

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Concreto con adición de fibras de agave americana L.  
y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales  
en San Carlos - Huancayo**

Lucia Ivón Gimena Lara Dávila

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2020

---

---

---

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Mg. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

## **CO - ASESOR**

Ing. Mg. Jorge Luis Nishihara Alcocer

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres y a mi familia, por ayudarme en este proceso de formación profesional, por confiar en mí y por darme su cariño y amor incondicional.

Al Ing. Mg Jorge Ticlla Rivera, quien, con sus observaciones y orientación, me guió en este proceso de estudio.

Al Ing. Mg Jorge Nishihara Alcocer, quien con sus consejos me ayudó a culminar esta investigación.

A mis amigos, quienes siempre confiaron en mí.

## **DEDICATORIA**

Para mi padre Jaime, quiero decirte que este logro es el resultado de tu esfuerzo por sacarnos adelante y de tu amor incondicional.

Para mi madre Marisol, quiero agradecerte por tu paciencia y amor infinito, y por confiar en mí.

Para mi familia, quiero corresponderles por ayudarme en este proceso, sin ustedes no lo hubiera logrado. Gracias.

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA .....	V
ÍNDICE .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
<b>CAPÍTULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	17
1.1.1. Planteamiento del problema .....	17
1.1.2. Formulación del problema .....	22
1.2. Objetivos .....	23
1.2.1. Objetivo general .....	23
1.2.2. Objetivos específicos .....	23
1.3. Justificación e importancia .....	23
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	25
1.4.1. Hipótesis.....	25
1.4.2. Variables.....	26
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	27
2.2. Bases Teóricas .....	33
2.2.1. Resistencia del concreto:.....	33
2.2.2. Esfuerzos axiales: .....	35
2.2.3. Fibras:.....	38
2.2.4. Fibra natural:.....	38
2.2.5. Propiedades mecánicas de varios tipos de fibras.....	39
2.2.6. Fibra natural sin procesar: .....	39
2.2.7. Agave Americana L.:.....	39
2.3. Definición de Términos Básicos .....	41
2.3.1. Concreto: .....	41
2.3.2. Composición del concreto: .....	43
2.3.3. Clinker portland: .....	54
2.3.4. Cemento: .....	54
2.3.5. Agua: .....	59
2.3.6. Relación Agua – Cemento.....	61
2.3.7. El agua de mezcla:.....	62
2.3.8. Agregados:.....	62
2.3.9. Aditivo: .....	67
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>68</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	68
3.1.1. Método de la investigación .....	68
3.1.2. Tipo de investigación:.....	68
3.1.3. Nivel de investigación:.....	68
3.1.4. Alcances de la investigación.....	68
3.2. Diseño de la investigación.....	69
3.3. Población y muestra.....	70
3.3.1. Universo:.....	70
3.3.2. Población .....	70

3.3.3.	Muestra.....	70
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	72
3.4.1.	Técnicas: .....	72
3.4.2.	Instrumentos: .....	72
3.5.	Procedimiento:.....	72
3.5.1.	Elaboración del Concreto: .....	72
3.5.2.	Preparación de la Fibra: .....	81
3.5.3.	Elaboración de especímenes:.....	91
3.5.4.	Consolidación:.....	93
3.5.5.	Curado .....	96
3.5.6.	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas: .....	97
3.5.7.	Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo:.....	100
	<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>104</b>
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	104
4.1.1.	Resultados físicos de la fibra Agave Americana L.....	104
4.1.2.	Resultados físicos del concreto – Resistencia a la compresión .....	106
4.1.3.	Resultados físicos del concreto – Resistencia a la tracción por flexión.....	114
4.2.	Discusión de resultados .....	122
4.2.1.	Resistencia a la compresión de especímenes de concreto .....	122
4.2.2.	Resistencia a la tracción por flexión de especímenes de concreto .....	130
4.2.3.	Comparación de la resistencia a esfuerzos axiales con la muestra patrón .....	135
4.2.4.	Módulo de Ruptura.....	136
4.2.5.	Comparación de la resistencia a compresión y flexión .....	137
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>139</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>141</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>143</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de variables presentes en la investigación.....	26
Tabla 2: Óxidos en el cemento.....	57
Tabla 3: Porcentajes límites de compuestos en el cemento.....	58
Tabla 4: Límites permisibles para sales y sustancias en el agua.....	61
Tabla 5: Relación agua/cemento vs f 'c.....	62
Tabla 6: Cantidad de testigos cilíndricos.....	71
Tabla 7: Cantidad de testigos prismáticos.....	71
Tabla 8: Especificaciones del concreto premezclado. (ANEXO A).....	72
Tabla 9: Tolerancia del concreto.....	73
Tabla 10: Características de los insumos.....	73
Tabla 11: Características generales del diseño.....	73
Tabla 12: Características generales de los agregados.....	74
Tabla 13: Contenido de aire incorporado y total.....	74
Tabla 14: Contenido de aire atrapado.....	74
Tabla 15: Requisitos aproximados de mezcla de contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados.....	76
Tabla 16: Determinación del peso y volumen del aditivo.....	78
Tabla 17: Determinación del volumen absoluto.....	78
Tabla 18: Determinación del agua efectiva, peso y volumen corregido.....	81
Tabla 19: Proporcionamiento por peso y por tanda.....	81
Tabla 20: Medida del pH y comportamiento con aditivos de la fibra natural y parafinada.....	90
Tabla 21: Dosificación de fibra en mezclas de concreto convencional.....	91
Tabla 22: Número de capas requeridas por espécimen.....	92
Tabla 23: Diámetro de varilla y número de varillados a ser usados al moldear especímenes de prueba.....	94
Tabla 24: Tolerancia de tiempo permisible para roturar cilindros de concreto.....	97
Tabla 25: Coeficiente de variación para cilindros de concreto.....	99
Tabla 26: Estándares de control del hormigón.....	100
Tabla 27: Cálculo de la absorción de la fibra.....	104
Tabla 28: Cálculo de la densidad relativa de la fibra.....	105
Tabla 29: Densidad absoluta de la fibra.....	105
Tabla 30: Valores finales de las propiedades de la fibra (ANEXO E).....	106
Tabla 31: Resistencia a la compresión a los 7 días en especímenes sin fibra.....	106
Tabla 32: Resistencia a la compresión a los 14 días en especímenes sin fibra.....	106
Tabla 33: Resistencia a la compresión a los 21 días en especímenes sin fibra.....	107
Tabla 34: Resistencia a la compresión a los 28 días en especímenes sin fibra.....	107
Tabla 35: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 0.5 %.....	108
Tabla 36: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 0.5 %.....	108
Tabla 37: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 0.5 %.....	108
Tabla 38: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 0.5 %.....	109
Tabla 39: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 0.75 %.....	110
Tabla 40: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 0.75 %.....	110
Tabla 41: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 0.75 %.....	110
Tabla 42: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 0.75 %.....	110

Tabla 43: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 1.0 % .....	112
Tabla 44: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 1.0 % .....	112
Tabla 45: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 1.0 % .....	112
Tabla 46: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 1.0 % .....	112
Tabla 47: Resistencia a la flexión a los 14 días en especímenes sin fibra. ....	114
Tabla 48: Resistencia a la flexión a los 28 días en especímenes sin fibra. ....	114
Tabla 49: Resistencia a la flexión a los 42 días en especímenes sin fibra. ....	114
Tabla 50: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 0.50 %.....	116
Tabla 51: Resistencia a la flexión a los 28 días en vigas con fibra al 0.50 %.....	116
Tabla 52: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 0.50 %.....	116
Tabla 53: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 0.75 %.....	118
Tabla 54: Resistencia a la flexión a los 28 días en vigas con fibra al 0.75%.....	118
Tabla 55: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 0.75%.....	118
Tabla 56: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 1.0 %.....	120
Tabla 57: Resistencia a la flexión a los 21 días en vigas con fibra al 1.0 %.....	120
Tabla 58: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 1.0 %.....	120
Tabla 59: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 7 días. ....	124
Tabla 60: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 14 días. ....	125
Tabla 61: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 21 días. ....	126
Tabla 62: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 28 días. ....	127
Tabla 63: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 14 días. ....	131
Tabla 64: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 28 días. ....	132
Tabla 65: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 42 días. ....	133
Tabla 66: Comparación de resultados de testigos cilíndricos .....	135
Tabla 67: Comparación de resultados de vigas .....	135
Tabla 68: Relación lineal entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción por flexión .....	136
Tabla 69: Valores para la constante k.....	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Per Cápita de Cemento en América Latina 2017.....	18
Figura 2: Consumo Per Cápita de Cemento en el Perú 2001-2018 (Kg. / habitante). ....	18
Figura 3: Producción, Despacho Local y Despacho Total de cemento. ....	19
Figura 4: Producción de cemento y Producción de Clinker. ....	20
Figura 5: Despacho Nacional de Cemento. ....	20
Figura 6: Consumo Nacional de Cemento. ....	21
Figura 7: Esfuerzo de compresión.....	35
Figura 8: Esfuerzo de tracción.....	36
Figura 9: Esfuerzo de Flexión.....	37
Figura 10: Propiedades mecánicas de fibras. ....	39
Figura 11: Proporciones típicas. ....	42
Figura 12: Guía para la frecuencia de ensayo con relación a la fuente de agua. ....	60
Figura 13: Proceso de separación de la fibra.....	82
Figura 14: Fibra de 5 cm medido con vernier.....	83
Figura 15: Fibra de Agave Americana L. vista con microscopio. ....	83
Figura 16: Muestras de fibra sumergidas en agua durante 24 horas. ....	85
Figura 17: Muestra de fibra para secar en horno. ....	85
Figura 18: Peso de matraz con agua.....	87
Figura 19: Peso del matraz + fibra + agua.....	87
Figura 20: Proceso de fundición de la parafina.....	88
Figura 21: Vista microscópica de fibra de maguey con y sin parafina.....	88
Figura 22: Medición de pH de pasta con fibra de maguey combinada con parafina.....	89
Figura 23: Medida de pH del aditivo con fibra y vista microscópica de la fibra.....	90
Figura 24: Lugar de moldeo de testigos.....	91
Figura 25: Elaboración de testigos de concreto en dos capas.....	93
Figura 26: Varillado de testigos cilíndricos.....	95
Figura 27: Elaboración de vigas.....	96
Figura 28: Esquema de los patrones de tipos de fracturas.....	98
Figura 29: Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro. .	101
Figura 30: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto sin fibra a través del tiempo. ....	107
Figura 31: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.5 % a través del tiempo. ....	109
Figura 32: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.75 % a través el tiempo. ....	111
Figura 33: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 1.0 % a través el tiempo. ....	113
Figura 34: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto sin fibra a través del tiempo. ....	115
Figura 35: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 0.50 % a través del tiempo. ....	117
Figura 36: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 0.75% a través del tiempo. ....	119
Figura 37: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 1.0 % a través del tiempo.....	121
Figura 38: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.00% a través el tiempo. ....	122
Figura 39: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 7 días. ....	124
Figura 40: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 14 días. ....	125

Figura 41: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 21 días. ....	126
Figura 42: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 28 días. ....	127
Figura 43: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos, a los 7, 14, 21 y 28 días. ....	128
Figura 44: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra a través el tiempo. ....	130
Figura 45: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 14 días. ....	131
Figura 46: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 28 días. ....	132
Figura 47: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 42 días. ....	133
Figura 48: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 14, 21 y 42 días. ....	134
Figura 49: Comparación de la resistencia a la compresión y tracción por flexión a los 28 días. ....	137
Figura 50: Comparación de la resistencia a la compresión y tracción por flexión a los 28 días. ....	138
Figura 51: Ensayo de densidad de fibra con matraz. ....	161
Figura 52: Ensayo de densidad (Peso de fibra saturada superficialmente seca y peso de la fibra saturada superficialmente seca + agua). ....	161
Figura 53: .Fibras de Agave Americana L. naturales y parafinadas con aditivos ....	162
Figura 54: Elaboración de testigos cilíndricos de concreto y vigas. ....	162
Figura 55: Desencofrado de testigos cilíndricos y vigas. ....	163
Figura 56: Testigos de concreto cilíndricos listos para ensayo a compresión. ....	163
Figura 57: Medición de testigos de concreto para ensayo a compresión y colocación de muestra en el equipo (prensa de rotura). ....	164
Figura 58: Falla del testigo del concreto a compresión y vista horizontal interna de la muestra donde ocurrió la falla. ....	164
Figura 59: Falla del testigo del concreto a flexión y vista lateral interna de la muestra donde ocurrió la falla. ....	165
Figura 60: Falla de viga a flexión dentro del tercio medio. ....	165

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Especificaciones del concreto premezclado.....	144
Anexo 2: Informe de ensayo de agregado fino.....	145
Anexo 3: Informe de ensayo de agregado grueso.....	146
Anexo 4: Informe de ensayo químicos del agua .....	147
Anexo 5: Informe de ensayo de fibra agave americana I.....	148
Anexo 6: Data de ensayo a la rotura de testigos de la empresa unicón.....	149
Anexo 7: Informe de mantenimiento y calibración de prensa de rotura de concreto. ....	150
Anexo 8: Resultados de rotura de testigos cilíndricos de concreto sin fibra.....	151
Anexo 9: Resultados de rotura de testigos cilíndricos de concreto con adición de 0.50% fibra. ....	152
Anexo 10: Resultados de rotura de testigos cilíndricos de concreto con adición de 0.75% fibra. .	153
Anexo 11: Resultados de rotura de testigos cilíndricos de concreto con adición de 1.0 % fibra. ..	154
Anexo 12: Resultados de rotura de vigas de concreto sin fibra. ....	155
Anexo 13: Resultados de rotura de vigas de concreto con adición de 0.50% fibra. ....	156
Anexo 14: Resultados de rotura de vigas de concreto con adición de 0.75% fibra. ....	157
Anexo 15: Resultados de rotura de vigas de concreto con adición de 1.00% fibra. ....	158
Anexo 16: Acta de acuerdos de uso de información y datos. ....	159
Anexo 17: Fotografías.....	161

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto demostrar que la fibra de Agave Americana L. (también conocida en nuestra región como Maguey) adicionada en el concreto, ayudará de manera positiva en la resistencia a esfuerzos axiales de compresión y tracción en determinadas edades del hormigón; planteando como objetivo evaluar la influencia que tiene la adición de fibra de maguey en las propiedades de resistencia de un concreto patrón.

Para ello, se elaboraron testigos de concreto cilíndricos de 10 cm x 20 cm para realizar los ensayos a compresión y vigas de 15 cm x 15 cm x 50 cm para la evaluación de la resistencia a la tracción por flexión de concreto. Estos especímenes se realizaron para 3 dosificaciones de fibra de Agave Americana L., de 0.50 %, 0.75 % y 1.00 % con respecto al volumen del concreto.

Los primeros resultados demostraron que la fibra de Agave Americana L., adicionada en un concreto patrón, aumentaron la resistencia a la compresión en todas las proporciones de fibra empleadas. A su vez, en los ensayos a tracción por flexión de vigas, la resistencia se mantuvo casi constante, y además que, superó también la resistencia de diseño.

Entonces, de acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda poder emplear la fibra de Agave Americana L. (maguey) en otros elementos o materiales de construcción, en los que se busque mejorar las propiedades de resistencia y a la vez tener un material natural entre sus componentes.

---

**Palabras claves:** concreto, resistencia, fibra de Agave Americana L., maguey, esfuerzos axiales, compresión, tracción.

## ABSTRACT

This investigation is intended to show that the fiber of Agave Americana L. (better known in our region as Maguey) added in the concrete, help in a positive way for the resistance in the compression' axial stresses and traction in determined concrete ages; posing the aim of evaluate the influence of the addition of maguey fiber in the resistance properties of a specific pattern.

For this purpose, cylindrical concrete tests of 10 cm x 20 cm were prepared to perform compression tests and beams of 15 cm x 15 cm x 50 cm for the evaluation of tensile strength by concrete bending. These tests were made for 3 fiber dosages of Agave Americana L., of 0.50%, 0.75% and 1.00% with respect to the concrete volume.

The first results showed that the fiber of Agave Americana L. added in a concrete pattern, increased the compressive strength in all the fiber proportions used. Furthermore, in the tensile tests by bending of beams, the resistance remained almost constant, in addition to that, it also exceeded the design resistance. Then, according to the results obtained, it is recommended to be able to use the fiber of Agave Americana L. (maguey) in other elements or construction materials, in which it is sought to improve the resistance properties and at the same time have a natural material among its components.

---

**Key words:** concrete, resistance, fiber of Agave Americana L., maguey, axial stresses, compression, traction.

## INTRODUCCIÓN

El concreto es un material muy importante en la construcción, tiene propiedades que se adecuan eficazmente en todos los procesos de elaboración de elementos estructurales como: vigas, columnas, losas, muros, etc., presentes en una edificación. Por eso el sector de la construcción busca que el concreto cumpla una de sus principales propiedades: “la resistencia”, y para lograr esto han aplicado diversos métodos, desde correcciones en la mezcla, utilizando diferentes tipos de Cemento, añadiendo aditivos químicos o adicionando fibras; ya sean fibras de asbesto, fibras de vidrio, fibras de acero, fibras sintéticas o fibras naturales de origen animal o vegetal; siendo este último, aún desconocido y poco aplicado en el mundo y en nuestro país.

Las fibras se utilizan desde mucho antes que se creara el concreto, siendo un material de construcción necesario para la elaboración de adobes. En esos casos se utilizaba paja, y esto ayudaba a que la arcilla se adhiriera más fácilmente y no se generen grietas al ser secadas.

Existen productos de construcción con adición de fibras que se utilizan en diversos lugares, sin embargo, debido a que algunos de estos productos contienen fibras de asbesto que son perjudiciales para la salud, se buscan otras alternativas para suplir esta necesidad de utilizar fibras en la construcción.

Las fibras pueden aportar importantes propiedades en el concreto como resistencia a la compresión y tracción, resistencia a la fisuración, durabilidad, resistencia al impacto, abrasión, entre otros. Las fibras naturales son una alternativa muy conveniente para mejorar la resistencia del concreto ya que son materiales de bajo costo y pueden ser extraídas por pobladores de las zonas donde crece este insumo. La fibra de Agave Americana L., puede ser encontrada en nuestra región en diversas zonas como: Pilcomayo, Chupaca, Sicaya, Orcotuna, Mito, etc., por lo que su obtención no resulta difícil.

Por otro lado, el concreto es un material muy resistente a esfuerzos de compresión, pero muy débil a esfuerzos de tracción o flexión, por lo que se trató de complementar esta propiedad con la adición de fibras de Agave Americana L. (maguey), que pueden ser adicionadas en el concreto en pocas proporciones.

De acuerdo a los puntos anteriores, la presente investigación se organiza de la siguiente manera:

Primero, en el Capítulo I se presenta el Planteamiento y formulación del problema, con el objetivo de determinar la influencia de la adición de fibras de Agave Americana L. en la

resistencia a esfuerzos axiales en el concreto, en San Carlos - Huancayo., seguido de las hipótesis y variables presentes en el estudio.

Segundo, en el Capítulo II se expone el Marco Teórico; presentando los antecedentes del problema, bases teóricas y definición de términos básicos.

En el tercer Capítulo, se especifica la Metodología de la investigación y el procedimiento necesario para la elaboración del estudio.

En el capítulo IV se detalla el Análisis y tratamiento de resultados.

Finalmente se señalan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

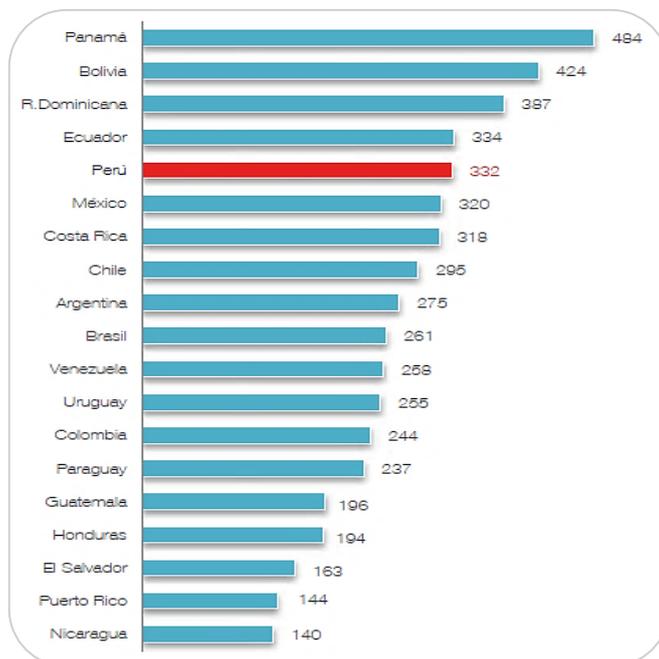
### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto es el material de construcción de mayor importancia en el mundo y en nuestro país, esto debido a sus diversas ventajas en comparación a los demás materiales usados en la Ingeniería Civil. El concreto tiene muchas ventajas como la versatilidad, que contribuye con la imaginación del proyectista, ya que, en estado fresco, se adecua a las formas que este desee; también, otra de sus ventajas es que puede ser fabricado en el lugar de trabajo o fuera de él, denominando a estos elementos como prefabricados; además, es un material muy económico, gracias a que se puede utilizar materia prima de las zonas aledañas al área de trabajo como: agregados de canteras cercanas a la obra y agua potable o agua que cumpla con las normas mínimas de calidad (1).

Según el Informe Económico de la Construcción (CAPECO), “el consumo nacional del cemento es uno de los indicadores clave para explicar el nivel de desarrollo económico y social de un país. [...]” (2). El Perú ocupó el quinto lugar entre los países latinoamericanos en consumo nacional de cemento con 332 Kg. /habitante el año 2017, superando a México 320 Kg. /habitante, Chile 295 Kg. /habitante y Colombia 224 Kg. /habitante (2).

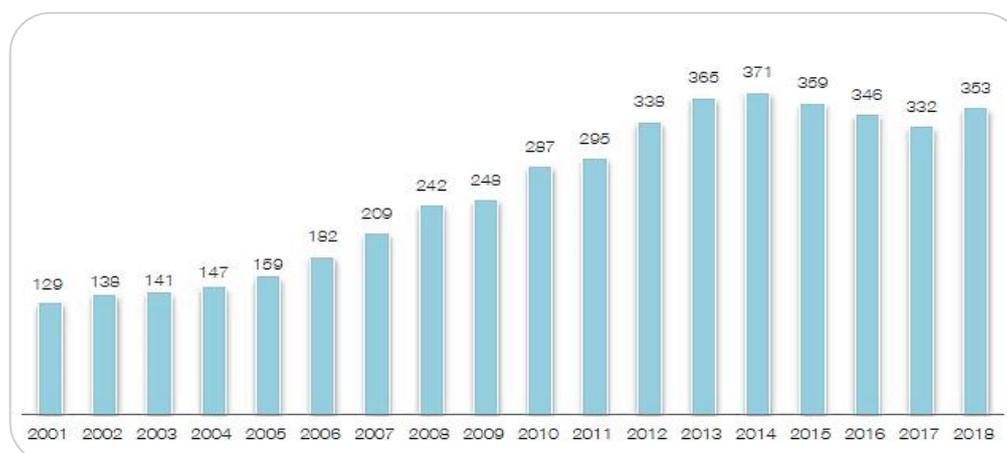
**Figura 1: Consumo Per Cápita de Cemento en América Latina 2017.**



**Fuente: Informe Económico de la Construcción N°25 - Julio 2019. CAPECO**

El consumo per cápita en nuestro país, creció sostenida e ininterrumpidamente desde el año 2001 hasta el 2014 a una tasa promedio anual de 8.4%, luego de lo cual se revirtió la tendencia, registrando tasas negativas entre los años 2015, 2016 y 2017 de 3.3%, 3.5% y 4.2 respectivamente, hasta el año 2018, en el que se registra una leve recuperación de 6.5%, [...] (2).

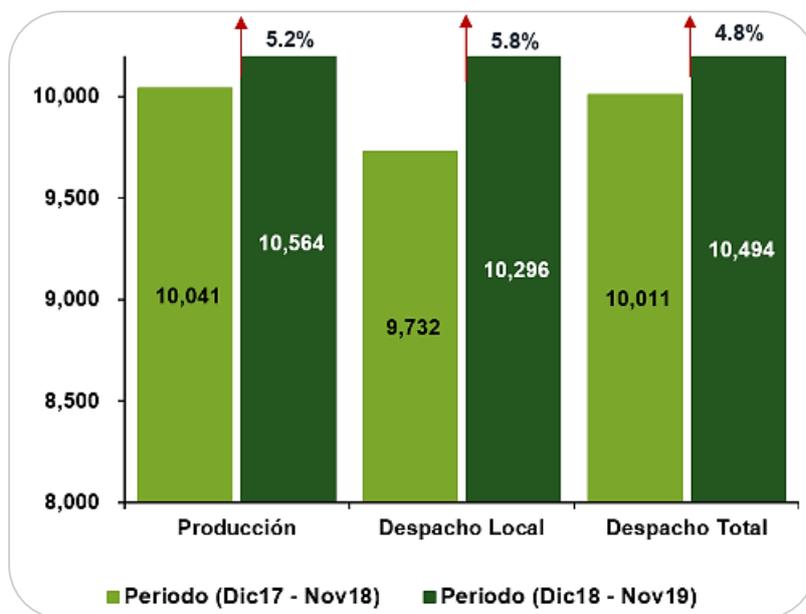
**Figura 2: Consumo Per Cápita de Cemento en el Perú 2001-2018 (Kg. / habitante).**



**Fuente: Informe Económico de la Construcción N°25 - Julio 2019. CAPECO**

Asimismo, según ASOCEM (Asociación de Productores de Cemento), “la Producción, el Despacho Local y el Despacho Total del cemento [en el Perú] se incrementaron en 5.2%, 5.8% y 4.8% respectivamente” (3).

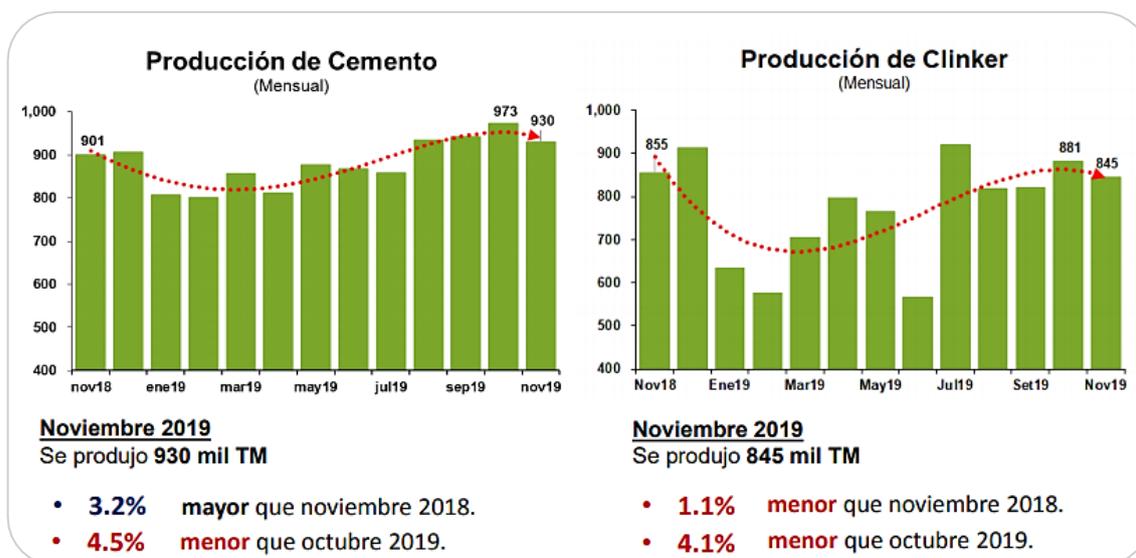
**Figura 3: Producción, Despacho Local y Despacho Total de cemento.**



**Fuente: Reporte Estadístico Mensual noviembre 2019 – ASOCEM**

“En los últimos 12 meses, la Producción de Cemento y la Producción de Clinker [en el Perú] alcanzaron un acumulado de 10,564 mil TM (+5.2%) y 9,246 mil TM (+8.7%) respectivamente. Los porcentajes toman como referencia lo acumulado entre diciembre 2017 a noviembre 2018” (3).

Figura 4: Producción de cemento y Producción de Clinker.

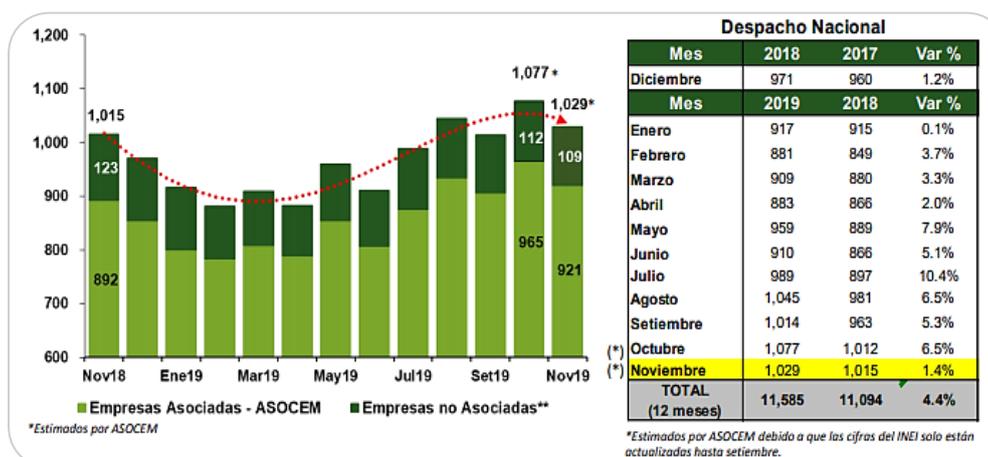


Fuente: Reporte Estadístico Mensual noviembre 2019 – ASOCEM

“El Despacho Nacional [en el Perú] es un estimado de 1,029 mil TM en el mes de noviembre, significando un avance de 1.4% con respecto al mismo mes del año anterior” (3).

“En los últimos 12 meses, el Despacho Nacional de Cemento alcanzó un acumulado de 11,585 mil TM, 4.4% mayor al período diciembre 2017 a noviembre 2018” (3).

Figura 5: Despacho Nacional de Cemento.

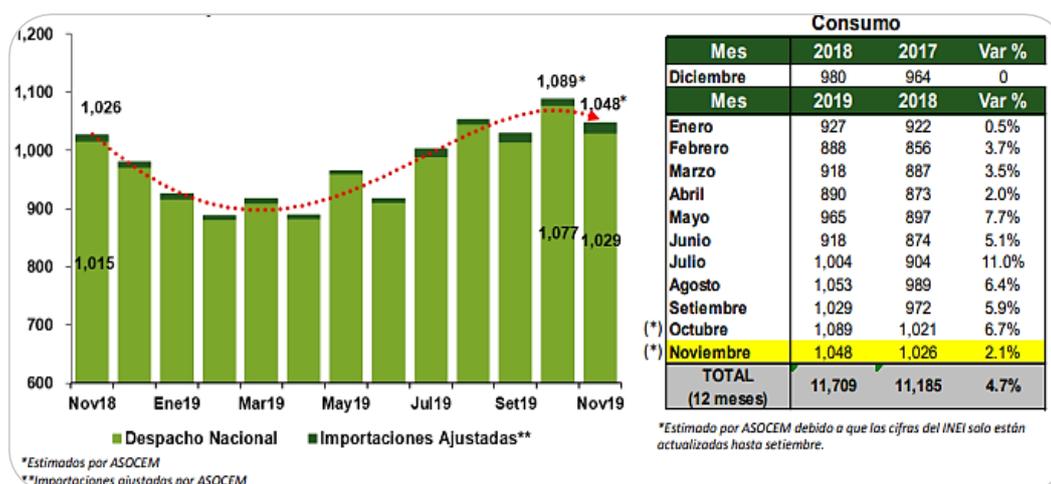


Fuente: Reporte Estadístico Mensual noviembre 2019 – ASOCEM

“El Consumo Nacional [en el Perú] es un estimado de 1,048 mil TM en el mes de noviembre, logrando un avance de 2.1% con respecto al mismo mes del año anterior” (3).

En los últimos 12 meses, el Consumo Nacional de Cemento alcanzó un acumulado de 11,709 mil TM, 4.7% mayor al período diciembre 2017 a noviembre 2018” (3).

**Figura 6: Consumo Nacional de Cemento.**



**Fuente: Reporte Estadístico Mensual noviembre 2019 - ASOCEM**

Por otro lado, el concreto tiene una serie de características como la alta resistencia a la compresión pero poca resistencia a esfuerzos de tracción, pudiendo ésta ser superada con la adición de refuerzos de varillas de acero en el concreto y en otros casos con la adición de fibras, que ayudan de manera muy significativa en el aumento de la tenacidad del concreto, pudiendo soportar mayores cargas bajo tracción y contribuyendo así a que el concreto no se fisure rápidamente (4).

Por su parte, el uso de fibras para reforzar el concreto en los últimos años, ha incrementado sustancialmente; principalmente el uso de fibras de asbesto para diversos elementos de construcción como tuberías, losetas entre otros. Pero estas fibras representan una amenaza para la salud, por lo que surge la necesidad de encontrar fibras que puedan sustituirlas y que puedan tener los mismos efectos de eficiencia de refuerzo y bajo costo. Entre estas fibras podemos encontrar las fibras de acero, fibras de vidrio, fibras orgánicas hechas por el hombre (polipropileno), y fibras orgánicas naturales denominadas también fibras vegetales (5).

“El concreto reforzado con fibras es un elemento que contiene fibras cortas uniformemente distribuidas y orientadas al azar. Éstas fibras pueden ser de tipo metálicas, sintéticas (polipropilenos o acrílicas), de vidrio y naturales, cada una de las cuales proporcionan propiedades diferentes al concreto. Estos elementos se añaden al concreto durante la mezcla. Los factores principales que controlan el rendimiento del material son: las propiedades físicas de las fibras y de la matriz; y la fuerza de la unión entre las fibras y la matriz. Así, las fibras son más fáciles de manejar, no requieren mano de obra adicional, liberan espacio de almacenamiento y reducen costos” (6).

Debido a los diversos factores planteados anteriormente, se desea conocer si las fibras de Agave Americana L. (fibra de origen vegetal), también llamado Maguey, tienen algún aporte positivo en la propiedad de resistencia a esfuerzos axiales del concreto, el cual se estudiará en la presente investigación. Por lo que, se plantea el siguiente problema:

### **1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **a. Problema general:**

¿De qué manera la resistencia a esfuerzos axiales en el concreto es influenciada por la adición de fibras de Agave Americana L., en San Carlos – Huancayo?

#### **b. Problemas específicos:**

- ¿De qué manera la resistencia a solicitaciones axiales de compresión en el concreto es influenciada por la adición de fibra de Agave Americana L., en San Carlos - Huancayo?
- ¿De qué manera la resistencia a solicitaciones axiales de tracción en el concreto es influenciada por la adición de fibra de Agave Americana L., en San Carlos - Huancayo?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia de la adición de fibras de Agave Americana L. en la resistencia a esfuerzos axiales en el concreto, en San Carlos - Huancayo.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular la influencia de la adición de fibras de Agave Americana L. en la resistencia a solicitaciones axiales de compresión en el concreto, en San Carlos - Huancayo.
- Calcular la influencia de la adición de fibras de Agave Americana L. en la resistencia a solicitaciones axiales de tracción en el concreto, en San Carlos - Huancayo.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Debido a que existe una investigación del concreto con adición de fibra Agave Americana L. en la cual se analiza las propiedades del concreto en estado fresco, se planteó la continuación del estudio del concreto en estado endurecido respecto a su comportamiento con la fibra de maguey, en relación a una muestra patrón y la adición de fibra al 0.50 %, al 0.75 % y al 1.00 %.

Esta investigación pretende conocer si las Fibras de Agave Americana L., al ser incluidas a manera de adición en la mezcla de concreto, pueden ejercer algún aporte positivo a la resistencia a esfuerzos a solicitaciones axiales a los que normalmente están sometidos los elementos de concreto en estado endurecido durante su desempeño.

Cabe resaltar que “La resistencia es la propiedad mecánica más importante del concreto endurecido y sin esta el concreto no trabajaría adecuadamente para el fin que fue diseñado” (7).

Así también, “[...] todas las propiedades del concreto endurecido están asociadas a la resistencia y, en muchos casos, es en función del valor de ella que se las cuantifica o cualifica” (7). Por lo que se desea experimentar el comportamiento del mismo con las fibras de maguey.

Es posible que las adiciones de fibras de Agave Americana L. optimicen dicha propiedad del concreto en estado endurecido, ya que se prevé que se incrementará la resistencia, tanto a esfuerzos axiales de compresión y esfuerzos de tracción. Así también, las fibras de Agave Americana L. son ligeras, lo que no generaría un peso muerto adicional al elemento estructural que se diseñe, y no aportaría un aumento significativo en la densidad del concreto.

Además de mejorar la resistencia del concreto, las fibras naturales no generan un costo elevado en comparación con otras fibras tales como fibras de acero, fibras de vidrio, fibras minerales, fibra sintéticas o fibras de asbesto que al mismo tiempo son fibras muy contaminantes. Las fibras de Maguey, por el mismo hecho de ser fibras naturales de origen vegetal, no representan un peligro para el medio ambiente, ya que su proceso de extracción para la construcción en el Perú no es industrializado, y puede ser realizado sin ninguna complicación ni dificultad por los pobladores de las localidades cercanas al crecimiento de los mismos, lo que también les generaría nuevas actividades e ingresos monetarios adicionales, ayudando y aportando así al crecimiento económico de sus distritos.

Asimismo, la fibra de Agave Americana L. se encuentra abundantemente a lo largo y ancho del Valle del Mantaro, por lo que, con un adecuado manejo de extracción puede garantizar el abastecimiento necesario para los requerimientos en cualquier tipo de investigación y posterior aplicación en obra. Cabe mencionar que la obtención de la fibra se puede realizar extrayendo las hojas del Agave ya desarrolladas, dejando el tallo y la raíz para que pueda continuar con su crecimiento natural y, evitando su posible extinción.

La fibra de Maguey, por ser un material que ha sido muy poco aplicado en el sector de la construcción en el país y menos aún en la región central, se desconoce sobremanera las importantes propiedades que le puede aportar las mismas al concreto, y otros elementos de construcción debido a que no se realizan estudios ni investigaciones para incrementar su uso (8).

“En los tiempos modernos, una amplia gama de materiales de ingeniería (que incluyen productos de cerámica, plásticos, cemento y yeso) incorporan fibras para mejorar las propiedades de los compuestos. Las propiedades mejoradas incluyen la resistencia a la tracción, la resistencia a la compresión, [...] la durabilidad, [...] la contracción [...] [entre otros]” (8).

El concreto que no cuenta con refuerzo tiende a tener una baja resistencia a la tracción y una baja capacidad de deformación ante una fractura, es por ello que para suplir estas carencias se agrega acero de refuerzo que está adecuadamente distribuido en las áreas donde la estructura lo necesita, por el contrario, las fibras son discontinuas y se distribuyen sin un orden en toda la matriz de concreto (8).

“[...] Debido a la flexibilidad en los métodos de fabricación, el concreto reforzado con fibra puede ser un material de construcción económico y útil [...]” (8).

Es por eso que se realiza este estudio de investigación, con el fin de aportar significativamente en los nuevos conocimientos de aplicaciones de las fibras de Agave Americana L. en el concreto, y así se pueda incluir este recurso natural en la construcción en un futuro, como lo están las fibras artificiales o sintéticas, pero sin perjudicar nuestro medio ambiente.

## **1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

### **1.4.1. HIPÓTESIS.**

#### **1.4.1.1. Hipótesis de investigación**

La adición de fibras de Agave Americana L. influye de manera positiva en la resistencia a esfuerzos axiales en el concreto, en San Carlos – Huancayo.

- **Hipótesis nula**

La adición de fibras de Agave Americana L. influye de manera negativa en la resistencia a esfuerzos axiales en el concreto, en San Carlos - Huancayo.

#### **1.4.1.2. Hipótesis específicas**

- La adición de fibras de Agave Americana L. influye positivamente en la resistencia a sollicitaciones axiales de compresión en el concreto, en San Carlos - Huancayo.
- La adición de fibras de Agave Americana L. influye positivamente en la resistencia a sollicitaciones axiales de tracción en el concreto, en San Carlos - Huancayo.

## 1.4.2. VARIABLES

Tabla 1: Tipos de variables presentes en la investigación.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	Resistencia a esfuerzos axiales en el concreto.
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Adición de fibras de Agave Americana L.
<b>VARIABLES DE CONTROL</b>	Edad o madurez del concreto, longitud de la fibra.
<b>VARIABLES INTERVINIENTES</b>	Temperatura ambiental, clima, exudación, segregación.

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

- PINZÓN GALVIS, Sandra (2013), indica que:

En este trabajo se busca encontrar materiales alternativos que mitiguen el impacto ambiental [...]; analizar el efecto producido por la adición de la fibra de fique a la resistencia a compresión y flexión del concreto y dar una aplicación acorde a los resultados obtenidos en los ensayos. [...]. [Así también menciona que] El material estructural más extraordinario y utilizado en el mundo de la construcción, [es] el concreto u hormigón, con una serie de propiedades mecánicas como lo es su alta resistencia a la compresión, dureza, manejabilidad [...] y no tan buen comportamiento a la flexión, por poseer limitaciones como la fragilidad, baja capacidad de deformación o arqueamiento antes de la fisuras y rompimiento en las vigas. [...] [Analizó] el efecto producido por la adición de la fibra de fique a la resistencia a compresión y flexión del concreto [...]. Utilizó cuatro porcentajes de adición de fibra de fique, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del peso del agregado fino. [Además] el concreto se hizo a partir de mezclas especificadas para 14 MPa, 17.5 MPa, 21 MPa, 24.5 MPa y 28 MPa. [...] los ensayos de resistencia a compresión se realizaron a 6 cilindros por cada diseño, 2 a los 7 días, 2 a los 21 días y 2 a los 28 días, [...] para los ensayos a flexión se realizaron 2 vigas por cada diseño a los 28 días. [Así] se determinó [...] que un porcentaje óptimo para la adición de fibra del concreto es de un valor cercano a [...] 0.3 % de peso con respecto al agregado fino. [...] Para el diseño de 28 MPa [...] con una adición de 0.3% de fibra de fique se obtuvo una resistencia de 29.06 MPa. [...] En algunas ocasiones el concreto con fibra de fique después de la falla, el cilindro continua soportando la

presión, deformándose lentamente hasta su aplastamiento sin desprendimiento de la matriz, dándole como una característica de flexibilidad pero controlando su figuración (9).

- OSORIO SARAZ, Jairo Alexander, VARÓN ARISTIZABAL, Fredy y ALEXANDER HERRERA, Jhonny (2007), mencionan:

En consecuencia, con el desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales alternativos de construcción, que permitan reducir la extracción y uso de materiales convencionales, [...] que permitan no solamente reducir costos, sino que brinden seguridad en cuanto a sus propiedades y necesidades de resistencia según sus usos. [...] existe la posibilidad de uso de fibras naturales en concretos y morteros las cuales han tenido un amplio estudio desde los años 70's, entre las cuales se tienen las fibras de coco, plátano, bagazo de caña y algunos tipos de bambúes. [...] La necesidad de obtener materiales alternativos al concreto reforzado convencional se han incrementado; y, en esa búsqueda de alternativas, el concreto reforzado con fibras presenta las características de una solución con viabilidad técnica y económica. Así se han utilizado ya, fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de carbón, fibras minerales y naturales (madera, yute, bambú, coco, henequén, asbesto, lana, entre otros), fibras de polipropileno y muchas otras fibras sintéticas como el Nylon y Poliéster (Cepeda, R. 1997). [...] Se han obtenido algunas prácticas con el fin de minimizar los procesos de deterioro de las fibras vegetales en la matriz de concreto por efectos de alcalinidad, y buscando que el fraguado del cemento no se vea afectado, utilizando para ello el lavado del material. [...] Se pretendió entonces, a partir de este trabajo conocer el comportamiento a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, aprovechando los grandes volúmenes de desechos provenientes de la agroindustria de beneficio de caña de azúcar, que se generan en algunas zonas del país [Colombia], especialmente en las regiones del Valle, Santander y algunas zonas de Antioquia, [...] [Es por ello que] prepararon un material compuesto de fibra de bagazo de caña [de azúcar] y de concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión [...]. Se creó una mezcla patrón manteniendo una relación de cemento, arena y grava de 1:2:3 y una relación Agua/Cemento (a/c) de 0.55 recomendada por Fördos (1988) de tal manera que la cantidad de agua diera a la mezcla un fácil manejo

a la hora del mezclado, vaciado y desmoldado, además de una resistencia óptima, manteniendo siempre constantes la humedad en cada uno de estos elementos.[...] Se encontró además que el mejor valor de resistencia se obtuvo en la probeta elaborada con adición de fibra del 0.5 % [...] cuyo valor incluso es mayor que la probeta testigo. Los resultados obtenidos [...] permiten concluir que, a menores tamaños y porcentajes de fibras naturales en el compuesto, se tiende a obtener valores de resistencia a la compresión más cercanos a un concreto patrón. [...] [Determinaron que] la fibra de bagazo de caña utilizada en la elaboración del concreto reforzado a compresión, le imparte propiedades mecánicas importantes al compuesto, [...], las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8.6 y 16.88 MPa, estando por encima de probetas sin adición de fibras (10).

- CHIGUAY BARRIA, Marcos Fabián (2007).

[...] tuvo por objetivo la determinación de la potencialidad del colihue (*Chusquea culeou* Desv.), como armadura de refuerzo en losetas de hormigón para aplicaciones estructurales básicas. [Utilizó] culmos de bambú, hormigón, barras de acero corrugado e impermeabilizante como materiales principales. Los culmos utilizados tenían un contenido de humedad aproximado de 21%, un diámetro promedio de 2,15cm y fueron dimensionados con longitudes del orden de los 20 a 90cm. [...] los impermeabilizantes fueron: Xyladecor, Silicato de sodio, Carbonileo de petróleo, Algifolcolor, Wet proof., Neoprén, Sellador de madera y Aceite de linaza. [...] Previo a los ensayos de flexo-tracción en losetas, se realizaron ensayos de tracción en probetas de *Chusquea culeou*. [...] Posteriormente se llevó a cabo el ensayo de flexo-tracción en losetas, el cual comprendió la fabricación de cuatro estructuras (dos de ellas reforzadas con armaduras de 10 y 14 culmos de colihues, una con 10 barras de acero y otra sin refuerzo). [...] La adherencia mecánica permitió establecer al impermeabilizante como el mejor tratamiento de entre los que se aplicaron a las probetas de colihue-hormigón, obteniendo un valor de 12,2 Kg/cm<sup>2</sup> (correspondiente a 64,17% del valor obtenido en probetas de acero-hormigón). Los ensayos de flexo-tracción practicados a las estructuras con y sin refuerzo, demostraron que la loseta reforzada con 14 culmos de *Chusquea culeou* (loseta 1) colapsó a los 4500kg de carga con una deformación de 4,5cm aproximadamente, mientras que en la loseta reforzada con 10 culmos (loseta 2), la rotura se produjo a los 3800kg de carga con

una deformación de 3,30cm, siendo ésta un poco más dúctil que la primera. Los resultados alcanzados por estas dos losetas fueron superiores a los obtenidos por aquella fabricada sin refuerzo, cuya rotura se produjo a los 3200kg con una deformación de 0.48cm [...] (11).

- QUINTERO GARCÍA, Sandra Liliana y GONZÁLEZ SALCEDO, Luis Octavio (2006), señalan que:

Para la fibra de la estopa de coco (*Cocus nucífera*), [...], se evaluaron sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, para su correcta caracterización, así como propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0.5 y 1.5% y longitudes de 2 y 5 cm. [...] material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado, con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia. [...] Mezclaron en primer lugar los elementos principales del concreto que son el cemento, la arena, la grava, el agua y finalmente incorporaron la fibra, que tendió a agruparse y formar grumos, por lo que tuvieron que deshacerlos con la mano. A fin de evitar esto, [...] [procedieron] a mezclar los ingredientes en seco (cemento, arena y grava) con la fibra, lanzando la mezcla hacia arriba para deshacer los grumos; una vez hecho esto, [...] incorporaron el agua. Dicho procedimiento [les] permitió [tener] una mayor dispersión de la fibra en la mezcla. [...] [Observaron que] para mezclas con volumen de fibra 0.5%, el peso no se vio afectado. Aunque se podría pensar en un aligeramiento mayor en mezclas con alto volúmenes de fibra, debido a que al evaporarse el agua puede quedar mayor número de poros que puedan aligerar el material, el peso de la mezcla con volumen 1.5% y longitud de 2 cm, [...] no se vio afectado. [...] En general, las mezclas con mayor volumen de adición 1.5% presentaron un avance de resistencia a la compresión en el tiempo más uniforme que las de 0.5%, e incluso la testigo. [...] el hecho de utilizar volúmenes bajos y longitudes altas [...] o, en su defecto, volúmenes altos y longitudes bajas [...], favorece la ductilidad del material. [En general] [...] se puede apreciar el efecto positivo de la incorporación de la fibra al concreto, ya que al momento de la falla el concreto se mantiene unido, de lo cual se deduce una buena adherencia de la fibra a la matriz; es el llamado fenómeno de puenteo que genera la fibra, el cual impide que la grieta progrese en el material. [...] Se presentan los resultados obtenidos en los

compuestos, los [...] [que] fueron probados a compresión axial, tracción indirecta y flexión, y en los cuales la incorporación de fibras disminuyó en todos los casos la deformación máxima; con resultados concordantes con observaciones de experimentos realizados con anterioridad y bibliografía consultada, donde se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz del compuesto. [...] De acuerdo con el efecto que sobre las propiedades mecánicas del concreto puede tener la adición de fibra de estopa, una aplicación adecuada de este tipo de compuesto (concreto - fibra de estopa) es la construcción principalmente de elementos sometidos a flexión (vigas y losas) (12).

- JUAREZ ALVARADO, Cesar A., RODRIGUEZ LÓPEZ, Patricia y RIVERA VILLAREAL, Raymundo (2003), indican que:

A partir de que las fibras de asbesto fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud, se [busco] posibles sustitutos que le proporcionaran al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, [...] [Por lo que] otro grupo de fibras llamadas naturales o vegetales han sido motivo de varios estudios para su posible aplicación como refuerzo de concreto. [...] [Que además] se pueden obtener a un bajo costo, usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención, estas fibras son llamadas típicamente fibras naturales no procesadas. [...]. [Para el programa experimental se realizaron pruebas a las fibras obteniendo] [...] su diámetro, longitud promedio, % de absorción de agua, densidad absoluta y porosidad. También se observó su morfología con micrografías de la sección transversal de la fibra. Las propiedades mecánicas obtenidas fueron el esfuerzo último a la tensión y la elongación a la ruptura. [...] [Usaron] dos relaciones agua/cemento (A/C): 0.65 y 0.35 con un consumo de cemento de 381 kg/m<sup>3</sup> y 707 Kg/m<sup>3</sup>, [...]. Los especímenes fueron reforzados con fibra sin tratamiento y con fibra impregnada con las sustancias, al 1% del volumen de la mezcla, [...] y con una longitud de la fibra de 20 a 30 mm, [...]. [Elaboraron 3 muestras] [...] de 75 x 75 x 280 mm para la resistencia a flexión o módulo de ruptura de acuerdo a la norma ASTM C 78-94. Una primera serie de 15 especímenes se ensayaron a los 14 días con curado estándar hasta el momento del ensaye. [...] Adicionalmente, se fabricaron especímenes para flexión sin ningún contenido de fibra para las dos relaciones A/C. [...] Se investigaron fibras cortas y largas aleatoriamente distribuidas, para lo cual se usaron fibras tratadas y cortadas a las siguientes longitudes: 10-20, 20-30, 30-40, 40-

50 y 300 mm. Así también, la cantidad de fibra se investigó probando los siguientes porcentajes del volumen total de la mezcla: 0.5, 1, 1.5, y 2%. Todos los especímenes se ensayaron a los 14 días. [...] [Las microceldas] [...] origina que la fibra posea una alta permeabilidad. Al saturarse absorben una cantidad de agua de casi 100% de su peso seco. [...], se obtuvo la densidad absoluta de la fibra que es la relación entre el peso seco de la fibra y el volumen seco de la misma. [...] El concreto o mortero sin ningún refuerzo tiene generalmente una alta resistencia a la compresión [...], sin embargo, cuando se requieren propiedades específicas como resistencia a la tensión, a la flexión, al agrietamiento es necesario reforzarlo. [...] La relación [de agua] de 0.65 con un consumo de cemento de 381 Kg/m<sup>3</sup> resulto ser una mezcla trabajable y de fácil manejo con la fibra. Sin embargo, en el estado endurecido presento una alta permeabilidad, su aplicación puede ser en elementos constructivos de bajo costo y de autoconstrucción. Para la relación de 0.35 con consumo de cemento de 707 Kg/m<sup>3</sup> fue necesario agregar 10 ml de aditivo superfluidificante por kg de cemento, la mezcla resultante fue trabajable y la adición de las fibras se realizó adecuadamente. La longitud y el volumen de la fibra fueron de 20 a 30 mm y 1% del volumen total de la mezcla. (13.8 kg/m<sup>3</sup>), respectivamente, [...]. [Finalmente determinaron que] las fibras de lechuguilla tienen significativas propiedades físico-mecánicas, tal como su resistencia última a tensión, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto. [Así mismo] las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple (13).

- MALLAUPOMA FRANCO, Gavi J. (2019):

Estudió el comportamiento de las propiedades del concreto premezclado de  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> en estado fresco (asentamiento, peso unitario, temperatura, contenido de aire y exudación) y diversas dosificaciones de la fibra Agave Americana L. (0.50%, 0.75% y 1.00%). Encontró que el concreto con adición de fibra al 0.50%, 0.75% y 1.00% redujo el asentamiento en 22.22%, 44.44% y 66.67%, respectivamente; así también redujo el peso unitario en 0.12%, 0.16% y 0.29 % e incrementó el contenido de aire en 13.64%, 36.36% y 45.45 % con fibras al 0.50%, 0.75% y 1.00%. También observó que el concreto con fibra no realiza adecuadamente el proceso de exudación, por lo que recomienda que el concreto debe ser hidratado y curado inmediatamente (14)

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. RESISTENCIA DEL CONCRETO:

Definida como el máximo esfuerzo que puede soportar un material sin romperse ante fuerzas externas. Debido a que el concreto puede soportar en mayor medida esfuerzos de compresión, es este valor el que se utiliza para determinar y calificar su calidad (15).

La resistencia se considera una de las propiedades más importantes del concreto endurecido y es con esta con la que se acepta o rechaza el producto final, sin embargo, existen otras propiedades del concreto que pueden ser igual o más importantes que la resistencia, como la durabilidad, permeabilidad o resistencia al desgaste, esto va a depender de las características y la ubicación de la obra. (15).

En general, prácticamente todas las propiedades del concreto endurecido están asociadas a la resistencia y, en muchos casos más es en función del valor de ella que se las cuantifica o cualifica. Sin embargo, debe siempre recordarse al diseñar una mezcla de concreto que muchos factores ajenos a la resistencia pueden afectar otras propiedades [...] (15).

Posteriormente, basándose en ciertos estudios, se demostró que la resistencia del concreto está en función de cuatro factores:

- Relación agua-cemento;
- Relación cemento-agregado;
- Granulometría, perfil, textura superficial, resistencia y dureza del agregado
- Tamaño máximo del agregado.

Esta teoría, [...] mantiene el concepto de la relación agua-cemento enunciado por Abrams [...], ha sido complementada por Powers al enunciar su teoría de la relación gel - espacio y su influencia en la resistencia; así como las teorías posteriores sobre la resistencia por adherencia pasta-agregado y su importancia en la resistencia final del concreto.

Adicionalmente a los factores indicados, pueden influir sobre la resistencia final del concreto y por lo tanto deben ser tomados en consideración en el diseño de la mezcla los siguientes:

- a. Cambio en el tipo, marca, y tiempo de almacenamiento del cemento y materiales cementantes empleados.
- b. Características del agua en aquellos casos en que no se emplea agua potable.
- c. Presencia de limo, arcilla, mica, carbón, humus, materia orgánica, sales químicas, en el agregado. Todos los compuestos enunciados disminuyen la resistencia del concreto principalmente debido a que se incrementan los requisitos de agua, se facilita la acción del intemperismo, se inhibe el desarrollo de una máxima adherencia entre el cemento hidratado y los agregados, se dificulta la hidratación normal del cemento, y se facilita la reacción química de los agregados con los elementos que componen el cemento.
- d. Modificaciones en la granulometría del agregado con el consiguiente incremento en la superficie específica y en la demanda de agua para una consistencia determinada.
- e. Presencia de aire en la mezcla, la cual modifica la relación poros-cemento, siendo mayor la resistencia del concreto cuanto menor es esta relación [...].
- f. Empleo de aditivos que pudieran modificar el proceso de hidratación del cemento y por tanto la resistencia del concreto.
- g. Empleo de materiales puzolánicos, cenizas, o escorias de alto horno finamente divididas, los cuales por si mismos pueden desarrollar propiedades cementantes.

En la medida que los factores indicados y sus efectos sobre las propiedades del concreto, específicamente la resistencia, pueden ser predecibles, ellos deben ser tomados en consideración en la selección inicial de las proporciones de los materiales que intervienen en la mezcla.

Sin embargo, teniendo en consideración tanto su número como su complejidad, es evidente que una determinación segura de la resistencia del concreto únicamente puede basarse en mezclas de prueba, ya sea en el laboratorio o en obra, así como en los resultados de experiencias previas con los materiales a ser empleados bajo condiciones similares a aquellas que se espera tener en obra (15).

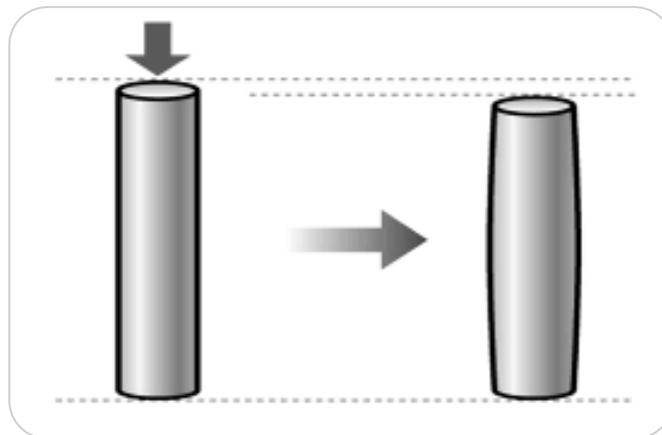
## 2.2.2. ESFUERZOS AXIALES:

“Son esfuerzos perpendiculares a un plano en el que se aplica las fuerzas de compresión o tracción, y esta se distribuye de manera uniforme en toda su superficie” (16).

### Compresión:

“Es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo. Es lo contrario a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos. Con lo que podemos decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiene a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección” (17).

Figura 7: Esfuerzo de compresión.



Fuente: TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS. Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (17)

La fórmula para calcular la tensión de trabajo es:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo de trabajo. Expresado en Kilogramo/centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>)

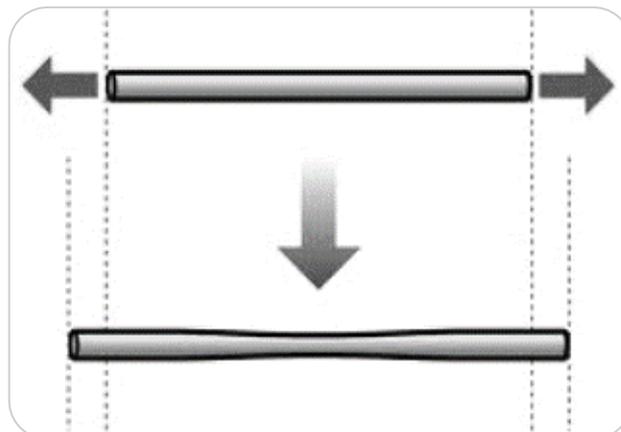
F = Fuerza de compresión. Expresado en Kilogramo fuerza (Kgf)

A = Sección transversal. Expresado en centímetro cuadrado (cm<sup>2</sup>)

### Tracción:

“Es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Se considera que las tensiones que tienen cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas, son normales a esa sección, son de sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo” (17).

**Figura 8: Esfuerzo de tracción.**



Fuente: TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS. Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (17)

“Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes: en este caso, el cuerpo ha superado su punto de fluencia y se comporta de forma plástica, de modo que tras cesar el esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento; si las deformaciones no son permanentes se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquél recupera su primitiva longitud [...]” (17).

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\sigma_t$  = Tensión de trabajo. Expresado en Kilogramo/centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>)

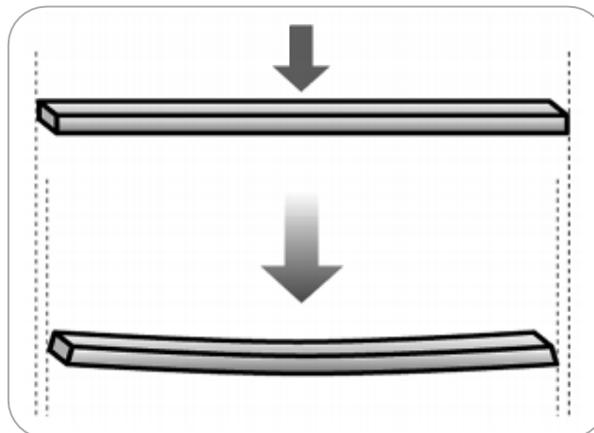
F = Fuerza de tracción. Expresado en Kilogramo fuerza (Kgf)

A = Sección transversal. Expresado en centímetro cuadrado (cm<sup>2</sup>)

### **Flexión:**

“Es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza están sometida a un esfuerzo de flexión (se alargan), las inferiores se acortan, o viceversa, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo. El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación” (17).

**Figura 9: Esfuerzo de Flexión.**



**Fuente: TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS. Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (17)**

### **Módulo de Ruptura:**

“La resistencia a la tracción del concreto sometido a flexión [o también conocido como] (módulo de ruptura) es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión, y es aproximadamente de 10 a 15% de la resistencia a la compresión” (7).

### **2.2.3. FIBRAS:**

“Son filamentos delgados discontinuos, provenientes de un proceso industrial, como acero, vidrio, carbón, y polímero o de carácter natural como asbesto, celulosa y otros. Se incorporan a la pasta, mortero o concreto para reforzar la matriz de cemento, retardando la formación de grietas e incrementando la resistencia a la tracción” (18).

“También se le puede definir como: Filamentos alargados y delgados en forma de redes o paquetes de redes de un material natural o fabricado que puede ser incorporado en las mezclas del concreto fresco” (19).

“Existen numerosos tipos de fibra disponibles para uso comercial y experimental. Las categorías básicas de fibra son:

- Fibra de acero,
- Fibra de vidrio,
- Fibra de materiales sintéticos y,
- Fibra natural [...]” (8).

### **2.2.4. FIBRA NATURAL:**

Las aplicaciones para [...] [la fibra natural] van desde el uso de cantidades relativamente bajas de fibras naturales en concreto fundido convencionalmente hasta la fabricación compleja de productos de lámina de cemento reforzado con alto contenido de fibra, como tejas de tejado, revestimiento, tablonés, tableros de servicios públicos y tuberías (8).

Aunque históricamente se han utilizado muchas fibras para reforzar diversos materiales de construcción, hasta hace poco se ha dedicado poco esfuerzo al uso de fibras naturales para refuerzo. El uso de algunas de las fibras naturales más conocidas, como el sisal, el coco, el bagazo de caña de azúcar, el plátano [...], la palma, etc., se ha limitado principalmente a la producción de telas, cuerdas, esteras, etc. (8).

## 2.2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE VARIOS TIPOS DE FIBRAS.

Figura 10: Propiedades mecánicas de fibras.

Tipo de fibra	Diámetro medio, in	Longitud media, in	Absorción después de 24 h, porcentaje	Densidad media de fibra (SG)	Resistencia media a la tracción, psi	Fuerza de unión media, psi	Elongación media, porcentaje
Bagazo	0.020	1.38	122.5	0.639	3,57	36	N/A
Coco	0.027	11.02	58.5	0.580	8,825	40	2.600
Yute	0.004	15.75	62.0	1.280	53,5	20	N/A
Maguey	0.014	15.75	63.0	1.240	54,4	N/A	N/A
Lechuguilla	0.014	15.75	102.0	1.360	54,1	N/A	N/A
Plátano	0.011	3.70	276.0	0.298	10,96	35	3.000
Guaney (palma)	0.017	17.44	129.9	1.195	50	40	2.880
Bambú	Variable	Variable	51.0	0.720	54,68	45	1.800

Fuente: James I. DANIEL y otros. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete - ACI 544.1R-96. USA : American Concrete Institute, 2001 (8).

## 2.2.6. FIBRA NATURAL SIN PROCESAR:

Las fibras naturales no procesadas están disponibles en cantidades razonablemente grandes en muchos países y representan un recurso continuamente renovable. [...] requieren cantidades relativamente pequeñas de energía y conocimientos técnicos para su producción en comparación con otros tipos de fibras. En el contexto histórico, el uso de fibras naturales en bruto en la construcción precedió sustancialmente a la llegada del concreto reforzado convencional. Los ladrillos de barro reforzados con paja, secados al sol para la construcción de muros, y el pelo de caballo en el mortero, son ejemplos típicos de cómo se usaban las fibras naturales hace mucho tiempo (8).

## 2.2.7. AGAVE AMERICANA L.:

- **Biología:**

Pertenece al grupo Americanae propuesto por Gentry (1982) y se reconoce por tener rosetas de hasta dos metros de alto, 2.5 – 3.0 m de diámetro, hojas de 1.5 – 2.0 m de largo, 15 – 25 cm de ancho, lanceoladas, ligeramente espatuladas, erectas y en ocasiones poco curvadas, acanaladas en el haz, glaucas, y de superficie ligeramente áspera y margen ondulado a crenado;

dientes sobre mamilas, en la parte media de 0.5 a 1.0 cm de largo, 0.6 – 1.2 cm de ancho, rectos o recurvados; espina terminal 3.5 – 4.0 cm de largo. Inflorescencia paniculada, laxa de 6.9 m alto, contorno general ovalado, fértil desde la mitad o el tercio superior, ramas primarias 20 – 35, 1 – 1.2 m largo; pedúnculo verde - glauco, brácteas del pedúnculo 30 – 60 cm largo, base hasta 10 cm ancho, triangulares, cactáceas, margen entero, espina 1 – 1.5 mm largo. Flores 6 – 7.5 cm largo, hipocrateriformes, verde – amarillentas; tépalos 2.5 – 3.5 cm largo, oblondos, gruesos, tubo del perigonio 1 - 1.5 cm largo, ovario 2.5 – 3 cm largo, cuello 2 – 5 mm; estambres con filamentos 5.5 – 8.0 cm largo, insertos en la parte media del tubo. Capsulas 4.0 – 5.5 cm largo, 2.0 – 2.5 cm ancho; semillas 9 – 10 mm largo, 7- 8 mm ancho, negras. (identificación taxonómica de agaves (20).

- **Lugar de crecimiento:**

El Agave Americana es una especie polimórfica con numerosas formas cultivadas en varias regiones del mundo [...], y que han sido seleccionadas y manejadas por el hombre durante miles de años (20).

En el Perú, en la actualidad se encuentran en mayor población en el callejón de Huaylas, en el Valle del Mantaro, Cajamarca, Cuzco, Ayacucho, Huancavelica y Huánuco. [...] En nuestro país, se encuentra en forma silvestre cubriendo los terrenos baldíos o acompañando otras plantas, se ve un cultivo organizado alrededor de los terrenos de cultivo con fines ornamentales, de cercos vivos y de soporte contra la erosión. [...] En nuestro país no existe una producción agroindustrial de esta planta, se produce en forma artesanal con fines de extraer fibras, material de construcción, soporte de terrenos, como combustible y planta de forraje o como planta ornamental. [...] (21).

- **Clima (atlas de las plantas aloctonas)**

Las hojas de maguey constituyen una fuente importante para la obtención de fibras naturales muy resistentes, maleables y muy apreciadas. A partir de las hojas se extraen fibras ya sea en la forma fresca o fibras secas. Estas fibras se usan para la construcción de sogas, hondas de los pastores, para la

elaboración de mallas de pesca, mallas de embalaje, mallas de carga, objetos ornamentales y puentes colgantes. El tallo floral maduro y seco se usa para la construcción de viviendas, puertas, ventanas [...] (21).

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 2.3.1. CONCRETO:

“Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivo” (7).

“Material compuesto que consiste esencialmente en un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso [...]” (22).

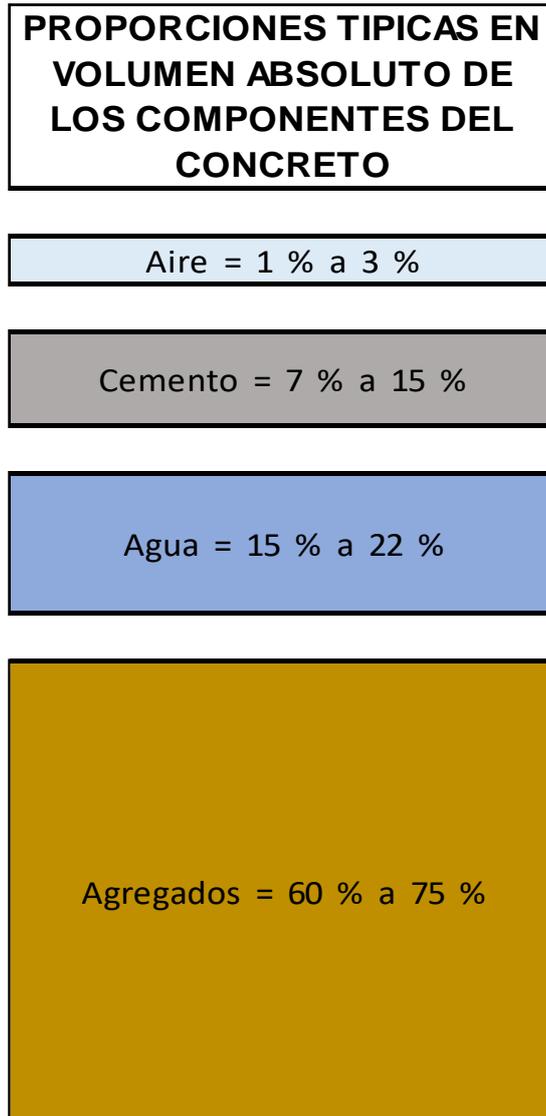
“[...] en proporciones adecuadas [se puede] obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

**CONCRETO = CEMENTO + AGREGADOS + AIRE + AGUA**

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto” (23).

También se le conoce como “Mezcla de material aglomerante (conglomerante) y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento Portland y el agua, pero también puede contener puzolanas, escorias y/o aditivos químicos” (18).

Figura 11: Proporciones típicas.



Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú (pag.15) PASQUEL CARBAJAL, Enrique, Lima, Perú. Colegio de Ingenieros del Perú 1998 (24).

### 2.3.1.1. Importancia del concreto:

Actualmente el concreto es un material de construcción de mayor uso en nuestro país. [...] el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales [...] (1).

### **2.3.1.2. Requisitos de las mezclas:**

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

La mezcla recién preparada deberá tener trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.

La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura [...] (1).

## **2.3.2. COMPOSICIÓN DEL CONCRETO:**

### **2.3.2.1. La pasta:**

- **Elementos fundamentales**

Aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende cuatro elementos fundamentales:

- a. El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento;
- b. Los poros incluidos en ella;
- c. El cemento no hidratado, si lo hay;
- d. Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.

Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

- **Funciones de la pasta**

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto.

- a. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- b. Separar las partículas de agregado.

- c. Llenar los vacíos entre partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- d. Proporcionar lubricación a la masa cuando está aún no ha endurecido.

- **Propiedades de la pasta**

Las propiedades de la pasta dependen de:

- a. Las propiedades físicas y químicas del cemento.
- b. Las propiedades relativas de cemento y agua en la mezcla.
- c. El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre este y el agua.

- **Influencia de la pasta en el concreto**

“Sin desconocer el papel fundamental que tiene el agregado en las características finales del concreto, el comportamiento de este como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y propiedades finales de ella” (1).

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua – material cementante y del grado de hidratación de este; siendo mejores las propiedades del concreto menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua – material cementante de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento.

“Dependiendo el grado de hidratación del cemento de la reacción química entre este y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta del concreto” (1).

### 2.3.2.2. El gel:

“Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación” (1).

- **Proceso de formación:**

En 1882 el investigador francés Le Chatelier sostuvo que los productos de hidratación del cemento tenían una solubilidad menor que los compuestos originales, lo que daba lugar a que los hidratos se precipitasen formando una solución sobresaturada que presentaba cristales elongados y entrelazados, los cuales poseían alta cohesividad y propiedades adhesivas.

En 1893 el investigador Michaelis enuncia la teoría coloidal, sosteniendo el que aluminato tricálcico, el sulfoaluminato de calcio y el hidróxido de calcio dan la resistencia inicial de la pasta y que, a continuación, el agua saturada de cal ataca a los silicatos formando silicato de calcio hidratado el cual, por ser casi soluble, forma una masa gelatinosa. Debido a la pérdida gradual de agua de mezcla, ya sea por secado o por hidratación, esta masa se endurece gradualmente obteniéndose cohesión.

A partir de 1960 se acepta que ambas teorías contienen algo de verdad y no son irreconciliables. En primer lugar, no existen dudas en cuanto a que los coloides, en su condición de partículas cristalinas de gran área superficial, gozan de propiedades diferentes a los sólidos usuales. Ello implica que el comportamiento coloidal de la pasta sería esencialmente función del área superficial de la misma y no de la irregularidad de la estructura interna de las partículas involucradas.

Como consecuencia, en la actualidad se piensa que cuando el cemento se combina con el agua se produce muy rápidamente una solución sobresaturada de hidróxido de calcio, con concentración de silicato hidratado en condición metastable. De acuerdo a Le Chatelier este hidrato se precipita rápidamente, correspondiendo en endurecimiento posterior a la pérdida de agua del material hidratado, tal como lo enuncia Michaelis. Presentándose el silicato de calcio hidratado en forma de

cristales interconectados extremadamente pequeños, los cuales de acuerdo a sus dimensiones pueden ser definidos como gel, la aparente divergencia Le Chatelier-Michaelius se reduciría finalmente a terminología en la medida que el producto final es un gel consistente de cristales.

- **Composición:**

“En su estructura el gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfo” (1).

En su composición el gel comprende:

- a. La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa.
- b. Hidróxido de calcio cristalino.
- c. Poros Gel.

- **Comportamiento:**

El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en su resistencia y comportamiento elástico. Las razones de su resistencia aún no están claramente comprendidas, pero se acepta que intervienen dos clases de adherencias cohesivas: atracción física y adherencia química.

La atracción física es del tipo Van der Waal entre superficies de solidos separados únicamente por los microscopios poros gel. Esta adherencia es debida a la gran energía disponible en la superficie de las partículas de gel. Es una característica distintiva de este el que sus fuerzas internas son pequeñas en comparación con sus fueras superficiales.

La adherencia química es igualmente una causa importante de cohesión. Dado que el gel tiene capacidad de esponjamiento limitada, debido a que sus partículas no pueden dispersarse por adición de agua, es evidente

que ellas están unidas por fuerzas químicas, siendo la ligazón de los tipos iónico y covalente.

Si bien las fuerzas químicas son más importantes que las Van der Waal, la adherencia química actúa únicamente sobre la pequeña fracción que corresponde a la zona de contacto de las partículas de gel. En cambio, la adherencia física actúa sobre un área mayor, dado que la superficie específica de gel cemento es de cerca de dos millones de centímetros cuadrados por gramo. Así, aunque la pasta es un gel del tipo de expansión limitada, la adherencia entre las fibras es lo bastante fuerte para resistir expansiones tixotrópicas ilimitadas.

“[...] aunque en la actualidad se sigue investigando sobre la importancia de la influencia relativa de las adherencias física y química, no existe dudas sobre la importancia de la contribución de ambas a las propiedades finales de la pasta endurecida” (1).

### **2.3.2.3. Hidratación y curado del concreto**

“Se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo” (1).

“Se define como tiempo de curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada” (1).

### **2.3.2.4. Porosidad de la pasta**

- **Concepto:**

“Existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua” (1).

- **Clasificación:**

Los poros presentes en la pasta se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio, o ubicación de ellos. No existe una línea clara de demarcación que separe un rango de otro. Los poros de estas cuatro categorías son:

- a. Poros por aire atrapado.
- b. Poros por aire incorporado.
- c. Poros capilares.
- d. Poros gel.

- **Poros por aire atrapado:**

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este aire forma en la masa de concreto se conocen como poros por aire atrapado. Son parte inevitable de toda pasta.

“Los poros por aire atrapado varían en tamaño desde aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o más de diámetro. Su perfil puede ser irregular y no necesariamente están interconectados” (1).

“La presencia de los poros de aire atrapado es inevitable pero convenientemente dado que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad” (1).

En la misma categoría general de poros por aire atrapado, aunque estrictamente no lo son, algunos especialistas incluyen las fisuras u oquedades que en algunas oportunidades se observan debajo del agregado grueso. Ellas han sido formadas por el agua que se ha almacenado debajo de este y posteriormente se ha secado.

- **Poros por aire incorporado:**

Fundamentalmente por razones de incremento en la durabilidad del concreto, por incremento en la protección de la pasta contra los procesos de congelación del agua en el interior de la misma, se puede incorporar en forma intencional, mediante el empleo de aditivos químicos, minúsculas burbujas de aire las cuales se conocen como poros por aire incorporado.

Las burbujas de aire incorporado son generalmente de perfil esférico, con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0.08 a 0.10 mm. Su volumen en la unidad cubica de concreto puede ocupar hasta más del 5 % de la misma, pudiendo encontrarse en un concreto con 5 % de aire incorporado valores del orden de 330 mil burbujas de aire por centímetro cubico de pasta.

La razón principal del empleo de las burbujas de aire incorporado es que este sistema de poros el cual está muy estrechamente espaciado permite un incremento significativo de la durabilidad del concreto al crear un gran número de cámaras en las que se puede congelar el agua presente en los poros capilares, evitando que la tensión generada por la conversión de agua a hielo contribuya a agrietar en concreto.

Ventajas adicionales incluyen el que los poros de aire incorporado tienden a incrementar la trabajabilidad, plasticidad y fluidez de las mezclas; disminuyen la consistencia permitiendo la reducción de agua sin pérdida de la consistencia original; reducen la segregación del agregado; y disminuyen la exudación de las mezclas.

El principal inconveniente de la presencia de burbujas de aire en la mezcla de concreto es que éstas, al incrementar la porosidad, tienden a disminuir las resistencias mecánicas en un 5 % por cada 1 % de aire incorporado. Esta disminución es más significativa en las mezclas ricas y tiende a disminuir conforme la mezcla es más pobre, ello principalmente debido a que al mejorar las propiedades al estado fresco permiten una reducción en el contenido de agua con la consiguiente reducción en la relación agua-cemento (1).

- **Poros capilares:**

“Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel” (1).

El gel solo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto, si la relación agua-cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y solo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuido al azar a través de la pasta. En la pasta en proceso de formación los espacios llenos de agua son continuos. Conforme progresa la hidratación los capilares son separados por el gel al comenzar a ocupar éste los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua-cemento bajas. En la práctica nunca se llega a un sistema totalmente discontinuo aún en relaciones agua-cemento tan bajas como 0.45.

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

- a. Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- b. Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
- c. Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre concreto.

Este último punto es de gran importancia dado que los poros capilares son los principales responsables de la vulnerabilidad de la pasta al ataque de las heladas debido a que están en capacidad de contener agua que pueden congelarse. Esta agua al pasar al estado sólido debido a las bajas temperaturas incrementa su volumen en un 9 %, originando esfuerzos de

tensión que el concreto no está en capacidad de soportar, aumentando con ello la capacidad de deterioro del mismo (1).

- **Poros gel:**

“Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel” (1).

Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua-cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28 % de la misma.

Los poros gel tienen un diámetro muy pequeño, del orden de aproximadamente 0.0000010 mm, equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro el agua no congela en ellos. Estos poros no están interconectados.

La imposibilidad que tiene el agua para congelar en los poros gel es debida, fundamentalmente, a que no hay espacio suficiente para que se pueda producir la nuclearización del hielo. Las partículas que conforman el gel son cuatro o cinco veces mayores que los poros gel (1).

- **Importancia de la porosidad:**

El agua presente en los poros gel esta tan firmemente unida que no se evaporara bajo condiciones de secado que eliminarían casi toda el agua de los poros mayores. Esta agua puede ser considerada para efectos prácticos como agua químicamente combinada.

En el caso de los poros por aire atrapado, estos tienen tan baja propensión a retener agua que pueden considerarse virtualmente vacíos.

Los poros de aire incorporado, cuyo rango de diámetros esta entre el de los poros capilares y el de los poros gel, no retienen agua ni están interconectados, pudiéndoseles considerar como virtualmente vacíos.

El contenido de agua de los poros capilares se incrementa o disminuye por humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más

fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro. La porosidad característica de gel, nominalmente no inferior al 28 %, es el límite inferior de la porosidad total que puede ser alcanzada por la pasta en aquellos casos en que, gracias a una adecuada combinación de una relación agua-cemento inicial muy baja y un curado prolongado, la porosidad capilar podría ser reducida a un mínimo. En la práctica la porosidad de la pasta es siempre mayor al 28 %, variando en un buen concreto entre 30 % y 40 %, con lo que la permeabilidad de tales pastas generalmente será la del gel en sí mismo.

Adicionalmente deberá tenerse en consideración que en el proceso de secado del concreto endurecido, los poros mayores que contienen agua tenderán a vaciarse más rápidamente que los menores. En cambio, en el proceso de humedecimiento de un concreto seco, la alta capilaridad de los poros muy pequeños produce una gran fuerza de impulso para el movimiento de agua, el mismo que trata de ser impedido por la baja permeabilidad del sistema adyacente compuesto de poros muy pequeños, dando como resultado que los poros menores tiendan a llenarse muy lentamente.

Los macroporos tienen muy pequeña capilaridad y, por tanto, dan origen a una fuerza de impulso para el movimiento del agua. Adicionalmente, como suelen estar rodeados de un sistema poroso de permeabilidad restringida, ello se une a lo anterior para reducir la velocidad de movimiento del agua en los macroporos, excepto aquellos que se encuentran muy cerca de la superficie.

Finalmente, es importante indicar que los macroporos de un elemento de concreto, incluyendo los poros por aire incorporado, permanecen sin llenarse aun en los concretos sumergidos en agua. Los poros de tamaño intermedio tienden a llenarse más fácilmente que los poros de diámetro muy pequeño (1).

### **2.3.2.5. Propiedades del concreto:**

“En este análisis es importante [...] [recordar] que el concreto, como cualquier otro material, puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada” (1).

[...] las propiedades del concreto [...] están íntimamente asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y que la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta. [...]

Las propiedades más importantes del concreto al estado no endurecido incluyen la trabajabilidad, consistencia, fluidez, cohesividad, contenido de aire, segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación, y peso unitario. Las propiedades más importantes del concreto al estado endurecido incluyen las resistencias mecánicas, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la cavitación, propiedades térmicas y acústicas, y apariencia [...].

Los factores en la variación de la calidad se pueden deber a muchos factores, entre ellos pueden ser variación en los materiales en el proceso de producción del concreto, en el control de calidad, entre otros; que son responsabilidad directa del descuido humano, ya sea por parte del personal de construcción o de una mala supervisión (1).

### **2.3.2.6. Ventajas y limitaciones del concreto:**

Las principales ventajas del concreto como material de construcción son:

- a. Su versatilidad, la cual permite obtener las formas que el proyectista desee.
- b. La posibilidad de fabricarlo en obra, como unidades vaciadas en sitio; o fuera de ella como unidades prefabricadas.
- c. El empleo de materiales locales, especialmente agregados y agua.

- d. Su bajo costo por unidad cubica si se compara con el de otros materiales (23).

Entre las principales desventajas del concreto se encuentran:

- a. Su baja resistencia a los esfuerzos de tensión, lo que obliga al empleo de acero de refuerzo.
- b. Su permeabilidad, debida a la presencia de poros capilares en la pasta.
- c. Sus cambios de volumen y longitud debidos a procesos de humedecimiento y secado. El concreto se contrae al secarse y se expande al humedecerse, con la consiguiente posibilidad de agrietamiento.
- d. Sus cambios de longitud debidos a que el concreto se expande con el calor y tiende a contraerse al enfriarse, con la consiguiente posibilidad de agrietamiento (1).

### **2.3.3. CLINKER PORTLAND:**

El Clinker es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal, tal como las calizas, una fuente de sílice y alúmina, como las arcillas, y una fuente de óxido de hierro, tal como el mineral de hierro. Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una temperatura suficientemente alta, alrededor de los 1500C., a fin que se produzcan las reacciones entre los componentes del cemento. El producto obtenido del horno es conocido como Clinker de cemento portland. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (yeso) para formar el cemento portland (1).

### **2.3.4. CEMENTO:**

“El cemento es el componente más activo del concreto y, generalmente, tiene el mayor costo. [...] depende de la cantidad y la calidad de sus componentes para su selección y obtener en forma económica las propiedades deseadas en la mezcla” (1).

Algunos de los cementos disponibles proporcionan niveles más altos para determinadas propiedades que aquellos exigidos por las especificaciones de la obra, por lo que siempre debe indicarse en estas los requisitos exigidos para el cemento [...] (1).

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland que cumplen con los requisitos que especifica la Norma ASTM C 150 [y las Normas Técnicas Peruanas NTP 334.001 y NTP 334.009]; o cementos combinados, que cumplen con lo indicado en la Norma ASTM C 595 [y las Normas Técnicas Peruanas NTP 334.001 y NTP 334.090] (1).

#### **2.3.4.1. Definición del cemento:**

“Son materiales pulverizados que al mezclarse con el agua forman una pasta conglomerante que puede endurecerse bajo el agua, como al aire y formar compuestos estables [...]” (1).

#### **2.3.4.2. Cemento Portland:**

“Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker de portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda” (25) (26).

#### **2.3.4.3. Tipos de cemento:**

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de las siguientes normas:

- Los cementos Portland normal Tipo I, II, o V respectivamente con las normas ITINTEC [Ahora llamada norma NTP (Norma Técnica Peruana)] 334.009; 334.038; o 334.040; o con las Norma ASTM C 150.
- Los cementos Portland puzolánicos Tipo IP y IPM deberán cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC [Ahora llamada norma NTP (Norma Técnica Peruana)] 334.044; o con la Norma ASTM C 595 (15).

Los tipos de cementos Portland establecidos [...], están clasificados de acuerdo a sus propiedades específicas.

- Tipo I: Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier tipo;
- Tipo II: Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación;
- Tipo III: Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales;
- Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación;
- Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos (26).

#### **2.3.4.4. Materias primas del cemento:**

“El Clinker está constituido por diversas mezclas de materias primas de naturaleza caliza y arcillosa. Las calizas, componen las principales materias primas] para la fabricación del cemento portland” (1).

Al lado de este grupo se sitúa el de las materias primas auxiliares o de corrección, que pueden ser naturales o artificiales. Ellas aportan uno o varios de los componentes en que las materias primas puedan escasear. Estos componentes son, en general, los de tipo ácido, también llamados factores hidráulicos e incluyen el anhídrido silicoso, el óxido de alúmina y el óxido férrico.

Cuantitativamente el componente más importante del cemento es la cal, siguiéndola a gran distancia la sílice, a esta la alúmina y finalmente el óxido de hierro [...] (1).

Sílice (anhídrido silícico) .....	SiO <sub>2</sub>
Cal (óxido cálcico) .....	CaO
Alúmina (óxido alúmino) .....	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Óxido Férrico.....	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

El siguiente cuadro da una idea de la composición de óxidos en el cemento:

Tabla 2: Óxidos en el cemento.

<b>CaO</b>	60% al 67%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	17% al 25%
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3% al 8%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.5% al 6%

Fuente: Naturaleza y materiales del concreto (pág. 34) RIVVA LOPEZ, Enrique, Lima, Perú. Capítulo Peruano ACI 2000 (1).

#### 2.3.4.5. Composición del cemento:

Luego del proceso de formación del Clinker y molienda final, se obtienen los siguientes compuestos establecidos por primera vez por Le Chatelier en 1852, y que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que se [detallará] [...] con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente [...]:

**a. Silicato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{S} \rightarrow \text{Alita}$ ):**

Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.

**b. Silicato Dicálcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{Belita}$ ):**

Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.

**c. Aluminato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$ ):**

Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3% - 6%) para controlarlo.

Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce Sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por lo que hay que limitar su contenido.

**d. Aluminato-Ferrito Tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF} \rightarrow \text{Celita}$ ):**

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación (24).

El porcentaje relativo de los cuatro compuestos principales norma las propiedades del cemento portland. Dicho porcentaje depende de la proporción relativa entre la cal y los componentes ácidos – sílice, alúmina y óxido férrico – también conocidos como factores hidráulicos.

**Tabla 3: Porcentajes límites de compuestos en el cemento**

<b>C3S - Silicato Tricálcico</b>	30 % a 60 %
<b>C2S - Silicato Dicálcico</b>	15 % a 37 %
<b>C3A - Aluminato Tricálcico</b>	7 % a 15 %
<b>C4AF - Aluminato-Ferrito Tetracálcico</b>	8 % a 10 %

Fuente: Naturaleza y materiales del concreto (pág. 50) RIVVA LOPEZ, Enrique, Lima, Perú. Capítulo Peruano ACI 2000 (1).

**e. Óxido de Magnesio (MgO):**

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

**f. Óxido de Potasio y Sodio ( $\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{Álcalis}$ ):**

Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.

**g. Oxido de Magnesio y Titanio (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,TiO<sub>2</sub>):**

El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo. [...]

El segundo influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores, no tiene mayor trascendencia.

De los compuestos mencionados, los silicatos y aluminatos constituyen los componentes mayores, pero no necesariamente los más trascendentes, [...] algunos de los componentes menores tienen mucha importancia para ciertas condiciones de uso de los cementos (24).

### **2.3.5. AGUA:**

#### **2.3.5.1. Agua potable:**

“Agua que es apta para el consumo humano” (27).

“El agua empleada en el mezclado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el concreto o el refuerzo [...]” (7).

Casi cualquier agua natural que se pueda beber (potable) y que no tiene un sabor u olor marcado, puede utilizarse como agua de mezclado en la elaboración de concreto. [...] Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

Las sales u otras sustancias nocivas que provengan del agregado o de los aditivos, deben sumarse a la cantidad que puede contener el agua de mezclado. Estas cantidades adicionales deben tomarse en consideración al hacer la evaluación respecto a la aceptabilidad del total de impurezas que pueda resultar nocivo, tanto para el concreto como para el acero (7).

“Se permitirá el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin ensayarla para evaluar su conformidad con los requisitos de esta NTP [...]” (27).

**Figura 12: Guía para la frecuencia de ensayo con relación a la fuente de agua.**

Fuentes de Agua	Densidad del agua combinada (g/mL)	Frecuencia de ensayo		
		Densidad, ASTM C 1603	TABLA 1	TABLA 2
Potable	N/A	N/A	N/A	N/A
No Potable <sup>A</sup>  De la producción de Concreto <sup>A</sup>	N/A	N/A	Cada 3 meses; después de 4 ensayos anualmente (6.1.1)	6 meses (6.1.2)
	< 1,01	Diariamente (6.2.1)	Cada 6 meses; después de 2 ensayos anualmente (6.2.2.1)	6 meses (6.2.3)
	1,01 – 1,03	Diariamente (6.2.1)	Mensualmente; después de 4 ensayos cada 3 meses (6.2.2.2)	6 meses (6.2.3)
	> 1,03	Diariamente (6.2.1)	Semanalmente; después de 8 ensayos mensualmente (6.2.2.3)	6 meses (6.2.3)

<sup>A</sup> La frecuencia de ensayo se aplica al agua de mezcla combinada cuando está total o parcialmente compuesta de las fuentes listadas como está definido en el Capítulo 4.  
N/A: No aplicable.

**Fuente: HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos - NTP 339.088. (27).**

### 2.3.5.2. Requisitos de calidad:

[...] No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. A continuación se presenta, en partes por millón, los valores aceptados como máximos para el agua utilizada en el concreto: (1).

**Tabla 4: Límites permisibles para sales y sustancias en el agua.**

Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

**Fuente: RIVVA LOPEZ, Enrique. Naturaleza y Materiales del Concreto. Primera Edición. Lima, Perú : Capítulo Peruano ACI, 2000 (1).**

### **2.3.5.3. Agua de las operaciones de producción de concreto:**

Agua recuperada de los procesos de producción de concreto de cemento Portland que incluye el agua de lavado del camión mezclador (mixer) o la que fue parte de una mezcla de concreto; agua de lluvia colectada en un recipiente en una planta de producción de concreto; o agua que contiene cantidades de los ingredientes del concreto (27).

### **2.3.6. RELACIÓN AGUA – CEMENTO**

El agua que se coloca en la mezcla es, por razones de trabajabilidad, siempre mayor que aquella que se requiere por hidratación del cemento; siendo esta última conocida como agua de consistencia normal y estando su valor en el orden del 28% en peso del cemento.

Por la razón expuesta, las pastas que tienen alta relación agua-cemento contienen más agua que no interviene en el proceso de hidratación, o agua libre, que aquellas que tienen baja relación agua-cemento [...] (1).

De acuerdo a la teoría de Abrams, para un conjunto dado de materiales y condiciones, la resistencia del concreto esta principalmente determinada por la cantidad neta de agua empleada por unidad de cemento. Esta agua neta excluye aquella absorbida por los agregados. Así, de acuerdo a la escuela de Abrams, el factor que influye en forma determinante sobre la resistencia del concreto es la relación agua-cemento de la mezcla, siendo mayores la resistencia conforme dicha relación se hace menor (15).

**Tabla 5: Relación agua/cemento vs f 'c**

f'c a 28 Días ( Kg/cm2 )	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.42	---
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

**Fuente: Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. (pag.179) NORMA TÉCNICA PERUANA - NTP 339.088. (24).**

### **2.3.7. EL AGUA DE MEZCLA:**

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo,
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse (24).

### **2.3.8. AGREGADOS:**

#### **2.3.8.1. Definición:**

“Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente” (24).

“[...] conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados [...]” (1).

Ocupan alrededor de las 3/4 partes del volumen total [...] luego la calidad de estos tiene una importancia primordial en el producto final.

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad etc. [...] (24).

La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente, así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total entre las partículas, de manera que las más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto esté unido por la pasta de cemento [...] (24).

“Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o morteros hidráulicos” (7).

#### **2.3.8.2. Clasificación:**

“El agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral” (23).

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8” y queda retenido en el tamiz N° 200. El más usual de los

agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas (23).

También, se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por la trituración artificial de rocas y gravas (23).

Se define como hormigón, o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal como se le extrae de la cantera (1).

### **2.3.8.3. Funciones:**

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- a. Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica del concreto.
- b. Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta (1).

#### **2.3.8.4. Características Propiedades:**

##### **a. Peso unitario:**

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

[...] [Es el] acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen.

En este último caso hay que tener en cuenta que estas conversiones asumen que el material en estado natural tiene el peso unitario obtenido en la prueba estándar, lo cual no es cierto por las características de compactación indicadas. Algunas personas aplican el mismo ensayo, pero sin compactar el agregado para determinar el "peso unitario suelto", sin embargo, este valor tampoco es necesariamente el del material en cancha, por lo que se introducen también errores al hacer conversiones de diseños en peso a volumen.

La mejor recomendación para reducir el error aludido, es hacer por lo menos 5 determinaciones de peso unitario suelto en porciones de muestras de agregados que representen varios niveles de las pilas de almacenaje para reflejar las probables variaciones por segregación.

El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1,500 y 1,700 kg/m<sup>3</sup> (24).

##### **b. Humedad:**

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado.

Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones

adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas.

La humedad se expresa de la siguiente manera [...] (24).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

**c. Granulometría:**

**GRADACIÓN**

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas que [...] tiene suma importancia en el concreto.

Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM # 4).

Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo (24).

**d. Peso Específico:**

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. [...]

Hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos.

Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m<sup>3</sup> (24).

**e. Densidad.**

Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con  $G_e = 2.5$  a  $2.75$ , ligeros con  $G_e < 2.5$  y pesados con  $G_e > 2.75$ . Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso (24).

**f. Absorción**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado.

Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

Las normas ASTM C-127 y 128 [...] establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula: (24).

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S.} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}}$$

**2.3.9. ADITIVO:**

“Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades” (7).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente es una investigación que utiliza un método científico, es decir; clarifica las relaciones entre variables que afectan un fenómeno bajo estudio.

De enfoque cuantitativo - cualitativo, ya que se trabajará con magnitudes numéricas capaces de ser contabilizadas y analizadas estadísticamente y a la vez utiliza la recolección y análisis de datos.

##### **3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Es de tipo aplicada, ya que se busca resolver problemas con la aplicación de conocimientos.

##### **3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN:**

Es experimental, ya que se manipula, al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes.

##### **3.1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

Este estudio partió de tres investigadores que trabajaron sobre el mismo concreto Premezclado de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , para lo cual en el primero se buscó controlar las fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos con la adición de fibra de

Agave Americana L. En el segundo caso, se investigó acerca del comportamiento del concreto con respecto a las propiedades en estado fresco con adición de fibra de Agave Americana L. Y, por último, la presente investigación se centra específicamente en el estudio de las propiedades de resistencia del concreto en estado endurecido a solicitudes axiales de compresión y tracción con adición de fibras de Agave Americana L., siendo el complemento de las anteriores investigaciones.

### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación será de tipo experimental debido a que:

Se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control [...] (28).

Por lo tanto, las variables son las siguientes:

**M<sub>1</sub>** = Mezcla de Concreto tradicional

**M<sub>2</sub>** = Mezcla de Concreto tradicional

**M<sub>3</sub>** = Mezcla de Concreto tradicional

**M<sub>4</sub>** = Mezcla de Concreto tradicional

**X<sub>1</sub>** = Sin variable experimental (0 % de adición de fibra).

**X<sub>2</sub>** = Variable experimental (Adición de fibra al 0.5 % con relación al volumen del concreto).

**X<sub>3</sub>** = Variable experimental (Adición de fibra al 0.75 % con relación al volumen del concreto).

**X<sub>4</sub>** = Variable experimental (Adición de fibra al 1.0 % con relación al volumen del concreto).

**O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y O<sub>4</sub>** = Observación de la variación de la resistencia del concreto.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. UNIVERSO**

Todos los elementos de concreto como pueden ser vigas, viguetas, columnas, losas, etc.; reforzados con fibras naturales de origen vegetal.

#### **3.3.2. POBLACIÓN**

La población está compuesta por:

- Probetas de 4" x 8" pulgadas (100 mm x 200 mm) de concreto reforzado con fibra de Agave Americana L. (fibra natural de origen vegetal) con dosificación de 0.0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% con relación al volumen del concreto, para ensayos a compresión y; vigas de 6" x 6" x 20" pulgadas (150 mm x 150 mm x 530 mm) de concreto reforzado con fibra de Agave Americana L. con dosificación de 0.0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% con relación al volumen del concreto, para ensayos a tracción.

#### **3.3.3. MUESTRA**

El ACI recomienda que el muestreo debe "consistir al menos de 30 ensayos consecutivos, o de dos grupos de ensayos consecutivos totalizando al menos 30 ensayos [...]" (7).

Y según la Norma Técnica Peruana 339.183, "El número de especímenes y el número de tandas de prueba dependerán del ensayo establecido y la naturaleza del programa de ensayos. [...] usualmente tres o más especímenes deberán ser moldeados para cada edad y condiciones de prueba [...]. Un número igual de especímenes se deberá hacer para cada variable en cualquier día dado [...]" (29).

"Las edades de ensayo generalmente son 7 días y 28 días para la resistencia a la compresión, o 14 y 28 días para la resistencia a la flexión [tracción por flexión] [...]" (29).

- Por lo tanto, de acuerdo a la NORMA TECNICA PERUANA 339.183, para la elaboración de especímenes de 4" x 8" se necesitarán realizar 3 muestras por cada variable (adición de fibra) y por cada día de rotura, siendo las siguientes cantidades:

**Tabla 6: Cantidad de testigos cilíndricos.**

ESPECÍMENES CILÍNDRICOS		DÍAS DE ROTURA			
		07	14	21	28
Número de Testigos	PATRÓN	03	03	03	03
	0,50%	03	03	03	03
	0,75%	03	03	03	03
	1,00%	03	03	03	03
TOTAL DE ESPECÍMENES (UND)		12	12	12	12
		<b>48</b>			

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las vigas de 6" x 6" x 20" se necesitarán realizar 3 muestras por cada adición de fibra y por cada día de rotura, siendo las siguientes:

**Tabla 7: Cantidad de testigos prismáticos**

ESPECÍMENES PRISMÁTICOS		DÍAS DE ROTURA		
		14	28	42
Número de Testigos	PATRÓN	03	03	03
	0,50%	03	03	03
	0,75%	03	03	03
	1,00%	03	03	03
TOTAL DE ESPECÍMENES (UND)		12	12	12
		<b>36</b>		

Fuente: Elaboración propia

En total se elaborarán 48 muestras para testigos de probetas de 4 pulg. x 8 pulg. y 36 muestras para vigas de 6 pulg. x 6 pulg x 20 pulg.

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.4.1. TÉCNICAS:

Las técnicas a emplear en la investigación serán de acuerdo a las normas NTP (Normas Técnicas Peruanas) en las que indican los diversos procedimientos de ensayos con parámetros de diseño y datos, necesarios para la ejecución de la investigación.

#### 3.4.2. INSTRUMENTOS:

- Ficha de toma de datos para la resistencia del concreto con adición de fibra a la compresión.
- Ficha de toma de datos para la resistencia de concreto con adición de fibra a la tracción.
- Vernier.
- Prensa de rotura de concreto.

### 3.5. PROCEDIMIENTO:

#### 3.5.1. ELABORACIÓN DEL CONCRETO:

Los especímenes fueron elaborados con concreto premezclado que fue provisto por la empresa concretera UNICON S.A.C. – Huancayo.

El concreto deberá ser diseñado para una resistencia de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , cemento Portland Tipo I, con un Slump de 6" (pulg).

**Tabla 8: Especificaciones del concreto premezclado. (ANEXO A)**

CARACTERÍSTICAS	DISEÑO	UNIDADES
Resistencia ( $f'c$ )	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , con aire incorporado	$\text{kg/cm}^2$
Agua/Cemento	0,56	-
Tipo de Cemento	I	-
Agregado Fino	53	%
Agregado Grueso (HUSO 67)	47	%
Peso Unitario	2253	$\text{kg/cm}^3$
Slump	6"	Pulg.

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa Unicon S.A.C.**

**Tabla 9: Tolerancia del concreto.**

PROPIEDAD	TOLERANCIAS
	Slump de diseño > 4"
Slump (Pulg.)	± 1 1/2" (ASTM C-94)
Agua/Cemento	± 0,02
Tiempo de vida útil comercial por pérdida de trabajabilidad.	2,5

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa Unicon S.A.C.**

**Tabla 10: Características de los insumos.**

INSUMO	PROCEDENCIA	ESPECIFICACIÓN
Agregado fino	CANTERA COPROSA	ASTM C 33
Agregado grueso / Huso 67 ASTM	CANTERA COPROSA	ASTM C 33
Cemento Tipo I	Cemento Andino - UNACEM	ASTM C 150
Master Set R 770	BASF PERU	ASTM C 494 Tipo B y D
Master Rheobuild 1000	BASF PERU	ASTM C 494 Tipo A y F
Sika Aer	SIKA PERU	ASTM C 260
Agua	RED PÚBLICA	NTP 339,088

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa Unicon S.A.C.**

### 3.5.1.1. Diseño de Mezcla:

Se elaboró un diseño de mezcla por el Método Global equivalente al adquirido de la concretera UNICON.

#### a. Características generales:

**Tabla 11: Características generales del diseño.**

CARACTERÍSTICAS	DISEÑO	UNIDADES
Resistencia (f'c)	f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup> , con aire incorporado	kg/cm <sup>2</sup>
Agua/Cemento	0,56	-
Tipo de Cemento	Andino Tipo I	-
Agregado Fino	53	%
Agregado Grueso (HUSO 67)	47	%
Peso Unitario	2253	kg/cm <sup>3</sup>
Slump	6"	Pulg.

**Fuente: Datos proporcionados por la empresa Unicon S.A.C.**

Tabla 12: Características generales de los agregados.

AGREGADOS	FINO	GRUESO
Porcentaje (%)	53	47
P.U.S. (kg/m <sup>3</sup> )	1681	1417
P.U.C. (kg/m <sup>3</sup> )	1856	1528
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2.56	2.61
Módulo de Fineza	3.26	6.5
Tamaño Máximo	-	3/4"
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"
Absorción (%)	1.88	0.95
Humedad (%)	2.38	0.3

Fuente: Datos proporcionados por la empresa Unicon S.A.C.

b. Cálculo del Contenido de aire:

Tabla 13: Contenido de aire incorporado y total.

TAMANO MÁXIMO NOMINAL	Contenido de aire total, en %		
	Exposición Suave	Exposición Moderada	Exposición Severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.0
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2.0	4.0	5.0
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1.0	3.0	4.0

Fuente: Comité ACI 211.1

Tabla 14: Contenido de aire atrapado

TAMANO MAXIMO NOMINAL	Aire Atrapado (%)
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Fuente: Comité ACI 211.1

\*\*\* El contenido de aire incorporado se determina restando del valor de la **Tabla 13** "Contenido de aire incorporado y total", el del "Aire atrapado" dado por la **Tabla 14**.

De acuerdo al Tamaño Máximo Nominal del agregado – ½”, el Contenido de aire de la Tabla 13 será de 4% y el de la Tabla 14 será 2.5%.

**CONTENIDO DE AIRE = 4.0% - 2.5%**

**Contenido de aire = 1.5 %**

**c. Contenido de agua:**

**Tabla 15: Requisitos aproximados de mezcla de contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados**

ASENTAMIENTO	Agua, en Kg/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados					
	12.5 mm (3/8 pulg.)	12.5 mm (1/2 pulg.)	19 mm (3/4 pulg.)	25 mm (1 pulg.)	37.5 mm (1-1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)
<b>Concreto sin aire incorporado</b>						
25 a 50 mm (1 a 2 pulg.)	207 (350)	199 (335)	190 (315)	179 (300)	166 (275)	154 (260)
75 a 100 mm (3 a 4 pulg.)	228 (385)	216 (365)	205 (340)	193 (325)	181 (300)	169 (285)
150 a 175 mm (6 a 7 pulg.)	243 (410)	228 (385)	216 (360)	202 (340)	190 (315)	178 (300)
Más de 175 mm (7 pulg.)*	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado, porcentaje	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
<b>Concreto con aire incorporado</b>						
25 a 50 mm (1 a 2 pulg.)	181 (305)	175 (295)	168 (280)	160 (270)	150 (250)	142 (240)
75 a 100 mm (3 a 4 pulg.)	202 (340)	193 (325)	184 (305)	175 (295)	165 (275)	157 (265)
150 a 175 mm (6 a 7 pulg.)	216 (365)	205 (345)	197 (325)	184 (310)	174 (290)	166 (280)
Más de 175 mm (7 pulg.)*	-	-	-	-	-	-
EXPOSICIÓN	Contenido de aire total promedio recomendado (porcentaje) para nivel de exposición mostrado					
LIGERA	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
MODERADA (F1 en ACI 318)	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0
SEVERA (F2 Y F3 en ACI 318)	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0

**Fuente: Comité ACI 211.1**

De acuerdo al Slump de diseño – 6”, el Contenido de agua con aire incorporado será de 205 L/m<sup>3</sup>.

**Peso del agua = 205 Kg**

**d. Relación agua – cemento:**

$$a/c = 0.56$$

$$\text{Agua} = 205 \text{ Kg}$$

$$\text{Cemento} = C$$

$$0.56 = \frac{205}{C} \rightarrow C = 366.07 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de Cemento} = 366.07 \text{ Kg}$$

**e. Peso de aditivos:**

- **Aditivo plastificante: Master Set R 770 - BASF PERU**

**Dosificación:** 220 ml – 550 ml por cada 100 kg de cemento.

**Densidad:** 1.27 gr/cm<sup>3</sup>

$$P = 0.220 \times 3.3607$$

$$P = 0.805 \text{ Kg}$$

- **Aditivo Superplastificante: MasterRheobuild 1000 - BASF PERU**

**Dosificación:** 0.8% – 2% sobre el peso del cemento.

**Densidad:** 1.200 gr/cm<sup>3</sup>

$$P = 0.8\% \times 336.07 \text{ kg}$$

$$P = 2.928 \text{ Kg}$$

- **Aditivo Incorporador de aire: Sika Aer - SIKA**

**Dosificación:** 0.02% – 0.12% del peso del cemento.

**Densidad:** 1.01 – 1.02 Kg/L

$$P = 0.02\% \times 336.07 \text{ kg}$$

$$P = 0.073 \text{ Kg}$$

**Tabla 16: Determinación del peso y volumen del aditivo**

Aditivo	Peso del cemento (Kg)	Dosificación	Peso (Kg)	Densidad (Kg/L)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Plastificante	366.071	0.02	0.073	1.010	0.00007
Superplastificante		0.80	2.929	1.200	0.0024
Incorporador de aire		0.220	0.805	1.270	0.0006
<b>Total</b>					<b>0.00315</b>

Fuente: Elaboración propia

- El aditivo reduce el agua en un 15 %.

$$\text{Peso de agua} = 205 \text{ Kg} \times 0.85 = 174.25 \text{ Kg}$$

**f. Volumen absoluto:**

**Tabla 17: Determinación del volumen absoluto**

Elemento	Peso (Kg)	Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )
Cemento	336.07	3150	0.116
Agua	174.25	1000	0.174
Aire	1.5	100	0.015
Aditivos			0.003
<b>Total</b>			<b>0.308</b>

Fuente: Elaboración propia

$$1.000 - 0.308 = \mathbf{0.692 \text{ m}^3}$$

$$\mathbf{\text{Volumen Ag. Grueso}} = 0.692 \text{ m}^3 \times 0.47 = 0.325 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{\text{Volumen Ag. Fino}} = 0.692 \text{ m}^3 \times 0.53 = 0.367 \text{ m}^3$$

**g. Peso de agregados:**

$$\mathbf{\text{Peso Ag. Grueso}} = 0.325 \text{ m}^3 \times 2610 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{848.31 \text{ Kg}}$$

$$\mathbf{\text{Peso Ag. Fino}} = 0.367 \text{ m}^3 \times 2560 \text{ Kg/m}^3 = 938.28 \text{ Kg}$$

**h. Corrección por humedad de los agregados:**

$$\mathbf{C.H = P.Ag * \left( \frac{\% w}{100} + 1 \right)}$$

Donde:

C.H. = Corrección por humedad

P. Ag = Peso del agregado (Fino o grueso)

% W = Porcentaje de humedad

**i. Aporte del agua en la mezcla:**

$$\mathbf{A.A. = Ag.S * \left( \frac{\% w - \% Abs}{100} \right)}$$

Donde:

A.A. = Aporte de agua en la mezcla

Ag. S = Peso del agregado (Fino o grueso)

% W = Porcentaje de humedad

% Abs = Porcentaje de absorción



j. Agua efectiva:

**Agua efectiva = Agua de diseño – Aporte de humedad de los agregados**

**Tabla 18: Determinación del agua efectiva, peso y volumen corregido**

Elemento	Peso (Kg)	Volumen (m3)	% Humedad	% Absorción	Peso Corregido (Kg)	Volumen Corregido (m3)
Cemento	366.071	0.116			366.071	0.116
Agua	174.250	0.174	24.876	25.699	175.073	0.175
Aire	0.000	0.015			0.000	0.015
Ag. Grueso	848.308	0.325	2.545	8.059	850.853	0.326
Ag. Fino	938.277	0.367	22.331	17.640	960.608	0.375
Plastificante	0.073	0.00007			0.073	0.00007
Superplastificante	2.929	0.00244			2.929	0.00244
Incorporador de aire	0.805	0.00063			0.805	0.001

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19: Proporcionamiento por peso y por tanda**

Elemento	Proporción en peso (Kg)	Peso por tanda de una bolsa (Kg)
Cemento	1	42.50
Agua	20.33	20.33
Aire	0.00	0
Ag. Grueso	2.32	98.78
Ag. Fino	2.62	111.52
Plastificante	0.0002	0.01
Superplastificante	0.0080	0.34
Incorporador de aire	0.0022	0.09

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. PREPARACIÓN DE LA FIBRA:

#### 3.5.2.1. Obtención de la fibra:

Para la obtención de la fibra de Agave Americana L. se contó con la ayuda de un poblador de la localidad de Mito, Provincia de Concepción, ubicada

a 30 minutos de la ciudad de Huancayo; quien extrajo las hojas de la planta de Maguey (Agave Americana L.).

Posteriormente las hojas se pusieron a secar al aire libre para luego ser trasladadas al Laboratorio de Pavimentos, Suelos y Concreto de la Universidad Continental, para realizar los ensayos correspondientes.

Ya en el laboratorio se procedió a cortar las fibras en longitudes de 30 cm aproximadamente para retirar la pulpa y separar las fibras de esta.

Se lavaron las fibras con agua potable y se pusieron a secar.

### **3.5.2.2. Longitud de la Fibra:**

“La longitud de las fibras puede variar de 1 a 20 pulgadas (25 a 500 mm). Debido a que las fibras son materiales naturales, no son uniformes en diámetro y longitud. Los valores típicos de diámetro para las fibras naturales sin procesar varían de 0,004 a 0,03 pulg. (0,10 a 0,75 mm)” (8).

La fibra de Maguey tiene aproximadamente una longitud de 40 cm por lo que se corta las fibras en 50 mm aproximadamente para la aplicación en el concreto, de acuerdo a Castro y Naaman.

**Figura 13: Proceso de separación de la fibra.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 14: Fibra de 5 cm medido con vernier.**



**Fuente: Elaboración propia**

### **3.5.2.3. Diámetro de la Fibra:**

Para determinar el diámetro de la fibra se observaron 100 muestras de fibras aleatorias con la ayuda de un microscopio, el cual dió una medida de 0.10 mm de diámetro aproximadamente.

**Figura 15: Fibra de Agave Americana L. vista con microscopio.**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 3.5.2.4. Absorción de la Fibra:

- Para la obtención de la absorción se pesaron 3 muestras de 5 gr de fibras secas de 5 cm de longitud y seguidamente se sumergieron en agua destilada durante 24 horas.
- Transcurrido dicho tiempo se procedió a retirar las muestras del agua, se escurrieron y secaron con papel toalla para que puedan absorber el agua superficial. No se generó presión, ni se exprimieron las fibras para evitar el retiro del agua de sus poros internos.
- Luego de este proceso las fibras quedaron en un estado de “Saturación superficialmente seco”.
- Seguidamente se procedió a pesar las fibras “saturadas superficialmente secas” y se pusieron a secar al horno o estufa de secado a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas.
- Finalmente se pesaron las fibras secas, para poder determinar el contenido de agua absorbida.

Formula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_{\text{SSS}} - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

$W_{\text{SSS}}$  : **Peso de la fibra saturada superficialmente seca.**

$W_s$  : **Peso de la fibra seca.**

**Figura 16: Muestras de fibra sumergidas en agua durante 24 horas.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 17: Muestra de fibra para secar en horno.**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **3.5.2.5. Porosidad de la Fibra:**

Las fibras naturales tienen la propiedad de absorber de manera muy rápida el agua y esto se pudo comprobar mediante la observación de la fibra de maguey (Agave Americana L.) al ser sumergida en agua.

Se puede afirmar que las fibras de Maguey tienen una alta absorción debido a la acción capilar que ocurre por la porosidad de la fibra, ya que se necesita poco tiempo para que esta se sature completamente (30).

“Existen algunas diferencias en el porcentaje de absorción de agua de las fibras de la familia del agave, mientras que la lechuguilla absorbe el 98 % con respecto a su peso seco, el maguey absorbe solo el 69 %” (30).

#### **3.5.2.6. Densidad absoluta de la Fibra:**

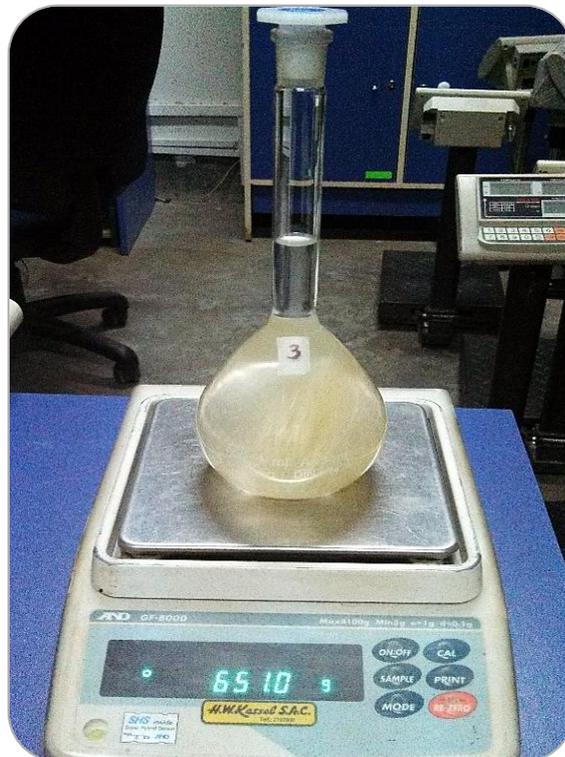
- Se mide como la relación entre peso y volumen, utilizando un matraz, en el cual también se mide el desplazamiento del volumen de agua.
- Se determina el peso de un matraz, se le agrega agua hasta el aforo y se determina el peso de ambos.
- Luego se elimina el agua del matraz y se seca por dentro y por fuera para trabajar con las fibras. (este procedimiento también se puede realizar después de determinar el peso de las fibras saturadas superficialmente secas con agua).
- Las fibras saturadas superficialmente secas se introducen en el matraz y se pesan.
- Posteriormente se agrega agua hasta el aforo del matraz y se pesan estos tres elementos: el agua, el matraz y la fibra saturada superficialmente seca.

**Figura 18: Peso de matraz con agua.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 19: Peso del matraz + fibra + agua.**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.2.7. Durabilidad de la Fibra:

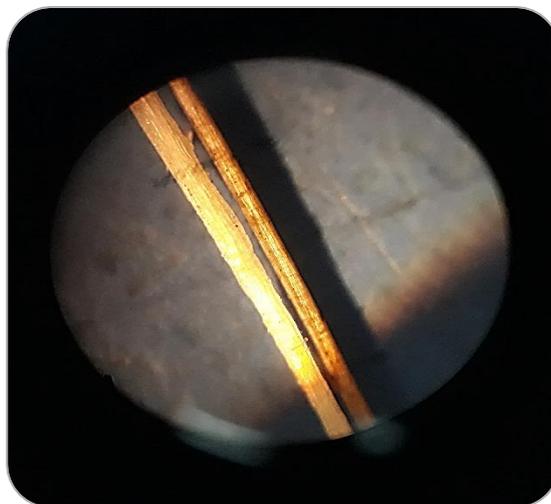
De acuerdo a lo recomendado por Juárez (30), la fibra tratada con parafina es la mejor opción para evitar la absorción del agua del concreto, ya que, este agente protector al enfriarse junto con la fibra se solidifica y sella parcialmente la porosidad de la fibra y la capa que se forma sobre la fibra parece actuar como repelente al agua, evitando así la saturación completa de la misma.

**Figura 20: Proceso de fundición de la parafina.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 21: Vista microscópica de fibra de maguey con y sin parafina.**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2.8. Análisis químico de la Fibra:

Se realizó una evaluación del pH (medida de acidez o alcalinidad de una disolución) de la fibra de Agave Americana L. y cómo actúa frente al tipo de cemento utilizado en la mezcla (Cemento Andino Tipo I). Se determinó que, al agregar la fibra de Maguey a la mezcla, esta no afecta en la alcalinidad del concreto que se encuentra en un rango de pH de 12 a 13 unidades, siendo el resultado de la fibra de Maguey con la mezcla de 12,77 pH, por lo que se encuentra dentro del rango de alcalinidad ideal del concreto.

**Figura 22: Medición de pH de pasta con fibra de maguey combinada con parafina.**



**Fuente: Elaboración propia**

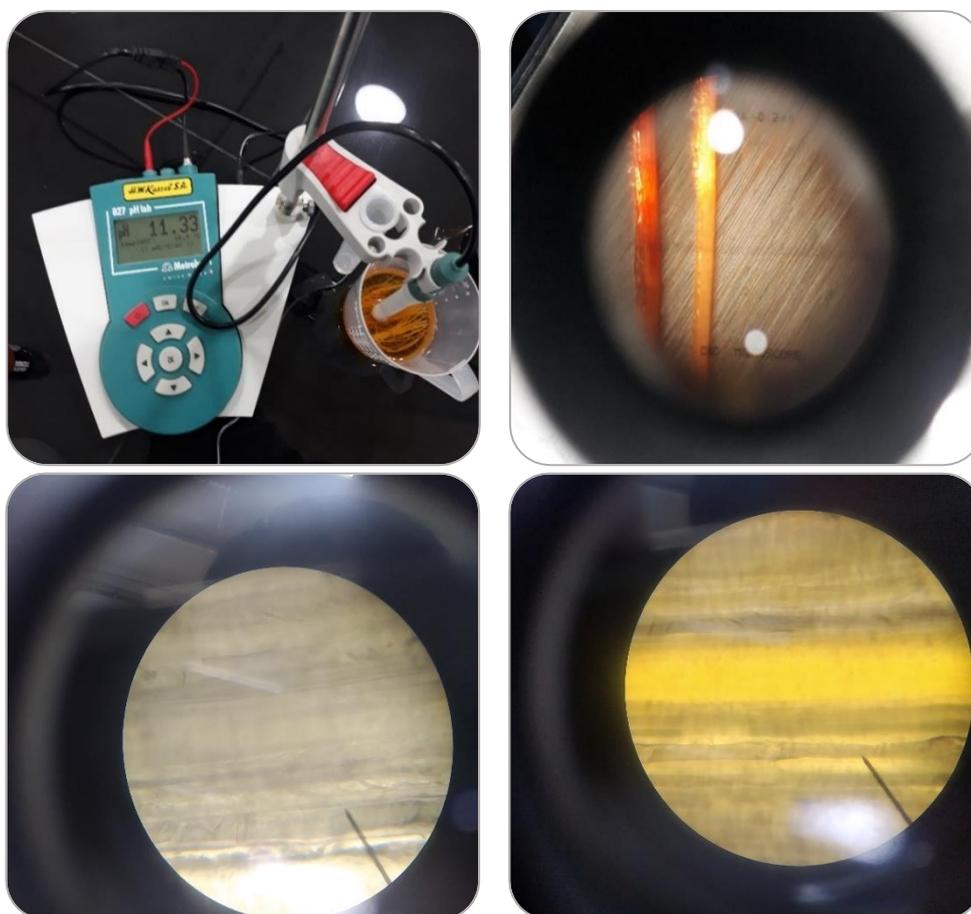
Así también, se experimentó cual es la reacción de la fibra de Agave Americana L. en los aditivos utilizados en el concreto premezclado (aditivo incorporador de aire, aditivo plastificante y aditivo Superplastificante). Para esto se utilizaron las fibras en estado natural y las fibras tratadas con parafina (ambas remojadas durante 24 horas), para luego medir su nivel de pH y observarlas microscópicamente y así determinar el comportamiento de las mismas ante estos aditivos.

Tabla 20: Medida del pH y comportamiento con aditivos de la fibra natural y parafinada.

Aditivo	Nivel de pH	Nivel de pH con fibra	Nivel de pH con fibra parafinada
Plastificante	6.25	6.21	6.26
Superplastificante	6.69	6.71	6.73
Incorporador de aire	11.86	11.09	11.33

Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Medida de pH del aditivo con fibra y vista microscópica de la fibra.



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2.9. Dosificación de la Fibra:

Después de aprobar la mezcla de concreto se procedió a adicionar la fibra de Agave Americana L. en proporciones de 0.0 %, 0.5 %, 0.75 % y 1.0 % con respecto al volumen total de concreto (dosificaciones de mayor eficacia demostrada respecto a resistencia a la flexión).

Tabla 21: Dosificación de fibra en mezclas de concreto convencional.

Mezcla de concreto	Dosificación de la fibra	Dosificación en peso para un 1 m <sup>3</sup> de mezcla de concreto	Diferencia
M <sub>1</sub>	0,00%	0 Kg	0 Kg
M <sub>2</sub>	0,50%	4.13 Kg	4.13 Kg
M <sub>3</sub>	0,75%	6.19 Kg	2.06 Kg
M <sub>4</sub>	1,00%	8.25 Kg	2.06 Kg

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES:

- **Lugar de moldeo:**

Moldear los especímenes tan cerca como sea posible del lugar donde se almacenarán las primeras 24 horas. Colocar los moldes sobre una superficie rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. Evitar todo tipo de choque, golpe o inclinación de la superficie de las probetas mientras se mueven los especímenes al lugar de almacenamiento (29).

Figura 24: Lugar de moldeo de testigos.



Fuente: Elaboración propia

- **Moldeo:**

Colocar el hormigón (concreto) en los moldes utilizando un cucharón o lampa. Obtener cada cucharón o lampa colmada de hormigón (concreto) del recipiente de mezcla de tal manera que asegure que sea representativo de la tanda. Puede ser necesario remezclar el hormigón (concreto) en el recipiente con lampa o cucharón para prevenir la segregación durante el moldeo de los especímenes. Mover el cucharón o lampa alrededor del borde superior del molde mientras el hormigón (concreto) es descargado con el fin de asegurar una distribución simétrica del hormigón (concreto) y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Además, se deberá distribuir bien el hormigón (concreto) con el uso de la varilla compactadora antes de que este sea consolidado. En la capa final el operador deberá añadir una cantidad de hormigón (concreto) que llene exactamente el molde después de la compactación. [...] (29).

**Tabla 22: Número de capas requeridas por espécimen.**

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de Consolidación	Número de capas de aproximadamente igual profundidad
Cilindros: Diámetro en mm (pulg)		
75 a 100 (3 o 4)	varillado	2
150 (6)	varillado	3
225 (9)	varillado	4
hasta de 225 (9)	vibrado	2
Prismas y cilindros horizontales para escurrimiento plástico: Profundidad en mm (pulg)		
hasta 200 (8)	varillado	2
más de 200 (8)	varillado	3 o más
hasta 200 (8)	vibrado	1
más de 200 (8)	vibrado	2 o más

**Fuente: HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio - NTP 339.183. (29)**

- Para la elaboración de los especímenes cilíndricos de 100 mm o 4 pulg de diámetro, se realizó el modo de consolidación por varillado y 2 capas de igual profundidad.

- Para los especímenes prismáticos o vigas de 150 mm o 6 pulg de profundidad, se realizó el modo de consolidación por varillado con 2 capas de igual profundidad.

**Figura 25: Elaboración de testigos de concreto en dos capas.**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **3.5.4. CONSOLIDACIÓN:**

- **Métodos de consolidación:**

Para la preparación satisfactoria de los especímenes se podrá disponer de tres métodos de consolidación; estos son varillado y vibración interna o externa. La selección del método está indicada en las especificaciones particulares para el trabajo que se esté desarrollando. Varillar el hormigón (concreto) con asentamiento mayor de 75 mm (3 pulg). Varillar o vibrar hormigón (concreto) con asentamiento entre 25 mm a 75 mm (entre 1 pulg a 3 pulg). Se utilizará el método de vibración para hormigón (concreto con asentamiento menor de 25 mm (1 pulg) [...]. No usar vibración interna para cilindros menores de 100 mm (4 pulg) de diámetro, y para vigas o prismas menores de 100 mm (4 pulg) de ancho o profundidad (29).

- **Varillado:**

Colocar el hormigón (concreto) en el molde, en el número de capas requerido de aproximadamente igual volumen. Varillar cada capa con el extremo redondeado de la varilla usando el número de golpes y tamaño de la varilla [...]. Varillar la capa inferior en toda su profundidad. Distribuir los golpes uniformemente sobre la sección del molde y para cada superior permita que la varilla penetre a través de la capa que está siendo varillada dentro de la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 pulg). Después de que cada capa es varillada, golpear los lados del molde suavemente de 10 a 15 veces con el martillo de goma para cerrar cualquier espacio vacío producido por el varillado y para eliminar las burbujas grandes de aire que puedan haber quedado atrapadas. [...] a continuación, extender el hormigón (concreto) a lo largo de los lados y extremos en el caso de moles de viga o prismas [...] (29).

**Tabla 23: Diámetro de varilla y número de varillados a ser usados al moldear especímenes de prueba**

<b>CILINDROS</b>		
<b>Diámetro del cilindro mm (pulg)</b>	<b>Diámetro de la varilla mm (pulg)</b>	<b>Número de golpes/Capa</b>
50 (2) a < 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	17 (5/8)	75
<b>VIGAS</b>		
<b>Área Superficial Superior del espécimen cm<sup>2</sup> ( pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>Diámetro de la varilla mm (pulg)</b>	<b>Número de golpes/Capa</b>
160 (25) o menos	10 (3/8)	25
165 a 310 (26 a 49)	10 (3/8)	Una por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de superficie
320 (50) a más	16 (5/8)	Una por cada 14 cm <sup>2</sup> (2 pulg <sup>2</sup> ) de superficie.
<b>CILINDROS HORIZONTALES PARA ESCURRIMIENTO PLÁSTICO</b>		
<b>Diámetro del cilindro mm (pulg)</b>	<b>Diámetro de la varilla mm (pulg)</b>	<b>Número de golpes/Capa</b>
150 (6)	15 (5/8)	25 total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

Fuente: **HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio - NTP 339.183. (29).**

- Para la elaboración de los especímenes cilíndricos de 100 mm o 4 pulg de diámetro, se utilizaron las varillas de 10 mm o 3/8 pulg y se realizaron 25 golpes por capa.
- Para los especímenes prismáticos o vigas de 26 a 49 pulg de área superficial del espécimen, se usaron las varillas de 3/8 pulg y se realizó 1 golpe por cada 7 cm<sup>2</sup> (1 pulg<sup>2</sup>) de superficie.

**Figura 26: Varillado de testigos cilíndricos.**



**Fuente: Elaboración propia**

- **Acabado:**

Después de la consolidación [...] enrazar la superficie del hormigón concreto planchándolo o emparejándolo de acuerdo al método correspondiente. Si no se especifica el acabado, rematar la superficie con una plancha de madera o de metal. Realizar todos los acabados con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie plana que esté nivelada con el borde del molde y que no tenga depresiones o proyecciones mayores a 3 mm (1/8 pul) (29).

**Figura 27: Elaboración de vigas**



**Fuente: Elaboración propia**

### **3.5.5. CURADO**

- **Almacenamiento inicial:**

Para prevenir la evaporación del agua del hormigón (concreto) no endurecido, deberán cubrirse inmediatamente los especímenes después de finalizado el moldeado, preferiblemente con un material no absorbente, no reactivo o con una lámina de plástico resistente, durable e impermeable. Los especímenes serán almacenados inmediatamente después del acabado hasta que se remuevan de los moldes para prevenir la pérdida de humedad. Seleccionar un procedimiento adecuado o una combinación de procedimientos que prevendrán la pérdida de humedad, absorción y reacción con el hormigón (concreto). Cuando se usa yute húmedo para cubrir, éste no deberá estar en contacto con la superficie del hormigón (concreto) fresco y se tendrá cuidado de mantener el yute húmedo hasta que el espécimen sea removido del molde. Colocar una lámina de plástico sobre el yute, para mantener la humedad. Proteger las superficies exteriores de los moldes de cartón del contacto con el yute u otras fuentes de agua durante las primeras 24 h después del moldeo. El agua puede causar la expansión de los moldes y el daño de los especímenes a edades tempranas (29).

- **Desmoldado**

Desmoldar los especímenes después de 24 h  $\pm$  8 h después del vaciado. Para hormigón (concreto) con tiempo de fraguado prolongado, los moldes no serán trasladados hasta 20 h  $\pm$  4 h después del fraguado final [...] (29)

### **3.5.6. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, EN MUESTRAS CILÍNDRICAS:**

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados [...] a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta (31).

#### **3.5.6.1. Procedimiento:**

- Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo serán fracturados dentro del tiempo permisible de tolerancias prescritas como sigue:

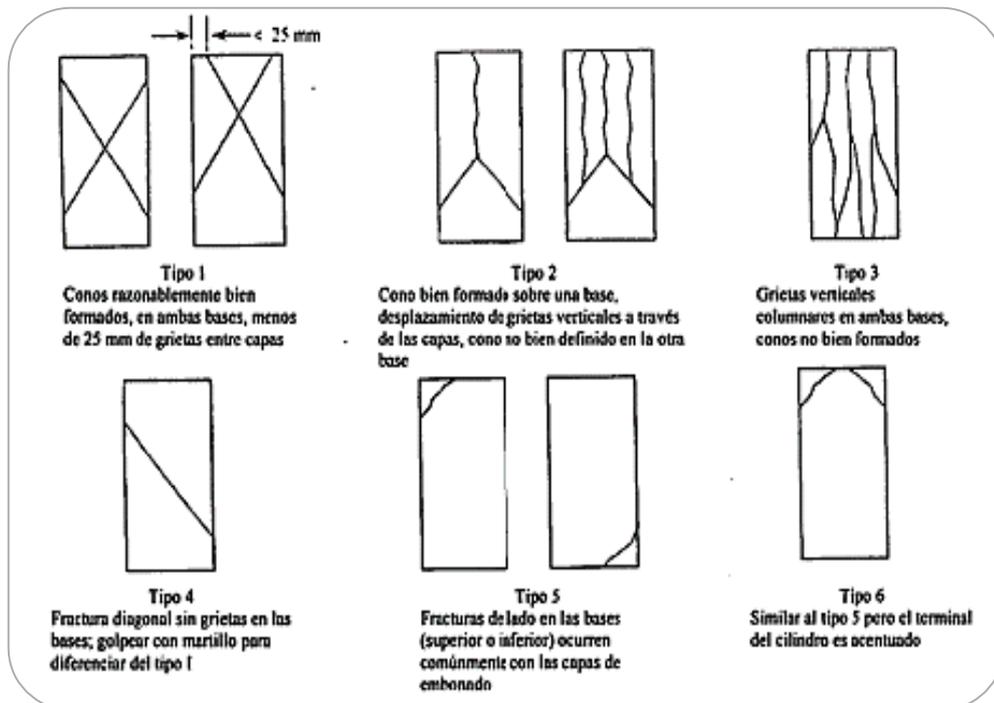
**Tabla 24: Tolerancia de tiempo permisible para roturar cilindros de concreto**

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia permisible</b>
24 h	$\pm$ 0,5 h o 2,1 %
3 d	$\pm$ 2 h o 2,8 %
7 d	$\pm$ 6 h o 3,6 %
28 d	$\pm$ 20 h o 3,0 %
90 d	$\pm$ 48 h o 2,2 %

**Fuente: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas - NTP 339.034. (31)**

- [...] Antes de ensayar la probeta, [se debe] verificar que el indicador de carga este en cero. [...]
- [...] aplicar la carga continuamente y sin detenimiento.
- La carga será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s. [...]
- Durante la aplicación de la 1ra. mitad de la fase de la carga anticipada, una alta velocidad de carga será permitida. La alta velocidad de carga será aplicada de manera controlada.
- Aplicar la carga de compresión mientras el indicador muestra que la carga disminuye constantemente y el espécimen muestra un patrón de fractura bien definido [...] (31).

**Figura 28: Esquema de los patrones de tipos de fracturas**



Fuente: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas - NTP 339.034. (31).

### 3.5.6.2. Cálculos:

Calcular la resistencia a la compresión del espécimen por dividir la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo entre el área promedio de la sección recta determinada [...] y expresar el resultado con aproximación a 0.1 MPa (31).

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Carga Máxima (Kg)}}{\text{Area Promedio (m}^2\text{)}}$$

### 3.5.6.3. Precisión:

El coeficiente de variación en el laboratorio representa la variación esperada de mediciones de resistencia en cilindros preparados de una misma muestra de concreto y ensayados por un laboratorio a una misma edad. Los valores indicados para el coeficiente de variación en el laboratorio [...] para cilindros de 100 mm x 200 mm son aplicables para resistencias a la compresión entre 17 MPa y 32 MPa (31).

**Tabla 25: Coeficiente de variación para cilindros de concreto.**

	Coeficiente de variación	Rango aceptable	
		2 Cil	3 Cil
<b>Cil. de 150 mm x 300 mm</b>			
Condiciones de laboratorio	2,4%	6,6%	7,8%
Condiciones de Obra	2,9%	8,0%	9,5%
<b>Cil. de 100 mm x 200 mm</b>			
Condiciones de laboratorio	3,2%	9,0%	10,6%

**Fuente: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas - NTP 339.034. (31)**

**Tabla 26: Estándares de control del hormigón**

Clase de operaciones	Coeficiente de variación para los diferentes estándares de control			
	excelente	bueno	medio	pobre
Variación Total:				
(I) construcción en general	inferior a 10,0	10,0 a 15,0	15,0 a 20,0	sobre 20,0
(II) control de laboratorio	inferior a 5,0	5,0 a 7,0	7,0 a 10,0	sobre 10,0
Variaciones dentro de una misma mezcla:				
(I) control en obra	inferior a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	sobre 6,0
(II) control en laboratorio	inferior a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	sobre 5,0

Fuente: Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigón de obra. SHARMA, R. C. (32)

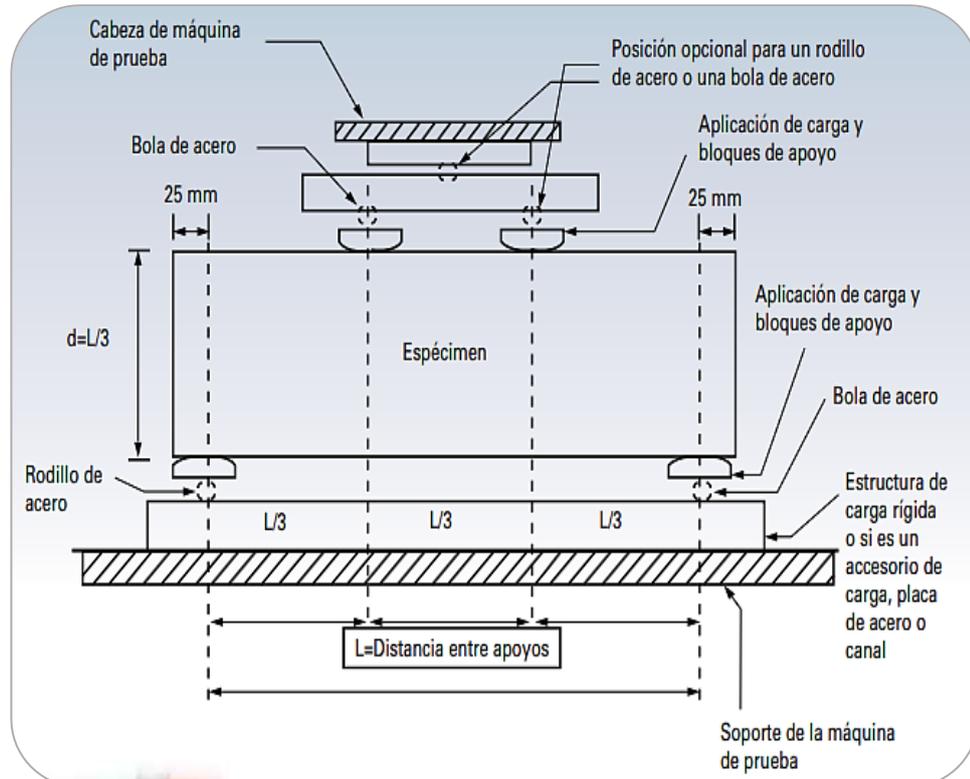
### 3.5.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO:

[...] consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: centro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre (33).

#### 3.5.7.1. Aparatos de Carga:

El método de ensayo de cargas a los tercios se utilizará en los ensayos de flexión del concreto empleando placas de apoyo que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga serán perpendiculares a la cara de la probeta y aplicarse sin excentricidad (33).

**Figura 29: Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.**



**Fuente: Determinación de la resistencia a la flexión del concreto. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO AC - IMCYC. (34).**

### 3.5.7.2. Ensayo:

[...] La viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia del 2 %. Las caras laterales de la viga formarán ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma. Todas las superficies deberán ser lisas y libres de asperezas, porosidad (cangrejeras) o marcas de identificación no apropiadas (33).

### 3.5.7.3. Procedimiento:

- Se centra el sistema de aplicación de carga en relación con la fuerza aplicada. Se colocan los bloques a los cuales se aplicará la carga en contacto con la superficie de la muestra en los tercios de la luz de la viga y aplicar una carga entre 3 % y 6 % de la carga de rotura estimada. [...] Si no se obtiene un contacto completo entre la

viga y los bloques de aplicación de carga, será necesario refrentar, lijar o poner una cuña de cuero [...] (33).

- Se aplica la carga al espécimen de forma continua y sin impactos. La carga se aplica a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplicar la carga una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0.9MPa/min y 1,2 MPa/min, hasta producir la rotura de la viga (33).

#### **3.5.7.4. Medición de las muestras luego de las pruebas:**

Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la muestra para su aplicación en el cálculo del módulo de ruptura, tomar las mediciones a través de una de las caras fracturadas después de la prueba. [...] Tomas tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y al centro), para determinar el ancho promedio, altura promedio y ubicación de la línea de fractura de la viga en la sección de falla. Tomar todas las medidas con una precisión de 1 mm. [...] (33).

#### **3.5.7.5. Cálculos:**

Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente formula:

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

En donde:

$M_r$  : es el módulo de rotura, en MPa.

$P$  : es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N.

$L$  : es la luz libre entre apoyos, en mm.

$b$  : es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

$h$  : es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

En donde:

$a$  : es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm.

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de éste mayor del 5 % de la luz libre, se rechaza el ensayo (33).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

##### 4.1.1. RESULTADOS FÍSICOS DE LA FIBRA AGAVE AMERICANA L.

- Absorción de la fibra

Tabla 27: Cálculo de la absorción de la fibra

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Wsss = Peso fibra Saturada Superficialmente Seca (gr)	7,2	7,1	8
Wsss = Peso fibra Seca (gr)	5	5	5
% Absorción	0,440	0,420	0,600
% Absorción promedio	<b>0,487</b>		
	<b>48.70 %</b>		

Fuente: Elaboración propia.

- **Densidad relativa de la fibra**

**Tabla 28: Cálculo de la densidad relativa de la fibra**

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
W1 = Peso del matraz (gr)	155,2	153,1	152,6
W2 = Peso del matraz + H <sub>2</sub> O (gr)	651,5	650	649,6
W3 = Peso Matraz con Fsss (gr)	162,4	160,6	160,6
W4 = Peso Matraz + H <sub>2</sub> O + Fsss (gr)	652,9	651,3	651
W5 = Peso de tara (gr)	64.31	65.60	61.63
W6 = Peso de tara + muestra seca al horno (gr)	69.31	70.60	66.63
<b>Densidad Relativa seca al horno (Gravedad Específica)</b>			
G.E. = (W6 – W5)/(W2+(W3-W1)-W4)	0.862	0.862	0.758
<b>DENSIDAD ESPECIFICA (G.E) Kg/m3</b>	<b>825.17</b>		
<b>Densidad Relativa Saturada superficialmente Seca (Gravedad Específica sss)</b>			
G.E.sss = (W3-W1)/(W2+(W3-W1)-W4)	1.241	1.224	1.212
<b>DENSIDAD SATURADA (G.E.sss) Kg/m3</b>	<b>1222.81</b>		
<b>Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica A.)</b>			
G.E.A. = (W6-W5) / (W2+(W6-W5)-W4)	1.389	1,351	1,389
<b>DENSIDAD APARENTE (G.E.A) Kg/m3</b>	<b>1372.94</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se determinó la densidad absoluta de la fibra con la proporción de los datos físico mecánicos de la fibra ensayados en un laboratorio. (Anexo E)

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-6} \cdot dtex}{\pi \rho}}$$

Donde:

∅ = Diámetro en (cm)

ρ = Densidad absoluta en gr/cm<sup>3</sup>

**Tabla 29: Densidad absoluta de la fibra**

Título del hilo		Diámetro		Densidad
dtex	gr/m	mm	cm	gr/cm <sup>3</sup>
199,2	0,01992	0,1028	0,01028	2,400

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se trabajó con la densidad Especifica Seca igual a 825.17 Kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 30: Valores finales de las propiedades de la fibra (ANEXO E)**

<b>PROPIEDADES QUÍMICO FÍSICO MECÁNICAS DE LA FIBRA (AGAVE AMERICANA L.)</b>	
Diámetro o espesor de la fibra	0,103 mm
Longitud promedio	50 mm
Absorción de agua en 24 horas	48,7 %
Densidad absoluta	825.17 Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia ultima a la tracción	0,351 kg
Elongación a la ruptura	21,10%
Nivel de pH con pasta	12,77 pH

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. RESULTADOS FÍSICOS DEL CONCRETO – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto sin influencia de fibra a través del tiempo.

**Tabla 31: Resistencia a la compresión a los 7 días en especímenes sin fibra.**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	07			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	26950	343	342	0,44
	TESTIGO 2	26720	340		
	TESTIGO 3	26890	342		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32: Resistencia a la compresión a los 14 días en especímenes sin fibra**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	14			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	29650	378	378	0,65
	TESTIGO 2	29520	376		
	TESTIGO 3	29900	381		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33: Resistencia a la compresión a los 21 días en especímenes sin fibra**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	21			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	30970	394	392	0,49
	TESTIGO 2	30840	393		
	TESTIGO 3	30670	391		

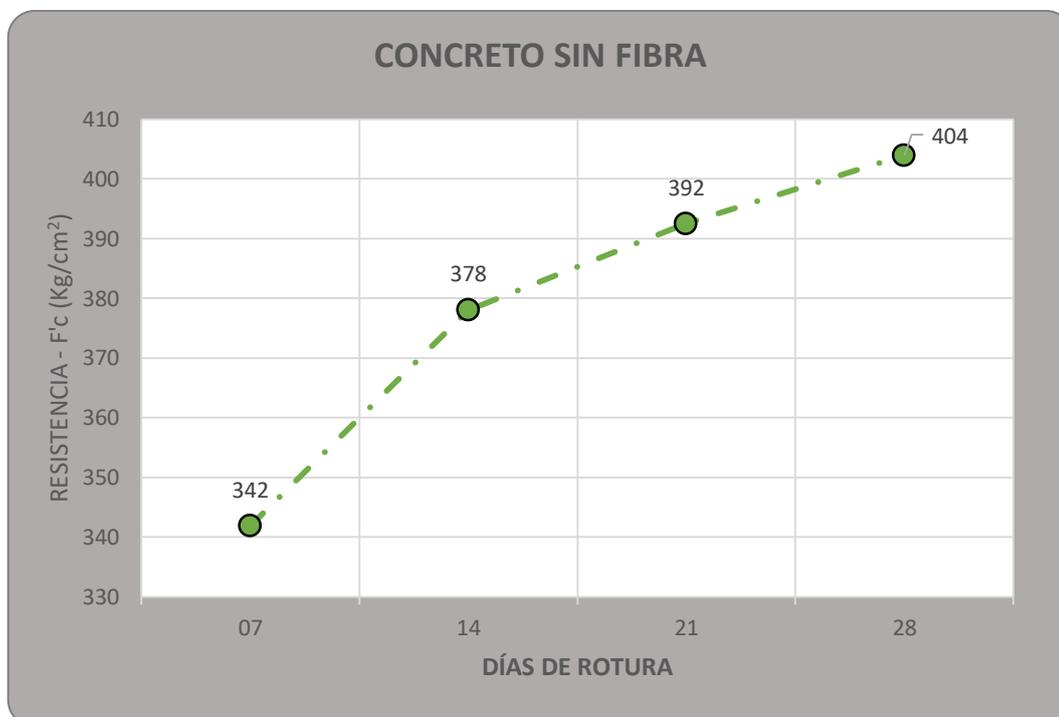
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34: Resistencia a la compresión a los 28 días en especímenes sin fibra**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	28			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	31750	404	404	0,31
	TESTIGO 2	31620	403		
	TESTIGO 3	31810	405		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 30: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto sin fibra a través del tiempo.**



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30, se puede observar un concreto con comportamiento normal ya que, la resistencia a la compresión en la muestra patrón (sin adición de fibra) supera favorablemente a la resistencia de diseño de 280 Kg/cm<sup>2</sup>; también se puede observar que la resistencia del concreto tiende a incrementar a través del tiempo, siendo los valores obtenidos a los 7 días de 342 Kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días de 404 Kg/cm<sup>2</sup>.

- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.5 % durante el tiempo.

**Tabla 35: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 0.5 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	07			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	26610	339	340	0,46
	TESTIGO 2	26850	342		
	TESTIGO 3	26690	340		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 36: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 0.5 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	14			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	29800	379	379	0,40
	TESTIGO 2	29910	381		
	TESTIGO 3	29670	378		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 0.5 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	21			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	30890	393	394	0,28
	TESTIGO 2	30950	394		
	TESTIGO 3	31060	395		

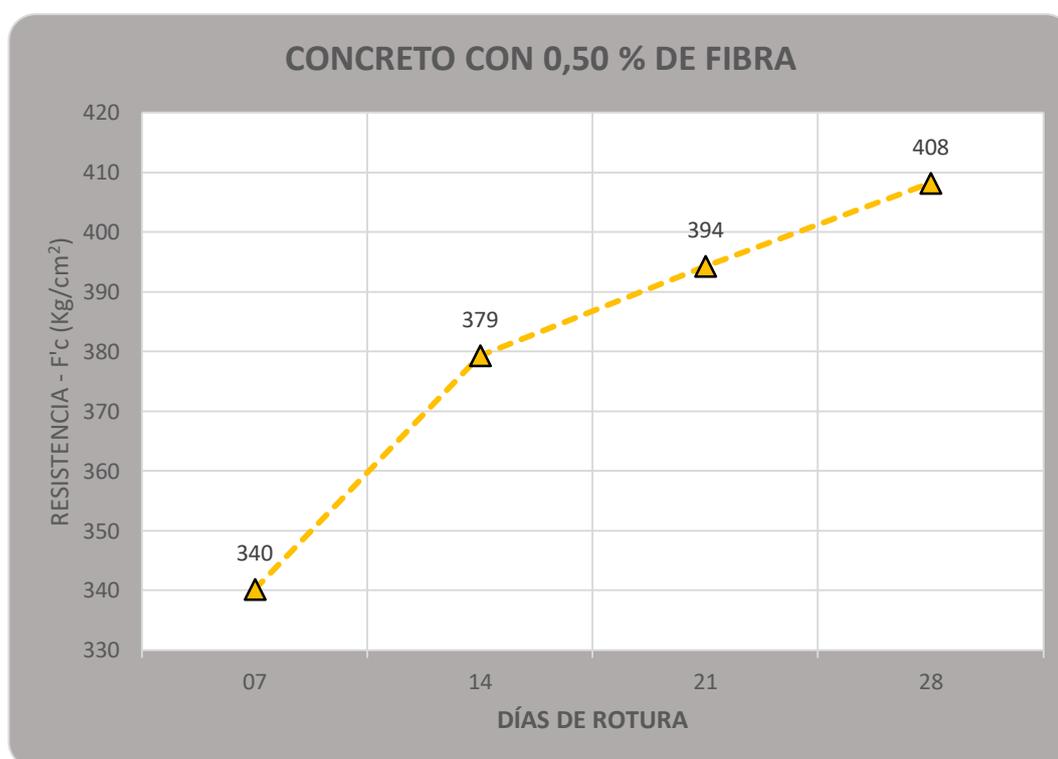
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 0.5 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	28			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	32090	409	408	0,20
	TESTIGO 2	31990	407		
	TESTIGO 3	32110	409		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 31: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.5 % a través del tiempo.**



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31, se puede observar de igual manera un concreto con comportamiento normal ya que, la resistencia a la compresión en la muestra con adición de fibra de Agave Americana L. supera favorablemente a la resistencia de diseño de 280 Kg/cm<sup>2</sup>; también se puede observar que la resistencia del concreto tiende a incrementar a través del tiempo, obteniendo valores a los 7 días de 340 Kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días de 408 Kg/cm<sup>2</sup>, que en comparación con el concreto patrón superan a los valores de resistencia a partir de los 14 días en adelante, presentando el valor más bajo a los 7 días.

- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.75 % durante el tiempo.

**Tabla 39: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 0.75 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	07			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	26400	336	337	0,35
	TESTIGO 2	26520	338		
	TESTIGO 3	26580	338		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 40: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 0.75 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	14			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	29950	381	382	0,33
	TESTIGO 2	30110	383		
	TESTIGO 3	29930	381		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 41: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 0.75 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	21			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	31320	399	398	0,63
	TESTIGO 2	31060	395		
	TESTIGO 3	31450	400		

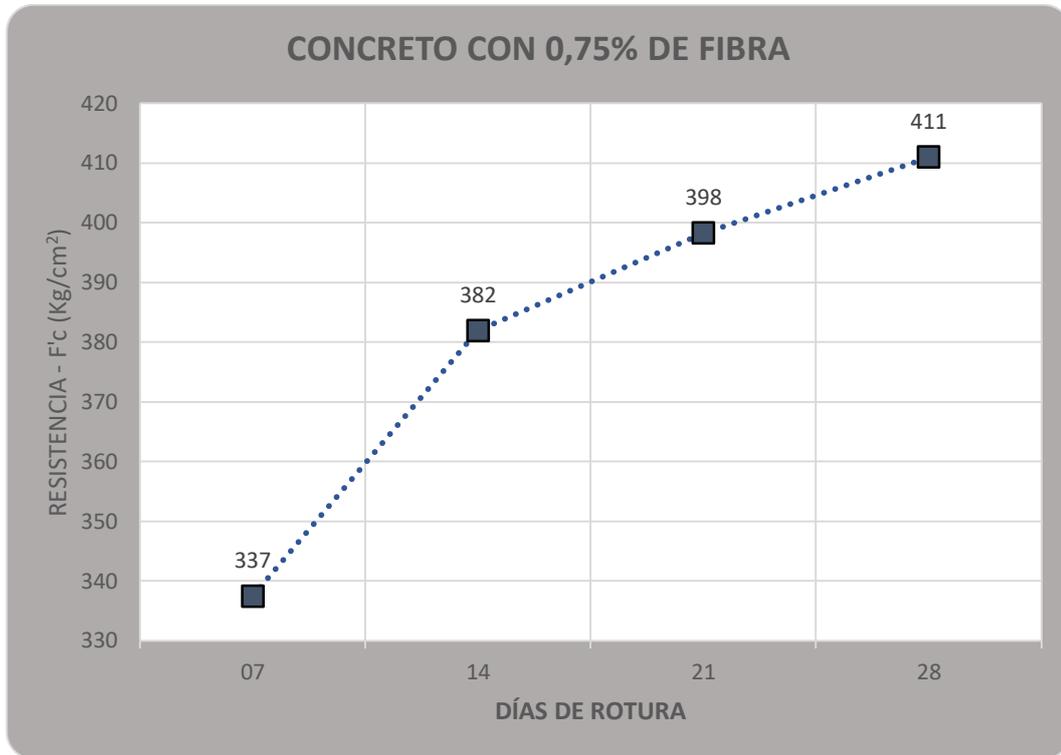
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 0.75 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	28			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	32390	412	411	0,37
	TESTIGO 2	32290	411		
	TESTIGO 3	32150	409		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0.75 % a través el tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 32, de igual forma se puede observar un concreto con comportamiento normal; así también, la resistencia del concreto se incrementa a través del tiempo, obteniendo valores a los 7 días de 337 Kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días de 411 Kg/cm<sup>2</sup>, que en comparación con el concreto patrón superan los valores de resistencia en todas las edades con excepción de los 7 días. Además, se puede resaltar que, con esta adición de fibra de Agave Americana L., la resistencia del concreto supera a las demás evaluaciones de adición de fibras a partir de los 14 días de edad.

- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 1.0 % a través del tiempo.

**Tabla 43: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 7 días con adición de fibra al 1.0 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	07			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	26100	332	333	0,46
	TESTIGO 2	26010	331		
	TESTIGO 3	26250	334		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 14 días con adición de fibra al 1.0 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	14			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	29500	376	374	0,31
	TESTIGO 2	29410	374		
	TESTIGO 3	29320	373		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 21 días con adición de fibra al 1.0 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	21			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	30290	386	387	0,44
	TESTIGO 2	30370	387		
	TESTIGO 3	30550	389		

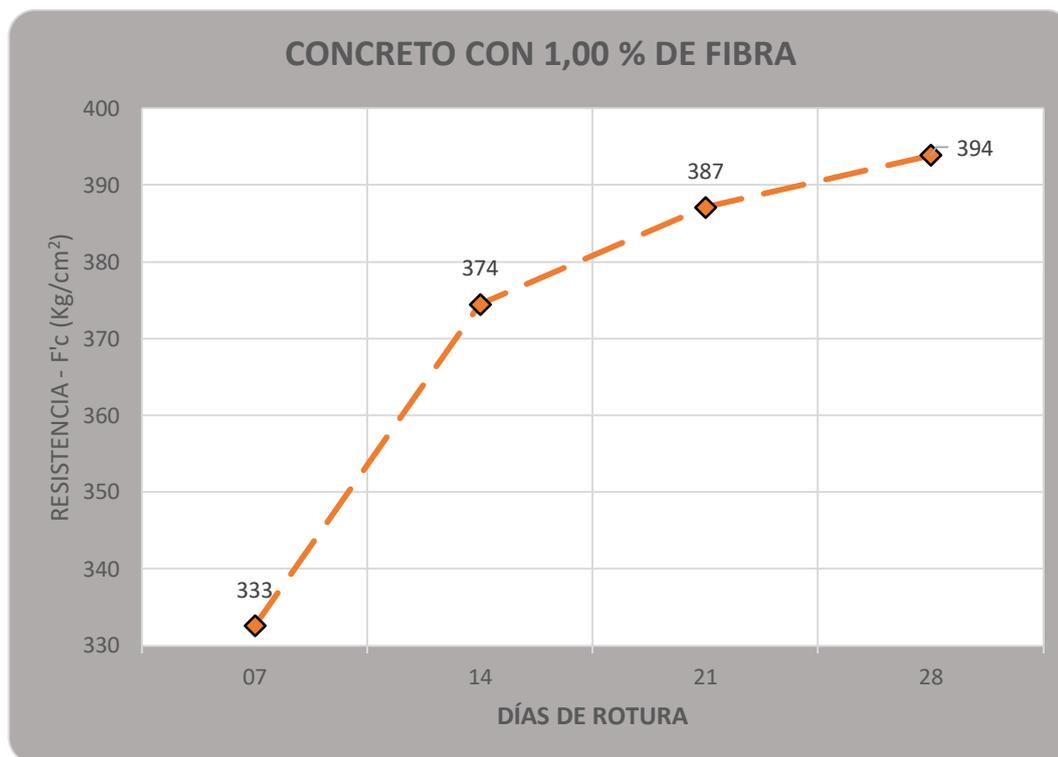
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46: Resistencia a la compresión de testigos de concreto a los 28 días con adición de fibra al 1.0 %**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	28			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	31010	395	394	0,21
	TESTIGO 2	30910	394		
	TESTIGO 3	30890	393		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 1.0 % a través el tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 33, se puede determinar que las muestras siguen el mismo patrón de conducta de crecimiento de resistencia del concreto a través del tiempo, obteniendo valores a los 7 días de 333 Kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días de 394 Kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo, en comparación con el concreto patrón los valores de resistencia son menores en todas las edades, y también son desfavorables en comparación con los demás comportamientos de fibras, siendo la adición de fibra de Agave Americana L. al 1.00 % la menos recomendable de usar.

#### 4.1.3. RESULTADOS FÍSICOS DEL CONCRETO – RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

- Comportamiento de la resistencia a la tracción por flexión de vigas de concreto sin fibra a través del tiempo.

Tabla 47: Resistencia a la flexión a los 14 días en especímenes sin fibra.

VIGAS	Día de Rotura	14						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	2650	48,0	14,9	15,0	37,94	39,15	2,69
	TESTIGO 2	2820	48,0	14,9	15,1	39,84		
	TESTIGO 3	2790	48,0	15,0	15,0	39,68		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Resistencia a la flexión a los 28 días en especímenes sin fibra.

VIGAS	Día de Rotura	28						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	3020	48,0	15,1	15,1	42,10	43,85	3,47
	TESTIGO 2	3090	48,1	14,8	15,0	44,63		
	TESTIGO 3	3110	48,0	15,0	14,9	44,83		

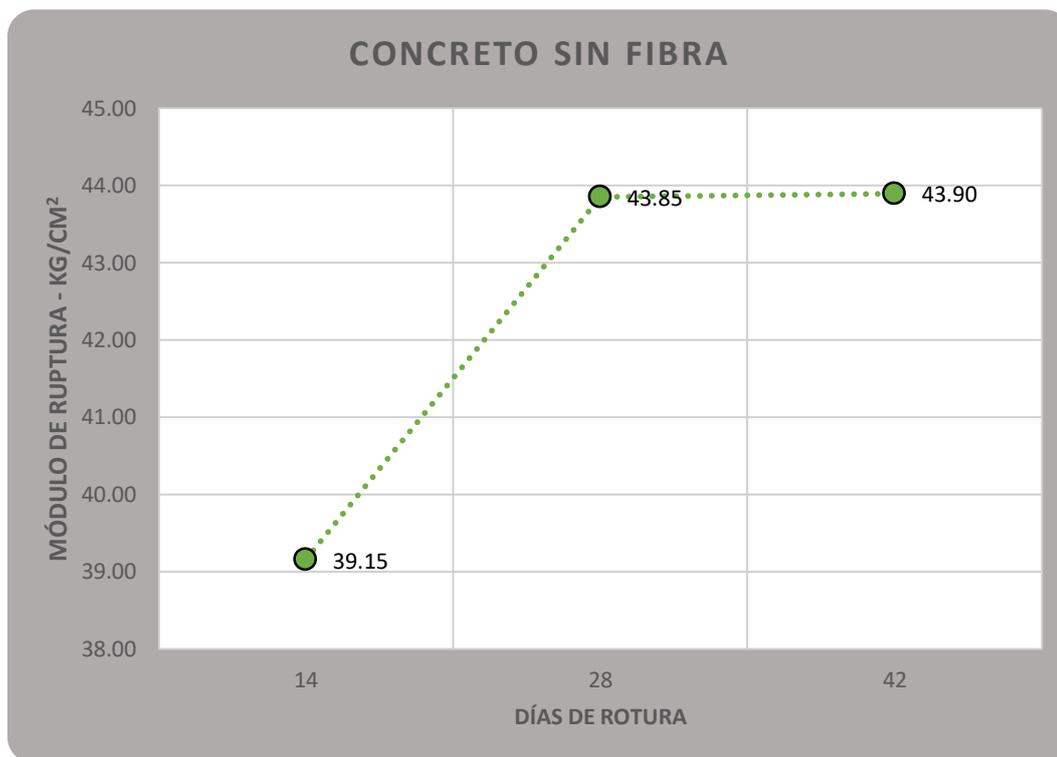
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: Resistencia a la flexión a los 42 días en especímenes sin fibra.

VIGAS	Día de Rotura	42						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	3060	48,0	14,9	15,1	43,23	43,90	1,35
	TESTIGO 2	3120	48,0	14,9	15,1	44,08		
	TESTIGO 3	3120	48,0	15,0	15,0	44,37		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto sin fibra a través del tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 34, el concreto sin adición de fibra en vigas alcanzó una resistencia a la tracción por flexión o Módulo de Ruptura de 39.15 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días; mientras que, a los 28 y 42 días obtuvieron resistencias de 43.85 Kg/cm<sup>2</sup> y 43.90 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, teniendo una diferencia casi imperceptible entre estos últimos valores, por lo que se puede deducir que, alcanzada la edad de 28 días, la resistencia aumenta mínimamente.

Por otro lado, se puede observar que a los 28 días el concreto presenta mayor dispersión, teniendo un valor de 3.47 %, pudiendo deberse a problemas en la fabricación, el traslado o el curado de testigos; a pesar de ello, con respecto a la Tabla 26, el concreto se considera de buena calidad.

- Comportamiento de la resistencia a la tracción por flexión de vigas de concreto con influencia de fibra al 0.50 % a través del tiempo.

**Tabla 50: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 0.50 %**

VIGAS	Día de Rotura	14						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	2810	48,0	14,8	15,1	39,97	39,96	3,19
	TESTIGO 2	2750	48,1	15,0	15,1	38,68		
	TESTIGO 3	2990	48,1	15,1	15,2	41,22		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 51: Resistencia a la flexión a los 28 días en vigas con fibra al 0.50 %**

VIGAS	Día de Rotura	28						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	3060	48,0	15,0	15,0	43,52	44,32	1,56
	TESTIGO 2	3140	48,0	14,8	15,1	44,66		
	TESTIGO 3	3120	48,1	14,9	15,0	44,76		

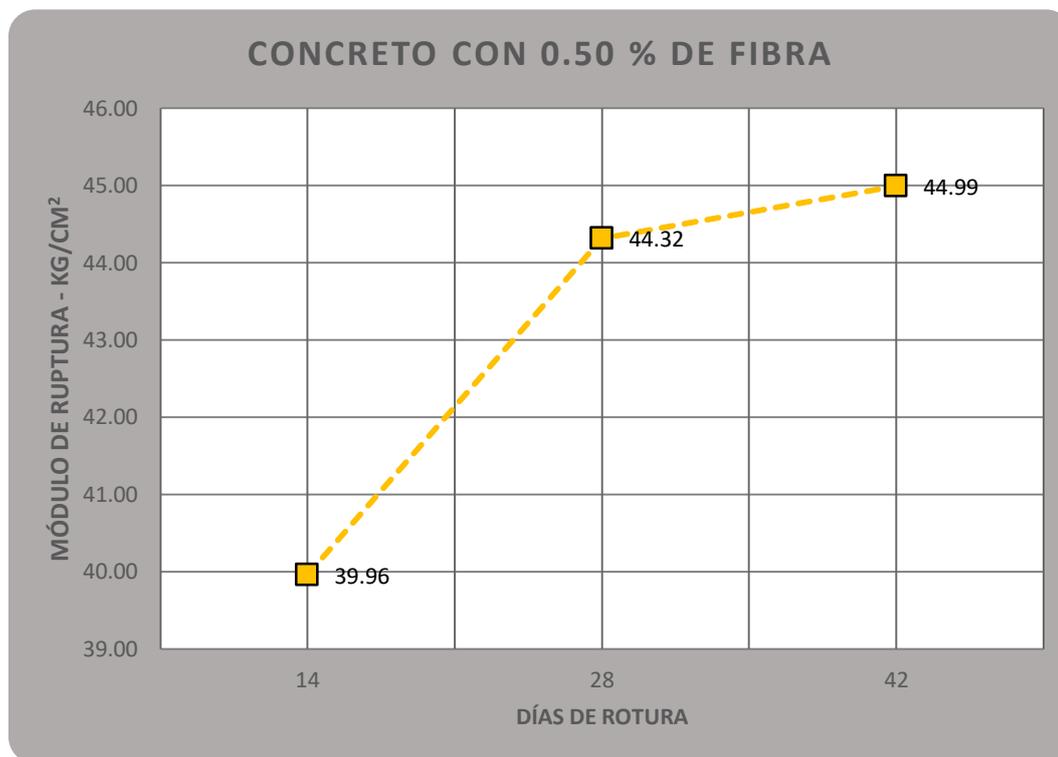
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 52: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 0.50 %**

VIGAS	Día de Rotura	42						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,50%	TESTIGO 1	3180	47,9	14,9	14,9	46,05	44,99	2,33
	TESTIGO 2	3100	48,0	14,9	14,9	44,98		
	TESTIGO 3	3090	48,0	15,0	15,0	43,95		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 0.50 % a través del tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 35, el concreto con adición de fibra Agave Americana L. al 0.50 % en vigas, alcanzó una resistencia a la tracción por flexión de 39.96 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días; mientras que, a los 28 y 42 días obtuvieron resistencias de 44.32 Kg/cm<sup>2</sup> y 44.99 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, variando, de igual manera, mínimamente en estos últimos valores como en la muestra patrón.

Los concretos con adición de fibra al 0.50 % incrementaron su módulo de ruptura, con respecto a la muestra patrón, hasta en un 2% a los 14 días, un 1 % a los 28 días y un 3% a los 42 días aproximadamente.

De acuerdo a la dispersión, se puede observar que a los 14 días el concreto presenta mayor dispersión, teniendo un valor de 3.19 %, pudiendo deberse a problemas en la fabricación, el traslado o el curado de testigos; a pesar de ello, con respecto a la Tabla 26, el concreto se considera de buena calidad.

- Comportamiento de la resistencia a la tracción por flexión de vigas de concreto con influencia de fibra al 0.75 % a través del tiempo.

**Tabla 53: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 0.75 %**

VIGAS	Día de Rotura	14						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	2920	48,0	14,8	15,1	41,53	41,45	2,70
	TESTIGO 2	2970	48,0	14,9	15,0	42,52		
	TESTIGO 3	2890	48,0	15,1	15,1	40,29		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 54: Resistencia a la flexión a los 28 días en vigas con fibra al 0.75%**

VIGAS	Día de Rotura	28						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	3120	48,0	15,1	14,9	44,67	45,24	1,45
	TESTIGO 2	3170	48,0	14,8	15,1	45,09		
	TESTIGO 3	3210	48,0	14,9	15,0	45,96		

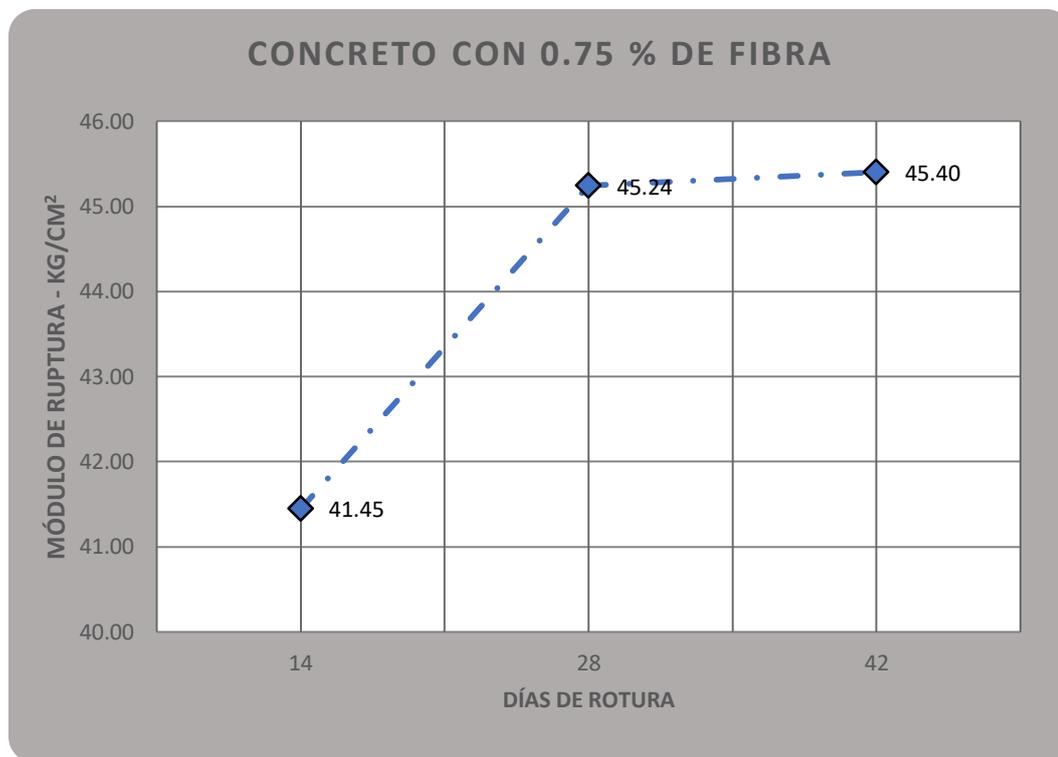
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 55: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 0.75%**

VIGAS	Día de Rotura	42						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
0,75%	TESTIGO 1	3270	48,1	15,2	15,0	45,99	45,40	1,37
	TESTIGO 2	3140	48,1	15,0	15,0	44,75		
	TESTIGO 3	3240	48,0	15,0	15,1	45,47		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 36: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 0.75% a través del tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 36, el concreto con adición de fibra Agave Americana L. al 0.75 % en vigas, alcanzó una resistencia a la tracción por flexión a los 14 días de 41.45 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días incrementó el módulo de ruptura en 4 puntos aproximadamente y a los 42 días obtuvieron resistencias de 45.40 Kg/cm<sup>2</sup>.

Así también, se puede observar que incrementaron su módulo de ruptura, con respecto a la muestra patrón, hasta en un 6% a los 14 días, un 3 % a los 28 días y un 4% a los 42 días aproximadamente.

Con respecto a la dispersión, se puede observar que a los 14 días el concreto presenta mayor dispersión, teniendo un valor de 2.70 %, pudiendo deberse como se indicó en los anteriores casos a problemas en la fabricación, el traslado o el curado de testigos. De acuerdo a la Tabla 26, el concreto se considera de excelente calidad.

- Comportamiento de la resistencia a la tracción por flexión de vigas de concreto con influencia de fibra al 1.0 % a través del tiempo.

**Tabla 56: Resistencia a la flexión a los 14 días en vigas con fibra al 1.0 %**

VIGAS	Día de Rotura	14						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	3070	48,0	15,1	15,1	42,80	42,24	1,32
	TESTIGO 2	2990	48,0	15,1	15,1	41,69		
	TESTIGO 3	3010	48,0	15,2	15,0	42,25		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 57: Resistencia a la flexión a los 21 días en vigas con fibra al 1.0 %**

VIGAS	Día de Rotura	28						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	3180	48,0	14,9	14,9	46,14	45,57	2,86
	TESTIGO 2	3240	48,1	15,1	14,9	46,49		
	TESTIGO 3	3120	48,0	15,1	15,0	44,08		

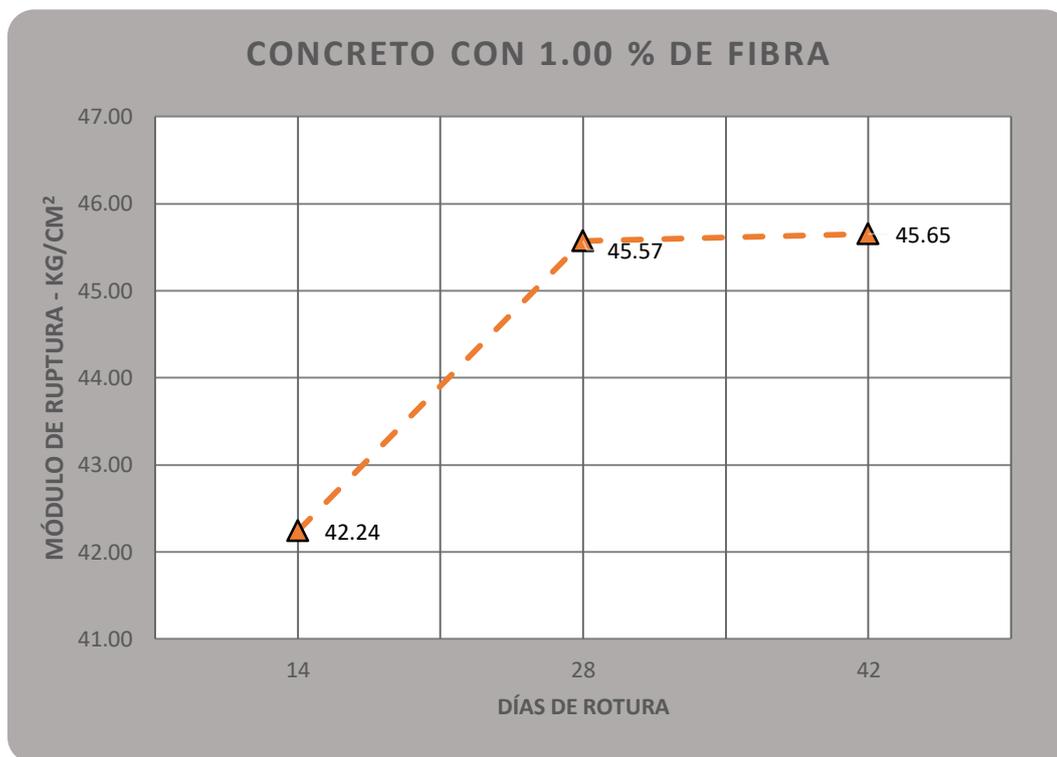
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 58: Resistencia a la flexión a los 42 días en vigas con fibra al 1.0 %**

VIGAS	Día de Rotura	42						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
1,00%	TESTIGO 1	3270	47,9	15,2	15,1	45,19	45,65	0,86
	TESTIGO 2	3290	48,0	15,1	15,1	45,87		
	TESTIGO 3	3320	47,9	15,2	15,1	45,89		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 37: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra al 1.0 % a través del tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 37, el concreto con adición de fibra Agave Americana L. al 1.00 % en vigas, alcanzó una resistencia a la tracción por flexión a los 14 días de 42.24 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días incrementó el módulo de ruptura en 3.33 puntos y a los 42 días obtuvieron resistencias de 45.65 Kg/cm<sup>2</sup>; que en comparación con la muestra patrón incrementaron su módulo de ruptura hasta en casi un 8 % a los 14 días y casi un 4 % a los 28 y 42 días respectivamente.

En relación a la dispersión, se puede observar que a los 21 días el concreto presenta mayor dispersión, teniendo un valor de 2.86 %, pudiendo deberse como se indicó en los anteriores casos a problemas en la fabricación, el traslado o el curado de testigos.

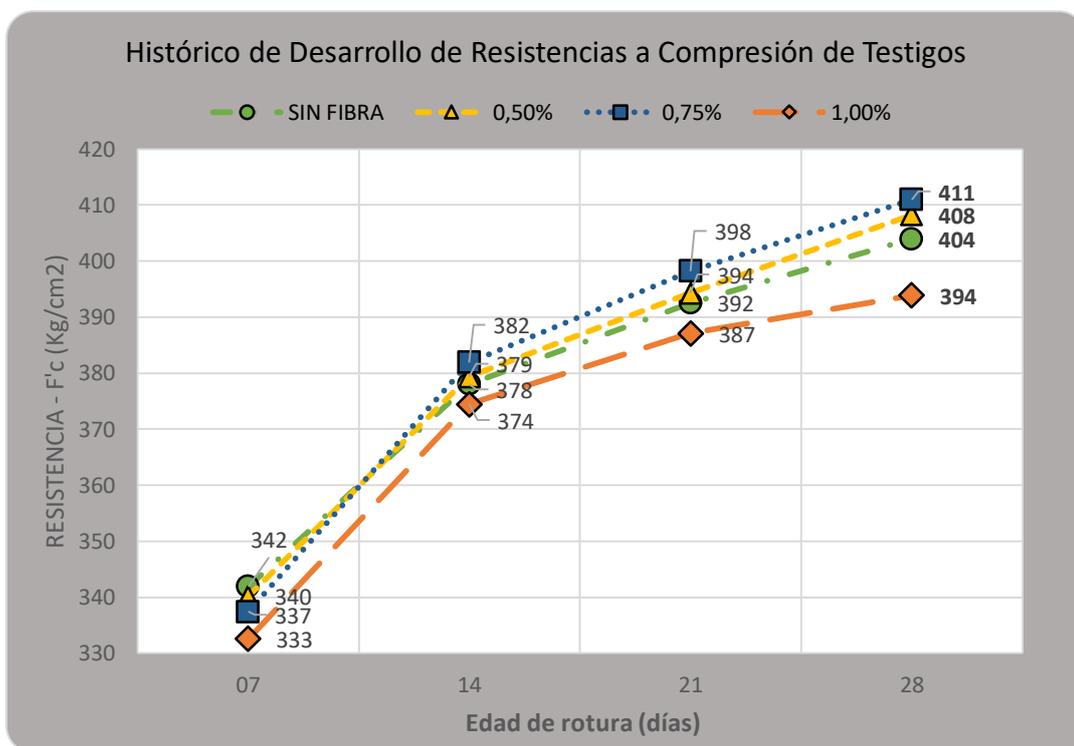
De acuerdo a la Tabla 26, el concreto se considera de excelente calidad.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

- Comparación de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.00% a través del tiempo.

Figura 38: Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto con adición de fibra al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.00% a través el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 38, la resistencia a la compresión de testigos de concreto es ascendente a través del tiempo, y en todos los casos superaron la resistencia de diseño.

El comportamiento de la muestra patrón es positiva a los 7 días de edad, siendo la resistencia de compresión mayor que de los especímenes con adición de fibra; sin embargo, mientras va pasando el tiempo, la muestra patrón va quedando por debajo del concreto con adición de fibra al 0.50 % y al 0.75 %, presentando esta tendencia hasta los 28 días, demostrando que la fibra si aporta propiedades de resistencia al concreto.

Es así que, se puede observar que los testigos sin contenido de fibra alcanzaron el valor de 342 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia más baja la obtuvo el concreto con adición de fibra al 1.0 % llegando a los 333 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días.

La influencia de las fibras en el concreto ensayado a los 14 días, generó resistencias de 382 Kg/cm<sup>2</sup> para testigos con adición de fibra al 0.75 % siendo la más alta a esta edad, seguida del concreto con adición de fibra al 0.50 % obteniendo una resistencia de 379 Kg/cm<sup>2</sup>. El concreto sin fibra alcanzó una resistencia de 378 Kg/cm<sup>2</sup>, y el concreto con menor resistencia fue con adición al 1.0% de fibra siendo de 378 Kg/cm<sup>2</sup>.

A los 21 días se observa que la resistencia del concreto con adición de fibra al 1.0 % sigue siendo el más bajo en comparación con los demás testigos, inclusive más que del concreto sin fibra, y el concreto con adición de fibra al 0.75 % alcanzó la resistencia más alta de 398 Kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente, a los 28 días de edad del concreto, la adición de fibra al 0.75 % ocasionó que los especímenes alcancen una resistencia de 411 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la resistencia mayor como en las edades anteriores, seguida del concreto con 0.5 % de fibra y el concreto sin adición de fibra. Por el contrario, el concreto con 1.0 % de fibra, solo alcanzó una resistencia de 394 Kg/cm<sup>2</sup>, no llegando ni a superar en ninguno de los casos al concreto patrón.

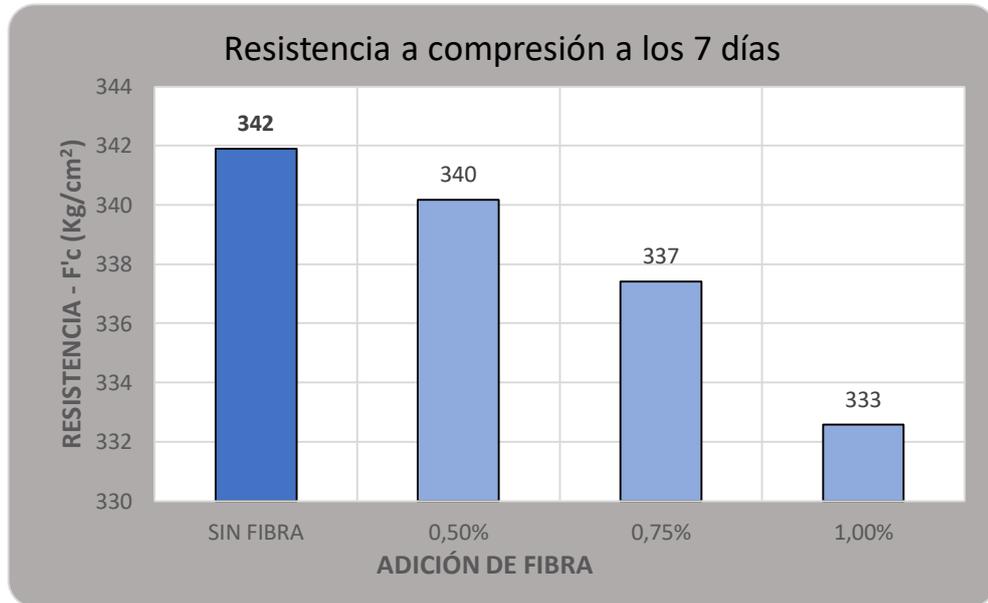
- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto a los 7 días, con adición de fibra al 0 %, 0.5 %, 0.75 % y 1.0 %.

**Tabla 59: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 7 días.**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	07			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	26950	343	342	0,44
	TESTIGO 2	26720	340		
	TESTIGO 3	26890	342		
0,50 %	TESTIGO 1	26610	339	340	0,46
	TESTIGO 2	26850	342		
	TESTIGO 3	26690	340		
0,75 %	TESTIGO 1	26400	336	337	0,35
	TESTIGO 2	26520	338		
	TESTIGO 3	26580	338		
1,00 %	TESTIGO 1	26100	332	333	0,46
	TESTIGO 2	26010	331		
	TESTIGO 3	26250	334		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 7 días.**



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 39, se puede observar que a los siete días la muestra patrón alcanzó la resistencia más alta, obteniendo un valor de 342 Kg/cm<sup>2</sup>; continúa la muestra con adición de fibra al 0.5 %, teniendo una resistencia de 340 Kg/cm<sup>2</sup>. Seguidamente se encuentra la resistencia del concreto con adición de fibra al 0.75 % con un valor de 337 Kg/cm<sup>2</sup> y; por último, los testigos con adición de fibra al 1.00 % lograron una

resistencia menor de 333 kg/cm<sup>2</sup>, siendo superadas en un 2.63% por el concreto patrón (sin fibra).

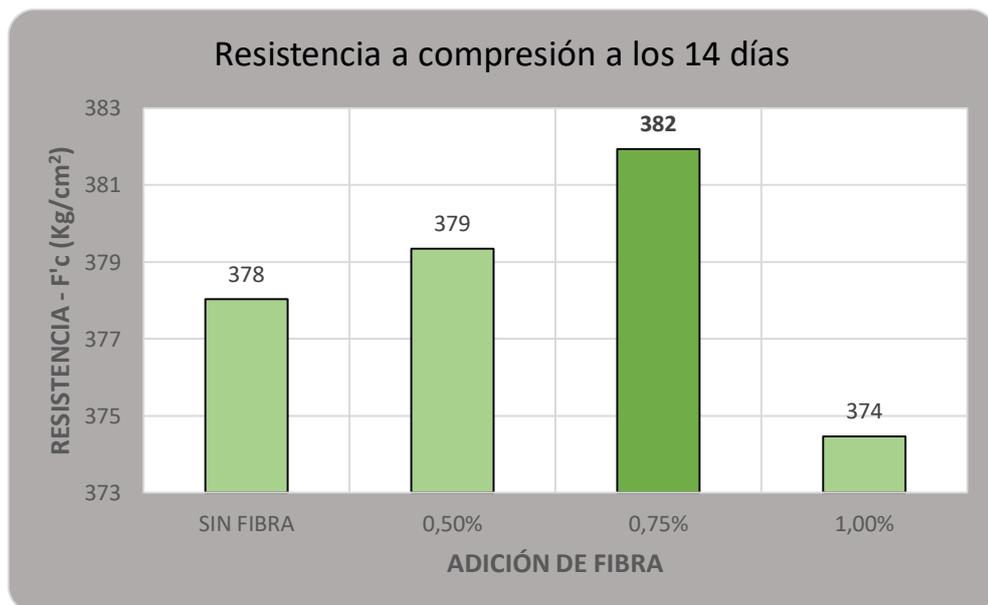
- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto a los 14 días, con adición de fibra al 0 %, 0.5 %, 0.75 % y 1.00 %.

**Tabla 60: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 14 días.**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	14			
	Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	29650	378	378	0,65
	TESTIGO 2	29520	376		
	TESTIGO 3	29900	381		
0,50%	TESTIGO 1	29800	379	379	0,40
	TESTIGO 2	29910	381		
	TESTIGO 3	29670	378		
0,75%	TESTIGO 1	29950	381	382	0,33
	TESTIGO 2	30110	383		
	TESTIGO 3	29930	381		
1,00%	TESTIGO 1	29500	376	374	0,31
	TESTIGO 2	29410	374		
	TESTIGO 3	29320	373		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 14 días.**



Fuente: Elaboración propia.

A los 14 días ocurre un cambio importante con la resistencia de concreto con fibra al 0.75 %, alcanzando un valor de 382 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la resistencia más alta a esta edad y superando en un 1.06% a la muestra patrón. Los testigos con adición de fibra al 0.0 % y 0.50 % obtuvieron resistencias de 378 Kg/cm<sup>2</sup> y 379 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Finalmente, se observa que la muestra con adición de fibra de maguey al 1.00% alcanzó un total de 374 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la más baja a esta edad.

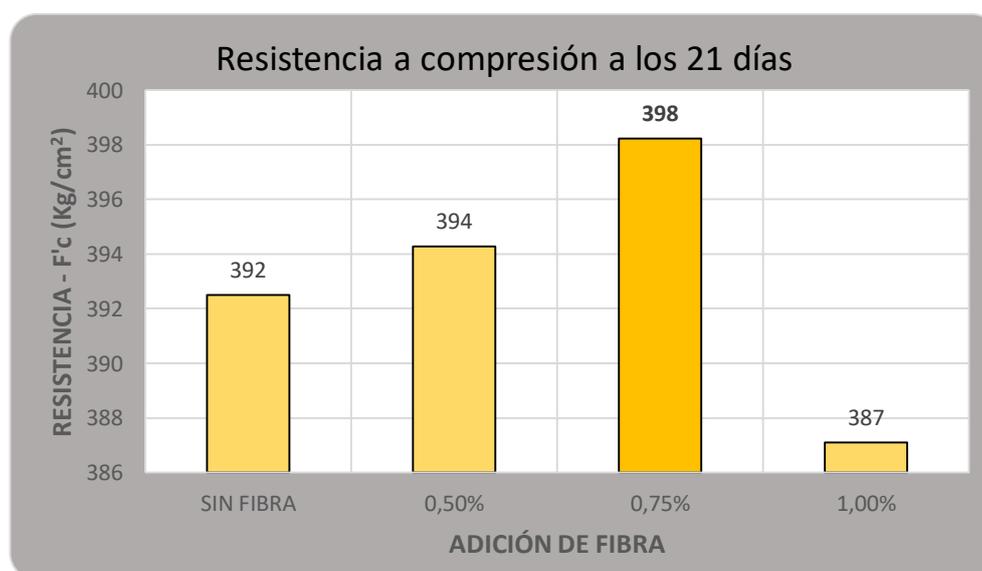
- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto a los 21 días, con adición de fibra al 0 %, 0.50 %, 0.75 % y 1.00 %.

**Tabla 61: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 21 días.**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	21			
		Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )
SIN FIBRA	TESTIGO 1	30970	394	392	0,49
	TESTIGO 2	30840	393		
	TESTIGO 3	30670	391		
0,50%	TESTIGO 1	30890	393	394	0,28
	TESTIGO 2	30950	394		
	TESTIGO 3	31060	395		
0,75%	TESTIGO 1	31320	399	398	0,63
	TESTIGO 2	31060	395		
	TESTIGO 3	31450	400		
1,00%	TESTIGO 1	30290	386	387	0,44
	TESTIGO 2	30370	387		
	TESTIGO 3	30550	389		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 41: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 21 días.**



Fuente: Elaboración propia.

El concreto con adición de fibra al 0.75 % alcanzó el valor de 398 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la más alta a esta edad. Los testigos con adición de fibra al 0.50 % obtuvieron una resistencia de 394 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las muestras sin fibra lograron la resistencia de 392 Kg/cm<sup>2</sup>. Los testigos con fibra al 1.00 % obtuvieron una resistencia de 387 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo las muestras con menor valor de resistencia.

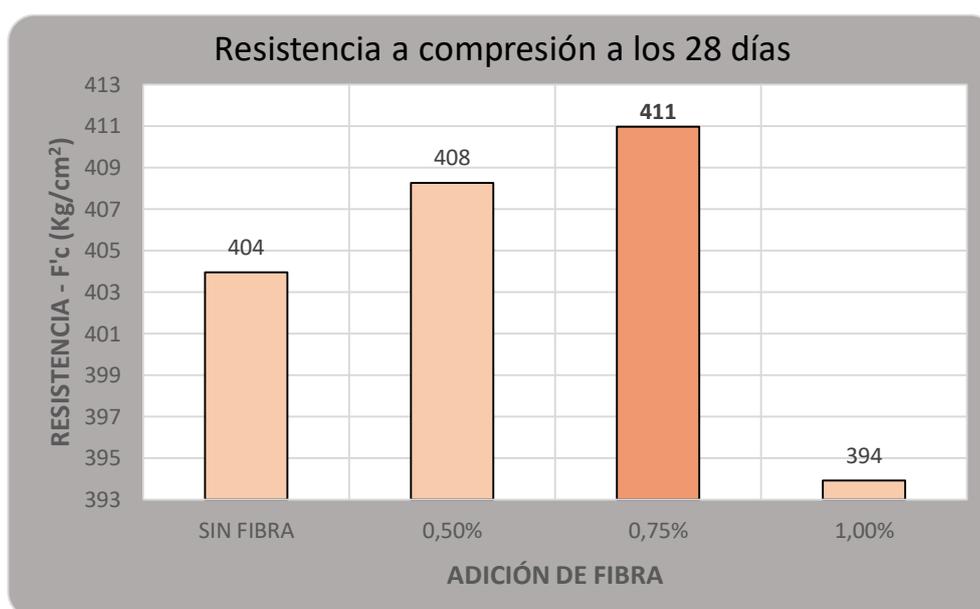
- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto a los 28 días, con adición de fibra al 0 %, 0.50 %, 0.75 % y 1.0 %.

**Tabla 62: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión a los 28 días.**

TESTIGOS CILÍNDRICOS	Día de Rotura	28			
		Testigos	Carga Última (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Prom (Kgf/cm <sup>2</sup> )
SIN FIBRA	TESTIGO 1	31750	404	404	0,31
	TESTIGO 2	31620	403		
	TESTIGO 3	31810	405		
0,50%	TESTIGO 1	32090	409	408	0,20
	TESTIGO 2	31990	407		
	TESTIGO 3	32110	409		
0,75%	TESTIGO 1	32390	412	411	0,37
	TESTIGO 2	32290	411		
	TESTIGO 3	32150	409		
1,00%	TESTIGO 1	31010	395	394	0,21
	TESTIGO 2	30910	394		
	TESTIGO 3	30890	393		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos a los 28 días.**

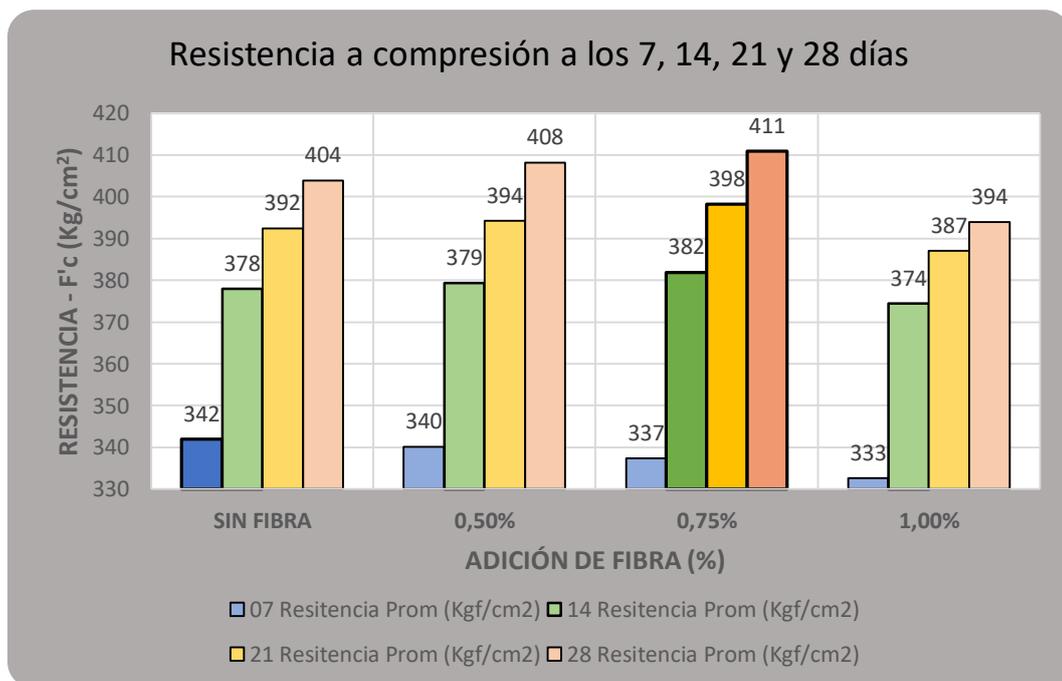


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se apreció el comportamiento de los testigos de concreto a los 28 días, manteniendo la misma tendencia que las dos edades anteriores. Las muestras con adición de fibra al 0.75 % llegaron a alcanzar una resistencia a la compresión de 411 Kg/cm<sup>2</sup>, seguida de los testigos con adición de fibra al 0.50 %, quienes obtuvieron una resistencia de 408 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el concreto sin fibra logró una resistencia de 404 Kg/cm<sup>2</sup>, terminando con una resistencia de 394 Kg/cm<sup>2</sup> por parte de las muestras de concreto con adición de fibra al 1.00 %.

- Comportamiento de la resistencia a compresión de testigos de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días, con adición de fibra al 0 %, 0.50 %, 0.75 % y 1.00 %.

**Figura 43: Influencia de la fibra en la resistencia a la compresión en testigos cilíndricos, a los 7, 14, 21 y 28 días.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 43, el concreto con adición de fibra al 0.75 % en las edades de 14, 21 y 28 días, alcanzó las resistencias más altas de 382 Kg/cm<sup>2</sup>, 398 Kg/cm<sup>2</sup> y 411 Kg/cm<sup>2</sup> que, en relación con el concreto patrón, aportó positivamente en la resistencia en un 1.73% a los 28 días. Este resultado da a concluir que la adición de fibra de Agave Americana L. al 0.75 % es el ideal para alcanzar mayores

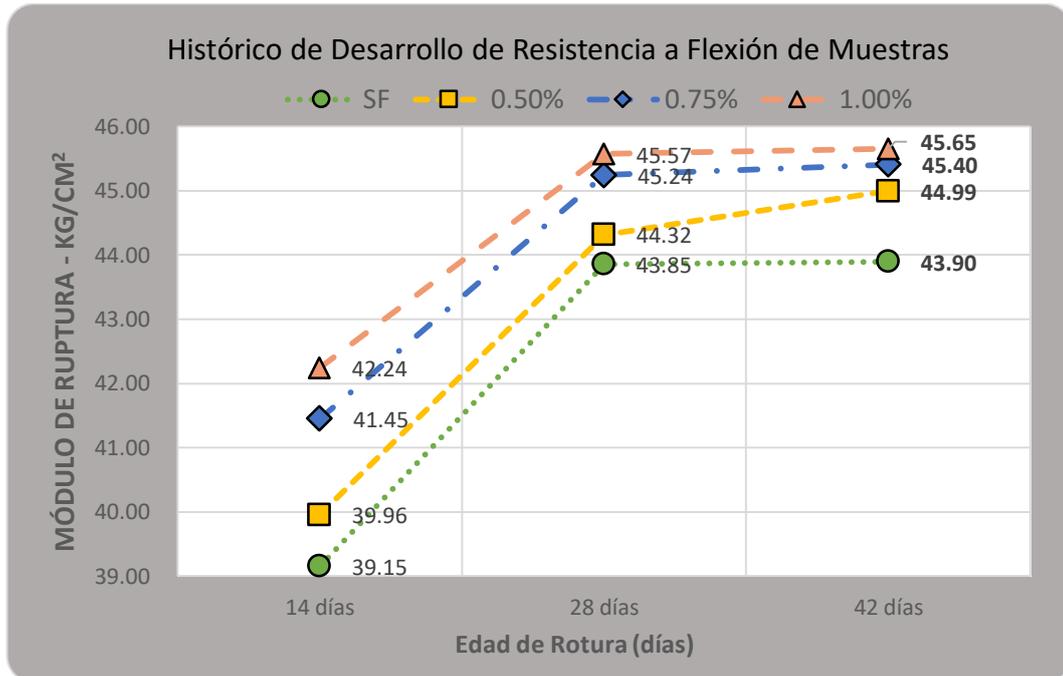
resistencias a esfuerzos axiales de compresión, en comparación con otros porcentajes de fibra.

Cabe resaltar que los concretos con adición de fibra al 1.0 % fueron los que obtuvieron el menor valor de resistencia en todas las edades de rotura, pudiendo deberse a que, a mayor volumen de fibra adicionada, esta absorbe el agua que es necesaria para la hidratación normal de la mezcla y al ser mayor la superficie específica del concreto pierde trabajabilidad, siendo indispensable hidratar el concreto en el proceso de curado lo más pronto posible.

#### 4.2.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

- Comparación de la resistencia a tracción por flexión de testigos de concreto con adición de fibra al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% a través del tiempo.

Figura 44: Comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto con adición de fibra a través el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 44, la resistencia a la tracción por flexión o módulo de ruptura de concreto es ascendente a través del tiempo, y en todos los casos superaron la resistencia de diseño. Se puede observar que el concreto sin adición de fibra presentó la resistencia más baja en comparación con los demás concretos tratados, siendo los módulos de ruptura de 39.15 Kg/cm<sup>2</sup>, 43.85 Kg/cm<sup>2</sup> y 43.90 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14, 28 y 42 días respectivamente, seguidos por los concretos con adición de fibra al 0.50 % y 0.75 %, obteniendo valores cercanos entre sí de 44.32 Kg/cm<sup>2</sup> y 45.24 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Por otro lado, el concreto con adición de fibra de maguey al 1.0% alcanzó las resistencias más altas en todas las edades ensayadas, adquiriendo valores de  $f_r = 42.24$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días, 45.57 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y 45.65 Kg/cm<sup>2</sup> a los 42 días.

- Comportamiento de la resistencia a flexión en vigas de concreto a los 14 días, con adición de fibra al 0 %, 0.5 %, 0.75 % y 1.0 %.

**Tabla 63: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 14 días.**

VIGAS	DÍAS	14						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	2650	48,0	14,9	15,0	37,94	39,15	2,69
	TESTIGO 2	2820	48,0	14,9	15,1	39,84		
	TESTIGO 3	2790	48,0	15,0	15,0	39,68		
0,50%	TESTIGO 1	2810	48,0	14,8	15,1	39,97	39,96	3,19
	TESTIGO 2	2750	48,1	15,0	15,1	38,68		
	TESTIGO 3	2990	48,1	15,1	15,2	41,22		
0,75%	TESTIGO 1	2920	48,0	14,8	15,1	41,53	41,45	2,70
	TESTIGO 2	2970	48,0	14,9	15,0	42,52		
	TESTIGO 3	2890	48,0	15,1	15,1	40,29		
1,00%	TESTIGO 1	3070	48,0	15,1	15,1	42,80	42,24	1,32
	TESTIGO 2	2990	48,0	15,1	15,1	41,69		
	TESTIGO 3	3010	48,0	15,2	15,0	42,25		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 14 días.**



Fuente: Elaboración propia.

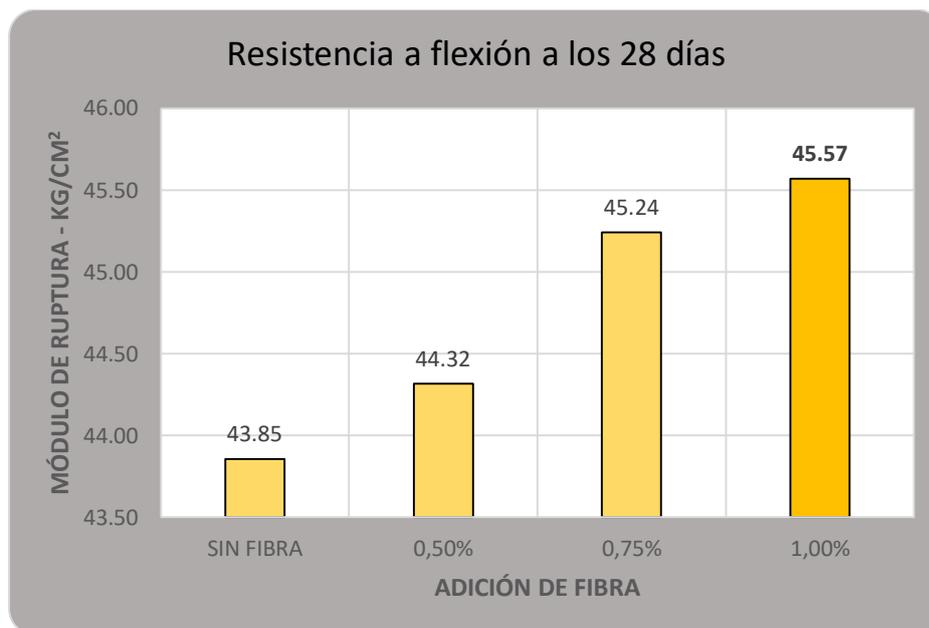
En la figura 45, se puede observar que, a los 14 días los concretos con adición de fibra de maguey al 0.50 % y 0.75 % incrementaron la resistencia en un 2.07% y 5.87% respectivamente con respecto a la muestra patrón; mientras que el valor más alto se obtuvo con el porcentaje de 1.00 % de fibra, siendo el Módulo de Ruptura de 42.24 Kg /cm<sup>2</sup> y superando a la muestra patrón en un 7.89 %.

**Tabla 64: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 28 días.**

VIGAS	DÍAS	28						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	3020	48,0	15,1	15,1	42,10	43,85	3,47
	TESTIGO 2	3090	48,1	14,8	15,0	44,63		
	TESTIGO 3	3110	48,0	15,0	14,9	44,83		
0,50%	TESTIGO 1	3060	48,0	15,0	15,0	43,52	44,32	1,56
	TESTIGO 2	3140	48,0	14,8	15,1	44,66		
	TESTIGO 3	3120	48,1	14,9	15,0	44,76		
0,75%	TESTIGO 1	3120	48,0	15,1	14,9	44,67	45,24	1,45
	TESTIGO 2	3170	48,0	14,8	15,1	45,09		
	TESTIGO 3	3210	48,0	14,9	15,0	45,96		
1,00%	TESTIGO 1	3180	48,0	14,9	14,9	46,14	45,57	2,86
	TESTIGO 2	3240	48,1	15,1	14,9	46,49		
	TESTIGO 3	3120	48,0	15,1	15,0	44,08		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 46: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 28 días.**



Fuente: Elaboración propia.

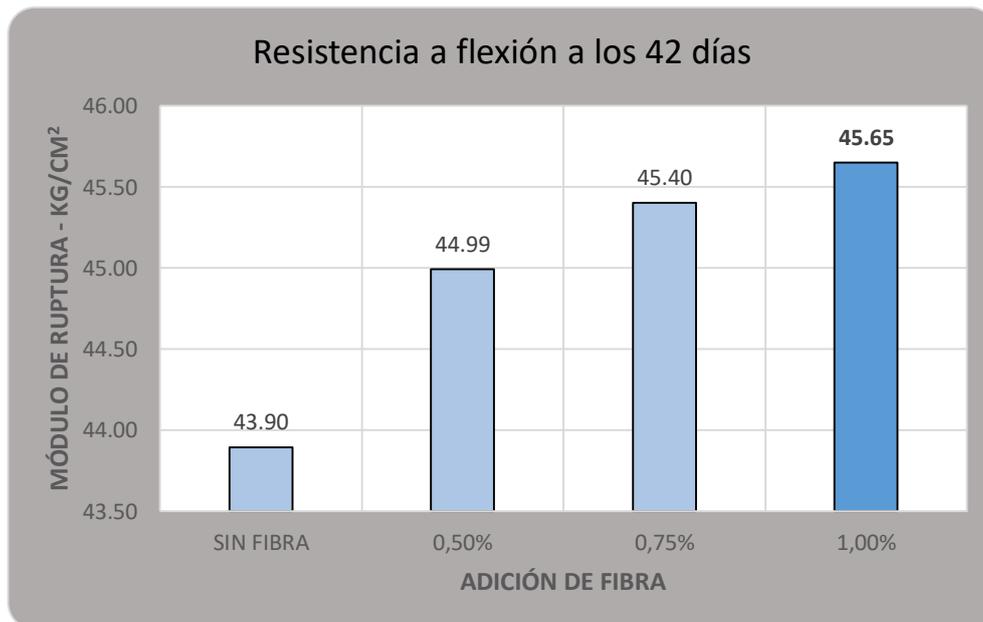
En la figura 46, a los 28 días la mayor resistencia a flexión alcanzada fue de 45.57 Kg/cm<sup>2</sup> con una adición de fibra de 1.00 % que en comparación con la muestra patrón la superó en un 3.92 %. Los concretos con adición de fibra de maguey al 0.50 % y 0.75 % incrementaron la resistencia en un 1.07 % y 3.17 % respectivamente con respecto al concreto sin fibra.

**Tabla 65: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión a los 42 días.**

VIGAS	DÍAS	42						
	Testigos	Carga Última (Kgf)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Mod. Rup. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Mod. Rup. Prom. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Cv
SIN FIBRA	TESTIGO 1	3060	48,0	14,9	15,1	43,23	43,90	1,35
	TESTIGO 2	3120	48,0	14,9	15,1	44,08		
	TESTIGO 3	3120	48,0	15,0	15,0	44,37		
0,50%	TESTIGO 1	3180	47,9	14,9	14,9	46,05	44,99	2,33
	TESTIGO 2	3100	48,0	14,9	14,9	44,98		
	TESTIGO 3	3090	48,0	15,0	15,0	43,95		
0,75%	TESTIGO 1	3270	48,1	15,2	15,0	45,99	45,40	1,37
	TESTIGO 2	3140	48,1	15,0	15,0	44,75		
	TESTIGO 3	3240	48,0	15,0	15,1	45,47		
1,00%	TESTIGO 1	3270	47,9	15,2	15,1	45,19	45,65	0,86
	TESTIGO 2	3290	48,0	15,1	15,1	45,87		
	TESTIGO 3	3320	47,9	15,2	15,1	45,89		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 42 días.**

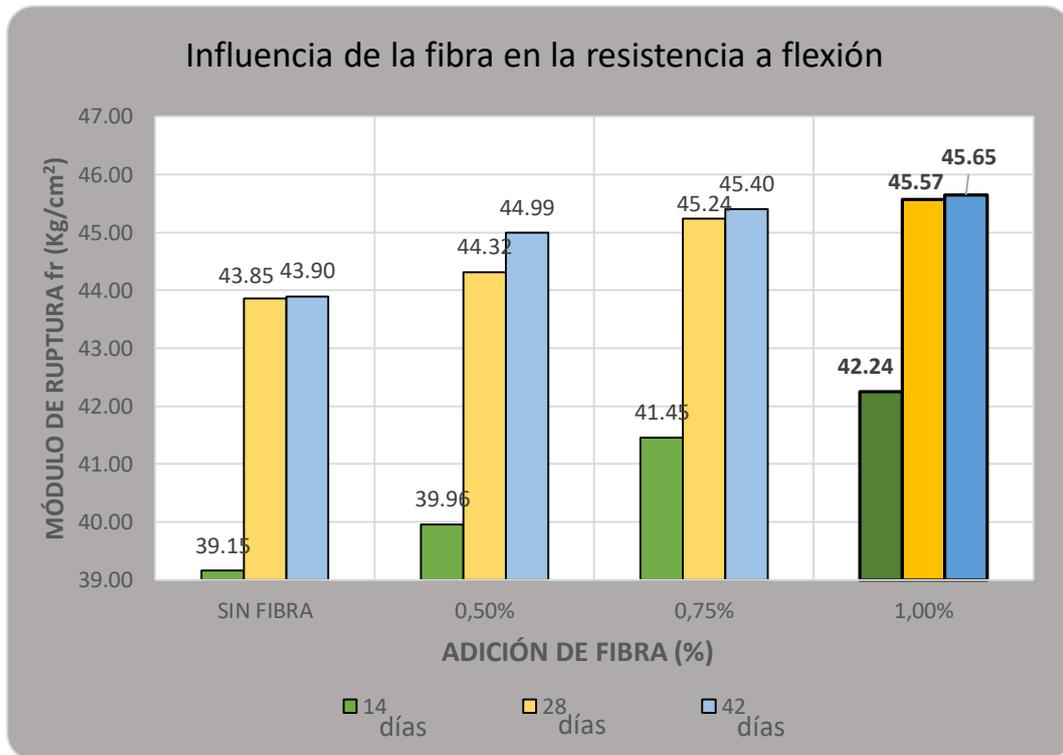


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 47, se observa que la resistencia a la tracción por flexión alcanzada fue de 45.65 Kg/cm<sup>2</sup> a los 42 días en comparación con la muestra patrón que llegó a un módulo de ruptura de 43.90 Kg/cm<sup>2</sup>, superándola en un 3.99 %. Las muestras de 0.50 % y 0.75 % de adición de fibra superaron a la muestra patrón en 2.48 % y 3.48 % respectivamente.

- Comportamiento de la resistencia a flexión de vigas de concreto a los 14, 28 y 42 días, con adición de fibra al 0 %, 0.5 %, 0.75 % y 1.0 %.

**Figura 48: Influencia de la fibra en la resistencia a la flexión en vigas de concreto a los 14, 21 y 42 días.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El concreto con adición de fibra al 1.00 % alcanzó las resistencias más altas en todas las edades ensayadas, obteniendo valores de  $fr = 42.24 \text{ Kg/cm}^2$  a los 14 días,  $45.57 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días y  $45.65 \text{ Kg/cm}^2$  a los 42 días. Sin embargo, se puede observar que el  $fr$  (módulo de ruptura) entre los 28 y 42 días no tienen mucha variación, por lo que se deduce que, llegado a su madurez, el concreto incrementa levemente su capacidad de resistencia.

#### 4.2.3. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A ESFUERZOS AXIALES CON LA MUESTRA PATRÓN

Tabla 66: Comparación de resultados de testigos cilíndricos

Comportamiento de la resistencia a compresión en comparación con la muestra patrón				
Dosificación	Días			
	7	14	21	28
Sin Fibra	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.50%	-0.51%	0.35%	0.45%	1.06%
0.75%	-1.32%	1.03%	1.46%	1.73%
1.00%	-2.73%	-0.94%	-1.37%	-2.49%

Fuente: Elaboración propia.

El concreto con adición de fibra al 0.75 % superó positivamente a la muestra patrón en un 1.73 % a los 28 días, siendo este porcentaje el óptimo para alcanzar resistencias mayores a esfuerzos a compresión.

Tabla 67: Comparación de resultados de vigas

Comportamiento de la resistencia a tracción por flexión en comparación con la muestra patrón			
Dosificación	Días		
	14	28	42
Sin Fibra	0,00%	0,00%	0,00%
0,50%	2,07%	1,07%	2,48%
0,75%	5,87%	3,17%	3,42%
1,00%	7,89%	3,92%	3,99%

Fuente: Elaboración propia.

El concreto con adición de fibra al 1.00 % superó positivamente a la muestra patrón en un 3.92 % a los 28 días, siendo este porcentaje el óptimo para alcanzar resistencias mayores a esfuerzos a tracción por flexión.

#### 4.2.4. MÓDULO DE RUPTURA

La resistencia a la tracción por flexión de vigas de concreto es ascendente a través del tiempo.

Según el ACI, la relación entre la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) y la resistencia a la flexión (Módulo de ruptura:  $fr$ ) es aproximadamente de 10 % a 15 %, por lo que se tiene lo siguiente:

**Tabla 68: Relación lineal entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción por flexión**

Adición de Fibra	14 Días	28 Días
	$k = fr/f'c$	$k = fr/f'c$
0,00	0,10	0,11
0,50%	0,11	0,11
0,75%	0,11	0,11
1,00%	0,11	0,12

Fuente: Elaboración propia.

La relación potencial entre  $fr$  y  $f'c$  se presenta con la siguiente ecuación: (7)

$$fr = 2\sqrt{f'c}$$

Donde:

$fr$  = Resistencia a la flexión

$f'c$  = Resistencia a compresión

**Tabla 69: Valores para la constante k**

Adición de Fibra	14 Días	28 Días
	$k = fr / \sqrt{f'c}$	$k = fr / \sqrt{f'c}$
0,00	2,01	2,18
0,50%	2,05	2,23
0,75%	2,12	2,24
1,00%	2,18	2,30

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la relación lineal obtenida, se determina que los resultados se encuentran dentro del rango establecido, obteniendo valores entre 10 % y 12 %.

Según el ACI, la resistencia a la flexión -  $f_r$ , para un concreto de peso normal, se aproxima a valores de 1,99 a 2,65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. De acuerdo a los datos obtenidos se puede evidenciar que estos se encuentran dentro del rango solicitado, teniendo valores entre 2,01 y 2,30 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

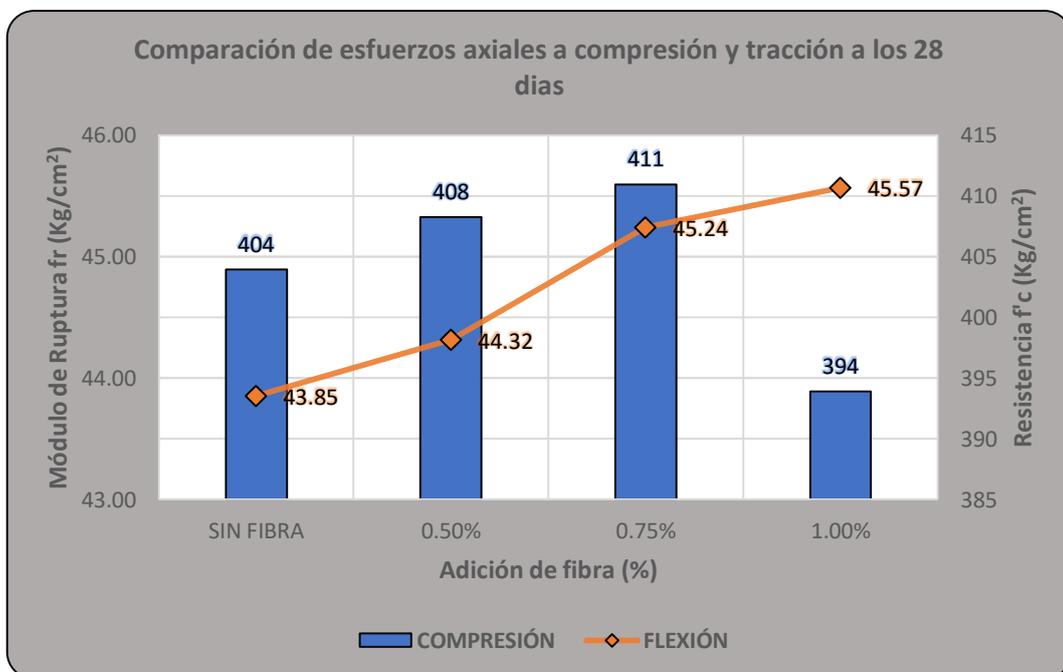
De las dos relaciones asumidas, la expresión  $f_r = k \sqrt{f'_c}$  se acerca de manera más real a los resultados experimentales. La relación lineal,  $f_r = k (f'_c)$  puede considerarse aceptable para valores de  $f'_c$  hasta de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Para valores de  $f'_c$  mayores que 280 kg/cm<sup>2</sup> no es recomendable asumir una relación lineal entre  $f_r$  y  $f'_c$ .

En ambos casos, los resultados se encuentran dentro de los rangos permitidos, por lo que se asume que los valores del Módulo de ruptura son correctos.

#### 4.2.5. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

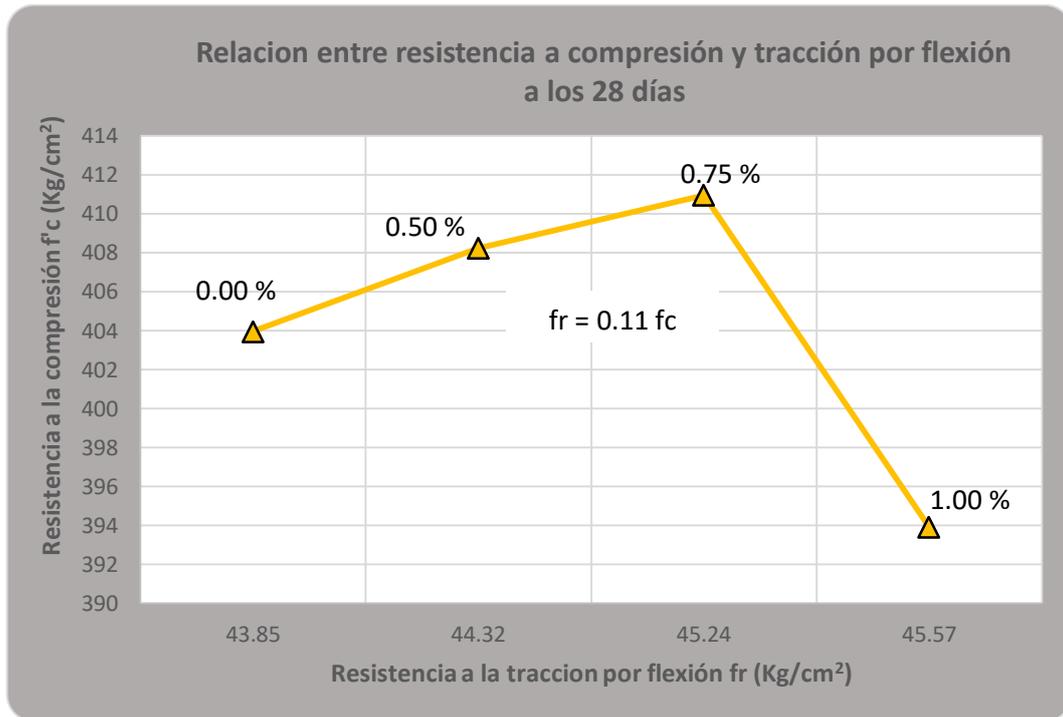
Figura 49: Comparación de la resistencia a la compresión y tracción por flexión a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la compresión de testigos de concreto tiene un crecimiento constante conforme la fibra aumenta, sufriendo un quiebre al 0.75 %. Mientras que la resistencia a la tracción por flexión tiene un crecimiento ascendente con la adición de fibra sin cambiar negativamente en ningún punto.

**Figura 50: Comparación de la resistencia a la compresión y tracción por flexión a los 28 días.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Al hacer la comparación entre los dos esfuerzos axiales, se puede observar que la resistencia a la tracción por flexión y la resistencia a la compresión es positiva y constante hasta el 0.75 %, sufriendo una pérdida al 1.00 %, lo que indica que en el tercer punto alcanzaron ambos esfuerzos axiales su máxima resistencia, por lo que se concluye que la adición de fibra de Agave Americana L. óptima será de 0.75 %.

## CONCLUSIONES

1. Luego de realizar las pruebas de compresión de testigos cilíndricos y tracción por flexión de vigas de concreto se puede afirmar que, la adición de fibra de Agave Americana L. influye positivamente en la resistencia a solicitudes axiales del concreto, debido a que la fibra le aporta propiedades mecánicas de resistencia y tenacidad al concreto.
2. De la discusión de resultados podemos observar que la ganancia de resistencias a esfuerzos axiales de compresión ha sido positiva en aproximadamente 1.73 % de la adición de fibra de Agave Americana L. al 0.75 % del volumen del concreto con respecto a la muestra patrón (concreto sin adición de fibra). Sin embargo, se observa que sobre el 0.75 % la resistencia presenta una caída, la cual se dio debido a que los concretos con mayor adición de fibra (1.00 %) absorben el agua que es necesaria para la hidratación normal de la mezcla y al ser mayor la superficie específica del concreto ésta pierde trabajabilidad, siendo necesario agregar una mayor cantidad de agua para que el concreto fluya y complete su proceso de hidratación, siendo importante que se realice el curado lo más pronto posible.
3. Así también, la resistencia a esfuerzos axiales de tracción ha sido positiva en todos sus resultados, alcanzando porcentajes de 7.89 % de la adición de fibra de Agave Americana L. al 1.00% del volumen del concreto con respecto a la muestra patrón (sin adición de fibra) a los 14 días, de 3.92 % a los 28 y de 3.99 % a los 42 días.
4. Habiendo analizado ambas propiedades de esfuerzos axiales, se pudo concluir que el óptimo porcentaje de adición de fibra de Agave Americana L. (maguey) es al 0.75%, debido a que en la compresión se pierde resistencia a partir de este valor, mientras que en la tracción por flexión sigue ganando resistencia, pero en pocas cantidades.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda trabajar con el óptimo porcentaje de adición de fibra de Agave Americana L. (maguey) al 0.75% en caso de la aplicación de estos estudios, ya que nos da las mejores condiciones y tiene el mejor comportamiento tanto a tracción como a compresión.
2. Se recomienda desarrollar estudios de esfuerzos axiales de compresión y tracción a largo plazo como a los 2, 5 o 10 años y poder verificar si el concreto con adición de fibra de Agave Americana L. ha mantenido sus propiedades, ha disminuido o ha aumentado la resistencia.
3. La fibra de Agave Americana L. puede emplearse en diversos elementos de construcción de concreto, tales como losas, muros, entre otros; y en materiales de construcción como ladrillos, losetas, bloques para muros, etc.; por lo que se recomienda realizar una investigación para determinar la influencia de la resistencia en los mismos.
4. Proseguir con esta investigación analizando el comportamiento de las fibras de Agave Americana L. frente a las propiedades de resistencia y trabajabilidad en el concreto armado.
5. Se recomienda realizar un estudio de las variedades de fibras naturales presentes en nuestro Valle del Mantaro, ya que podrían ayudar a conocer las propiedades de las mismas y así, poder aplicarlas en mejorar la resistencia de concretos convencionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **RIVVA LOPEZ, Enrique.** Naturaleza y Materiales del Concreto. Primera Edición. Lima, Perú : Capitulo Peruano ACI, 2000.
2. Informe Económico de la Construcción - IEC. **CAPECO - CÁMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN.** 25, Lima, Perú : CAPECO, 2019, Vol. I.
3. **ASOCEM - ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CEMENTO.** Reporte Estadístico Mensual noviembre 2019. [En línea] ASOCEM, 13 de 12 de 2019. [Citado el: 13 de 12 de 2019.] <http://www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales/reporte-estadistico-mensual-noviembre-2019>.
4. Concreto reforzado con fibras. **INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO - IMCYC.** 13, México : IMCYC, 2007.
5. **CASTRO ORVAÑANOS, José y E. NAAMAN, Antoine.** Mortero de cemento reforzado con fibras naturales. Estados Unidos : ACI Journal, 1981.
6. **CONSTRUCTIVO.** Concreto Reforzado Con Fibras: Beneficios Y Ventajas Para La Construcción. [En línea] 22 de Setiembre de 2016. [Citado el: 21 de Julio de 2017.] <http://www.constructivo.com/cn/d/novedad.php?id=7>.
7. **Comité ACI 318.** Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural Y Comentario (ACI 318S-05). Farmington Hill, MICHIGAN : American Concrete Institute, 2005. 0-087031-083-6.
8. **James I. DANIEL y otros.** State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete - ACI 544.1R-96. USA : American Concrete Institute, 2001.
9. **PINZÓN GALVIS, Sandra.** Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Colombia : Universidad Piloto de Colombia, 2013.
10. **OSORIO SARAZ, Jairo Alexander, VARÓN, Fredy y HERRERA, Jhonny.** Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Medellín, Colombia : Dyna. Universidad Nacional de Colombia, 2007. 0012-7353.
11. **CHIGUAY BARRIA, Marcos Fabián.** Propiedades mecánicas de losetas de hormigón con refuerzo de colihue (Chusquea culeou Desv.). Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2007.
12. **QUINTERO GARCÍA, Sandra y GONZALES SALCEDO, Luis.** Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Colombia : Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte, 2006. 0122-3461.
13. **JUÁREZ ALVARADO, César A., RODRÍGUEZ, Patricia y RIVERA, Raymundo.** Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. Monterrey, México : Ciencia UANL. Univeridad Autónoma de Nuevo León, 2003. 1405-9177.
14. **MALLAUPPOMA FRANCO, Gavi Jackeline.** Comportamiento del concreto con adición de fibras de Agave Americana L. para la mejora de sus propiedades en estado fresco, San Carlos - Huancayo 2017. Huancayo - Perú : Universidad Continental, 2019.
15. **RIVVA LÓPEZ, Enrique.** Diseño de Mezclas. Segunda Edición. Lima - Perú : Derechos de Edición reservados, 2007.
16. **PARRO.** Definición de esfuerzo axial y conceptos relacionados. Diccionario de Arquitectura y Construcción. [En línea] 2017. <http://www.parro.com.ar/definicion-de-esfuerzo+axial>.
17. TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS. **Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía.** Andalucía. : Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2011. 1989-4023.
18. Hormigón (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados - NTP 339.047. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima - Perú : INDECOPI, 2006.
19. HORMIGÓN (CONCRETO). Especificación normalizada del concreto y concreto proyectado reforzado con fibra - NTP 339.204. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2007.

20. Identificación taxonómica de agaves (*Agave spp.*) utilizados para la elaboración del licor comiteco en Chiapas, Mexico. **REYNOSO SANTOS, Roberto y otros.** 4, Chiapas, México : Agroproductividad, 2012, Vol. 5. 0188-7394.
21. **BAUTISTA CRUZ, Nelson.** Estudio químico - bromatológico y elaboración de néctar de aguamiel de *Agave americana L.* (manguey) procedente de Ayacucho. Lima - Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2006.
22. **Bryant MATHER, presidente y otros.** Terminología del cemento y el hormigón - ACI 116. U.S.A. : American Concrete Institute, 2000.
23. **ABANTO CASTILLO, Flavio.** Tecnología del Concreto (Teoría y problemas). LIMA - PERU : San Marcos, 2009.
24. **PASQUEL CARBAJAL, Enrique.** Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Segunda Edición. Lima : Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.
25. CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura - NTP 334.001. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2001.
26. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos - NTP 334.009. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2005.
27. HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos - NTP 339.088. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2006.
28. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar.** Metodología de la investigación. Quinta edición. México D.F. : McGRAW-HILL, 2010. 978-607-15-0291-9.
29. HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio - NTP 339.183. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2003.
30. **JUAREZ ALVARADO, Cesar Antonio.** CONCRETOS BASE CEMENTO PORTLAND REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES (AGAVE LECHEGUILLA). COMO MATERIALES PARA CONSTRUCCION EN MEXICO. MEXICO : UNIVERISDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON, 2002.
31. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas - NTP 339.034. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2008.
32. Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigón de obra. **SHARMA, R. C.** 149, España : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Vol. 23.
33. CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo - NTP 339.078. **NORMA TÉCNICA PERUANA.** Lima, Perú : INDECOPI, 2012.
34. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto. **INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO AC - IMCYC.** 16, México : IMCYC, 2008.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1:: ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO PREMEZCLADO.



www.unicon.com.pe

### INFORMACIÓN TÉCNICA SOLICITADA

#### 1. DISEÑO CARACTERÍSTICO DEL CONCRETO

Características	Diseño	Unidades
Resistencia (f'c)	f'c = 280kg/cm <sup>2</sup> , con aire incorporado	kg/cm <sup>2</sup>
Agua / Cemento	0.56	-
Tipo de cemento	I	-
Agregado Fino	53	%
Agregado grueso (Huso 67)	47	%
Peso Unitario	2253	kg/m <sup>3</sup>
Slump	6"	Pulg.

#### 2. TOLERANCIAS DEL CONCRETO

Propiedad	TOLERANCIAS
	Slump de diseño > 4"
Slump (Pulg.)	± 1 1/2" (ASTM C-94)
Agua / Cemento	+ 0.02
Tiempo de vida útil comercial por pérdida de trabajabilidad.	2.5

#### 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS INSUMOS

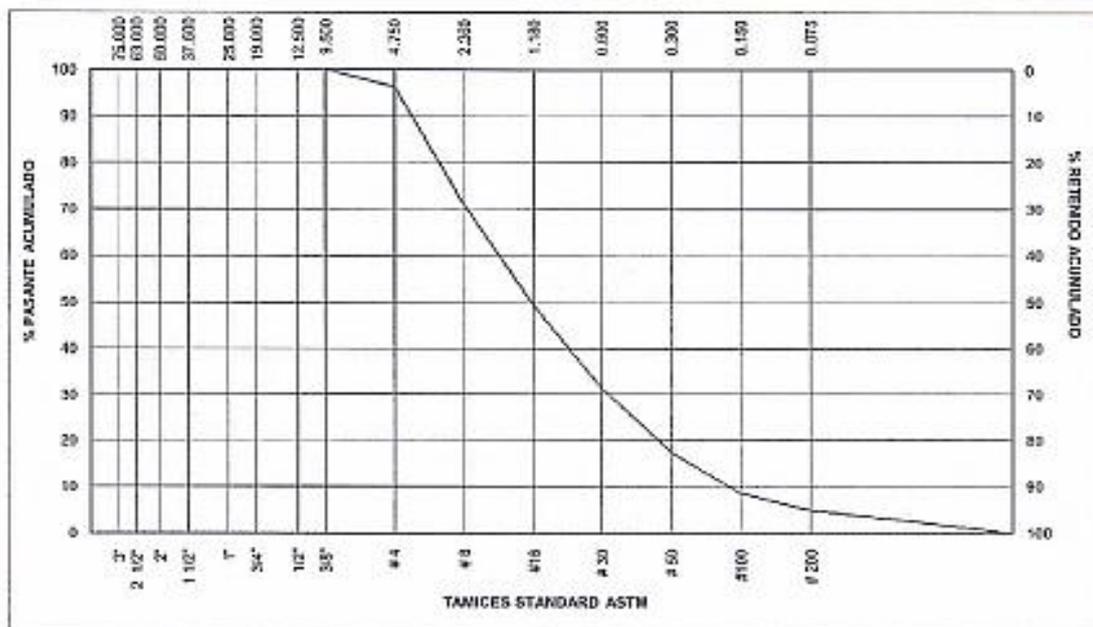
Insumo	Procedencia	Especificación
Agregado fino	CANTERA COPROSA	ASTM C 33
Agregado grueso / Huso 67 ASTM	CANTERA COPROSA	ASTM C 33
Cemento Tipo I	Cemento Andino -UNACEM	ASTM C 150
Master Set R 770	BASF PERU	ASTM C 494 Tipo B y D
Master Rheobuild 1000	BASF PERÚ	ASTM C 494 Tipo A y F
Sika Aer	SIKA PERU	ASTM C 260
Agua	RED PÚBLICA	NTP 339.088

#### 4. CERTIFICADOS DE CALIDAD DE LOS INSUMOS UTILIZADOS

  
 Ing. Juan Harman Canalie  
 Superintendente de Diseño de Producto y Laboratorio  
 Unión de Concreteras S.A.

**ANEXO 2: INFORME DE ENSAYO DE AGREGADO FINO**

UNICON PROFESIONALES EN CONCRETO		GID-LA-R-008			INFORME DE ENSAYO DE AGREGADOS		Pag 1 de 1	
N° SOLICITUD :				INSPECCIÓN :	2289			
MUESTRA :	AGREGADO FINO			FECHA DE RECEPCIÓN :	27/07/2017			
PROCEDENCIA :	CANTERA COPROSA PLANTA HUANCAYO			FECHA DE ENTREGA :	28/08/2017			
PETICIONARIO :	ALCI - PROVINCIA			ANALISTA / TÉCNICO :	R.H / T.P			
GRANULOMETRIA				CARACTERISTICAS FISICAS				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	MODULO DE FINEZA	3.26		
3"		0.0	0.0	100.0	TAMAÑO MÁXIMO	-----		
2 1/2"		0.0	0.0	100.0	PESO ESPECIFICO SECO	2.56		
2"		0.0	0.0	100.0	PESO ESPECIFICO SSS	2.61		
1 1/2"		0.0	0.0	100.0	% ABSORCIÓN	1.88		
1"		0.0	0.0	100.0	% PASANTE DE MALLA #200	4.8		
3/4"		0.0	0.0	100.0	% ABRASIÓN Los Angeles	-----		
1/2"		0.0	0.0	100.0	% EQUIVALENTE DE ARENA	-----		
3/8"		0.0	0.0	100.0	% PARTICULAS FRIABLES Y TIRRONES DE ARCILLA	-----		
#4	28.0	3.6	3.6	96.4	% PARTICULAS LIGERAS	-----		
#8	194.8	25.4	29.0	71.0	% INALTERABILIDAD	5.9		
#16	165.8	21.6	50.6	49.4	per medio de sulfato de magnesio	-----		
#30	138.0	18.0	68.6	31.4	PESO UNITARIO SUELTO(kg/m3)	1681		
#50	107.2	14.0	82.6	17.4	PESO UNITARIO COMPAC (kg/m3)	1856		
#100	67.9	8.8	91.4	8.6	CARACTERISTICAS QUIMICAS			
#200	28.9	3.8	95.2	4.8	SALES SOLUB. TOTALES (ppm)	133		
Fondo	37.1	4.8	100.0	0.0	SULFATOS SOLUBLES (ppm)	-----		
					CLORUROS SOLUBLES (ppm)	3		
					IMPUREZAS ORGANICAS	NO CONTIENE		
					% HUMEDAD	2.38		
TOTAL	767.7	100.0	AGREGADO FINEZA	3.26	VALOR AZUL	-----		



*[Signature]*  
 Ing. Patricia Chumpiza  
 Jefe de Laboratorio

Revisado por:

GID-LA-R-008

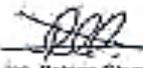
### ANEXO 3: INFORME DE ENSAYO DE AGREGADO GRUESO

<b>UNICON</b> PROFESIONALES EN CONCRETO		GID-LA-R-008			INFORME DE ENSAYO DE AGREGADOS		Pag 1 de 1
N° SOLICITUD : MUESTRA : AGREGADO GRUESO TIPO 67				INSPECCIÓN : 2290			
PROCEDENCIA : CANTERA COPROSA				FECHA DE RECEPCIÓN : 27/07/2017			
PETICIONARIO : ALCI - PROVINCIA				FECHA DE ENTREGA : 28/08/2017			
				ANALISTA / TÉCNICO : R.H / T.P			
GRANULOMETRIA					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
MAILLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	MODULO DE FINEZA		
3"		0.0	0.0	100.0		6.50	
2 1/2"		0.0	0.0	100.0		TAMAÑO MÁXIMO 3/4"	
2"		0.0	0.0	100.0		PESO ESPECÍFICO SECO 2.61	
1 1/2"		0.0	0.0	100.0		PESO ESPECÍFICO SSS 2.64	
1"		0.0	0.0	100.0		% ABSORCIÓN 0.95	
3/4"	42.5	0.6	0.6	99.4		% PASANTE DE MALLA # 200 0.86	
1/2"	2620.6	35.0	35.5	64.5		% ABRASIÓN Los Angeles -----	
3/8"	1706.4	22.8	58.3	41.7		% EQUIVALENTE DE ARENA -----	
# 4	2766.7	36.9	95.2	4.8		% PARTICULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA -----	
# 8	371.7	5.6	98.9	1.1		% PARTICULAS LIGERAS -----	
# 16	16.5	0.2	99.1	0.9		% INALTERABILIDAD 7.1	
# 30	3.7	0.0	99.1	0.9		per medio de sulfato de magnesio	
# 50	4.5	0.1	99.2	0.8		PESO UNITARIO SUELTO (kg/m <sup>3</sup> ) 1417	
# 100	10.3	0.1	99.3	0.7		PESO UNITARIO COMPACT (kg/m <sup>3</sup> ) 1528	
Fondo	49.3	0.7	100.0	0.0		CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
					SALES SOLUB. TOTALES (ppm) 56		
					SULFATOS SOLUBILES (ppm) -----		
					CLORUROS SOLUBLES (ppm) 2		
					% PARTICULAS CHATAS -----		
					% PARTICULAS ALARGADAS -----		
					% HUMEDAD 0.3		
<b>TOTAL</b>		<b>7492.2</b>	<b>100.0</b>	<b>MODULO FINEZA</b>	<b>6.50</b>		

TAMICES STANDARD ASTM

Revisado por:

  
 Ing. Patricia Chumillas  
 Jefe de Laboratorio  
 Grúas de Construcción S.A.

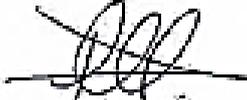
GID-LA-R-008  
Rev.00

**ANEXO 4: INFORME DE ENSAYO QUÍMICOS DEL AGUA**

<p align="center"><b>UNICON</b> PROFESIONALES EN CONCRETO</p>	<p align="center">GID-LA-R-007</p>	<p align="center"><b>INFORME DE ENSAYOS QUÍMICOS</b></p>	<p align="center">Pág 1 de 1</p>
---	------------------------------------	--	----------------------------------

SOLICITUD : 2292  
 TIPO DE MUESTRA : AGUA DE PRODUCCIÓN  
 PROCEDENCIA : PLANTA HUANCAYO  
 METODO DE ENSAYO : VARIOS  
 SOLICITADO POR : ALCI - PROVINCIA  
 FECHA RECEPCIÓN : 27/07/2017  
 FECHA DE ENTREGA : 28/08/2017  
 ANALISTA : R.H

ENSAYO	AGUA	Limite Permisible	REFERENCIA METODO
Residuos sólidos totales (ppm)	583.0	5000 Max	NTP 339.071
Contenido de sulfatos (ppm)	132.5	1000 Max	NTP 339.074
Contenido de cloruros (ppm)	34.5	1000 Max	NTP 339.076
pH 23.1 °C	7.8	5,5 Min	NTP 339.073
Alcalinidad 23.5 °C (ppm)	377.8	1000 Max	ASTM D 1067

  
 Ing. Patricia Chumpitaz  
 Jefa de Laboratorio  
 Unión de Concreteras S.A.

ANEXO 5: INFORME DE ENSAYO DE FIBRA AGAVE AMERICANA L.



Nº INFORME DE ENSAYO Nº 35434

FECHA : 23 DE OCTUBRE DEL 2017

MUESTRA : HILOS

Descripción declarada por el solicitante:

Artículo : HILO  
 Fibra : VEGETAL  
 Tipo : AGAVE AMERICANA L  
 Color : MARRON JASPEADO  
 Lote : 07 - Oct

Recepción : 19/10/2017  
 Ensayo : 20/10/2017  
 Inf. Previo : -

ENSAYOS SOLICITADOS : 1. Resistencia de Hilos - ASTM D 2256  
 2. Título de Hilos - ASTM D 1059  
 3. Espesor de Hilos - ASTM D 885

ENSAYO	RESULTADO												
<p><b>1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE HILOS</b>                      Método : ASTM D 2256 / D 2256 M / 10 e1                      Configuración : A - Especimen Recto                      Especímenes : Acondicionados, 250 mm                      Equipo : Micro-CX Universal Tester, CRE                      Mordazas : Mordaza Plana - PST2 - Neumática</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROPIEDADES</th> <th>PROMEDIO</th> <th>MAXIMO</th> <th>MINIMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FUERZA Kgf</td> <td>0.351</td> <td>0.691</td> <td>0.137</td> </tr> <tr> <td>ELONGACIÓN %</td> <td>21.1</td> <td>43.2</td> <td>7.8</td> </tr> </tbody> </table>	PROPIEDADES	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	FUERZA Kgf	0.351	0.691	0.137	ELONGACIÓN %	21.1	43.2	7.8
PROPIEDADES	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO										
FUERZA Kgf	0.351	0.691	0.137										
ELONGACIÓN %	21.1	43.2	7.8										
<p><b>2. TÍTULO DE HILO</b>                      Método : ASTM 1059                      Equipo : Regla de Longitud, Balanza</p>	<p>TÍTULO : 199.2 / 1 dTex (Promedio)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Especimen</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>dTex</td> <td>208.58</td> <td>200.33</td> <td>191.10</td> <td>196.64</td> </tr> </tbody> </table>	Especimen	1	2	3	4	dTex	208.58	200.33	191.10	196.64		
Especimen	1	2	3	4									
dTex	208.58	200.33	191.10	196.64									
<p><b>3. ESPESOR DE HILOS</b>                      Método : ASTM D 885 / D 885 M - 10a (2014) e1                      Ítem 31                      Presión : 25 Kpa                      Diámetro del yunque : 10 mm</p>	<p>ESPESOR : 0.103 mm                      ( 102.8 µm )</p>												

**ANEXO 6: DATA DE ENSAYO A LA ROTURA DE TESTIGOS DE LA EMPRESA UNICÓN.**



**CERTIFICADO**

Nº **1107027**

FECHA: 15/01/2019 09:13

**CERTIFICADO DE ENSAYO DE LABORATORIO  
GID-CA-R-003**

OBRA	:	TESIS		
UBICACIÓN	:	CAL FRANCISCA DE LA CALLE S/M HUANCAYO		
TIPO DE ENSAYO	:	Resistencia a Compresión f'c	NORMAS	ASTM-C-39

**RESULTADO DE LOS ENSAYOS**

Nº GUIA REM/ Nº TESTIGO	FECHA DE VACIADO	ESPECIFICACION NOMINAL	EDAD	RESULTADO	UNIDADES
320-0008883 - 0001	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	7 días	348	kg/cm2
320-0008883 - 0002	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	7 días	352	kg/cm2
320-0008883 - 0003	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	7 días	350	kg/cm2
320-0008883 - 0004	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	28 días	402	kg/cm2
320-0008883 - 0005	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	28 días	412	kg/cm2
320-0008883 - 0006	28/10/2017	f'c=280kg/cm2, T-I, c/aire, Pd#67, plast	28 días	408	kg/cm2



FORMULARIO PRUEBAS S.A.C. - RUC: 2010274117 - TEL: 4761177

REALIZADO POR : REVISADO POR : <b>TEC. JACK ELUSBAN DAVILA VELARDE</b> FECHA ENTREGA : <b>ING. ANGIE HIDALGO</b>	RECIBIDO POR: <div style="text-align: right;">                       Jefe Depto. de Control de Calidad                 </div>
--	--

**UNION DE CONCRETERAS S.A.**  
 CARRETERA PANAMERICANA SUR KM. 11.400 - SAN JUAN DE MIRAFLORES  
 CENTRAL TELEFONICA: 215-4600 • CENTRAL PEDIDOS: 215-4760 FAX: 215-4769 • VENTAS Y SERVICIO AL CLIENTE: 215-4700  
 PAGINA WEB: <http://www.unicon.com.pe>

GID-CA-R-209  
REV. 01

# ANEXO 7: INFORME DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE PRESA DE ROTURA DE CONCRETO.



## INFORME DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MT - MP - 090- 2017

Fecha de Emisión: 2017-09-13

1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CONTINENTAL S.A.C.  
DIRECCIÓN : Av. San Carlos N° 1980 Urb. San Antonio, Huancayo - Huancayo - JUNIN.
2. EQUIPO / INSTRUMENTO : PRESA DE CONCRETO  
Marca : ELE INTERNATIONAL  
Modelo : ADR-1500  
N° de Serie : 1796-8-1936  
Código de Identificación : NO INDICA  
Alcance : 100000 kgf  
Div. de Escala / Resolución : 10 kgf  
Ubicación : LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO.  
Fecha del Servicio : 2017-09-05

### 3. DETALLE DEL MANTENIMIENTO REALIZADO:

- Desmontaje general del equipo.
- Mantenimiento del sistema hidraulico, cambio de aceite.
- Mantenimiento y ajuste de conductores electricos.
- Limpieza de componentes electronicos.
- Limpieza externa del equipo.
- Se le realizó el ajuste y verificación del equipo.
- El equipo queda operativo.

### 4. RECOMENDACIÓN:

- Se recomienda realizar mantenimientos periodicos.
- Se recomienda realizar calibraciones despues de cada mantenimiento.

### 5. TÉCNICO RESPONSABLE:

ANGEL JULCA MACHADO

JUAN C. OLIVERO MORALES  
METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C.

## ANEXO 8: RESULTADOS DE ROTURA DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO SIN FIBRA.



### LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

**TESIS:** Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo

**ASESOR:** Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

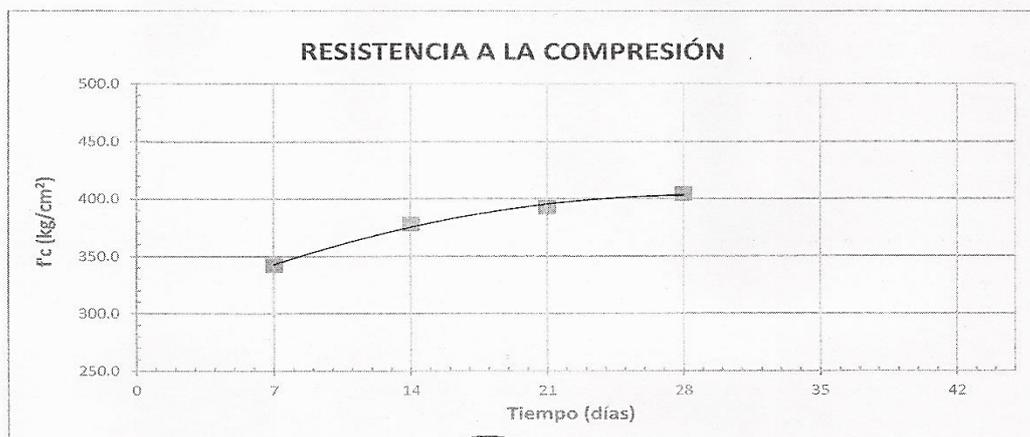
#### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS (MTC E 704 - 2000; NTP 339.034)

DATOS DE DISEÑO		f'c :	280	kg/cm <sup>2</sup>
<b>MÉTODO:</b>	Concreto Premezclado - UNICON	<b>a/c</b>	0.56	
<b>CEMENTO:</b>	Andino - Tipo I	<b>SLUMP</b>	6"	

#### MUESTRA PATRÓN - SIN FIBRA

Carga Última (Kg)						
DIAS	MUESTRA				FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>		
1						
3						
7	26950.00	26720.00	26890.00	26853.33	4/11/2017	
14	29650.00	29520.00	29900.00	29690.00	11/11/2017	
21	30970.00	30840.00	30670.00	30826.67	18/11/2017	
28	31750.00	31620.00	31810.00	31726.67	25/11/2017	

Resistencia a la Compresión - f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )							
DIAS	MUESTRA					FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>	Ds		
1							
3							
7	343	340	342	342	0.44	4/11/2017	
14	378	376	381	378	0.65	11/11/2017	
21	394	393	391	392	0.49	18/11/2017	
28	404	403	405	404	0.31	25/11/2017	



<b>ENSAYO:</b>	COMPRESION		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			FECHA	REVISADO
	TESISTA		CODIGO	FIRMA
	Lucía Lara Dávila		47250215	

## ANEXO 9: RESULTADOS DE ROTURA DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 0.50% FIBRA.



### LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

**TESIS:** Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
**ASESOR:** Ing. Jorge Aurelio Ticla Rivera

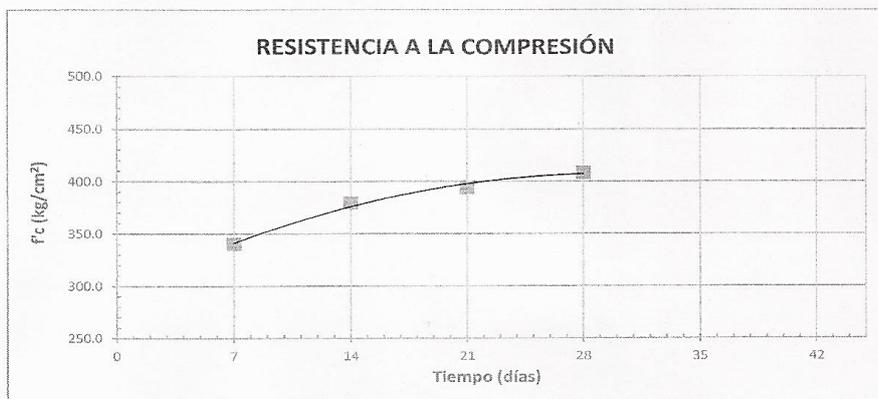
**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS (MTC E 704 - 2000; NTP 339.034)**

DATOS DE DISEÑO		f'c :
<b>MÉTODO:</b> Concreto Premezclado - UNICON		280 kg/cm <sup>2</sup>
<b>CEMENTO:</b> Andino - Tipo I		a/c 0.56
		SLUMP 6"

#### MUESTRA CON FIBRA 0.50 %

Carga Última (Kg)						
DIAS	MUESTRA				FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>		
1						
3						
7	26610.00	26850.00	26690.00	26716.67	4/11/2017	
14	29800.00	29910.00	29670.00	29793.33	11/11/2017	
21	30890.00	30950.00	31060.00	30966.67	18/11/2017	
28	32090.00	31990.00	32110.00	32063.33	25/11/2017	

Resistencia a la Compresión - f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )							
DIAS	MUESTRA					FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>	D <sub>s</sub>		
1							
3							
7	339	342	340	340	0.46	4/11/2017	
14	379	381	378	379	0.40	11/11/2017	
21	393	394	395	394	0.28	18/11/2017	
28	409	407	409	408	0.20	25/11/2017	



<b>ENSAYO:</b>	COMPRESION		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			FECHA	REVISADO

<b>TESISTA</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FIRMA</b>
Lucía Lara Dávila	47250215	

## ANEXO 10: RESULTADOS DE ROTURA DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 0.75% FIBRA.



**LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO**

TESIS: Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
 ASESOR: Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

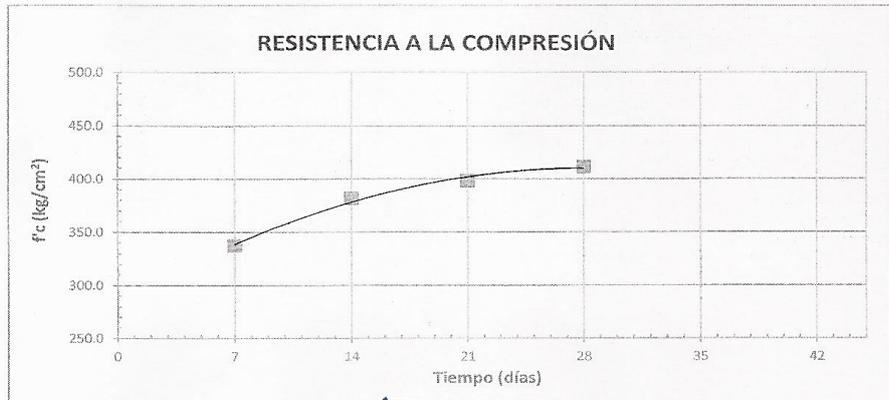
**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS (MTC E 704 - 2000; NTP 339.034)**

DATOS DE DISEÑO		f'c :	280	kg/cm <sup>2</sup>
MÉTODO:	Concreto Premezclado - UNICON	a/c	0.56	
CEMENTO:	Andino - Tipo I	SLUMP	6"	

### MUESTRA CON FIBRA 0.75 %

Carga Última (Kg)						
DIAS	MUESTRA				FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>		
1						
3						
7	26400.00	26520.00	26580.00	26500.00	4/11/2017	
14	29950.00	30110.00	29930.00	29996.67	11/11/2017	
21	31320.00	31060.00	31450.00	31276.67	18/11/2017	
28	32390.00	32290.00	32150.00	32276.67	25/11/2017	

Resistencia a la Compresión - f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )							
DIAS	MUESTRA					FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>	D <sub>s</sub>		
1							
3							
7	336	338	338	337	0.35	4/11/2017	
14	381	383	381	382	0.33	11/11/2017	
21	399	395	400	398	0.63	18/11/2017	
28	412	411	409	411	0.37	25/11/2017	



<b>ENSAYO:</b>	COMPRESION	15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
		FECHA	REVISADO

<b>TESISTA</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FIRMA</b>
Lucía Lara Dávila	47250215	

# ANEXO 11: RESULTADOS DE ROTURA DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 1.0 % FIBRA.



## LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

TESIS: Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo

ASESOR: Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS (MTC E 704 - 2000; NTP 339.034)

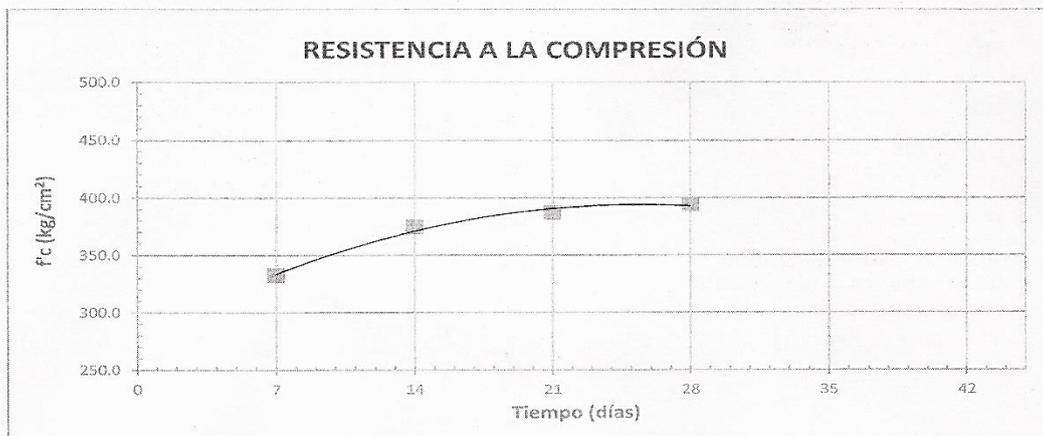
MÉTODO: Concreto Premezclado - UNICON  
CEMENTO: Andino - Tipo I

f'c : 280 kg/cm<sup>2</sup>  
a/c 0.56  
SLUMP 6"

### MUESTRA CON FIBRA 1.00 %

DIAS	Carga Última (Kg)				FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>		
1						
3						
7	26100.00	26010.00	26250.00	26120.00	4/11/2017	
14	29500.00	29410.00	29320.00	29410.00	11/11/2017	
21	30290.00	30370.00	30550.00	30403.33	18/11/2017	
28	31010.00	30910.00	30890.00	30936.67	25/11/2017	

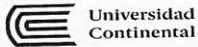
DIAS	Resistencia a la Compresión - f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )					FECHA	Observaciones
	M - 1	M - 2	M - 3	M <sub>PROM</sub>	Ds		
1							
3							
7	332	331	334	333	0.46	4/11/2017	
14	376	374	373	374	0.31	11/11/2017	
21	386	387	389	387	0.44	18/11/2017	
28	395	394	393	394	0.21	25/11/2017	



ENSAYO:	COMPRESION		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			FECHA	REVISADO

TESISTA	CODIGO	FIRMA
Lucia Lara Dávila	47250215	

## ANEXO 12: RESULTADOS DE ROTURA DE VIGAS DE CONCRETO SIN FIBRA.



### LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

**TESIS:** Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
**ASESOR:** Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO: (MTC E 709 - 2016; NTP 339.078)**

<b>DATOS DE DISEÑO</b>	<b>f'c :</b> 280 kg/cm <sup>2</sup>
<b>MÉTODO:</b> Concreto Premezclado - UNICON	<b>a/c</b> 0.56
<b>CEMENTO:</b> Andino - Tipo I	<b>SLUMP</b> 6"

#### MUESTRA PATRÓN - SIN FIBRA

DIAS	MUESTRA (kg)	Carga Última (Kg)			FECHA	Ocurrencia de Falla
		DIMENSIONES (cm)				
		L	b	d		
14	2650.00	48.00	14.90	15.00	11/11/2017	Tercio Central
14	2820.00	48.00	14.90	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	2790.00	48.00	15.00	15.00	11/11/2017	Tercio Central
28	3020.00	48.00	15.10	15.10	25/11/2017	Tercio Central
28	3090.00	48.10	14.80	15.00	25/11/2017	Tercio Central
28	3110.00	48.00	15.00	14.90	25/11/2017	Tercio Central
42	3060.00	48.00	14.90	15.10	9/12/2017	Tercio Central
42	3120.00	48.00	14.90	15.10	9/12/2017	Tercio Central
42	3120.00	48.00	15.00	15.00	9/12/2017	Tercio Central

DIAS	Resistencia a la Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )				FECHA	Observaciones
	MUESTRA					
	M. Rup 1	M. Rup 2	M. Rup 3	M. Rup. Prom		
7					11/11/2017	
14	37.94	39.84	39.68	39.15	11/11/2017	
21						
28	42.10	44.63	44.83	43.85	25/11/2017	
42	43.23	44.08	44.37	43.90	9/12/2017	



<b>ENSAYO:</b>	FLEXIÓN	15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
		<b>FECHA</b>	<b>REVISADO</b>

<b>TESISTA</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FIRMA</b>
Lucía Lara Dávila	47250215	

# ANEXO 13: RESULTADOS DE ROTURA DE VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 0.50% FIBRA.



## LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

TESIS: Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
 ASESOR: Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO: (MTC E 709 - 2016; NTP 339.078)**

**DATOS DE DISEÑO**  
 MÉTODO: Concreto Premezclado - UNICON  
 CEMENTO: Andino - Tipo I  
 f'c : 280 kg/cm<sup>2</sup>  
 a/c 0.56  
 SLUMP 6"

### MUESTRA CON FIBRA 0.50 %

DIAS	MUESTRA (kg)	Carga Última (Kg)			FECHA	Ocurrencia de Falla
		DIMENSIONES (cm)				
		L	b	d		
14	2810.00	48.00	14.80	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	2750.00	48.10	15.00	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	2990.00	48.10	15.10	15.20	11/11/2017	Tercio Central
28	3060.00	48.00	15.00	15.00	25/11/2017	Tercio Central
28	3140.00	48.00	14.80	15.10	25/11/2017	Tercio Central
28	3120.00	48.10	14.90	15.00	25/11/2017	Tercio Central
42	3180.00	47.90	14.90	14.90	9/12/2017	Tercio Central
42	3100.00	48.00	14.90	14.90	9/12/2017	Tercio Central
42	3090.00	48.00	15.00	15.00	9/12/2017	Tercio Central

DIAS	Resistencia a la Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )				FECHA	Observaciones
	MUESTRA					
	M. Rup 1	M. Rup 2	M. Rup 3	M. Rup. Prom		
7						
14	39.97	38.68	41.22	39.96	11/11/2017	
21						
28	43.52	44.66	44.76	44.32	25/11/2017	
42	46.05	44.98	43.95	44.99	9/12/2017	



ENSAYO:	FLEXIÓN		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			FECHA	REVISADO
TESISTA			CODIGO	FIRMA
Lucía Lara Dávila			47250215	

# ANEXO 14: RESULTADOS DE ROTURA DE VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 0.75% FIBRA.



## LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

TESIS: Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
 ASESOR: Ing. Jorge Aurelio Ticla Rivera

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO: (MTC E 709 - 2016; NTP 339.078)**

DATOS DE DISEÑO  
 MÉTODO: Concreto Premezclado - UNICON  
 CEMENTO: Andino - Tipo I

f'c : 280 kg/cm<sup>2</sup>  
 a/c 0.56  
 SLUMP 6"

### MUESTRA CON FIBRA 0.75 %

DIAS	MUESTRA (kg)	Carga Última (Kg)			FECHA	Ocurrencia de Falla
		DIMENSIONES (cm)				
		L	b	d		
14	2920.00	48.00	14.80	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	2970.00	48.00	14.90	15.00	11/11/2017	Tercio Central
14	2890.00	48.00	15.10	15.10	11/11/2017	Tercio Central
28	3120.00	48.00	15.10	14.90	25/11/2017	Tercio Central
28	3170.00	48.00	14.80	15.10	25/11/2017	Tercio Central
28	3210.00	48.00	14.90	15.00	25/11/2017	Tercio Central
42	3270.00	48.10	15.20	15.00	9/12/2017	Tercio Central
42	3140.00	48.10	15.00	15.00	9/12/2017	Tercio Central
42	3240.00	48.00	15.00	15.10	9/12/2017	Tercio Central

DIAS	Resistencia a la Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )				FECHA	Observaciones
	MUESTRA					
	M. Rup 1	M. Rup 2	M. Rup 3	M. Rup. Prom		
7						
14	41.53	42.52	40.29	41.45	11/11/2017	
21						
28	44.67	45.09	45.96	45.24	25/11/2017	
42	45.99	44.75	45.47	45.40	9/12/2017	



ENSAYO:	FLEXIÓN		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			FECHA	REVISADO

TESISTA	CODIGO	FIRMA
Lucía Lara Dávila	47250215	

# ANEXO 15: RESULTADOS DE ROTURA DE VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 1.00% FIBRA.



## LABORATORIO DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

TESIS: Concreto con adición de fibras de Agave Americana L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo  
 ASESOR: Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

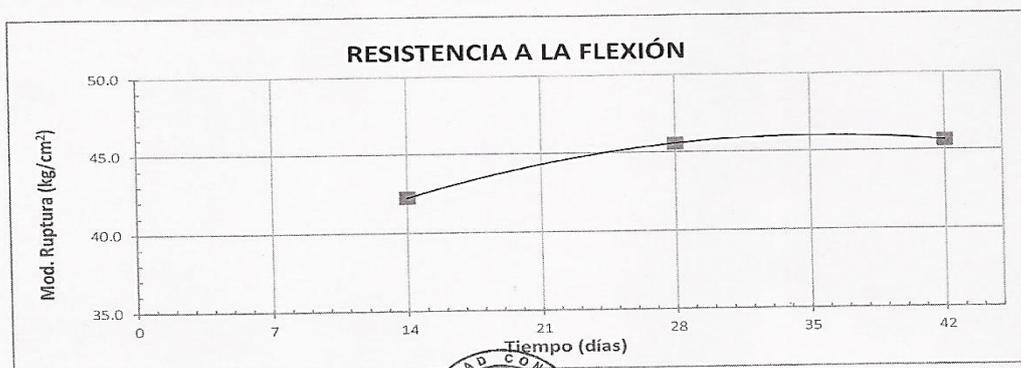
**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO: (MTC E 709 - 2016; NTP 339.078)**

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		$f'c$ :	280	kg/cm <sup>2</sup>
MÉTODO:	Concreto Premezclado - UNICON	a/c	0.56	
CEMENTO:	Andino - Tipo I	SLUMP	6"	

### MUESTRA CON FIBRA 1.00 %

DIAS	MUESTRA (kg)	DIMENSIONES (cm)			FECHA	Ocurrencia de Falla
		L	b	d		
14	3070.00	48.00	15.10	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	2990.00	48.00	15.10	15.10	11/11/2017	Tercio Central
14	3010.00	48.00	15.20	15.00	11/11/2017	Tercio Central
28	3180.00	48.00	14.90	14.90	25/11/2017	Tercio Central
28	3240.00	48.10	15.10	14.90	25/11/2017	Tercio Central
28	3120.00	48.00	15.10	15.00	25/11/2017	Tercio Central
42	3270.00	47.90	15.20	15.10	9/12/2017	Tercio Central
42	3290.00	48.00	15.10	15.10	9/12/2017	Tercio Central
42	3320.00	47.90	15.20	15.10	9/12/2017	Tercio Central

DIAS	MUESTRA				FECHA	Observaciones
	M. Rup 1	M. Rup 2	M. Rup 3	M. Rup. Prom		
7						
14	42.80	41.69	42.25	42.24	11/11/2017	
21						
28	46.14	46.49	44.08	45.57	25/11/2017	
42	45.19	45.87	45.89	45.65	9/12/2017	



<b>ENSAYO:</b>	<b>FLEXIÓN</b>		15/12/2017	B. Ing. José Luis Sánchez Tovar
			<b>FECHA</b>	<b>REVISADO</b>

<b>TESISTA</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FIRMA</b>
Lucia Lara Dávila	47250215	

## ANEXO 16: ACTA DE ACUERDOS DE USO DE INFORMACIÓN Y DATOS.

### ACTA DE ACUERDOS

En Huancayo, 01 de octubre de 2017

#### REUNIDOS

De una parte, Jorge Luis Nishihara Alcocer, con domicilio en Calle Guatemala 193 Dpto 201 Urb. Santa Patricia Etapa I, Distrito de La Molina, Provincia de Lima; identificado con DNI N° 70228652, y en su propio nombre y representación.

De una parte, Lucia Ivón Gimena Lara Dávila, con domicilio en Av. San Carlos 148, Distrito de Huancayo, Provincia de Huancayo, identificado con DNI N° 47250215, y en su propio nombre y representación.

De una parte, Gavi Jackeline Mallaupoma Franco, con domicilio en Pasaje La Salud N°153, distrito de El Tambo, Provincia de Huancayo, identificado con DNI N°70850647, y en su propio nombre y representación.

Las cuales en adelante, podrán ser denominadas, individualmente, "La Parte" y conjuntamente, "Las Partes", reconociéndose mutuamente capacidad legal suficiente para contratar y obligarse en la representación que actúan y siendo responsables de la veracidad de sus manifestaciones.

#### EXPONEN

- I. Que, actualmente, cada una de las partes se encuentran en un proceso de colaboración para la adquisición de materiales e insumos, con la finalidad de realización y/o desarrollo de diferentes investigaciones independientes, para los fines que cada parte considera de su interés.
- II. Que, debido a la naturaleza que representa y/o conlleva cada investigación que ostenta cada una de las partes, se hace necesario la adquisición de materiales que representarían un costo elevado de ser costeadas individualmente, por lo cual se realizan los siguientes acuerdos a fin de aunar esfuerzos para proseguir en adelante con las investigaciones respectivas de las partes y para lo cual se elabora la siguiente Acta de Acuerdos.

#### ACUERDOS

- III. Que, por parte de Jorge Luis Nishihara Alcocer queda el compromiso de adquirir a su costo y proporcionar la cantidad de 7.00 m<sup>3</sup> de Concreto Premezclado de F'c= 280 Kg/cm<sup>2</sup>, T-1, c/aire y Pd#67; insumo principal y en cantidad necesaria que servirá para desarrollar cada una de las investigaciones que las partes ostentan.
- IV. Que, por parte de Lucia Ivón Gimena Lara Dávila y Gavi Jackeline Mallaupoma Franco queda el compromiso de adquirir la cantidad de 100 Kg fibras de Agave Americana L., las cuales deberán estar previamente limpia, libre de partículas y seca para realizar el posterior tratamiento que cada parte crea por conveniente para ejecutar su investigación.
- V. Asimismo, el resto de materiales e insumos que se requieran y que no se encuentren adscritos a la presente Acta de Acuerdo, será costeadado proporcional y equitativamente por cada una de las partes.

- VI. Que, en el marco que compete a cada una de las investigaciones, las partes acuerdan transmitir la información de caracterización y propiedades a los materiales comprometidos.
- VII. Finalmente, se establece que, con el propósito de garantizar la originalidad y veracidad de la información, las partes pueden usar la información de caracterización y propiedades de los materiales comprometidos para los fines individuales pertinentes, y con derecho a ser divulgadas en sus respectivas investigaciones, sin que esto conlleve a un conflicto de intereses por autoría y originalidad.

Para otorgar conformidad de los acuerdos, las partes firman a continuación.



Jorge Luis Nishihara Alcocer  
DNI N° 70228652



Lucia Ivón Gimena Lara Dávila  
DNI N° 47250215



Gavi Jackeline Mallaupoma Franco  
DNI N°70850647

## ANEXO 17: FOTOGRAFÍAS

Figura 51: Ensayo de densidad de fibra con matraz.



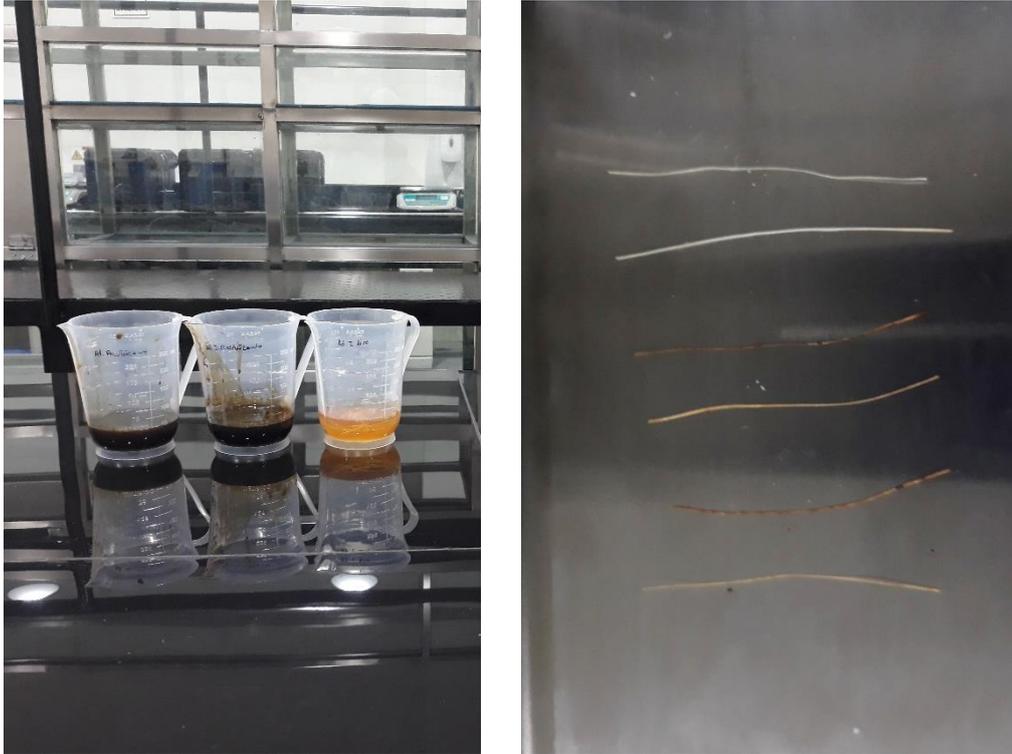
Fuente: Elaboración propia.

Figura 52: Ensayo de densidad (Peso de fibra saturada superficialmente seca y peso de la fibra saturada superficialmente seca + agua).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53: .Fibras de Agave Americana L. naturales y parafinadas con aditivos**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 54: Elaboración de testigos cilíndricos de concreto y vigas.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 55: Desencofrado de testigos cilíndricos y vigas.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 56: Testigos de concreto cilíndricos listos para ensayo a compresión.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 57: Medición de testigos de concreto para ensayo a compresión y colocación de muestra en el equipo (prensa de rotura).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 58: Falla del testigo del concreto a compresión y vista horizontal interna de la muestra donde ocurrió la falla.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 59: Falla del testigo del concreto a flexión y vista lateral interna de la muestra donde ocurrió la falla.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 60: Falla de viga a flexión dentro del tercio medio.**



**Fuente: Elaboración propia.**