> <div style="margin-left: 20px;"> <table border="0"> <tr><td>1</td><td>B</td></tr> <tr><td>2</td><td>A</td></tr> <tr><td>3</td><td>C</td></tr> </table> </div> <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">FECHA DE EMISION: 02/08/2023</p> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE</p>											1	B	2	A	3	C
1	B															
2	A															
3	C															

Compresión con probetas 13, 14 y 15.

																
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"																
UBICACION: CERRO DE PASCO			CONCRETO: 210 KG/CM2													
SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION			REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L													
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro ϕ (cm)	Área (cm ²)	Lectura en (KG)	$f_c =$ kg/cm ²	Resistencia Diseño (kg/cm ²)	% f_c Obtenido						
8 % FIBRA DE MAGUEY	13.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	31,853.00	180.25	210.00	85.83						
8 % FIBRA DE MAGUEY	14.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	32,966.00	186.55	210.00	88.83						
8 % FIBRA DE MAGUEY	15.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.00	176.72	31,977.00	180.95	210.00	86.17						
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="display: flex; gap: 10px;">      </div> <div style="margin-left: 20px;"> TIPO DE ROTURA </div> <div style="margin-left: 20px;"> <table border="0"> <tr><td>1</td><td>C</td></tr> <tr><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>3</td><td>A</td></tr> </table> </div> <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">FECHA DE EMISION: 02/08/2023</p> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE</p>											1	C	2	C	3	A
1	C															
2	C															
3	A															

Compresión con probetas 13, 14 y 15.

										
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"										
UBICACION: CERRO DE PASCO										
SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION										
CONCRETO: 210 KG/CM2										
REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L.										
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro ϕ (cm)	Área (cm ²)	Lectura en (KG)	f'c = kg/cm ²	Resistencia Diseño (kg/cm ²)	%f'c Obtenido
8 % FIBRA DE MAGUEY	13.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.00	176.72	43,966.00	248.80	210.00	118.47
8 % FIBRA DE MAGUEY	14.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.00	176.72	43,849.00	248.13	210.00	118.16
8 % FIBRA DE MAGUEY	15.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.00	176.72	43,610.00	246.78	210.00	117.52

										
Cono (a)	Cono y hendidura (b)	Cono y corte (c)	Corte (d)	Columnar (e)						

TIPO DE ROTURA	1	B	
	2	D	
	3	A	

FECHA DE EMISION: 02/08/2023

OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE

Tracción con probetas 1, 2 y 3.

									
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"									
UBICACION: CERRO DE PASCO									
SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION									
CONCRETO: 210 KG/CM2									
REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L.									
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro (cm)	Longitud (cm)	Lectura en (KG)	Esfuerzo de Tracción kg/cm ²	
SIN FIBRA DE MAGUEY	1.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.10	30.20	10,481.00	14.92	
SIN FIBRA DE MAGUEY	2.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.10	30.20	10,681.00	15.21	
SIN FIBRA DE MAGUEY	3.00	03/07/2023	10/07/2023	7.00	15.10	30.20	10,566.00	15.05	

FECHA DE EMISION:	02/08/2023	
OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE		

Tracción con probetas 13, 14 y 15.



PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"

UBICACION: CERRO DE PASCO CONCRETO: 210 KG/CM2

SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L

Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro (cm)	Longitud (cm)	Lectura en (KG)	Esfuerzo de Tracción kg/cm2
8 % FIBRA DE MAGUEY	13.00	03/07/2023	17/07/2023	14.00	15.10	30.20	16,866.00	24.02
8 % FIBRA DE MAGUEY	14.00	03/07/2023	17/07/2023	14.00	15.10	30.20	16,780.00	23.89
8 % FIBRA DE MAGUEY	15.00	03/07/2023	17/07/2023	14.00	15.10	30.20	16,919.00	24.09

FECHA DE EMISION: 02/08/2023



OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE

Tracción con probetas 13, 14 y 15.



PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"

UBICACION: CERRO DE PASCO CONCRETO: 210 KG/CM2

SOLICITANTE: TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION REALIZADO POR: EGETCOC E.I.R.L

Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Diametro (cm)	Longitud (cm)	Lectura en (KG)	Esfuerzo de Tracción kg/cm2
8 % FIBRA DE MAGUEY	13.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.10	30.20	19,434.00	27.67
8 % FIBRA DE MAGUEY	14.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.10	30.20	20,243.00	28.83
8 % FIBRA DE MAGUEY	15.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	15.10	30.20	19,977.00	28.45

FECHA DE EMISION: 02/08/2023



OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE

Flexión con probetas 1, 2 y 3.

									
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"									
UBICACION:		CERRO DE PASCO			CONCRETO:		210 KG/CM2		
SOLICITANTE:		TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION			REALIZADO POR:		EGETCOC E.I.R.L		
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de la viga (cm)	Altura de la viga (cm)	Lectura en (KG)	Modulo de rotura kg/cm2
SIN FIBRA DE MAGUEY	1.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	2,966.00	40.81
SIN FIBRA DE MAGUEY	2.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	3,015.00	41.48
SIN FIBRA DE MAGUEY	3.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	2,985.00	41.07
FECHA DE EMISION: 02/08/2023 									
OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE									

Flexión con probetas 13, 14 y 15.

									
PROYECTO: "Uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco, 2023"									
UBICACION:		CERRO DE PASCO			CONCRETO:		210 KG/CM2		
SOLICITANTE:		TAQUIRI LOPEZ, FREDY CONCEPCION			REALIZADO POR:		EGETCOC E.I.R.L		
Estructura	Probeta N°	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de la viga (cm)	Altura de la viga (cm)	Lectura en (KG)	Modulo de rotura kg/cm2
8 % FIBRA DE MAGUEY	13.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	3,588.00	49.37
8 % FIBRA DE MAGUEY	14.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	3,637.00	50.04
8 % FIBRA DE MAGUEY	15.00	03/07/2023	31/07/2023	28.00	48.00	15.10	15.20	3,607.00	49.63
FECHA DE EMISION: 02/08/2023 									
OBSERVACION: PROBETAS PROVISTAS POR EL SOLICITANTE									

ANEXO 5: Instrumentos de investigación (matriz de consistencia).

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General:</p> <p>¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey en la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia de la compresión para pavimento rígido en Cerro de Pasco? 	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la compresión concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. 	<p>Hipótesis General:</p> <p>El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la compresión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. 	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Resistencia del concreto para pavimento rígido.</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión. • Resistencia a la tracción. • Resistencia a la flexión <p>Variables Independientes:</p> <p>Uso de fibra natural de maguey</p> <p>Dimensión:</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicado</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Explicativo</p> <p>Método General:</p> <p>Científico</p> <p>Diseño:</p> <p>Experimental</p>	<p>Población:</p> <p>probetas de concreto</p> <p>Muestra:</p> <p>45 probetas de concreto.</p>	<p>Técnicas:</p> <p>Observación</p> <p>Instrumento:</p> <p>Ficha de Observación</p>

<ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la tracción de concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco? • ¿De qué manera influye el uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la tracción concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. • Indicar la influencia del uso de fibra natural de maguey para mejorar la resistencia a la flexión concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco 	<ul style="list-style-type: none"> • El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la tracción del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. • El uso de fibra natural de maguey mejora la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en Cerro de Pasco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de fibra natural de maguey 			
--	---	---	---	--	--	--

FUENTE: Elaboración Propia