

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL**



**“Análisis del comportamiento a flexión e impacto de elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina (penca)”**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

**Autor**

Méndez Silva, Javier Edison

**Asesor**

Salazar Sánchez, Dante Orlando

Chimbote - Perú

2020

## **PALABRAS CLAVE**

---

Tema	Diseño del Concreto
Especialidad	Tecnología del Concreto

---

## **KEYWORDS**

---

Theme	Concrete Design
Specialty	Concrete Technology

---

## **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

---

Línea de Investigación	:	<b>Construcción y Gestión de la Construcción</b>
Área	:	Ingeniería y Tecnología
Sub-área	:	Ingeniería Civil
Disciplina	:	Ingeniería Civil, Ingeniería de la Construcción

---

## **TITULO**

Análisis del comportamiento a flexión e impacto de elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina (penca).

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de investigación es analizar el comportamiento a flexión e impacto de elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina (penca) tratada con parafina, en porcentajes de 0.50% y 1.00% del volumen del concreto, tomando como patrón de diseño un concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

La metodología utilizada en la investigación fue un método experimental complementado con observaciones científicas, ya que las variables relacionadas con el diseño del concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  incluyendo la adición de fibra de furcraea andina (penca), se manipulo deliberadamente en el laboratorio y se usó como instrumento los registros de datos que contienen información técnica del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la USP.

Se elaboro 54 muestras de concreto, 27 vigas y 27 discos, divididos en grupos de 9 para ensayos de flexión e impacto, con diferentes porcentajes de adición de fibra. Los resultados de la prueba de flexión mostraron que el concreto elaborado con adición de 0.50% de fibra de Furcraea Andina (Penca), ensayados a los 7, 14 y 28 días fueron  $43.52 \text{ kg/cm}^2$ ,  $44.65 \text{ kg/cm}^2$  y  $50.41 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, presentan resistencias mayores en comparación al concreto patrón en 5.58%, 5.70% y 11.78% respectivamente. De los resultados obtenidos en la prueba de impacto se puede ver que cuando se agregan más fibras a los elementos de concreto, su resistencia al impacto es mayor.

## ABSTRACT

The main objective of this research work is to analyze the behavior at flexion and impact of concrete elements reinforced with Furcraea Andina (Penca) fiber treated with kerosene, in percentages of 0.50% and 1.00% of the volume of concrete, taking as a design pattern a concrete  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

The methodology used in the investigation was an experimental method complemented with scientific observations, since the variables related to the design of the concrete  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  including the addition of fiber of Furcraea Andina (Penca), was manipulated deliberately in the laboratory and it was used as instrument the registries of data that contain technical information of the Laboratory of Mechanics of grounds and Material Tests of the USP.

It was elaborated 54 concrete specimens, 27 beams and 27 disks, divided in groups of 9 for bending and impact tests, with different percentages of fiber addition. The results of the flexion test showed that the concrete elaborated with the addition of 0.50% of fiber of Furcraea Andina (Penca), tested at 7, 14 and 28 days were  $43.52 \text{ kg/cm}^2$ ,  $44.65 \text{ kg/cm}^2$  and  $50.41 \text{ kg/cm}^2$  respectively, present higher resistances in comparison to the standard concrete in 5.58%, 5.70% and 11.78% respectively. From the results obtained in the impact test, it can be seen that when more fibers are added to the concrete elements, their resistance to impact is greater.

## INDICE GENERAL

PALABRAS CLAVE .....	i
TITULO .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE GENERAL .....	v
INDICE DE TABLAS .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	ix
I. INTRODUCCION .....	1
II. METODOLOGIA.....	32
III. RESULTADOS .....	58
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....	115
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	121
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
VII. AGRADECIMIENTOS .....	129
VIII. ANEXOS Y APÉNDICE.....	130

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas de furcraea andina. ....	6
Tabla 2: Característica químicas de la fibra de furcraea andina. ....	7
Tabla 3: Características mecánicas de la fibra de furcraea andina. ....	7
Tabla 4: Factores que afectan las propiedades del concreto reforzado con fibra natural. ....	12
Tabla 5: Sustancias admisibles en el agua. ....	22
Tabla 6: Operacionalización de la variable dependiente. ....	29
Tabla 7: Operacionalización de la variable independiente. ....	30
Tabla 8: Diseño en muestras (Vigas). ....	33
Tabla 9: Diseño en muestras (Discos). ....	34
Tabla 10: Cantidad de vigas para ensayo a flexión. ....	36
Tabla 11: Cantidad de discos para ensayo a impacto. ....	36
Tabla 12: Instrumentos de investigación. ....	37
Tabla 13: Normas para encontrar los parámetros físicos de los agregados. ....	38
Tabla 14: Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. ....	38
Tabla 15: Resistencia al impacto del concreto. ....	39
Tabla 16: Ensayos realizados a los agregados. ....	44
Tabla 17: Límites para el ensayo granulométrico del agregado fino. ....	45
Tabla 18: Límites para el agregado grueso. ....	45
Tabla 19: Composición elemental de las fibras de penca en % de masa. ....	58
Tabla 20: pH de la fibra de penca. ....	59
Tabla 21: Resistencia a tracción de la fibra. ....	59
Tabla 22: Diámetros de las fibras de furcraea andina en 100 muestras. ....	59
Tabla 23: Diámetros de las fibras de furcraea andina en 100 muestras. ....	60
Tabla 24: Distribución de frecuencias. ....	61
Tabla 25: Porcentaje de absorción de la fibra de penca sin tratamiento. ....	62
Tabla 26: Porcentaje de absorción de la fibra de penca con tratamiento. ....	63
Tabla 27: Granulometría del agregado fino. ....	64

Tabla 28: Peso unitario suelto del agregado fino.....	65
Tabla 29: Peso unitario compactado del agregado fino.....	66
Tabla 30: Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	66
Tabla 31: Contenido de humedad del agregado fino.....	67
Tabla 32: Granulometría del agregado grueso.....	67
Tabla 33: Peso unitario suelto del agregado grueso.....	69
Tabla 34: Peso unitario compactado del agregado grueso.....	69
Tabla 35: Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	70
Tabla 36: Contenido de humedad del agregado grueso.....	70
Tabla 37: Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas patrón.....	76
Tabla 38: Cantidad de material para la elaboración de 9 discos patrón.....	76
Tabla 39: Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 0.50% de fibra.....	82
Tabla 40: Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 0.50% de fibra.....	82
Tabla 41: Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 1.00% de fibra.....	88
Tabla 42: Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 1.00% de fibra.....	88
Tabla 43: Resistencia a la flexión de vigas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con carga en el tercio de la luz libre a los 7 días.....	89
Tabla 44: Resistencia a la flexión de vigas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con carga en el tercio de la luz libre a los 14 días.....	91
Tabla 45: Resistencia a la flexión de vigas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con carga en el tercio de la luz libre a los 28 días.....	93
Tabla 46: Resistencia a la flexión de vigas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días.....	95
Tabla 47: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días.....	98
Tabla 48: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días.....	100



Tabla 49: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días. .....	102
Tabla 50: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a la 1 <sup>era</sup> fisura a los 7, 14 y 28 días.....	104
Tabla 51: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a la rotura a los 7, 14 y 28 días. ....	105
Tabla 52: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C <sup>o</sup> P a los 28 días. ....	106
Tabla 53: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C <sup>o</sup> E 1 a los 28 días.....	106
Tabla 54: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C <sup>o</sup> E 2 a los 28 días.....	106
Tabla 55: Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C <sup>o</sup> P a la Rotura a los 28 días. .....	107
Tabla 56: Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C <sup>o</sup> E 1 a la Rotura a los 28 días.....	107
Tabla 57: Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C <sup>o</sup> E 2 a la Rotura a los 28 días.....	108
Tabla 58: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 2 - RF. ....	108
Tabla 59: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 3 - RF. ....	110
Tabla 60: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 2 - RI. ....	111
Tabla 61: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 3 - RI. ....	113

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos. ....	23
Figura 2: Viga biapoyada trabajado a flexión simple en todas sus secciones. ....	24
Figura 3: Esquema para el ensayo a flexión del concreto, por el método de la carga en los tercios de la luz. ....	24
Figura 4: Esquema del dispositivo para el ensayo de impacto. ....	25
Figura 5: Variación del diámetro de las fibras de furcraea andina. ....	61
Figura 6: Diámetro de las fibras de furcraea andina en 100 muestras. ....	62
Figura 7: Porcentaje de absorción de la fibra sin tratar y tratada. ....	63
Figura 8: Curva granulométrica del agregado fino. ....	65
Figura 9: Curva granulométrica del agregado grueso. ....	68
Figura 10: Resistencia a flexión de vigas de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> , sin fibra y con fibra a los 7 días. ....	90
Figura 11: Resistencia a flexión de vigas de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> , sin fibra y con fibra a los 14 días. ....	92
Figura 12: Resistencia a flexión de vigas de concreto $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> , sin fibra y con fibra a los 28 días. ....	94
Figura 13: Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga patrón. ....	95
Figura 14: Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga experimental con adición de 0.50% de fibra. ....	96
Figura 15: Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga experimental con adición de 1.00% de fibra. ....	96
Figura 16: Módulo de rotura vs tiempo de curado de las vigas de concreto. ....	97
Figura 17: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> , a la 1 <sup>era</sup> fisura a los 7 días. ....	99
Figura 18: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> , a la rotura a los 7 días. ....	99
Figura 19: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> , a la 1 <sup>era</sup> fisura a los 14 días. ....	101

Figura 20: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la rotura a los 14 días. ....	101
Figura 21: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la 1 <sup>era</sup> fisura a los 28 días. ....	103
Figura 22: Resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la rotura a los 28 días. ....	103
Figura 23: N° de impactos vs tiempo de curado de los discos de concreto a la 1 <sup>era</sup> fisura. ....	104
Figura 24: N° de impactos vs tiempo de curado de los discos de concreto a la rotura. ....	105
Figura 25: Distribución T- Student C°P vs C°E 1 en RF. ....	109
Figura 26: Distribución T- Student C°P vs C°E 2 en RF. ....	111
Figura 27: Distribución T- Student C°P vs C°E 1 en RI. ....	112
Figura 28: Distribución T- Student C°P vs C°E 2 en RI. ....	114
Figura 29: Características de la planta de furcraea andina. ....	160
Figura 30: Plantas de furcraea andina usada en la investigación.....	160
Figura 31: Corte de las hojas de furcraea andina utilizando un machete. ....	161
Figura 32: Recolección de las hojas de furcraea andina. ....	161
Figura 33: Macerado de la hoja de furcraea andina previamente golpeado. ....	162
Figura 34: Raspado de la hoja para obtener la fibra de furcraea andina.....	162
Figura 35: Fibra de furcraea andina (penca). ....	163
Figura 36: Medición de la fibra de furcraea andina cada 2.5 cm.....	163
Figura 37: Corte de la fibra de furcraea andina en longitud de 2.5 cm ....	164
Figura 38: Parafina en bloque. ....	164
Figura 39: Llevando la parafina de estado sólido ha estado líquido a fuego rápido. ....	165
Figura 40: Tratamiento de la fibra de furcraea andina con parafina.....	165
Figura 41: Separación manual de las fibras de furcraea andina con parafina.....	166
Figura 42: Fibra de furcraea andina (penca) con tratamiento. ....	166
Figura 43: Recolección de agregados. ....	167
Figura 44: Visita a la UNMSM para realizar el ensayo de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE) de la fibra de furcraea andina. ....	167

Figura 45: Visita a la UNALM para realizar el ensayo de pH y resistencia a tracción de la fibra de furcraea andina.....	168
Figura 46: Tomando datos del diámetro de la fibra de furcraea andina. ....	168
Figura 47: Secado de la fibra de furcraea andina en horno a 100°C durante 24 horas. ....	169
Figura 48: Análisis granulométrico (tamizado). ....	169
Figura 49: Análisis granulométrico (peso del agregado fino y grueso).....	170
Figura 50: Peso unitario suelto del agregado fino. ....	170
Figura 51: Peso unitario suelto del agregado grueso. ....	171
Figura 52: Peso unitario compactado del agregado fino y grueso.....	171
Figura 53: Peso de la fiola más el agregado fino para el cálculo del peso específico. ....	172
Figura 54: Peso del agregado grueso para el cálculo del peso específico. ....	172
Figura 55: Colocación del agregado fino en el molde cónico de Absorción y retiro del molde en forma vertical. ....	173
Figura 56: Limpieza y aplicación de desmoldante en los moldes de madera.....	173
Figura 57: Limpieza y aplicación de petróleo en los moldes de acero. ....	174
Figura 58: Moldes fabricados de tubos de PVC de 6 pulg. de diámetro, fijado y asegurados con tornillos y alambres de acero negro N°16 sobre una superficie de triplay, para la elaboración de discos.....	174
Figura 59: Peso de material necesario para elaborar 9 vigas y 9 discos para cada muestra.....	175
Figura 60: Preparación de la mezcla patrón y experimental.....	175
Figura 61: Adición de la fibra de furcraea andina en la mezcla. ....	176
Figura 62: Colocación de la mezcla de concreto en el interior de los moldes.....	176
Figura 63: Compactación de la mezcla en cada capa con 25 penetraciones de la varilla. ....	177
Figura 64: Golpeó de los lados del molde ligeramente por 12 veces con el mazo de goma.....	177
Figura 65: Enrasado del exceso de mezcla con la varilla de compactación. ....	178

Figura 66: Identificación de los especímenes con el número, fecha y tipo de dosificación.....	178
Figura 67: Desencofrado de las vigas de concreto. ....	179
Figura 68: Desencofrado de los discos de concreto.....	179
Figura 69: Curado de los especímenes de concreto en cilindros cubiertos con agua. ....	180
Figura 70: Compactación y alzado del molde de cono de abrams.....	180
Figura 71: Medición del asentamiento del concreto patrón y experimental.....	181
Figura 72: Máquina de ensayo a flexión de vigas de concreto. ....	181
Figura 73: Colocación de los especímenes en la máquina de ensayo a flexión.....	182
Figura 74: Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos de concreto. ....	182
Figura 75: (a) Falla frágil de un espécimen sin fibras, (b) Falla dúctil debido a las fibras de refuerzo, a flexión. ....	183
Figura 76: Fabricación de dispositivo para ensayo a impacto de discos de concreto. ....	183
Figura 77: Mostrando el disco de concreto en el dispositivo fabricado para el ensayo a impacto.....	184
Figura 78: Colocación de los especímenes en el dispositivo de ensayo a impacto. ....	184
Figura 79: Se dejó caer libremente el martillo sobre la esfera de acero. ....	185
Figura 80: Ensayo de resistencia al impacto a la primera fisura y a la rotura. ....	185
Figura 81: (a) Falla frágil de un espécimen sin fibras, (b) Falla dúctil debido a las fibras de refuerzo, a impacto.....	186
Figura 82: Los especímenes con fibra no generaron desprendimientos abruptos. ...	186

## I. INTRODUCCION

De los informes encontrados se han elegido ciertos trabajos involucrados con esta investigación, como el de Pajares, en su tesis *“ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRA VEGETAL”*, determino que “la resistencia máxima obtenida a la compresión ha sido de 7.04%, obtenida en el concreto con adición de 1.00% de fibra. En tracción se obtuvo cualquier crecimiento de la resistencia del 16.01% que corresponde a una adición de 1.00% de fibra en lo que en flexión la resistencia se incrementó en 40.66% correspondiendo este crecimiento a una adición de 1.00% de fibra” (Pajares Urteaga, 2015) .

Según Estrella, en su tesis *“ESTUDIO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS NATURALES DE CABUYA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO”*, concluye que “la contribución del FRCM-cabuya y de las fibras de coco han mejorado el comportamiento a flexión de los elementos estructurales, aumentando la resistencia y la ductilidad. Las muestras con mayor capacidad de carga elaboradas para esta investigación fueron las vigas de CFRC-FRCM, elevando su resistencia en un 93% con respecto a las vigas de concreto simple” (Estrella Charcopa, 2015 - 2016).

Según Briseño, en su tesis *“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS REFORZADAS CON FIBRA DE CABUYA”*, determino que “el concreto con fibra dispersa presentó un incremento de 20,1%; 19,5%; y 14,7% en su resistencia a flexión a los 14, 28 y 60 días respectivamente, en relación al concreto simple sin fibra y un incremento de 24,9%; 24,3%; y 7,8% en su resistencia a flexión a los 14, 28 y 60 días respectivamente, en relación al concreto con fibra longitudinal” (Briseño Sánchez, 2016).

Según Zambrano, en su tesis *“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN CON FIBRA DE CABUYA”*, concluye que “el tratamiento de la fibra de cabuya con parafina, le proporcionó una reducción del 58.77% de su capacidad de absorción de agua con respecto a la fibra

sin tratamiento. Al realizar el ensayo de compresión de los bloques con sus celdas en posición vertical, se obtuvo que los bloques de hormigón con 3,3% de fibra de cabuya de 2 cm de longitud, incrementaron su resistencia a compresión tanto neta como bruta en un 24% aproximadamente en comparación con los bloques de hormigón sin fibra. Los resultados del ensayo de impacto establecen que, a mayor cantidad de cabuya, mayor es la resistencia al impacto de rotura, obteniéndose el mejor resultado con el 9,9% de adición de fibra en el hormigón, mientras que el incremento de la resistencia al impacto a la primera fisura es prácticamente despreciable” (Zambrano Sandoval, 2016).

Según Pazmiño y Guamán, en su tesis “*SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO*”, concluyen que “en el caso de vigas y columnas sin refuerzo FRCM, estas muestras evidentemente obtuvieron resistencias inferiores a aquellas de los elementos reforzados con los sistemas FRCM. Las vigas con refuerzo FRCM a base de tejidos de cabuya alcanzaron una resistencia a flexión de 14.591 MPa y las vigas con refuerzo FRCM a base de tejidos de vidrio alcanzaron una resistencia a flexión de 20.875 MPa, frente a los 11.310 MPa que obtuvieron las vigas sin refuerzo FRCM. Por otro lado, la resistencia a la compresión de la columna sin refuerzo FRCM alcanza los 17.281 MPa, muy inferior a la resistencia a la compresión de la columna reforzada con el sistema FRCM a base de tejido de cabuya (33.723 MPa) y vidrio (34.456 MPa). Estos alentadores resultados demuestran el potencial del sistema FRCM diseñado en este estudio para el refuerzo estructural de elementos de hormigón armado” (Pazmiño Cepeda & Guamán Ortega, 2016).

Según Benites, en su tesis “*ADOBE ESTABILIZADO CON EXTRACTO DE CABUYA (FURCRAEA ANDINA)*”, concluye que “El extracto de Cabuya es un polímero vegetal que sí contribuye significativamente a la estabilización del adobe, mejorando sus propiedades de resistencia al agua, como un polímero aglutinante que reduce a casi cero el efecto de daño por inmersión y chorro de agua en el adobe.

Tiene además cierto efecto en sus propiedades mecánicas, pues para ciertas condiciones, se puede registrar una mejora en la resistencia a la compresión de hasta el 9.6%; mejora la capacidad de deformación y adherencia, con un módulo de rotura que llega hasta un 133.7%” (Benites Zapata, 2017).

Según Zaldívar, en sus tesis “*INFLUENCIA DE TRES NIVELES DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA) SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* ”, concluye que la “hipótesis no se cumple, debido que la resistencia a la compresión axial del concreto diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , adicionándole distintos porcentajes de fibra de Furcraea Andina (0.25%, 0.50% y 0.75%), con respecto al peso del agregado fino, se reduce en todos los casos, considerando la muestra patrón. Considerando la muestra patrón a los 28 días, con un valor del 100% de la resistencia de diseño, se ha observado que las probetas con 0.25%, 0.50% y 0.75% de fibra de Furcraea Andina, habían reducido su resistencia a la compresión axial en un 14.64%, 30.02% y 51.28% en promedio, respectivamente” (Zaldivar Vargas, 2018).

De las distintas bibliografías revisadas, se consideraron algunas definiciones útiles en el desarrollo de esta investigación, por ejemplo:

La norma ASTM C1116-03, define las fibras como: “filamentos delgados y alargados en forma de paquetes, redes o cadenas de cualquier material natural o manufacturado que puede ser distribuido en todo el concreto fresco” (ASTM C 1116-03, 2003).

Las fibras naturales, de acuerdo a Briseño “se originan en la naturaleza, pueden ser obtenidas de plantas o animales. Desde la antigüedad, las fibras naturales se han utilizado para reforzar materiales de construcción frágiles, se conoce la utilización de paja como refuerzo en el adobe y pelo de caballo como refuerzo en el mortero y yeso” (Briseño Sánchez, 2016).

Las fibras naturales animales, según el profe Abdón “son todas las fibras obtenidas de animales, de esta forma están en estado natural, y el hilado no requiere mucha



adaptabilidad para ser utilizadas como materiales textiles. Pueden provenir de glándulas de seda, como la seda, o de folículos pilosos, como la lana y el cabello” (Abortiz, 2020).

Las fibras vegetales naturales, según el profe Abdón “están compuestas por filamentos o tejidos fibrosos de plantas cultivadas o forestales y pueden extraerse en diversas formas, como semillas, tallos, hojas, frutos y raíces, y pueden utilizarse en la industria textil y la industria de la construcción” (Abortiz, 2020).

De acuerdo a Abortiz, “podemos encontrar diversas fibras vegetales, entre las más conocidas tenemos: yute, bagazo de caña de azúcar, madera, plátano, palma, lino, esparto, algodón, bambú, cáñamo, abacá, sisal y coco” (Abortiz, 2020).

Para Barrantes, “la furcraea andina es una planta endémica del Perú, típica de los yungas y la vertiente occidental de los andes; en la montaña, crece en 1.450 a 3.000 metros sobre el nivel del mar. La planta crece en las regiones costera, yunga y quechua. Pertenece a la familia de las agaváceas, tiene bordes espinosos, hojas carnosas y muy fibrosas, flores amarillas y se reproduce por brotes que brotan del contorno de sus raíces” (Barrantes Vega, 2012).

Según Cervantes y Cuya, “la planta de furcraea andina se encuentra en nuestro país en forma silvestre en los valles de la sierra y se cultiva en la costa como planta decorativa. Dependiendo del lugar en donde crece, se le conoce con diversos nombres. Los nombres más populares son: Agave, Maguey, Cabuya, Chuchau, Pacpa, Penca, Pinca, Cabuya americana, Century plant, Aloe americano, Ancashchampatra, Pita, Cocuisa, Cocui, Cabuyero, Penca azul, Méjico, Kellupancarita” (Cervantes Meneses & Cuya Inga , 2015).

La furcraea andina, para Benites “es una planta de 2 a 7 metros de tamaño, sin tallo o con un tronco corto. Las hojas de color verde grisáceo están dispuestas en densas rosetas, de 1 a 3 m de largo y de 15 a 20 cm de ancho, gruesas, carnosas, lanceoladas, sin pecíolo, ligeramente cóncavas hacia arriba y hacia adentro. Borde duro, con 20 a 30 espinas apuntando hacia afuera o hacia arriba desde el eje radial

y terminando en una gran espina venenosa. A las hojas se les llaman pencas o alas. El color de las hojas puede variar de verde claro a azul claro” (Benites Zapata, 2017).

#### La fibra de furcraea andina

Se llama fibra natural, según Becerra “a los fragmentos, hilos o cabellos se les denominan fibras naturales, que tienen su origen en la naturaleza y pueden hilarse para producir filamentos o cuerdas; a las fibras no naturales se les llama fibras químicas, ya sean fibras sintéticas o artificiales. Su característica principal es la gran cohesión entre sus moléculas, lo que permite que puedan ser hiladas para obtener hebras o hilos, las fibras han sido usadas por el hombre desde el comienzo de los tiempos, adecuadas a cada época y según sus necesidades. La fibra natural es una estructura filamentosa de origen vegetal, animal y mineral, y tiene muchos usos debido a sus propiedades físicas y químicas” (Becerra Granda, 2016).

Para Becerra, “la fibra de cabuya tiene un gran potencial que no se aprovecha en nuestro medio, tiene buenas propiedades mecánicas que la convierten en una excelente alternativa para dirigirla a nuevas tendencias e involucrarla en el ámbito de la construcción. Y sus buenas propiedades se deben a su alto contenido de celulosa, haciéndola apta para reforzar materiales” (Becerra Granda, 2016).

En su informe Becerra, menciona que “las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa. Las diversas células que componen una fibra se encuentran aglomeradas por la mela intercelular, compuesta por hemicelulosa, peptina y principalmente lignina. La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna” (Becerra Granda, 2016).

Juárez, señala que “las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua (Agopyan y Savastano). Las fibras de fique son duras, pues provienen de los haces vasculares, principalmente de la xilema. Los haces mecánicos del fique están

constituidos de fibras elementales o fibrillas, soldadas entre sí como una cera o goma. Las extremidades de estas fibrillas se superponen para formar unos largos filamentos multicelulares a lo largo de la hoja; dichos filamentos pluricelulares son las fibras” (Juárez Alvarado, 2002).

También Juárez, menciona que “las fibras de fique son llamadas fibras “estructurales” porque su principal función es sostener y dar rigidez a las hojas. Cuando se extraen, se presentan en forma de ejes más o menos largos (0.50 a 3.0 m) y de espesor variable (1/10 a 1/3 mm de diámetro), la sección transversal de la fibra en un mismo hilo es variable y por lo tanto siempre que se trate de señalar un diámetro, debe hablarse de diámetro promedio” (Juárez Alvarado, 2002).

#### Características físicas, químicas y mecánicas

La fibra de *furcraea andina* no solo se utiliza por sus buenas propiedades mecánicas, sino también por su apariencia agradable que le proporciona al ojo humano, como es su color, textura natural y una serie de características físicas. Que menciona Becerra a continuación:

**Tabla 1:** Características físicas de *furcraea andina*.

Característica	Valor
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción color	Superficial
Absorción humedad	Mala
Punto de Fusión	No se funde
Efecto ante los álcalis	Resistente
Efectos ante los ácidos	Mala
Resistencia a la Luz sola	Regular
Efecto de los oxidantes	Variable
Elongación	3.50%

**Fuente:** Becerra (2016).

Según Becerra, señala que “la composición química de la fibra de furcraea andina, varía según la especie, las condiciones climáticas, el tipo de suelo y el tipo de procesamiento de la fibra, pero generalmente se encuentra que la celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los componentes principales” (Becerra Granda, 2016). De acuerdo a Paredes, “la finalidad de la hemicelulosa y lignina en las fibras naturales, para Paredes “es proteger las fibras de celulosa de las agresiones externas y al mismo tiempo transmitir las tensiones a las que se somete al conjunto del material” (Paredes Salinas, 2012).

**Tabla 2:** Característica químicas de la fibra de furcraea andina.

Componentes	Porcentaje Contenido
Cenizas	0.70 %
Humedad, ceras y grasas	1.90 %
Pentosas	10.50 % - 17.7 %
Celulosa	62.70 % - 73.80 %
Lignina	11.30 % - 15.5 %

*Fuente:* Becerra (2016).

Florez y Limpe, mencionan que “las características mecánicas de la fibra de furcraea pueden ser variables debido a diversos factores que influyen en el tipo de resistencia, sin embargo, cabe señalar que la cantidad de celulosa determina la resistencia mecánica de la fibra y de acuerdo con esto se deduce valores de resistencia aproximados de acuerdo con la composición química representativa de la fibra de furcraea andina” (Florez León & Limpe Zevallos, 2019).

**Tabla 3:** Características mecánicas de la fibra de furcraea andina.

Tipo de Resistencia	Cuantificación
Resistencia a la tracción	305MPa (3 111.00 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia al Corte	112 MPa (1 142.00 kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	7.50 MPa (76.50 kg/cm <sup>2</sup> )
Densidad	1.30 g/cm <sup>3</sup>

*Fuente:* Tecnología de polímeros; M. Beltrán y A. Marcilla (2012).

## Método de obtención de fibra de furcraea andina

### Cultivo

Según Becerra, argumenta que “la furcraea andina es una planta que se adapta a variadas condiciones ecológicas; en general se la cultiva en suelos que varían desde el franco arcilloso hasta el arenoso, obteniéndose los mejores resultados en terrenos sueltos. En cuanto al clima, los factores climáticos que mayor importancia tienen en el cultivo de la cabuya son: luz, temperatura, humedad atmosférica y precipitaciones” (Becerra Granda, 2016).

Teniendo en cuenta a Becerra, las condiciones óptimas del cultivo son:

- Temperatura entre 18 y 24 °C, que corresponde a una altura de 1000 a 2000 metros.
- Humedad relativa entre 50 y 70%, sobre el 70% aumenta la posibilidad del ataque fitopatológico.

### Cosecha

La cosecha inicia con un proceso denominado desbajera o precosecha en el campo, el cual se realiza con varios meses de anticipación, además en este proceso se recomienda eliminar las hojas que están sobre el suelo porque en su mayoría estas se encuentran dañadas en un 90%. Pero algunos agricultores se muestran reacios en hacer esto, esperan que las hojas estén completamente secas hasta la base, para empezar a realizar el primer corte. No se recomienda esta práctica, porque se mezclarán buenos materiales con malos materiales durante el primer corte, lo que hará que dediquemos más tiempo a elegir los buenos materiales (Sánchez Potes, 1990).

### Corte

Según Eurofique, el corte “consiste en desprender periódicamente de la planta un número determinado de hojas, utilizando un machete o cuchillo muy afilado y de 8 a 10 pulgadas que es el más adecuado. De acuerdo con las condiciones del clima y suelo, y los cuidados culturales que se haya proporcionado a la planta, tenemos que en alturas alrededor de 1700 metros se realiza el primer corte entre 2,5 a 3 años y

una planta dan un promedio de 50 hojas por corte, mientras que en alturas sobre los 2200 metros es de 3,5 a 4,5 años y el promedio es de 20 hojas por planta. Se debe cortar sólo las hojas maduras que son las que forman con el eje vertical de la planta un ángulo no menor de cuarenta grados” (Eurofique, 2020).

#### Desfibrado

Para Martha, “el proceso de desfibrado empieza en el macerado, continua con el golpeado y finalmente con el raspado hasta dejar libre la fibra de la hoja, estos pasos se los cumple tanto en el proceso artesanal como en el proceso industrial” (Martha Esparta, 2009).

Macerado: De acuerdo a Jurado y Sarzosa consiste en atar de 5 a 10 hojas de cabuya en un paquete y colocarlas en un recipiente cerrado lleno de agua durante aproximadamente 1 mes (Jurado López & Sarzosa Pazmiño, 2009).

Golpeado: De acuerdo a Jurado y Sarzosa “consiste en dar golpes a los atados de hojas de cabuya hasta eliminar por completo la pulpa y la goma que existe en ella” (Jurado López & Sarzosa Pazmiño, 2009).

Raspado: Finalmente las fibras que quedan se peinan para obtener un material adecuado (Martha Esparta, 2009).

Para Gonzales, “el desfibrado industrial es el método de desfibrado más utilizado en la actualidad con el empleo de una máquina que funciona con un motor, en el interior de la máquina existe un tambor de 40 cm de diámetro y en su superficie consta de 15 a 20 cuchillas las mismas que ayudan a raspar, golpear y limpiar las hojas de la cabuya, limpiando eficientemente la goma y la pulpa propias de las mismas, este procedimiento se comienza realizando una clasificación de las hojas tomando en cuenta el grosor de las mismas, con el fin de calibrar la máquina de acuerdo al espesor del atado de hojas, para este desfibrado se empieza desde la mitad de la punta de la hoja luego de lo cual se continua dando la vuelta a la hoja y se introduce la parte de la base de la misma” (González G, 1965).

## Lavado

De acuerdo a Becerra, el lavado “consiste en preparar un depósito de agua con 5 a 7 kg de agua purificada y detergente por metro cúbico de agua, esta operación ayuda a blanquear y limpiar las fibras. Una vez listo el tanque de almacenamiento, sumerge la fibra en agua durante 12 a 15 horas, y luego se enjuaga bien con agua limpia o del grifo; con el fin de separar la corteza, pulpa, lignina, espinas y partículas de detergente que vienen con la fibra” (Becerra Granda, 2016).

## Secado

Según Becerra, el secado natural es “el proceso es el más usado, y se lo realiza exponiendo la cabuya a los rayos directos del sol sobre un prado natural, sin embargo, presenta las siguientes dificultades de que la fibra se enreda fácilmente y se ensucia; también puede decolorarse por efecto de la humedad del suelo; gasta más tiempo en secarse; y hay mayor desperdicio de fibra. Para evitar los inconvenientes antes mencionados se han ideado unos estrados o andamios de alambre llamados comúnmente "camilla". El estriado en triángulo consta de una serie de postes de madera de 1.20 metros de altura, que tiene colocado una cruceta de 50 cm., a los 25 cm. a partir del extremo superior del poste” (Becerra Granda, 2016).

## Concreto base cemento portland reforzado con fibras

De acuerdo con Mehta y Monteiro, “un cemento es llamado hidráulico cuando los productos de hidratación son estables en un medio acuoso. El cemento hidráulico más utilizado para hacer concreto es el portland, que se compone principalmente de silicato de calcio hidráulico. Por ello, también definieron al concreto hidráulico como un material compuesto, que está compuesto principalmente por un medio ligante formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua, y su interior está inundado de partículas o fragmentos de áridos. Los agregados pueden ser la arena o la grava” (Mehta & Monteiro, 1998). El comité 544 del Instituto Americano del Concreto, define que “el concreto a base de cemento Portland reforzado con fibra

natural sin procesar o el concreto reforzado con fibra simple consta de los siguientes materiales” (ACI Committee 544, 2002):

- a. Cemento portland. - “Se recomienda que cumpla con las normas ASTM C 150 o C 595 o las equivalentes. Puede ser utilizado el ordinario (CPO), el compuesto (CPC) o los cementos con mayor contenido de silicato tricálcico ( $\text{SiCa}_3$ ) y aluminato tricálcico ( $\text{AlCa}_3$ ) que reducen el efecto retardante del fraguado producido por la glucosa presente en las fibras” (ACI Committee 544, 2002).
- b. Agregados. - “Es recomendable que cumpla con la norma ASTM C 33 o su equivalente. Normalmente el concreto reforzado con fibras se fabrica con tamaños de agregado menores a 4.75 mm, por lo que también pueden ser llamados morteros. Sin embargo, en esta tesis se usará el término de concreto” (ACI Committee 544, 2002).
- c. Agua y aditivos. - “El agua a utilizar deberá ser potable, se pueden agregar aditivos acelerantes para disminuir la influencia de la glucosa, aditivos fluidificantes para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y también fungicidas para prevenir el ataque de bacterias y hongos” (ACI Committee 544, 2002).
- d. Fibras naturales. - “Pueden ser utilizadas diversos tipos de fibras naturales. No puede generalizarse el contenido de fibra ni su longitud, ya que cada tipo tiene sus valores idóneos. Se recomienda que estén libres de carbohidratos y sin señales aparentes de ataque de microorganismos” (ACI Committee 544, 2002).

Para fabricar concreto reforzado con fibra, se suelen utilizar los siguientes métodos de mezclado:

- a. Mezcla húmeda. - Primero se coloca el agregado, enseguida el cemento con el agua y luego se agrega los aditivos, se mezcla todos los materiales en un mezclador mecánico. Y por último se agrega la fibra dispersándola en la mezcla. Este procedimiento de mezclado debe cumplir con ASTM C 94 o estándares equivalentes.

El ACI Committee 544, recomienda que “para la colocación del concreto se debe utilizar equipos convencionales con vibradores internos o externos para una mejor



compactación. El procedimiento de mezclado, colocado y compactado es muy similar al sugerido para concretos reforzados con fibras de acero, vidrio o plásticas” (ACI Committee 544, 2008). Sin embargo, este material de construcción relativamente nuevo requiere una atención especial para evitar que sus propiedades se vean afectado. La Tabla 4 muestra los diferentes factores que pueden causar cambios a las propiedades del concreto.

**Tabla 4:** Factores que afectan las propiedades del concreto reforzado con fibra natural.

<b>Factores</b>	<b>Variables</b>
Tipo de fibra	Coco, sisal, maguey, caña de azúcar, bambú, yute, madera, pasto de elefante, plátano y musamba.
Geometría de la fibra	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y puntas.
Conformación de la fibra	Monofilamento, multifilamentos, rizado y nudos simples.
Condiciones superficiales	Hongos, presencia de recubrimientos.
Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, tipo de agregado y granulometría. tipos de aditivos.
Diseño de la mezcla	Contenido de agua, relación agua/cemento, trabajabilidad y contenido de fibra.
Método de mezclado	Tipo de mezcladora, secuencia al agregar los ingredientes, método para agregar las fibras, duración y velocidad del mezclado.
Método de compactación	Vibración convencional, por presión y por impacto.
Técnica de colado	Colado convencional, lanzado o por extrusión.
Método de curado	Convencional, métodos especiales.

**Fuente:** Aziz, Paramaswivam & Lee (1984).

El ACI Committe 544, menciona que “este listado no es exhaustivo, pero enfatiza la complejidad para producir un concreto de buena calidad. El tipo y la longitud de la fibra, así como también el volumen de la fibra en la mezcla, son los factores que más influyen en la resistencia del concreto” (ACI Committee 544, 2002).

Sin embargo, este autor señala que “las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras varían cuando está en estado fresco y cuando ha endurecido” (ACI Committee 544, 2002).

- a. Concreto fresco. - El ACI Committe 544 y los autores Aziz, Paramaswivam & Lee, mencionan que “la adición de fibras naturales a la mezcla tiende a reducir la trabajabilidad, debido principalmente a la absorción de agua, al incremento del área superficial y especialmente a la forma y tamaño de las fibras en relación con las otras partículas que constituyen la mezcla. Esto es importante, ya que una mezcla muy seca tendrá problemas de compactación originando huecos en el producto final y una distribución no uniforme de las fibras. Por otra parte, una mezcla con alto contenido de agua disminuirá considerablemente la resistencia mecánica del compuesto endurecido. Otro aspecto importante es la tendencia que tienen las fibras de aglomerarse entre sí, esto ocurre principalmente cuando se tiene una alta relación de aspecto (longitud/diámetro) de la fibra. Al aglomerarse las fibras producen una segregación en la mezcla y se incrementa la porosidad del concreto. También, se ve afectada la resistencia y se producen variaciones entre especímenes de una misma mezcla. Algunos métodos de mezclado se pueden usar para minimizar este problema, normalmente agregando las fibras en forma progresiva después que han sido mezclados los otros ingredientes. Sin embargo, las fibras permiten que la mezcla en estado fresco tenga la suficiente plasticidad para ciertas aplicaciones, como, por ejemplo, en placas delgadas de pasta de cemento o mortero y cascarones como estructuras arquitectónicas” (ACI Committee 544, 2002) y (Aziz, Paramaswivam, & Lee, 1984).
- b. Concreto endurecido. - El ACI Committe 544 y los autores Aziz, Paramaswivam & Lee, mencionan que “el concreto simple posee una excelente resistencia a la compresión, sin embargo, es frágil. Las fibras proporcionan ductilidad al concreto y permite mejorar propiedades tales como la tensión, la flexión, el impacto y la tenacidad, mientras que la resistencia a la compresión en algunas ocasiones es afectada adversamente con respecto al concreto simple. El microagrietamiento se reduce distribuyendo los esfuerzos internos. El comportamiento plástico posterior al agrietamiento es considerablemente afectado por la adherencia, el volumen y la longitud de las fibras, además de las propiedades mecánicas de éstas. La adherencia puede verse afectada debido

a la expansión de la fibra dentro de la mezcla húmeda, y la posterior contracción por secado. Otras propiedades que se han evaluado son la absorción de energía, aspectos térmicos tales como conductividad, difusividad, calor específico y coeficiente de expansión térmica. Adicionalmente, se han investigado propiedades acústicas como la absorción y la transmisión del sonido, así también, la permeabilidad, la absorción de agua y las características de expansión - contracción” (ACI Committee 544, 2002) y (Aziz, Paramaswivam, & Lee, 1984).

## Concreto

De acuerdo con Rivva, “el concreto es un producto artificial compuesto por un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado” (Rivva López, 2014).

La pasta, para Rivva “es el resultado de la combinación química del cemento y agua. Esta es la etapa continua del concreto porque siempre está integrado consigo mismo durante todo el proceso” (Rivva López, 2014).

El agregado, para Rivva “es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida” (Rivva López, 2014).

El comportamiento del concreto, para Rivva “depende fundamentalmente de las propiedades físicas y químicas de sus materiales constituyentes, si se analiza las propiedades del concreto, podrá comprender mejor sus propiedades” (Rivva López, 2014).

## Importancia del concreto

En su libro *Materiales Para el Concreto*, Rivva señala que “el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro País. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, 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. La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al Ingeniero” (Rivva López, 2014).

#### Requisitos de las mezclas

Según Rivva, “las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos” (Rivva López, 2014):

- a. “La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima” (Rivva López, 2014).
- b. “La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura” (Rivva López, 2014).
- c. “El costo unitario cúbico del concreto endurecido debe ser consistente con la calidad mínima requerida” (Rivva López, 2014).

Según Abanto, “los componentes del concreto son: ligantes (cemento + agua) y agregados (agregado fino: arena y agregado grueso: grava, piedra chancada, confitillo, escoria de hornos)” (Abanto, Tecnología del Concreto, 2017).

Observación:

CEMENTO + AGUA = PASTA

AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO = HORMIGON

Según Rivva, “las operaciones en la producción del concreto variarán de acuerdo con el género de la obra que lo requiere y con el tipo de concreto que se produzcan” (Rivva López, Concreto: Materiales Para el Concreto 3era Edición, 2014).

De acuerdo con Rivva, “las etapas principales para la producción de un buen concreto son: 1.- Dosificación, 2.- Mezclado, 3.- Transporte, 4.- Colocación, 5.- Consolidación y 6.- Curado” (Rivva López, 2014)

## Cementos

A juicio de Rivva, “se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (Rivva López, 2014).

Desde el punto de vista de Rivva, “el cemento Portland ordinario es el producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1 % en peso del total y que la norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva señala que “el cemento portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la Norma ASTM C 150 para los Tipos I, II, y V, los cuales se fabrican en el Perú. Alternativamente podrán emplearse los requisitos de las Normas NTP para cementos” (Rivva López, 2014).

## Fabricación del cemento portland

De acuerdo con Abanto, “las materias primas, finamente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (1400 - 1450 C°), usualmente en grandes hornos giratorios, que pueden llegar a medir más de 200 mts de longitud y 5.50 mts de diámetro” (Abanto, 2017).

Además, Abanto señala que “al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina «clinker» (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños). El clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento portland comercial. Durante la molienda se agrega una

pequeña cantidad de yeso (3 o 4 %), para regular la fragua del cemento” (Abanto, 2017).

#### Composición química del cemento portland

Rivva, da conocer que “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 ésta la alúmina y finalmente el óxido de hierro” (Rivva López, 2014).

Según Rivva, “como ya se ha indicado el grupo de los componentes principales incluye” (Rivva López, 2014):

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

Así mismo, Rivva señala que “de estos componentes, la alúmina y el óxido férrico en conjunto, como aportadores de fase líquida, reciben el nombre de sesquióxidos y su suma se suele representar con la fórmula convencional R2O3” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva menciona que “la sílice y la cal constituyen, en conjunto, aproximadamente del 70% al 75% del total del clinker, en forma de silicatos cálcicos de distinta basicidad. La alúmina y el óxido férrico reciben el nombre de fundentes porque, conjuntamente con la magnesia y los álcalis, constituyen la fase líquida del clinker y facilitan por ello las reacciones entre la sílice y la cal. Forman con esta última los aluminatos” (Rivva López, 2014).

En el siguiente cuadro Rivva da una idea de la composición de óxidos del cemento:

CaO	60% al 67%
SiO <sub>2</sub>	17% al 25%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3% al 8%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5% al 6%

El agregado

Dicho con palabras de Rivva, “se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva menciona que “para tener un adecuado conocimiento de la naturaleza física y química del concreto, así como del comportamiento de éste, implica necesariamente el de los materiales que conforman la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y específicamente de la petrología” (Rivva López, 2014).

Así mismo, Rivva menciona que “el agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral” (Rivva López, 2014).

Según Rivva, 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” (Rivva López, 2014).

Así mismo, Rivva señala que “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 enancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva señala que “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 le emplea tal como se le extrae de la cantera” (Rivva López, 2014).

Según Rivva, las tres funciones principales de los agregados en el concreto son.

- a. “Proporcionar suficiente relleno a la pasta, para reducir su contenido por unidad de volumen, reduciendo así el costo de las unidades cúbicas de concreto” (Rivva López, 2014).
- b. “Proporcionar una gran cantidad de partículas que puedan resistir la abrasión mecánica o la intemperie que puedan actuar sobre el concreto” (Rivva López, 2014).
- c. “Reducir los cambios de volumen causados por los procesos de fraguado y endurecimiento, humectación y secado; o calentar la pasta” (Rivva López, 2014).

#### Interrelación agregado-concreto

El comportamiento del concreto para Rivva, producido con un determinado agregado depende de:

- a. “La composición mineral de las partículas de agregados afecta fundamentalmente la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto” (Rivva López, 2014).
- b. “Las características superficiales de las partículas, que afectan especialmente a la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; y la adherencia entre la pasta y el agregado” (Rivva López, 2014).
- c. “La granulometría del agregado fino y del agregado grueso se define por sí misma y el área superficial específica, el módulo de finura y el tamaño máximo del agregado grueso. Estas propiedades afectan fundamentalmente las propiedades del concreto en estado no endurecido, su densidad y la economía de la mezcla” (Rivva López, 2014).



- d. “El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, afecta especialmente el cambio de volumen causado por el proceso de humectación y secado; los procesos de calentamiento y enfriamiento; y el costo de las unidades cúbicas de concreto” (Rivva López, 2014).
- e. “La porosidad y la absorción del agregado afectan la relación agua-cemento efectiva y el desempeño del concreto en estado no endurecido” (Rivva López, 2014).

#### Importancia de la porosidad del agregado

De acuerdo con Rivva, “las cuatro clases de poros que pueden estar presentes en la pasta corresponden a espacios que están en el concreto fuera de los límites del agregado. Sin embargo, normalmente éste es poroso y permeable, pudiendo variar el total de poros, de acuerdo a los diferentes tipos de rocas, entre el 0.3% y el 20%” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva señala que “algunas rocas presentan macroporos, los cuales se definen como poros lo suficientemente grandes como para que los efectos de la capilaridad en ellos sean muy pequeños o despreciables. Los macroporos presentes en la superficie de la roca, o el concreto, o en el cuerpo de la roca, pero conectados a la superficie por otros macroporos, pueden ser llenados fácilmente por inmersión de la roca en agua. Sin embargo, si tales macroporos están dentro del cuerpo de la roca y se encuentran separados de la superficie por una fina estructura porosa que no es fácilmente permeable, no deberán llenarse rápidamente por un proceso ordinario tal como una prolongada inmersión en agua” (Rivva López, 2014).

Según Rivva, “la dimensión promedio de los poros en las diversas rocas comprende un amplio rango de tamaños. Usualmente las rocas que presentan una alta porosidad y poros relativamente grandes, tienen una alta permeabilidad al agua. Sin embargo, esta regla presenta excepciones encontrándose rocas, por el ejemplo el horsteno, las cuales tienen una porosidad moderada a alta pero baja permeabilidad, lo que indica poros de tamaño promedio pequeño. En este tipo de rocas el tamaño promedio de los poros podría estar en el rango del diámetro de los poros capilares presentes en la pasta” (Rivva López, 2014).

Para Rivva, la porosidad de los agregados naturales que se utilizan comúnmente para preparar concreto de peso normal suele ser inferior al 10% y casi siempre inferior al 3%, mientras que la porosidad total de la pasta es del 30% o superior. A partir de estos valores, se puede esperar razonablemente que la permeabilidad de los agregados comúnmente utilizados sea mucho menor que de la pasta (Rivva López, 2014).

Sin embargo, Rivva menciona que “a nivel de laboratorio se ha podido comprobar que ello no siempre es así, habiéndose encontrado que muchas rocas empleadas como agregado en el concreto pueden tener valores de permeabilidad en el orden de, o más altos que. aquellos que se encuentran en pastas preparadas con relaciones agua-cemento en los rangos de 0.4 a 0.7” (Rivva López, 2014).

Como dice Rivva, “la explicación de esta aparente anomalía se encuentra en el hecho que los capilares o espacios porosos en el agregado a través de los cuales el agua puede fluir, son en promedio considerablemente mayores que los existentes en la pasta aun cuando ellos se presentan en mucho menor proporción” (Rivva López, 2014).

Además, Rivva menciona que “los pequeños vacíos presentes en el agregado en forma similar a los poros capilares de la pasta, pueden bajo determinadas circunstancias ser parcial o totalmente llenados de agua Esta puede congelarse a las temperaturas que usualmente se dan en climas fríos” (Rivva López, 2014).

#### El agua en el concreto

Abanto menciona que “el agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido” (Abanto, 2017).

Según Abanto, “el agua a emplearse en la preparación del concreto, deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. Si se tuvieran dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, será necesario realizar un análisis químico de ésta, para

comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto que a continuación indicamos” (Abanto, 2017):

**Tabla 5:** *Sustancias admisibles en el agua.*

<b>Sustancias Disueltas</b>	<b>Valor Máximo Admisible</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

*Fuente:* Abanto (2017).

También, Abanto menciona que “deberá hacerse un ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, preparando testigos agua destilada o potable y con el agua cuya calidad se quiere evaluar, considerándose como satisfactorias aquellas que arrojen una resistencia mayor o igual a 90% que la del concreto preparado con agua potable” (Abanto, 2017).

Abanto, menciona que “un método rápido para conocer la existencia de ácidos en el agua, es por medio de un papel tornasol, el que sumergido en agua ácida tomará un calor rojizo. Asimismo, para determinar la presencia de yeso u otro sulfato es por medio de cloruro de bario; se filtra el agua (unos 500 grs) y se le hecha algunas gotas de ácido clorhídrico; luego más gotas de solución de cloruro de bario, si se forma un precipitado blanco (sulfato de bario) es señal de presencia de sulfatos. Esta agua debe entonces mandarse analizar a un laboratorio para saber su concentración y ver si está dentro del rango permisible” (Abanto, 2017).

## Viga

Es un elemento estructural, generalmente colocado horizontalmente, soportando cargas externas y transfiriéndolas al elemento de soporte. Su dimensión de sección transversal es menor que su longitud (Pérez & Gómez, 1992).

Pérez y Gómez, afirman que “estos elementos trabajan con cargas puntuales o distribuidas aplicadas perpendiculares al su eje longitudinal, por esta particularidad predomina el diseño a flexión y corte” (Pérez & Gómez, 1992).

La viga se puede construir con diferentes materiales, cuando es de madera y concreto su sección transversal suele ser cuadrada o rectangular, y cuando se utiliza acero existen diferentes tipos de perfiles laminados (Pérez & Gómez, 1992).

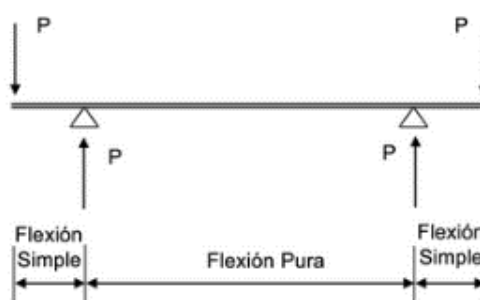
## Flexión

La flexión, para Briseño “es la deformación que presenta un elemento estructural al ser sometido a un esfuerzo o carga determinada, los elementos estructurales sujetos frecuentemente a flexión son vigas y losas. La flexión provoca esfuerzos de compresión en la parte superior del elemento, mientras que en la parte inferior de este provoca esfuerzos de tracción” (Briseño Sánchez, 2016).

### a. Tipos de flexión

Según Rincón, Castro & Iglesias, afirman que “dependiendo de los esfuerzos que acompañen al momento flector se pueden distinguir los siguientes tipos a flexión” (Rincón Rincón, Castro Martínez, & Iglesias Ibáñez, 2006):

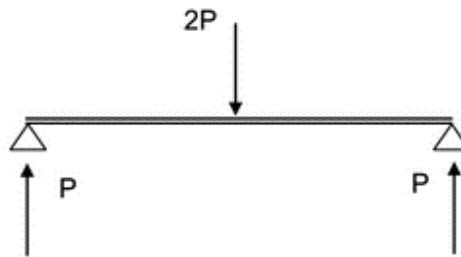
Flexión pura. - es cuando solo existe un solo momento flector en toda la sección recta del elemento, mientras que otros esfuerzos son cero.



**Figura 1:** Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos.

**Fuente:** Rincón, Castro & Iglesias (2006).

Flexión simple. - es cuando además del momento flector en toda la sección recta del elemento, también existe un esfuerzo cortante y los demás esfuerzos son cero, que es una de las situaciones de flexión más comunes.



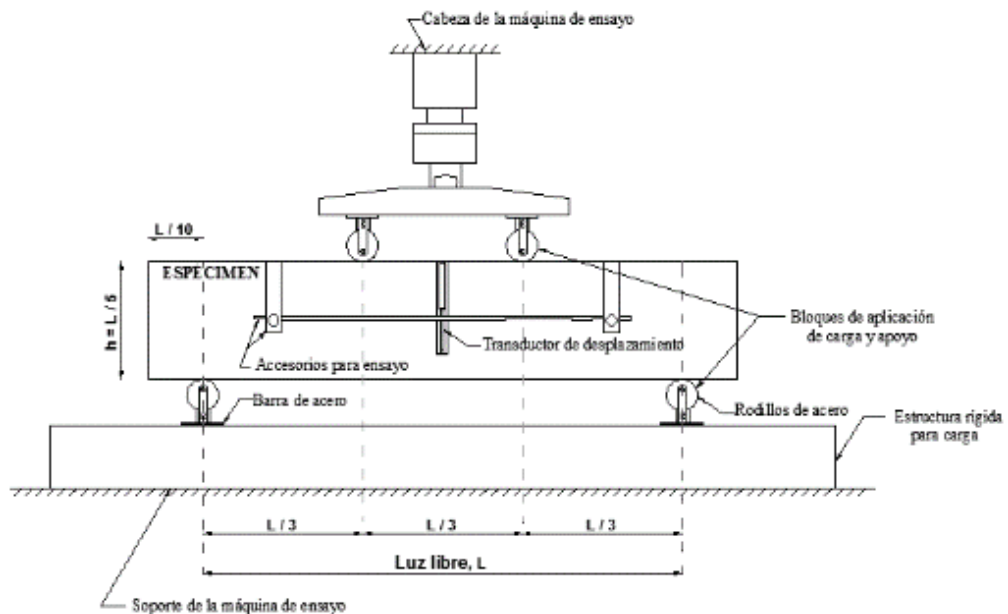
**Figura 2:** *Viga biapoyada trabajada a flexión simple en todas sus secciones.*

*Fuente:* E. Rincón & Iglesias (2006).

Flexión compuesta. - esto ocurre cuando se produce un esfuerzo normal de tracción o compresión en toda la sección recta del elemento, excepto por el plegado antes mencionado.

b. Método de ensayo a flexión

Según Briseño, “con el aporte de la norma NTE INEN 2554 se determina la resistencia a flexión del concreto mediante el uso de una viga simple apoyada cerca a los extremos y cargada en los tercios de la luz libre” (Briseño Sánchez, 2016).

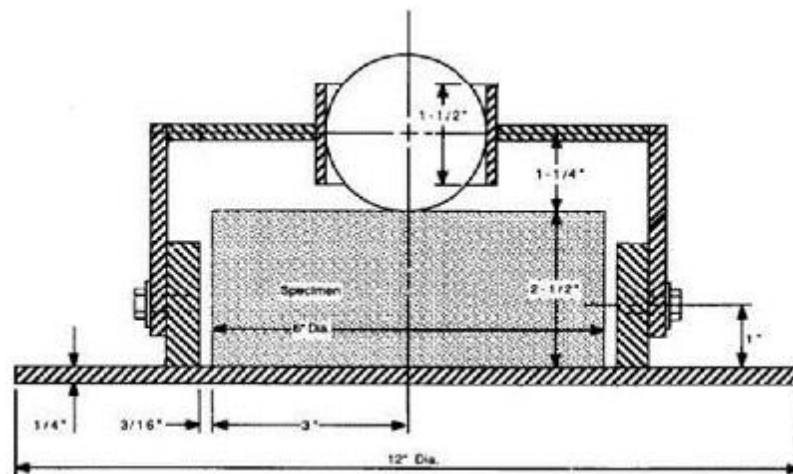


**Figura 3:** *Esquema para el ensayo a flexión del concreto, por el método de la carga en los tercios de la luz.*

*Fuente:* Briseño (2016).

## Resistencia al impacto

De acuerdo con la recomendación del ACI 544.2R, “la prueba se realiza sobre una muestra circular de concreto de 150 mm de diámetro y 50 mm de espesor, que consiste en dejar caer repetidamente un peso de acero de 4.536 kg desde una altura de 457.2 mm sobre la muestra de concreto, y se registra el número de veces necesario para generar la primera fisura sobre la parte superior de la muestra y hasta causar la falla última, debiendo reportarse ambos datos. La falla inicial se identifica al aparecer una grieta visible, por lo tanto, la resistencia al impacto a la primera fisura (RPF) se registrará por el número total de golpes necesarios para iniciar una grieta visible” (ACI 544.2R, 1986). En la Figura 4 se puede observar un esquema del dispositivo para la prueba de impacto, según las recomendaciones de ACI 544.2R.



**Figura 4:** Esquema del dispositivo para el ensayo de impacto.

**Fuente:** ACI 544.2R (1986).

La falla completa del disco de concreto ocurre cuando se aplica el número de golpes necesarios para extender las fisuras lo suficiente, de tal forma que la muestra llega a tocar los extremos del molde de acero sobre el cual es colocado la muestra, para llevar a cabo la prueba. Por tanto, la resistencia al impacto a la rotura (RIR) concierne al número total de golpes necesarios para iniciar una fisura y propagar la fisura hasta su fallo último.

Tomando en consideración los antecedentes y la fundamentación científica, esta investigación se justifica en términos de sociedad y conocimiento, porque la actual ingeniería de materiales de construcción como rama de la ciencia es un tema que está cambiando día a día, y está constantemente buscando mejores alternativas para resolver las diferentes necesidades del mercado. Se espera que la estructura sea lo más duradera posible, para asegurar una cierta vida útil y el mejor desempeño de los materiales utilizados, sin perder la rentabilidad del proyecto, todo esto enmarcado en el entorno donde operamos como sociedad. En este contexto, nació este trabajo de investigación que consta de los aspectos antes indicados: innovación tecnológica, especialmente innovación en materiales de ingeniería; reducción de costos asociados y protección del medio ambiente.

Debido a sus buenas propiedades mecánicas y alto contenido de celulosa, el uso de la fibra de furcraea andina (Penca) como refuerzo en el concreto, puede mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente las de flexión y de impacto. Con el fin de averiguar si la fibra se puede utilizar en el campo de la construcción dado a las características que proporciona este producto, se realizó este proyecto para promover el desarrollo de productos más ecológicos y amigables con el medio ambiente.

De acuerdo a la cantidad empleada, el uso de fibras sintéticas (como polipropileno, acero y vidrio) puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto, por lo que el uso de fibras naturales puede ser una alternativa en el refuerzo del concreto; ya que es un recurso que se puede obtener fácilmente mediante la producción directa de cultivos o el reciclaje mediante procesos adecuados, y así pueden ayudar a optimizar las propiedades del concreto, de modo que se puedan producir fibras industriales a partir de ellas, generando fuentes de ingresos a las personas que se desempeñan en la agricultura.

Otro de los objetivos de este trabajo de investigación es mejorar la calidad de vida de las zonas rurales del distrito de Yungay, aprovechando sus recursos como es la producción de la penca y mejorar sus ingresos económicos.

Esta investigación surge en consecuencia a la siguiente realidad problemática:

El material más utilizado en el campo de la construcción es el concreto, ya que tiene versatilidad en su preparación y aplicación, y sobre todo en su resistencia, especialmente a la compresión, pero este a la vez presenta desventajas a la tracción, flexión y cortante.

Teniendo en cuenta al uso que se le quiera dar al concreto, este deberá ser preparar bajo ciertos requisitos específicos como la economía, durabilidad o cierta resistencia; en la actualidad hay entidades públicas y privadas que estudian el uso de diferentes materiales para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, creando innumerables productos para cambiar las propiedades del concreto que ha causado muchos problemas, como la obtención de las materias primas hasta el procesamiento de residuos industriales, por lo que considerando el estado actual de sostenibilidad de los recursos, se trata de encontrar soluciones viables y ecológicas para la fabricación del concreto optando por utilizar materiales naturales que no conducirán a una degradación irreversible del ecosistema.

En la actualidad, los países pobres y en desarrollo son los más interesados, porque ellos tienen los recursos naturales y a la vez son los países con el mayor problema de satisfacer la necesidad de una vivienda que requiere su población. La crisis activa y la necesidad de producir materiales de construcción baratos han llevado a los países a intentar utilizar este recurso natural. Las comparaciones directas entre el concreto con fibras naturales y el concreto reforzado con fibras de alta tecnología (como acero, vidrio y plástico) son engañosas. Dado que estos últimos definitivamente tienen excelentes propiedades mecánicas y durabilidad, se producen industrialmente y se venden en todo el mundo. Sin embargo, sus beneficios se limitan a países que no tienen suficientes recursos económicos para adquirir dicha tecnología. Al mismo tiempo, debido a que los países pobres y en desarrollo carecen de recursos financieros necesarios, no pueden usar dicha tecnología para satisfacer la necesidad de una vivienda que requiere su población. Entonces por lo anunciado, cada país tiene la oportunidad de desarrollar y utilizar sus propios recursos naturales.



Con base a esta realidad problemática, el objetivo de esta investigación se puede sintetizar en la siguiente pregunta: *¿La adición de fibra de furcraea andina (penca) en elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> mejoran su comportamiento a flexión e impacto?*, problemas específicos (como los que se mencionan a continuación) se derivan de esta incógnita:

- *¿La adición de fibra de furcraea andina (penca) en elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> mejoran su comportamiento a la flexión?*
- *¿La adición de fibra de furcraea andina (penca) en elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> mejoran su comportamiento al impacto?*

Luego de plantear la pregunta, es necesario señalar la conceptualización y operabilidad de las variables:

#### Variable Dependiente

V 1: Resistencia a flexión e impacto.

**Tabla 6:** Operacionalización de la variable dependiente.

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>✓ La flexión es la deformación que presenta un elemento estructural al ser sometido a un esfuerzo o carga determinada, los elementos estructurales sujetos frecuentemente a flexión son vigas y losas. La flexión provoca esfuerzos de compresión en la parte superior del elemento, mientras que en la parte inferior de este provoca esfuerzos de tracción (Briseño Sánchez, TESIS: “Análisis del Comportamiento a Flexión de Vigas Reforzadas con Fibra de Cabuya”, 2016).</p>	<p>El ensayo para medir la capacidad de deformación del material y resistencia a la tracción, será: Resistencia a la Flexión.</p>	<p>Comportamiento a flexión del concreto reforzado con fibras de furcraea andina.</p>	<p>Resultados obtenidos del procesamiento de datos (Resistencia promedio).</p>
<p>✓ La resistencia al impacto es la energía necesaria para romper una probeta sometida a una carga de choque, como en un ensayo de impacto. Sinónimos: energía de rotura por impacto, valor de impacto, resistencia al impacto y absorción de energía. Es una indicación de la dureza del material (Instron, 2019).</p>	<p>El ensayo para medir la capacidad de resistencia al impacto, será: Resistencia al Impacto.</p>	<p>Comportamiento al impacto del concreto reforzado con fibras de furcraea andina.</p>	<p>Resultados obtenidos del procesamiento de datos (Resistencia promedio).</p>

*Fuente:* Briseño (2016) & Instron (2019).

## Variable Independiente

V 2: Dosificación de fibra de furcraea andina (penca).

**Tabla 7:** Operacionalización de la variable independiente.

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>✓ La furcraea andina es una fibra natural áspera, dura y resistente que se obtiene al procesar su materia prima conocida como penco. De acuerdo a la región donde crece, el penco puede adoptar la siguiente denominación: fique, agave, sisal, mezcal, pita y maguey. El penco es una planta perteneciente a la familia de los agavaceae, originaria de América Tropical, aunque se presenta, específicamente en las regiones andinas (Checa &amp; Jurado, 2001).</p> <p>✓ Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1.5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros (Simbaña, 2006).</p>	<p>Dosificación de material que se utilizara como refuerzo para modificar la resistencia.</p>	<p>Dosificación de fibra de furcraea andina en porcentajes de 0.50% y 1.00% del volumen del concreto.</p>	<p>Investigaciones y tesis realizadas a nivel local e internacional.</p>

**Fuente:** Checa & Jurado (2001), Simbaña (2006).

En el presente trabajo de investigación se formuló la siguiente hipótesis: “Los elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> reforzados con fibra de furcraea andina (penca) mejoran su comportamiento a flexión e impacto”.

El objetivo general de la presente investigación es: “Analizar el comportamiento a flexión e impacto de elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina (penca)”.

Y como objetivos específicos tenemos:

Evaluar los componentes básicos, que conforman a la fibra de furcraea andina (penca), mediante un análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X, para determinar sus componentes químicos.

Determinar el índice de acidez y alcalinidad (pH) de la fibra de Furcraea Andina (Penca), para posteriormente evaluar su influencia y comportamiento en el concreto.

Determinar la relación agua/cemento para la mezcla de un concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de 0.50%, y 1.00% de fibras de furcraea andina (penca), mediante el método del Comité 211 del ACI.

Determinar la resistencia a flexión e impacto de muestras de concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> elaboradas a diferentes edades (7, 14 y 28 días), tanto para las muestras patrón y las muestras con fibra furcraea andina (penca) en 0.50% y 1.00% del volumen de concreto.

## **II. METODOLOGIA**

El método de investigación fue la experimentación complementada de la observación científica, porque en el proceso se comparó las muestras del concreto estándar con las muestras del concreto con fibra de furcraea andina (penca). La mayor parte de la investigación se centró en los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la USP y otras universidades, donde el investigador se mantuvo en contacto con los ensayos realizados y obtuvo resultados de acuerdo a los objetivos planteados.

El método utilizado implicó seguir los pasos necesarios para controlar el experimento, para poder manipular deliberadamente una o más variables independientes y observar los cambios en las variables dependientes.

### **TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

#### **a. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación fue aplicada, ya que al obtener resultados favorables en los ensayos de laboratorio de las muestras del concreto con fibra de furcraea andina (penca), se va recomendar como un producto alternativo en la industria de la construcción.

#### **b. Enfoque de Investigación**




























Cuantitativo, porque las variables y sus indicadores fueron estudiados objetivamente midiendo y registrando sus valores de respuesta en herramientas de recolección de datos; para la verificación de la hipótesis se utilizó pruebas estadísticas.

#### **c. Diseño de Investigación**

Es un diseño experimental de nivel cuasi experimental porque es un proceso en el cual hemos analizado si la variable independiente afecta a la variable dependiente, por lo que se elaboró un conjunto de muestras de concreto con fibra de furcraea andina (penca), llamados “grupo experimental” y otro




























conjunto de muestras de concreto sin fibras, llamados “grupo patrón”. El propósito fue determinar la resistencia a la flexión y al impacto del concreto mediante ensayos de laboratorio y encontrar las diferencias entre ellos.

**Tabla 8:** Diseño en muestras (Vigas).

DIAS DE CURADO	Resistencia a flexión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de fibra de Furcraea Andina (Penca)					
	Sin fibra de Furcraea Andina (Penca) 0%		Con fibra de Furcraea Andina (Penca) 0.50%		Con fibra de Furcraea Andina (Penca) 1.00%	
7	V1		V1		V1	
	V2		V2		V2	
	V3		V3		V3	
14	V1		V1		V1	
	V2		V2		V2	
	V3		V3		V3	
28	V1		V1		V1	
	V2		V2		V2	
	V3		V3		V3	

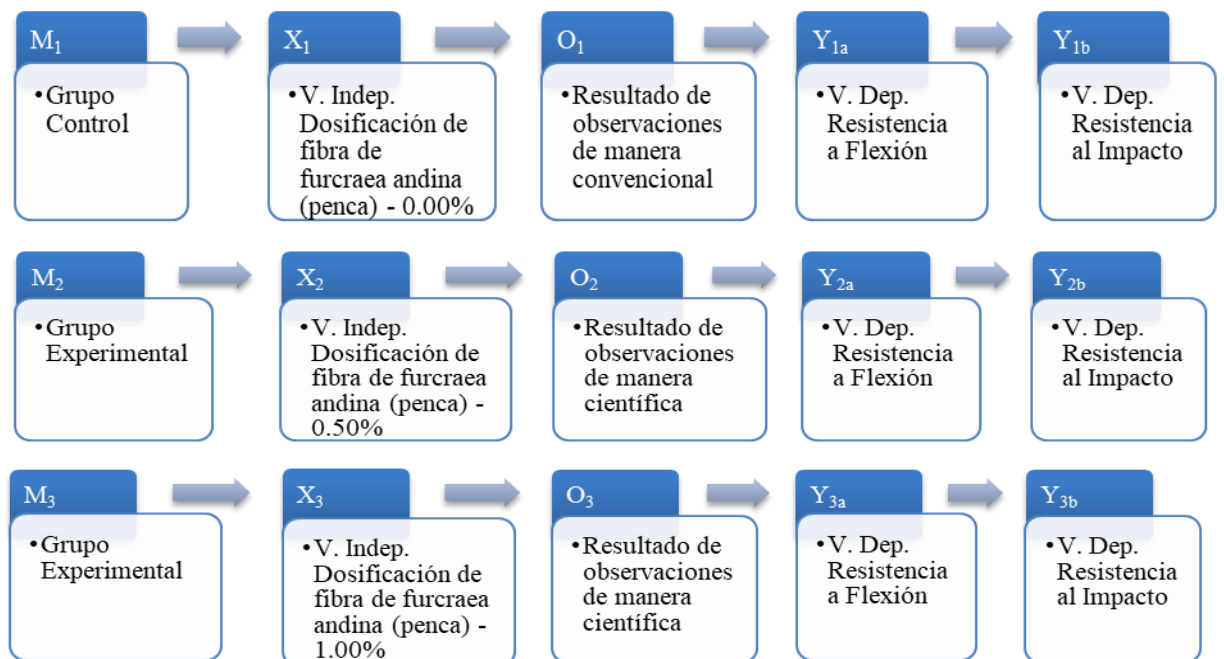
*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**Tabla 9: Diseño en muestras (Discos).**

DIAS DE CURADO	Resistencia al impacto del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de fibra de Furcraea Andina (Penca)					
	Sin fibra de Furcraea Andina (Penca) 0%		Con fibra de Furcraea Andina (Penca) 0.50%		Con fibra de Furcraea Andina (Penca) 1.00%	
7	D1		D1		D1	
	D2		D2		D2	
	D3		D3		D3	
14	D1		D1		D1	
	D2		D2		D2	
	D3		D3		D3	
28	D1		D1		D1	
	D2		D2		D2	
	D3		D3		D3	

Fuente: Elaboración propia (2020).

**d. Esquema**



**Donde:**

- $M_1$  : Muestras de concreto con diseño de mezcla de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> sin fibra de furcraea andina 0.00%.
- $M_2$  : Muestras de concreto con diseño de mezcla de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con fibra de furcraea andina 0.50%.
- $M_3$  : Muestras de concreto con diseño de mezcla de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con fibra de furcraea andina 1.00%.
- $X_1$  : Variable Indep.: Dosificación de fibra de furcraea andina 0.00%.
- $X_2$  : Variable Indep.: Dosificación de fibra de furcraea andina 0.50%.
- $X_3$  : Variable Indep.: Dosificación de fibra de furcraea andina 1.00%.
- $Y_{1a}$  : Variable Dep.: Resistencia a Flexión sin fibra de furcraea andina 0.00%.
- $Y_{2a}$  : Variable Dep.: Resistencia a Flexión con fibra de furcraea andina 0.50%.
- $Y_{3a}$  : Variable Dep.: Resistencia a Flexión con fibra de furcraea andina 1.00%.
- $Y_{1b}$  : Variable Dep.: Resistencia al Impacto sin fibra de furcraea andina 0.00%.
- $Y_{2b}$  : Variable Dep.: Resistencia al Impacto con fibra de furcraea andina 0.50%.
- $Y_{3b}$  : Variable Dep.: Resistencia al Impacto con fibra de furcraea andina 1.00%.

**POBLACIÓN Y MUESTRA****a. Población**

La población considerada en este estudio fue un conjunto de especímenes de concreto (vigas y discos) necesarios para poder experimentar en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de la Universidad de San Pedro - Sede Chimbote; con el fin de sustentar nuestra hipótesis.

Para estudiar en detalle la unidad de investigación, las vigas y discos de concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, se utilizaron las siguientes referencias:

- ✓ Fibra de furcraea andina (penca) del distrito de Yungay - Ancash.
- ✓ La piedra de ¾" y arena utilizadas para el diseño mezcla se compraron en las canteras "Medina" (agregado grueso) y "Vesique" (agregado fino).
- ✓ Cemento portland Tipo I marca "PACASMAYO".



## b. Muestra

La muestra fue no probabilística, y por conveniencia se calculó de acuerdo a la Norma ASTM C192 / C192M - 19 “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory” y su similar en Perú la Norma E.060 Concreto Armado, donde menciona que “para cada mezcla de prueba deberán confeccionarse y curarse por lo menos tres especímenes para cada edad de ensayo” (Norma E.060 Concreto Armado, 2009).

Para el estudio de la muestra, se elaboró grupos de 3 unidades para cada edad y contenido de fibra de furcraea andina (penca), se realizaron un total de 27 vigas y 27 discos de material compuesto, y se realizaron pruebas para determinar sus propiedades mecánicas.

*Tabla 10: Cantidad de vigas para ensayo a flexión.*

<b>Tipo de Viga</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>Subtotal</b>
<b>V. Patrón</b>	3	3	3	9
<b>0.50%</b>	3	3	3	9
<b>1.00%</b>	3	3	3	9
<b>Total (Vigas)</b>				<b>27</b>

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

*Tabla 11: Cantidad de discos para ensayo a impacto.*

<b>Tipo de Disco</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>Subtotal</b>
<b>D. Patrón</b>	3	3	3	9
<b>0.50%</b>	3	3	3	9
<b>1.00%</b>	3	3	3	9
<b>Total (Discos)</b>				<b>27</b>

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

La observación científica se utilizó como técnica, dado que la percepción de los materiales se registra de forma cuidadosa y profesional. Cuando no sea posible tomar notas al mismo tiempo, todas las observaciones deben registrarse por escrito lo antes posible.

Para la recolección de datos manejamos como herramienta la guía de observación resumida, ya que a través de esta herramienta se puede orientar la acción de observar ciertos fenómenos, para lo cual se podrá ir recolectando información, obteniéndose de los ensayos a realizarse.

*Tabla 12: Instrumentos de investigación.*

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO	AMBITO
<b>OBSERVACIÓN CIENTÍFICA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• GUÍA DE OBSERVACIÓN RESUMEN.</li><li>• FICHAS TÉCNICAS DEL LABORATORIO DE LAS PRUEBAS A REALIZAR (VER ANEXOS).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• GRUPO CONTROL Muestra de Mezcla de suelo sin adición.</li><li>• GRUPO EXPERIMENTAL Muestras de especímenes de concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> con fibra de furcraea andina en 0.00%, 0.50% y 1.00%.</li></ul>

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

Al tratarse de un proyecto de investigación cuasiexperimental, las muestras de la población fueron ensayadas en un laboratorio, por lo que se decidió utilizarla como técnica de investigación: "La Observación Científica" ("Guía de observación" como instrumento), donde se pretende determinar la resistencia a la flexión y al impacto de las muestras estándar (patrón) y de las muestras con fibra de furcraea andina (0.50% y 1.00% con respecto al volumen del concreto), elaboradas a diferentes edades (7, 14 y 28 días).

En resumen, los instrumentos que se utilizaron fueron:

- ✓ Guía de observación resumen, ya que nos permitió clasificar y elaborar sistemáticamente información de diversos ensayos.
- ✓ Ficha técnica del laboratorio, donde registramos todos los resultados de los ensayos realizados.

Los ensayos realizados a los agregados que serán usados en la elaboración de las muestras de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Sede Chimbote y las fichas técnicas utilizadas para cada ensayo fueron:

- ✓ Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
- ✓ Peso unitario del agregado fino y grueso.
- ✓ Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso.
- ✓ Contenido de humedad del agregado fino y grueso.
- ✓ Diseño de mezcla
- ✓ Resistencia a flexión e impacto del concreto.

**Tabla 13:** Normas para encontrar los parámetros físicos de los agregados.

ENSAYO	NTP		ASTM	
	Ag. Grueso	Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino
Análisis Granulométrico	NTP 400 - 012		ASTM C - 136	
Peso Unitario Suelto y Compactado	NTP 400 - 017		ASTM C - 29	
Peso Específico y Capacidad de Absorción	NTP 400 - 021	NTP 400 - 022	ASTM C - 127	ASTM C - 128
Contenido de Humedad	NTP 400 - 010		ASTM D - 2216	

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**Tabla 14:** Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

ENSAYO	NTP	ASTM
Resistencia a la Flexión del Concreto	NTP 339 - 078	ASTM C - 78

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

*Tabla 15: Resistencia al impacto del concreto.*

ENSAYO	ACI	ASTM
Resistencia al Impacto del Concreto	ACI 544 2R 1989	ASTM D - 1557

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

## **PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El procesamiento de datos se llevó a cabo después de los ensayos ya realizados, con ayuda de hojas de cálculo Excel.

El procesamiento y análisis de la información obtenida, está sujeto a los siguientes procedimientos:

- ✓ Recolección de la fibra y tratamiento.
- ✓ Recolección de agregados.
- ✓ Determinar la composición química de la fibra por fluorescencia de rayos X dispersa en energía, grado de acidez (pH) y resistencia a tracción.
- ✓ Determinar la relación agua/cemento para la mezcla del concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Revisar estrictamente la información recopilada; es decir, depurando errores, contradicciones, información incompleta, irrelevante, etc.
- ✓ Utilización de hojas de cálculo de Excel para tabular datos y mejorar la precisión.
- ✓ Elaboración de las muestras de concreto patrón como de los adicionados con fibra de furcraea andina (0.50% y 1.00% con respecto al volumen del concreto).
- ✓ Curado de las muestras estándar y de las muestras con adición de fibra de furcraea andina (0.50% y 1.00%) durante 7, 14 y 28 días, para proceder a realizar los ensayos de resistencia a flexión e impacto.
- ✓ Uso de gráfico de barras para mostrar los resultados obtenidos.
- ✓ Analizar e interpretar los resultados en base a los objetivos y la hipótesis planteada.
- ✓ Verificación de hipótesis.

- ✓ Conclusiones y recomendaciones.

## **PROCEDIMIENTOS REALIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN, ELABORACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS**

### **Recolección de la fibra**

La fibra de furcraea andina utilizada en los ensayos fue adquirida del distrito y provincia de Yungay, del departamento de Ancash, ubicado entre las coordenadas UTM: 8988645 198353 18L, a una altitud de 2458 msnm.

En la Figura 29 (ver anexos), se muestra las características físicas de la planta de donde se extrajeron las hojas, para posteriormente obtener la fibra de furcraea andina. Estas fibras se extrajeron manualmente de las pencas previamente cortadas en estado fresco (ver Figura 31 en anexos), cumpliendo todos los procesos necesarios para la adición en el concreto fresco en diferentes porcentajes con respecto al volumen del concreto.

La fibra obtenida al no tener tratamiento alguno, están expuestos a la descomposición por el álcali del cemento y la absorción de agua, por lo que fue necesario darle un tratamiento con parafina.

### **Tratamiento de la fibra con parafina**

La absorción de agua en las fibras naturales puede provocar cambios en sus dimensiones, lo cual es una condición desfavorable porque cuando las fibras se colocan en el concreto fresco, las fibras se saturan, y cuando el concreto se endurece, las fibras saturadas se secan (contracción), afectando la adhesión entre estos componentes (fibra - concreto).

En su investigación Juárez, sostiene que “cualquier material de refuerzo puede ser afectado por el álcali del cemento porque se libera gran cantidad de hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , siendo las fibras naturales más vulnerables a la alcalinidad” (Juárez Alvarado, 2002).

Por lo tanto, para reducir la absorción de agua y mejorar su durabilidad en un ambiente alcalino, se dio tratamiento a la fibra con parafina. Los pasos para lograr este propósito son los siguientes:

Luego que las fibras se secaron al sol por un periodo de 7 días en un espacio libre sin contaminación, se procedió a cortar la fibra a una longitud de 2.5 cm como se muestra en la Figura 37 (ver anexos). Posteriormente se transformó la parafina de estado sólido como se obtiene del mercado, ha estado líquido a una temperatura de 80°C a fuego rápido, y se procedió a sumergir la fibra de furcraea andina en la parafina líquida haciendo que se cubra totalmente alrededor de cinco segundos, como se muestra en la Figura 39 y Figura 40 (ver anexos).

Terminada esta etapa, con la ayuda de papel absorbente y una pinza metálica, las fibras de furcraea andina se retiran de la parafina líquida mediante agitación para evitar la formación de gránulos de cera en las fibras.

Finalmente, se realizó la separación de las fibras manualmente porque suelen pegarse y formar gránulos de cera debido al enfriamiento de la parafina en la superficie (ver Figura 41 y Figura 42 en anexos).

Debido a este tratamiento realizado a la fibra, se puede ver que la fibra tiene mayor rigidez.

### **Recolección de agregados**

Los agregados pétreos utilizados en esta investigación se obtuvieron de las canteras de VESIQUE y MEDINA. En donde el proceso de extracción de los materiales pétreos es a cielo abierto, y para obtener agregados de diferentes tamaños pasa por un proceso de trituración, ya luego son clasificados mediante el zarandeo mecánico (ver Figura 43 en anexos).

El agregado fino se adquirió de la cantera VESIQUE, que se encuentra ubicada en el distrito de Nuevo Chimbote - Ancash - Perú, y el agregado grueso se adquirió de la cantera MEDINA, que se encuentra ubicada en el distrito de Samanco - Ancash - Perú, para ser ensayadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro.

### **Fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE) de la fibra**

Para determinar la composición química de la fibra de furcraea andina se realizó el ensayo de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE) en el Laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima.

### **Ensayo de pH de la fibra**

El ensayo de pH, se realizó con el fin de medir la intensidad ácida o alcalina de la fibra de furcraea andina, este ensayo se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química - Dpto. Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima.

El valor de pH varía de 0 a 14, que son sustancias ácidas con  $\text{pH} < 7$  y sustancias alcalinas con  $\text{pH} > 7$ , y  $\text{pH} = 7$  es neutro.

### **Resistencia a tracción de la fibra**

Esta característica mecánica se determinó en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química - Dpto. Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima, La muestra de fibra de furcraea andina fue sometida a fuerzas axiales según la norma TAPPI 494-om94, donde la resistencia a la tracción aumenta hasta que la fibra se rompe.

### **Diámetro de la fibra**

El diámetro de las fibras naturales varía mucho, en comparación con las fibras industriales (vidrio, acero y plástico) que son de tamaño uniforme. La resistencia de una fibra depende de su diámetro, por lo que se ha recogido una muestra de fibra representativa durante toda la fase de investigación.

Para minimizar la variedad de diámetros, se consideró conveniente descartar los dos extremos de la fibra, que es donde hay mayor cambio de diámetro y solo se trabajó con la zona central de la fibra, pues esto optimizó mucho la uniformidad de los diámetros.

El diámetro de las fibras se obtuvo usando un calibrador vernier digital, como se muestra en la Figura 46 (ver anexos).

Se realizó la medición a una muestra de 100 unidades de fibra y se obtuvieron datos promedios confiables.

### **Porcentaje de absorción de agua de la fibra**

Para determinar la absorción de agua de la fibra de *furcraea* andina, la fibra se cortó en aproximadamente 2.5 cm de largo, y siguiendo el procedimiento de Juárez (2002), “se tomaron tres muestras, cada una de aproximadamente 1 gramo, y se secaron en el horno a 100 °C durante 24 horas” como se puede ver en la Figura 47 (ver anexos).

Para la fibra sin tratar, se pesaron 3 muestras en una balanza digital con una precisión de 0.01 gr para obtener el peso seco ( $W_s$ ). Posteriormente, cada muestra se sumergió en agua durante 24 horas.

Con el fin de obtener condiciones de saturación superficialmente seco, las fibras se secaron con papel absorbente durante 3 minutos hasta que no se observaron gotas entre ellas, y cuando finalmente se pasó el papel, no evidenciando la presencia de humedad, se procedió a pesar la muestra para obtener el peso saturado superficialmente seco ( $WS_{ss}$ )

La siguiente expresión se utilizó para obtener el porcentaje de absorción:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{WS_{ss} - W_s}{W_s} \times 100$$

Para la fibra tratada con parafina, se tomaron 3 muestras y se pesaron 5 gr por muestra con una balanza de precisión de 0.01 gr para obtener el peso seco de la fibra tratada ( $W_{st}$ ).

A continuación, las fibras tratadas se saturaron en agua durante 24 horas, concluida estas etapas se intentó obtener un estado saturado superficialmente seco. Luego se procedió a pesar la fibra tratada obteniendo el peso saturado superficialmente seco



(WSsst). De esta forma, el porcentaje de absorción se pudo obtener mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{WSsst - Wst}{Wst} \times 100$$

La diferencia entre WSsst-Wst es el peso de agua absorbida, dividido entre el peso seco de la fibra tratada (Wst), se logra obtener el porcentaje de absorción de la fibra tratada en relación con el peso seco.

### **Relación agua/cemento para la mezcla de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Para determinar la relación agua/cemento se realizaron diferentes ensayos a los agregados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro, las que se muestran en la Tabla 16.

El propósito de los ensayos es determinar las características del material utilizado y compararlo con las características determinadas en la norma ACI ASTM C-127.

*Tabla 16: Ensayos realizados a los agregados.*

ENSAYO	AG. GRUESO	AG. FINO
Análisis Granulométrico	✓	✓
Peso Unitario Suelto y Compactado	✓	✓
Peso Específico y Capacidad de Absorción	✓	✓
Contenido de Humedad	✓	✓

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

### **Análisis Granulométrico**

El ensayo granulométrico implica determinar la distribución del tamaño de partículas del agregado, mediante el tamizado y cumpliendo con los límites establecidos en las normas ASTM C-136 y NTP 400-012.

Se realizó el tamizado de partículas del agregado fino y grueso por una serie de tamices conocidas, y luego se pesaron los materiales retenidos en cada tamiz describiéndose en porcentajes en relación al peso total (ver Figura 48 y Figura 49 en anexos).

El valor encontrado se representó gráficamente en un sistema de coordenadas semilogarítmico para que se pueda apreciar la distribución acumulativa.

**Tabla 17:** *Limites para el ensayo granulométrico del agregado fino.*

<b>LIMITES DEL AGREGADO FINO</b>	
<b>TAMIZ ASTM</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA (%)</b>
3/8"	100
Nº 4	95 a 100
Nº 8	80 a 100
Nº 16	50 a 85
Nº 30	25 a 60
Nº 50	10 a 30
Nº 100	2 a 15

*Fuente:* ASTM C 136-06 "Standard Specification for Concrete Aggregates" (1999).

**Tabla 18:** *Limites para el agregado grueso.*

<b>LIMITES DEL AGREGADO GRUESO</b>	
<b>TAMIZ ASTM</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA (%)</b>
2"	100
1 ½"	95 a 100
1"	-
¾"	35 a 70
½"	-
3/8"	10 a 30
Nº 4	0 a 5

*Fuente:* ASTM C 136-06 "Standard Specification for Concrete Aggregates" (1999).

### **Módulo de Fineza**

Una arena adecuada para la elaboración de concreto tiene un módulo de finura entre 2.3 y 3.1, si tiene un valor menor a 2.0 indica arena fina, 2.5 indica arena medianamente fina y mayor a 3.0 indica arena gruesa. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenido en la malla de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, y N°100, dividida entre 100.

### **Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal**

Según la norma NTP 400.037, "el tamaño máximo del agregado grueso viene a ser el que pasa el menor tamiz de la serie" (NTP 400.037, 2014).

Según la norma NTP 400.037, "el tamaño máximo nominal viene a ser el primer retenido en el menor tamiz de la serie" (NTP 400.037, 2014).

Tamaño Máximo Nominal = 1"

### **Peso Unitario**

Es el resultado del peso de las partículas dividido por el volumen total incluido los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, estas influyen en el acomodo a la forma del molde. El procedimiento para determinar el peso unitario esta estandarizado en la norma ASTM C 29 y NTP 400-017. Este es un valor útil especialmente cuando se quiere realizar la conversión de peso a volumen (o viceversa). Y procedió de la siguiente manera:

Peso Unitario Suelto

- 1°. Pesamos la briqueta en la balanza.
- 2°. Tomamos sus dimensiones.
- 3°. Llenamos el cilindro con agregado, y para que quede al ras utilizamos la varilla de acero, luego procedemos a limpiar los bordes del cilindro con una brocha.
- 4°. Pesamos en la balanza de capacidad pesada (ver Figura 50 y Figura 51 en anexos).

### Peso unitario compactado

- 1°. Llenamos el agregado hasta la tercera parte del cilindro y lo golpeamos 25 veces en espiral desde una altura de unos 30 cm.
- 2°. Del mismo modo, llenamos dos tercios y realizamos 25 golpes.
- 3°. Finalmente, llenamos el recipiente y lo golpeamos 25 veces más, luego enrazamos con una varilla y limpiamos los bordes con una brocha (ver Figura 52 en anexos).
- 4°. Usando la balanza de capacidad pesada, pesamos el molde con el agregado compactado.

### **Peso Específico**

El peso específico se refiere a la densidad de partículas individuales, no a la masa de todo el agregado. El peso específico se puede definir como la relación entre la masa del volumen unitario del material y la masa del mismo volumen de agua destilada sin gas a una temperatura estable.

El peso específico es un indicador de calidad, porque valores altos corresponden a materiales con buenas propiedades, mientras que un peso específico bajo corresponde a absorbentes y agregados más débiles.

#### Para un Agregado Fino

La norma ASTM C 128 o NTP 400-022, especifica procedimientos para determinar el peso específico de agregados finos.

- 1°. Pesamos dos fiolas llenos de agua hasta la línea de capacidad una tras otra y anotamos el peso.
- 2°. Pesamos 60 gramos de arena y la tara de cada fiola.
- 3°. Agregamos el agregado a la fiola, agregamos agua hasta la mitad de la fiola y usando un gotero enjuagamos las paredes de la fiola con agua.
- 4°. Las ponemos al fuego unos minutos para liberar las burbujas.
- 5°. Finalmente, pesamos las fiolas después de enfriarlo y calculamos el peso específico del agregado fino (ver Figura 53 en anexos).

### Para un Agregado Grueso

La norma ASTM C 127 o NTP 400-021, especifica procedimientos para determinar el peso específico de agregados gruesos.

- 1°. Pesamos una cantidad suficiente de agregado grueso y lo sumergimos en agua, dentro de un balde.
- 2°. En el balde colocamos la canasta de alambre que sujetará al agregado.
- 3°. Finalmente, sacamos el agregado grueso del agua y lo pesamos, y anotamos el peso para el cálculo correspondiente del peso específico (ver Figura 54 en anexos).

### Porcentaje de Absorción

Se entiende por absorción al contenido de humedad interna del agregado en condiciones de saturación superficialmente seco.

La capacidad de absorción del agregado depende del aumento de peso de una muestra secada al horno después de remojar en agua durante 24 horas y del secado superficial. Estas condiciones obtenidas representan los agregados en la mezcla de concreto.

Este ensayo es importante porque en el concreto se va reflejar, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla, ya que tiene gran impacto en las propiedades de resistencia y trabajabilidad, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de realizar las correcciones necesarias en el diseño de mezcla.

### Para un Agregado Fino

La norma ASTM C 128 o NTP 400-022, especifica procedimientos para determinar el porcentaje de absorción del agregado fino.

- 1°. Pesamos una muestra representativa de 1000 gr. de agregado fino en una bandeja y le colocamos al horno durante 24 horas, retirado la muestra del horno se deja enfriar y reposar.
- 2°. Luego, cubrimos la muestra con agua durante 24 horas, y luego esparcimos la muestra sobre una superficie expuesta a un flujo de aire suave, y agitamos hasta

obtener un efecto de secado uniforme y que las partículas no se peguen entre sí.

- 3°. Vertimos el agregado fino sin comprimir en el molde de cono de absorción hasta que llega a la superficie (ver Figura 55 en anexos).
- 4°. Golpee ligeramente 25 veces con una varilla de metal.
- 5°. Enrasamos la superficie con ayuda de una varilla metálica.
- 6°. Luego se removió el molde verticalmente, y observamos que el agregado fino se desmorona, el cual indica que la muestra a alcanzado una superficie seca (ver Figura 55 en anexos).
- 7°. Finalmente, se pesó una cantidad suficiente de agregado fino y se colocó al horno durante 24 horas, nuevamente se volvió a pesar y se obtuvo el porcentaje de absorción de agregado fino.

#### Para un Agregado Grueso

La norma ASTM C 127 o NTP 400-021 especifica procedimientos para determinar el porcentaje de absorción del agregado grueso.

- 1°. Tomamos una cantidad suficiente de agregado grueso y lo sumergimos en un recipiente lleno de agua durante 24 horas.
- 2°. Secamos la superficie del agregado con un paño, lo colocamos en una bandeja, lo pesamos y luego lo metemos al horno por 24 horas.
- 3°. Luego, sacamos el agregado del horno, lo pesamos después de un período de tiempo razonable y registramos el peso.
- 4°. Finalmente, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para hallar el porcentaje de absorción de agregado grueso.

#### **Contenido de Humedad**

Es la cantidad de agua superficial retenida por partículas del agregado en un momento dado.

Este ensayo es importante porque ayuda a aumentar el agua en la mezcla, por lo que debe considerar junto con la absorción para corregir adecuadamente la proporción de la mezcla para cumplir con los supuestos asumidos.

Para un Agregado Fino

- 1°. Pesamos una muestra representativa de agregado fino en una tara o bandeja, y luego lo metemos al horno por 24 horas.
- 2°. Sacamos las muestras del horno, las dejamos enfriar durante un tiempo razonable y las pesamos.
- 3°. Finalmente, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para hallar el contenido de humedad del agregado fino.

Para un Agregado Grueso

- 1°. Pesamos una muestra representativa de agregado grueso en una tara o bandeja, y luego lo metemos al horno por 24 horas.
- 2°. Sacamos las muestras del horno, las dejamos enfriar durante un tiempo razonable y las pesamos.
- 3°. Finalmente, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para hallar el contenido de humedad del agregado grueso.

### **Elaboración de muestras de concreto**

Para la elaboración de las muestras de concreto, se utilizan moldes prismáticos para ensayos de flexión (vigas de 15 cm por 15 cm por 50 cm), y moldes cilíndricos para ensayos de impacto (discos de 15 cm por 5 cm), según la dosificación descrita en el ítem 3.3, y siguiendo los procedimientos especificados en la NTP 339-078, ASTM C-78, ACI 544 2R 1989 y ASTM D-1557.

#### **✓ Aparatos**

- a) **Moldes:** Para la elaboración de las vigas patrón se utilizaron moldes de madera y acero del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la USP y para las vigas experimentales se utilizaron moldes de acero hechos con las medidas descritas anteriormente. Los moldes de madera fueron cubiertos interiormente con desmoldante y de acero con petróleo (ver Figura 56 y Figura 57 en anexos).

Para la elaboración de discos, se utilizaron moldes de tubo de PVC de 6 pulg. de diámetro, fijados con pernos y alambres de acero negro N°16 sobre una superficie de triplay, para evitar que se deformen, así mismo se aplicó desmoldante al interior del molde, para facilitar el desmolde de los especímenes (ver Figura 58 en anexos).

- b) **Apisonador:** Varilla de acero lisa con un diámetro de 16 mm y una longitud de unos 60 cm. Uno o ambos extremos son redondos semiesféricos con un diámetro de 16 mm.
- c) **Mazo:** Martillo con cabeza de jebe con un peso de aproximadamente 0.80 kg.
- d) **Herramientas de mano:** Lampa, balde, plancha de batir y empastar, placa de acero para superficies de concreto, cucharones y regla.
- e) **Balanza:** Con exactitud que este dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier posición dentro de los parámetros de uso, con una graduación de 0.05 kg.
- f) **Mezcladora:** Tipo trompo eléctrica con una capacidad de 6 pies cúbicos de capacidad.

#### ✓ **Procedimientos**

##### a) Pasos para la elaboración de mezcla

- 1°. Se determino la cantidad de material requerido para cada muestra para hacer 9 vigas, con dimensiones de 15 cm de ancho, 15 cm de alto y 50 cm de largo; y 9 discos, de 15 cm de diámetro y 5 cm de alto.
- 2°. Para evitar aportar agua adicional a la mezcla u otros materiales inesperados se lavó el interior de la mezcladora, y se procedió a pesar la cantidad de cemento, agregado fino, agregado grueso, fibra de furcraea andina y a calcular la cantidad de agua, para cada muestra.
- 3°. No existe un estándar que indique los pasos para cargar los materiales en la mezcladora, pero muchos antecedentes sugieren que se debe agregar una parte del agua a la mezcladora, luego el agregado fino, seguidamente el



agregado grueso y finalmente el cemento y el agua restante; en el caso de las muestras con fibra primero se mezcló todos los materiales, luego se añadió la fibra poco a poco en forma dispersa, mezclando todos los materiales hasta que el agregado y el cemento tengan un color uniforme, y el agregado grueso quede cubierto completamente por la pasta. Se procedió a controlar el tiempo de mezclado después de agregar el volumen final de agua, para la mezcla sin fibra fue de aproximadamente 3 minutos, y para la mezcla con fibras, el tiempo vario de 5 a 10 minutos hasta verificar que los materiales estén completamente mezclados.

b) Pasos para elaborar las muestras de concreto

- 1°. Se ubico los moldes sobre una superficie horizontal, rígida y sin vibraciones.
- 2°. La colocación de la mezcla en el molde se realizó con una plancha de batir para asegurar el repartimiento de la mezcla en el molde y minimizar la segregación cuando la mezcla golpea al caer (ver Figura 62 en anexos).
- 3°. El llenado del molde se realizó en tres capas iguales, agregando una cantidad suficiente de mezcla en la última capa para que el molde quede lleno después de la compactación.
- 4°. La compactación se efectuó uniformemente en cada capa con 25 penetraciones de una varilla. En la primera capa la compactación fue en todo su espesor, y en la segunda y tercera capa la penetración fue de 2,5 cm hasta la capa anterior (ver Figura 63 en anexos).
- 5°. Luego de compactar cada capa, se golpeó suavemente los costados del molde 12 veces con un martillo de goma para liberar cualquier burbuja de aire que pueda quedar atrapada (ver Figura 64 en anexos).
- 6°. Usando la varilla de compactación se enraso el exceso de mezcla y luego se alisó realizando el menor número de pasadas con la plancha de empastar, para lograr una superficie lisa y plana (ver Figura 65 en anexos).

7°. Se identifico cada tipo de muestra con nombre, fecha y dosificación (ver Figura 66 en anexos).

8°. Transcurrido 24 horas de haber elaborado las muestras, estos fueron desencofrados y se realizó el curado estándar (ver Figura 67 y Figura 68 en anexos).

### **Curado de las muestras de concreto**

Siguiendo los procedimientos especificados en NTP 339.183 se realizó el curado de las 54 muestras.

#### ✓ **Procedimientos**

- a) **Protección después del acabado:** Se cubrió inmediatamente las muestras con plástico después del moldeado para evitar la evaporación y la pérdida de humedad.
- b) **Curado inicial:** Después del moldeado, la muestra se cubrió con plástico para conservar la temperatura circundante. Después de 24 horas de que se hicieron las muestras, se sacaron del molde y se sometieron a curado estándar.
- c) **Curado estándar:** Al finalizar el curado inicial, entre los 30 minutos y 1 hora después de haber sacar las muestras del molde, estos se colocaron en un cilindro de curado lleno de agua, posteriormente estos se cubrieron con una manta plástica y tapa (ver Figura 69 en anexos).

### **Asentamiento del concreto en estado fresco**

Esta prueba se lleva a cabo de acuerdo con la NTP 339.035 (correspondiente a ASTM C 143).

#### ✓ **Aparatos**

- a) **Molde y placa:** Se uso moldes y placas de acero que no reaccionen con la pasta del cemento, cuyo espesor fue superior a 1.5 mm, y la forma lateral del cono de abrams fue de 20 cm de diámetro en la parte inferior, 10 cm de diámetro en la parte superior y 30 cm de altura.

- b) **Varilla de apisonado:** Una varilla de acero liso con un diámetro de 16 mm y una longitud de unos 60 cm, con un extremo o ambos extremos redondos semiesférica con diámetro de 16 mm.
- c) **Instrumento de medida:** Se uso una wincha y una regla de acero.
- d) **Herramientas de mano:** Lampa, balde, plancha de batir, placas de acero para la superficie del concreto y cucharones.

✓ **Procedimiento**

- 1°. Tanto al molde y la placa de acero se le aplico petróleo, posteriormente fueron colocadas sobre una superficie rígida y nivelada.
- 2°. Presionando los estribos con los pies se fijó el molde firmemente sobre la placa de acero, teniendo cuidado de no mover los pies al llenar la mezcla.
- 3°. Se lleno el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 7 cm, la segunda capa a 16 cm, la tercera capa hasta el borde superior del molde, y en la última capa, se agregó suficiente mezcla para que después de compactarlo quede lleno el molde.
- 4°. La compactación se efectuó uniformemente en cada capa con 25 penetraciones de una varilla. En la primera capa la compactación fue en todo su espesor, y en la segunda y tercera capa la penetración fue de 2,5 cm hasta la capa anterior. Al compactar la última capa, se mantuvo en todo momento el exceso de mezcla (ver Figura 70 en anexos)
- 5°. Haciendo rodar una varilla de compactación sobre el borde del molde, se enraso el concreto.
- 6°. Manteniendo firme el molde se limpió el exceso de mezcla en el área alrededor de la base del molde para evitar interferencias cuando se retira el molde.
- 7°. De un solo movimiento lentamente, se levantó el cono de abrams por encima de los 30 cm.

8°. Luego se procedió a medir el asentamiento del concreto, desde la parte superior del molde hasta la superficie de desplazamiento con una precisión de 5 mm (ver Figura 71 en anexos).

### **Ensayos para analizar el comportamiento a flexión e impacto de elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina**

Los ensayos evaluados en esta investigación son las siguientes:

- ✓ Resistencia a la flexión de muestras prismáticas a los 7, 14 y 28 días.
- ✓ Resistencia al impacto de muestras cilíndricas a los 7, 14 y 28 días.

### **Resistencia a la flexión de muestras prismáticas de concreto**

Este ensayo se desarrolló según la normativa ASTM C 293 y NTP 339.079

#### ✓ **Aparatos**

- a) **Máquina de ensayo a flexión:** Para este ensayo se utilizó una máquina hidráulica con alimentación de energía eléctrica, con capacidad suficiente para proporcionar el índice de carga requerido. Asimismo, se logró operar con una energía constante, por lo que se pudo aplicar una carga continua durante todo el ensayo (ver Figura 72 en anexos).
- b) **Vernier:** Dispositivo con precisión de medición de 0.01 mm.
- c) **Regla:** De acero con aproximación de 0.5 mm.

#### ✓ **Procedimientos**

- 1°. Minutos después de sacar las vigas del cilindro de curado, se realizó el ensayo de flexión.
- 2°. Todas las vigas se han sometido a ensayo en las diferentes edades y se fracturaron dentro del tiempo de tolerancia permitido especificado en NTP 339.034.
- 3°. **Dimensiones de las muestras:** Se precedió a medir dos los lados de la viga con ayuda de una regla o vernier.

- 4°. **Colocación de las muestras en la máquina de ensayo a flexión:** Se limpio los soportes de la máquina de ensayo, dejando un espacio libre de 45 cm, y se colocó las muestras horizontalmente girando 90° con respecto a la posición de elaboración en los soportes, dejando un espacio de 2,5 cm a cada lado. Se levanto la traviesa hasta tener contacto la muestra con la barra de distribución de carga. Luego se verifico que el indicador de carga este en cero para comenzar a aplicar compresión (ver Figura 73 en anexos).
- 5°. **Aplicación de cargas:** Durante el ensayo, la válvula de inyección de aceite se ajustó para mantener constante la velocidad de aplicación de carga. Se aplico la carga hasta que la muestra fallo y se registró la carga máxima soportada por la muestra (ver Figura 74 en anexos).
- 6°. **Expresión de resultado:** Consulte en Anexo N°05 para ver los resultados de los cálculos.

### **Resistencia al impacto de muestras cilíndricas de concreto**

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones de ACI 544.2R " Measurements of Proprieties of Fiber Reinforced Concrete ".

#### ✓ **Aparatos**

- a) **Dispositivo de ensayo a impacto:** Se mando a fabricar una placa para sostener al espécimen de concreto, de acuerdo al esquema del dispositivo de ensayo a impacto según ACI544.2R (1989), como se muestra en la Figura 76 y Figura 77 (ver anexos).
- b) **Martillo proctor modificado:** Se utilizo un martillo que cumple con la Norma ASTM D 1557 | INV E 142, con una masa de 4.536 kg  $\pm$  0.01 kg y caída libre de 457,2 mm (18”).
- c) **Alicate:** Universal de 8”, para ajustar los tornillos del dispositivo para la prueba de impacto.

✓ **Procedimiento**

- 1°. Se realizó el ensayo de impacto de disco minutos después de ser retirado del cilindro de curado.
- 2°. **Colocación de las muestras en el dispositivo de ensayo a impacto:** Se limpió la superficie de la placa que sostiene la muestra y se colocó la muestra en la posición de elaboración. Luego se fijó la esfera de acero encima del disco en la parte central (ver Figura 78 en anexos).
- 3°. Se dejó caer libremente el martillo sobre la esfera de acero de una altura de 457.2 mm, con un peso de 4.536 kg (ver Figura 79 en anexos).
- 4°. La carga se transfiere a la muestra por el peso del martillo que cae sobre la esfera de acero en el centro de la superficie superior del disco de concreto. Puede observarse que el número de golpes necesarios para que se produzca la primera fisura se considera la resistencia a la primera fisura, y el número de golpes necesarios para que la muestra se rompa hasta que se separe se considera la capacidad de resistencia a la rotura, como se puede observar en la Figura 80 (ver anexos).

Este método nos permitió obtener los valores comparativos del concreto reforzado con fibra y sin fibra a la edad de 7, 14 y 28 días.

### III. RESULTADOS

Para el desarrollo de esta investigación, es fundamental contar con datos reales los cuales serán el soporte del proyecto y servirán en la toma de decisiones acerca de parámetros significativos que nos ayudarán en la elaboración del material compuesto con fibras de penca y el reforzamiento de los elementos; para lograr este objetivo fue necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio en donde se determinaron las características que presentan las fibras y la matriz cementicia, y así poder mejorar las propiedades mecánicas de los componentes del concreto.

#### 3.1 Caracterización de la fibra

##### 3.1.1 Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (FRXDE) de la Fibra de Furcraea Andina (Penca)

*Tabla 19: Composición elemental de las fibras de penca en % de masa.*

Elemento	Concentración % de Masa
Aluminio (Al)	0.676
Silicio (Si)	0.927
Azufre (S)	0.154
Cloro (Cl)	0.086
Potasio (K)	0.468
Calcio (Ca)	0.920
Titanio (Ti)	0.003
Manganeso (Mn)	0.005
Hierro (Fe)	0.018
Niquel (Ni)	0.009
Cobre (Cu)	0.189
Zinc (Zn)	0.112
Estroncio (Sr)	0.004
Sub Total	3.569
Otros	96.431
Total	100.00

*Fuente: Laboratorio de Arqueometría - Universidad Nacional Mayor de San Marcos (2019).*

### 3.1.2 Ensayo de pH de la fibra de furcraea andina

*Tabla 20: pH de la fibra de penca.*

Ensayo	Método/Norma	Valor
pH	TAPPI T 252	6.30

*Fuente: Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química - Dpto. Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima (2019).*

### 3.1.3 Ensayo de resistencia a tracción de la fibra

*Tabla 21: Resistencia a tracción de la fibra.*

Ensayo	Método/Norma	Unidad	Valor
Resistencia a tracción	TAPPI 494-om94	N/mm <sup>2</sup>	129

*Fuente: Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química - Dpto. Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima (2019).*

### 3.1.4 Diámetro de la fibra

*Tabla 22: Diámetros de las fibras de furcraea andina en 100 muestras.*

Muestra	Diámetro (mm)	Muestra	Diámetro (mm)	Muestra	Diámetro (mm)
1	0.18	18	0.25	35	0.25
2	0.23	19	0.13	36	0.23
3	0.22	20	0.21	37	0.15
4	0.15	21	0.25	38	0.26
5	0.21	22	0.18	39	0.21
6	0.23	23	0.21	40	0.12
7	0.24	24	0.23	41	0.22
8	0.20	25	0.20	42	0.15
9	0.16	26	0.27	43	0.28
10	0.21	27	0.22	44	0.20
11	0.23	28	0.19	45	0.18
12	0.22	29	0.25	46	0.20
13	0.25	30	0.26	47	0.25
14	0.14	31	0.19	48	0.22
15	0.22	32	0.20	49	0.22
16	0.21	33	0.24	50	0.24
17	0.22	34	0.21	51	0.17

*Fuente: Elaboración propia (2020).*



**Tabla 23:** Diámetros de las fibras de *furcraea andina* en 100 muestras.

Muestra	Diámetro (mm)	Muestra	Diámetro (mm)	Muestra	Diámetro (mm)
52	0.26	69	0.09	86	0.12
53	0.19	70	0.16	87	0.26
54	0.24	71	0.20	88	0.22
55	0.27	72	0.08	89	0.21
56	0.20	73	0.20	90	0.16
57	0.19	74	0.22	91	0.13
58	0.21	75	0.18	92	0.23
59	0.22	76	0.23	93	0.20
60	0.21	77	0.13	94	0.21
61	0.23	78	0.10	95	0.08
62	0.25	79	0.14	96	0.21
63	0.19	80	0.20	97	0.25
64	0.20	81	0.19	98	0.17
65	0.21	82	0.17	99	0.22
66	0.18	83	0.22	100	0.24
67	0.14	84	0.25		
68	0.15	85	0.22		

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### Tabla de distribución de frecuencias

Cálculos previos:

Nº Datos	:	100
Limite Sup.	:	0.28
Limite Inf.	:	0.08
Rango	:	0.20
Nº Intervalos	:	8
Amplitud	:	0.025

Promedio  $\bar{x} = 0.20$  mm

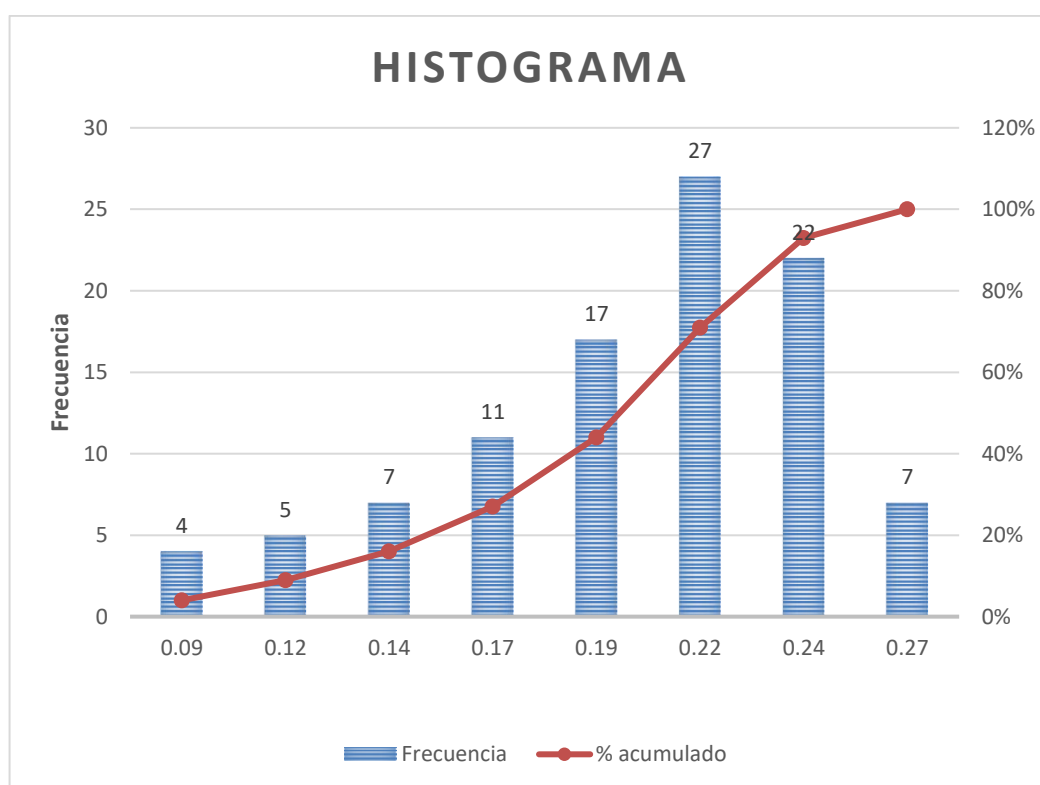
Desviación estándar  $S = 0.044$  mm

Coefficiente de Variación  $Cv = 21.95\% < 25\%$  (Homogéneo)

**Tabla 24:** Distribución de frecuencias.

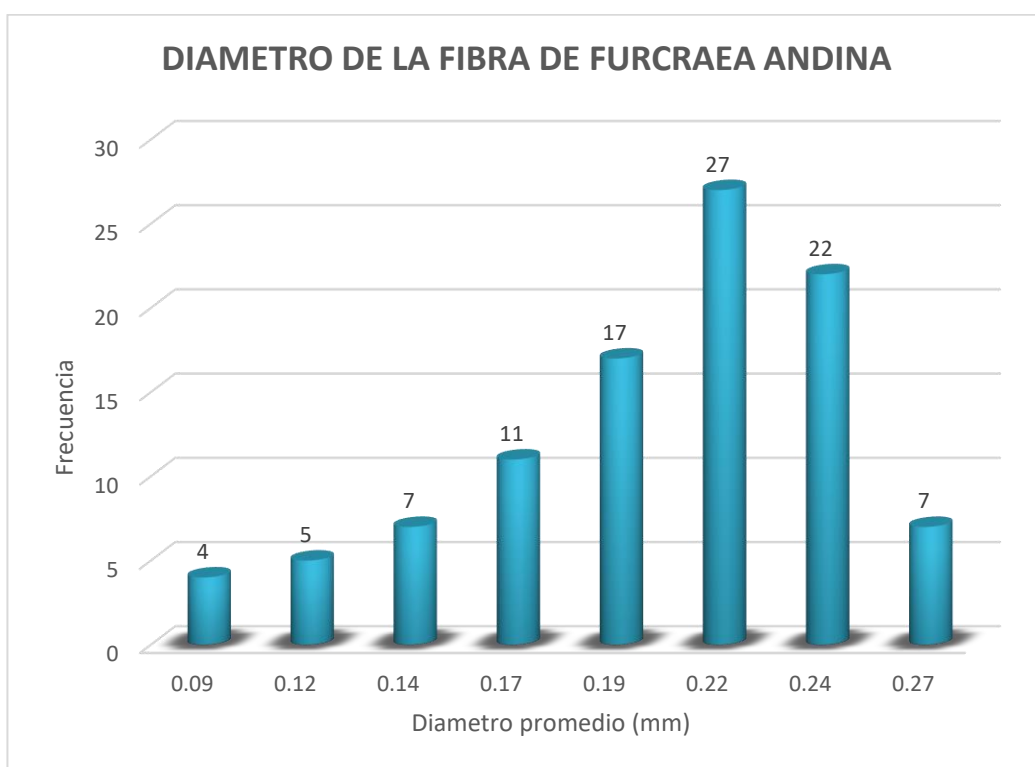
Intervalos de clase		Marca de clase	fi	Fi	f%	F%
Limite Inf.	Limite Sup.					
0.08	0.11	0.09	4	4	4%	4%
0.11	0.13	0.12	5	9	5%	9%
0.13	0.16	0.14	7	16	7%	16%
0.16	0.18	0.17	11	27	11%	27%
0.18	0.21	0.19	17	44	17%	44%
0.21	0.23	0.22	27	71	27%	71%
0.23	0.26	0.24	22	93	22%	93%
0.26	0.28	0.27	7	100	7%	100%
			<b>100</b>		<b>100%</b>	

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.



**Figura 5:** Variación del diámetro de las fibras de *furcraea andina*.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



**Figura 6:** Diámetro de las fibras de furcraea andina en 100 muestras.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### 3.1.5 Porcentaje de absorción de agua de la fibra

**Tabla 25:** Porcentaje de absorción de la fibra de penca sin tratamiento.

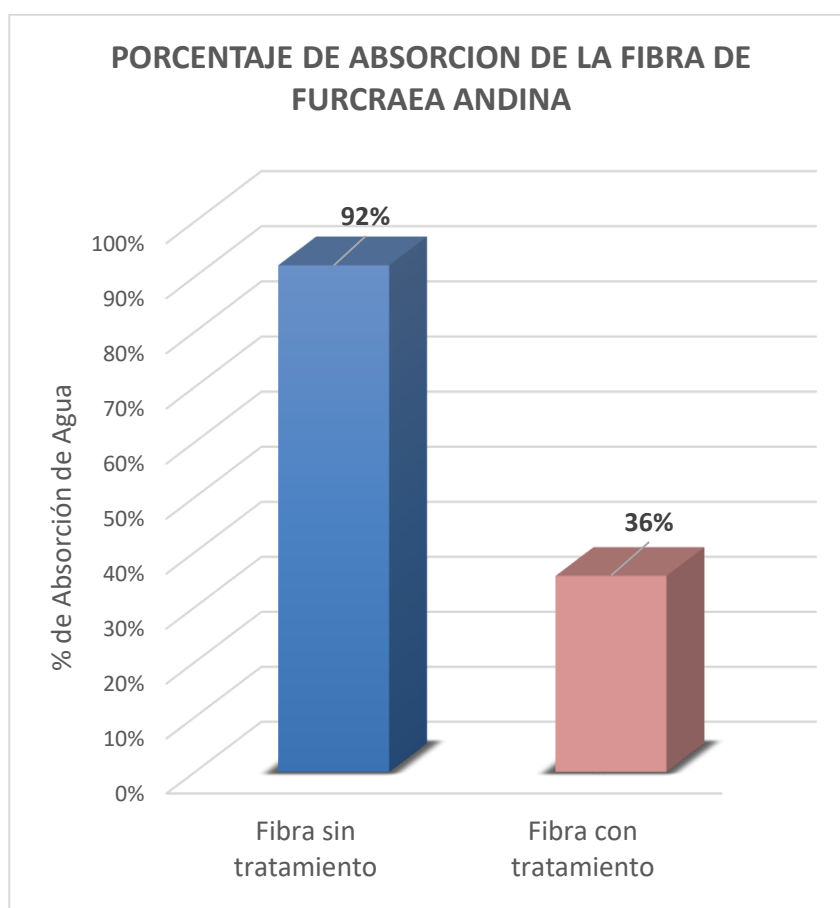
Muestra N°	Tiempo de Saturación (hrs)	Peso Seco (gr)	Peso Saturado Superficialmente (gr)	Peso del Agua Absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24	0.96	1.85	0.89	92.71%
2	24	0.95	1.80	0.85	89.47%
3	24	0.99	1.92	0.93	93.94%
<b>% de Absorción Promedio</b>					<b>92.04%</b>

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**Tabla 26:** Porcentaje de absorción de la fibra de penca con tratamiento.

Muestra N°	Tiempo de Saturación (hrs)	Peso Seco (gr)	Peso Saturado Superficialmente (gr)	Peso del Agua Absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24	5.00	6.79	1.79	35.80%
2	24	5.00	6.75	1.75	35.00%
3	24	5.00	6.81	1.81	36.20%
<b>% de Absorción Promedio</b>					<b>35.67%</b>

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



**Figura 7:** Porcentaje de absorción de la fibra sin tratar y tratada.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

## 3.2 Características de los agregados

### 3.2.1 Resultados del agregado fino

#### ✓ Análisis Granulométrico

En la Tabla 27 se muestra los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino, realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la USP. En la Figura 8, se muestra la curva granulométrica.

El módulo de finura de la arena se determinó dividiendo entre 100 la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100.

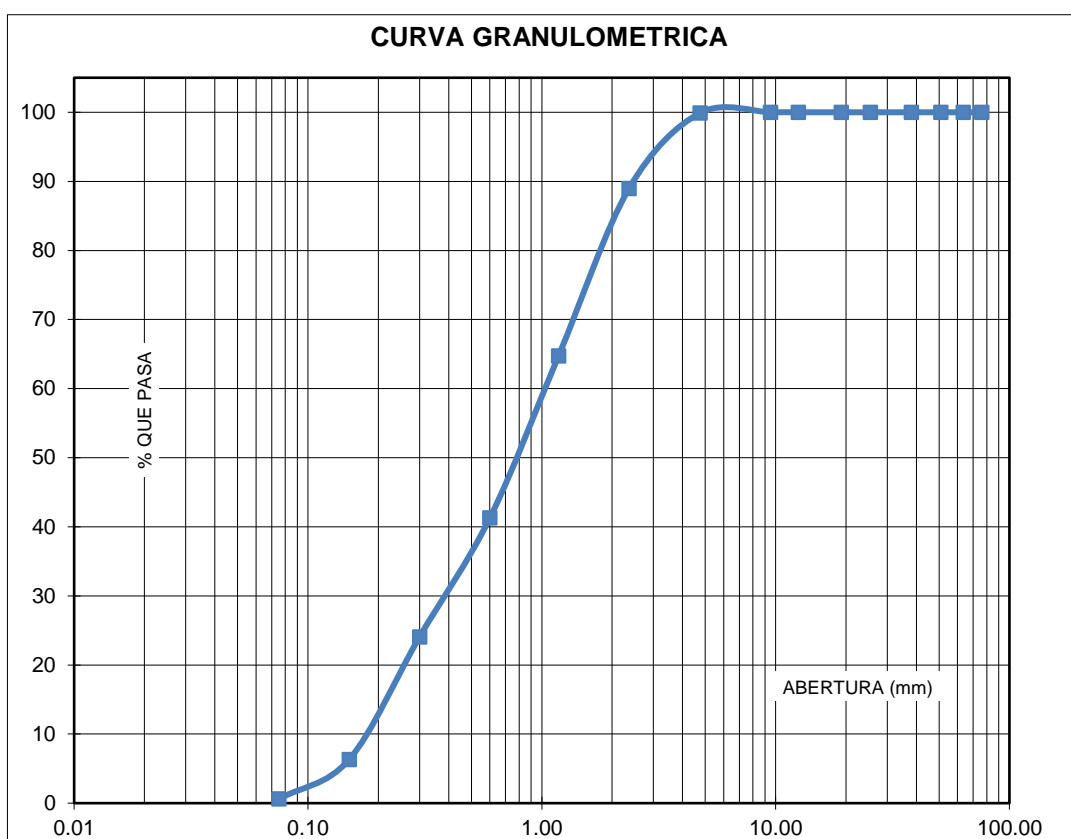
*Tabla 27: Granulometría del agregado fino.*

N°	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumu.	% Que Pasa
	Abert. (mm)					
3"	76.20		0.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.50		0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80		0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	38.10		0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40		0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.10		0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50		0.0	0.0	0.0	100.0
⅜"	9.52		0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.760		1.0	0.1	0.1	99.9
N° 8	2.360		118.80	10.9	11.0	89.0
N° 16	1.180		262.80	24.2	35.2	64.8
N° 30	0.600		254.80	23.5	58.7	41.3
N° 50	0.300		186.90	17.2	75.9	24.1
N° 100	0.150		192.70	17.8	93.7	6.3
N° 200	0.075		62.00	5.7	99.4	0.6
PLATO	ASTM C-117-04		6.5	0.6	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>			<b>1085.5</b>	<b>100.0</b>		

#### Propiedades Físicas

Módulo de Fineza 2.75

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*



**Figura 8:** Curva granulométrica del agregado fino.

*Fuente:* Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).

✓ **Peso Unitario**

**Tabla 28:** Peso unitario suelto del agregado fino.

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	7550	7550	7550
Peso de molde	3320	3320	3320
Peso de muestra	4230	4230	4230
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1517	1517	1517
<b>Peso unitario prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1517</b>	
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>		<b>1510</b>	

*Fuente:* Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).

**Tabla 29:** Peso unitario compactado del agregado fino.

<b>Ensayo N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
Peso de molde + muestra	8150	8250	8200
Peso de molde	3320	3320	3320
Peso de muestra	4830	4930	4880
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1732	1768	1750
<b>Peso unitario prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1750</b>	
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>		<b>1742</b>	

*Fuente:* Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).

✓ **Gravedad Específica y Absorción**

**Tabla 30:** Gravedad específica y absorción del agregado fino.

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	gr.	300.00	300.00
B	Peso de picnómetro + agua	gr.	669.30	669.30
C	Volumen de masa + volumen de vacíos (A+B)	cm <sup>3</sup>	969.30	969.30
D	Peso de picnómetro + agua + material	gr.	857.60	857.60
E	Volumen de masa + volumen de vacíos (C-D)	cm <sup>3</sup>	111.70	111.70
F	Peso de material seco en estufa	gr.	297.40	297.40
G	Volumen de masa (E-(A-F))		109.10	109.10
H	P.e. Bulk (Base Seca) F/E		2.662	2.662
I	P.e. Bulk (Base Saturada) A/E		2.686	2.686
J	P.e. Aparente (Base Seca) F/E		2.726	2.726
K	Absorción (%) ((D-A/A)x100)		0.87	0.87
	<b>P.e. Bulk (Base Seca)</b>	<b>:</b>	<b>2.662</b>	
	<b>P.e. Bulk (Base Saturada)</b>	<b>:</b>	<b>2.686</b>	
	<b>P.e. Aparente (Base Seca)</b>	<b>:</b>	<b>2.726</b>	
	<b>Absorción (%)</b>	<b>:</b>	<b>0.87</b>	

*Fuente:* Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).

✓ **Contenido de Humedad**

*Tabla 31: Contenido de humedad del agregado fino.*

<b>PRUEBA N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>
TARA N°	-	-
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1106	1126
TARA + SUELO SECO (gr)	1102.2	1120.6
PESO DEL AGUA (gr)	3.8	5.4
PESO DE LA TARA (gr)	167	201
PESO DEL SUELO SECO (gr)	935.2	919.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.41	0.59
<b>PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)</b>	<b>0.50</b>	

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

**3.2.2 Resultados del agregado grueso**

✓ **Análisis Granulométrico**

En la Tabla 32 se muestran los resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso utilizado en la elaboración de las muestras, y los datos se reflejan en la curva granulométrica del material en la Figura 9.

*Tabla 32: Granulometría del agregado grueso.*

<b>N°</b>	<b>TAMIZ Abert. (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Ret. Parcial</b>	<b>% Ret. Acumu.</b>	<b>% Que Pasa</b>
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	239.0	7.7	7.7	92.3
¾"	19.100	2345.5	76.0	83.7	16.3
½"	12.500	495.6	16.1	99.8	0.2
⅜"	9.520	7.4	0.2	100.0	0.0
N° 4	4.760	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 8	2.360	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 16	1.180	0.0	0.0	100.0	0.0

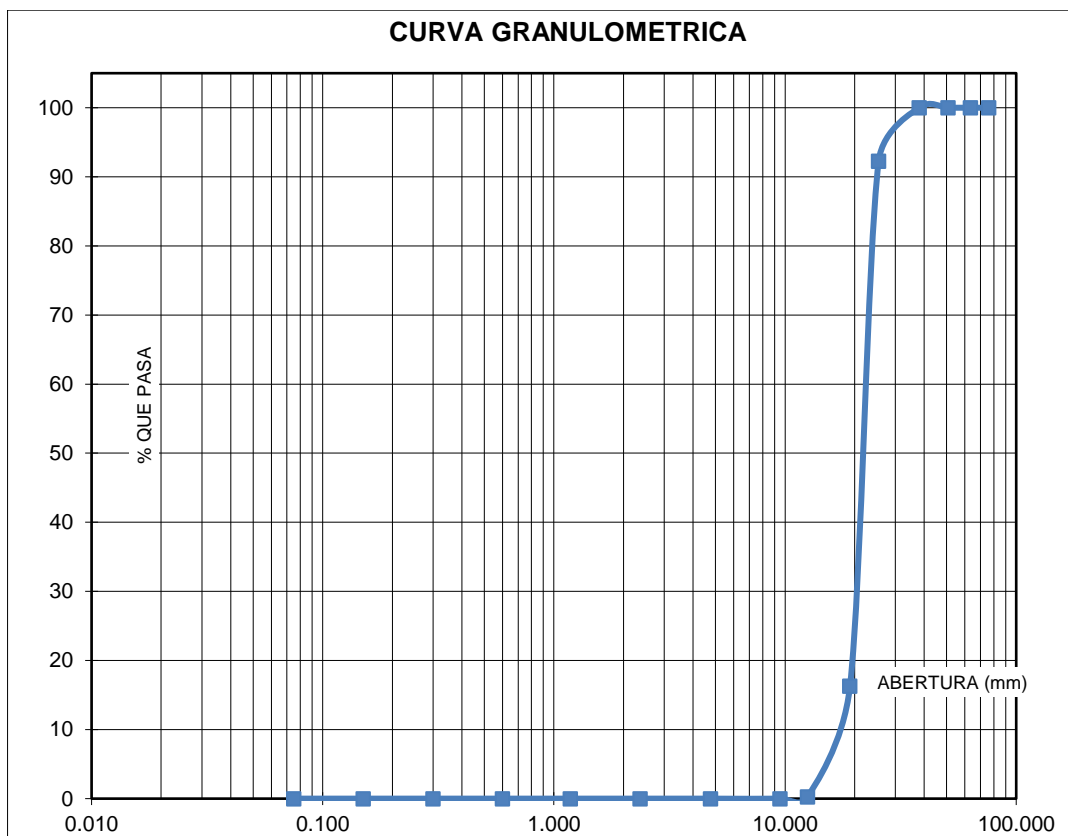


N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0
PLATO	ASTM C-117-04	0.0	0.0	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>3087.5</b>	<b>100.0</b>		

### Propiedades Físicas

Tamaño Máximo Nominal	1"
Huso	N° 67 Ref. (ASTM C-33)

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*



**Figura 9:** Curva granulométrica del agregado grueso.

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

El tamaño nominal máximo del agregado grueso es de 1" porque es el tamaño de apertura del tamiz directamente superior, reteniendo el 7.7% de su masa.

✓ **Peso Unitario**

*Tabla 33: Peso unitario suelto del agregado grueso.*

<b>Ensayo N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
Peso de molde + muestra	18450	18200	18300
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13330	13080	13180
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1425	1398	1409
<b>Peso unitario prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1411</b>		
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>	<b>1409</b>		

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

*Tabla 34: Peso unitario compactado del agregado grueso.*

<b>Ensayo N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
Peso de molde + muestra	19950	19600	19750
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	14830	14480	14630
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1585	1548	1564
<b>Peso unitario prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1566</b>		
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>	<b>1564</b>		

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

✓ **Gravedad Específica y Absorción**

*Tabla 35: Gravedad específica y absorción del agregado grueso.*

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	1195.60	1193.20
B	Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	781.50	774.40
C	Volumen de masa + volumen de vacíos ( <b>A-B</b> )	414.10	418.80
D	Peso de material seco en estufa	1186.90	1185.20
E	Volumen de masa ( <b>C-(A-D)</b> )	405.40	410.80
G	P.e. Bulk (Base Seca) D/C	2.866	2.830
H	P.e. Bulk (Base Saturada) A/C	2.887	2.849
I	P.e. Aparente (Base Seca) D/E	2.928	2.885
F	Absorción (%) ( <b>(D-A/A)x100</b> )	0.73	0.67

**P.e. Bulk (Base Seca) : 2.848**

**P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.868**

**P.e. Aparente (Base Seca) : 2.906**

**Absorción (%) : 0.70**

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

✓ **Contenido de Humedad**

*Tabla 36: Contenido de humedad del agregado grueso.*

PRUEBA N°	01	02
TARA N°		
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1103.2	790
TARA + SUELO SECO (gr)	1102	788.9
PESO DEL AGUA (gr)	1.2	1.1
PESO DE LA TARA (gr)	210	79
PESO DEL SUELO SECO (gr)	892	709.9
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.13	0.15
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)	0.14	

*Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad San Pedro (2020).*

### 3.3 Resultados del cálculo de la relación agua/cemento (A/C)

Siguiendo los procedimientos establecidos por Rivva López (2014) en su libro “*Concreto: Diseño de Mezclas - Tomo 2*” se realizó el cálculo de la relación agua/cemento de las diferentes muestras.

#### 3.3.1 Relación agua/cemento para la mezcla de un concreto $f'_c=210$ kg/cm<sup>2</sup> sin fibra (patrón)

##### Especificaciones

- ✓ Selección de las proporciones del Concreto Método del Comité 211 del ACI.
- ✓ La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.

##### Materiales

###### 1. Cemento

- Portland ASTM Tipo I "Pacasmayo"
- Peso Específico 3.08 gr/cm<sup>3</sup>

###### 2. Agua

- Potable del campus de la Universidad San Pedro
- Peso Específico 1.00 gr/cm<sup>3</sup>

###### 3. Agregado fino

CANTERA : VESIQUE

- Peso específico de masa 2.66
- Peso unitario suelto 1510 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1742 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de humedad 0.50%
- Absorción 0.87%
- Módulo de finura 2.75

###### 4. Agregado grueso

CANTERA : MEDINA

- Piedra, perfil angular
- Tamaño máximo nominal 1”
- Peso específico de masa 2.85
- Peso unitario suelto 1409 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1564 kg/m<sup>3</sup>

- Contenido de humedad	0.14%
- Absorción	0.70%

### **Selección del tamaño máximo nominal del agregado**

Según las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, equivalente a un asentamiento de 3 a 4 pulgadas (Rivva López, 2014).

### **Volumen unitario de agua**

Entrando a la Tabla 10.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina “el volumen unitario de agua necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", es de 193 lts/m<sup>3</sup>” (Rivva López, 2014).

### **Contenido de aire**

Desde que la estructura a ser vaciada no va estar expuesto a condiciones de intemperismo severo, no se considera necesario incorporar aire a la mezcla. De la Tabla 11.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina “el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1" es de 1.5%” (Rivva López, 2014).

### **Relación agua/cemento**

En este caso, como no habrá intemperismo o corrosión por sulfato, u otros efectos que puedan dañar el concreto, la relación agua/cemento se seleccionará solo por resistencia.

Entrando a la Tabla 12.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, nos dice que “para una resistencia promedio correspondiente a 210 kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua/cemento por resistencia de 0.684” (Rivva López, 2014).

Relación agua/cemento = 0.684

### **Factor cemento**

El factor cemento se determinó dividiendo el volumen unitario de agua por la relación agua/cemento:

$$\text{Factor cemento} = 193/0.684 = 282.16 \text{ kg/m}^3 = 6.64 \text{ bolsas/m}^3$$

### **Contenido de agregado grueso**

Para determinar el contenido de agregado grueso, empleando el Método del Comité 211 del ACI, se debe entrar a la Tabla 16.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva donde señala que “para un Módulo de Finura de 2.75 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1" encontrándose un valor de  $b/b_o = 0.675 \text{ m}^3$  del agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto” (Rivva López, 2014).

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.675 \times 1564 = 1063.20 \text{ kg/m}^3$$

### **Cálculo de volúmenes absolutos**

Después de conocer el peso del cemento, el agua y el agregado grueso y el volumen de aire, continuamos calculando la suma de las cantidades absolutas de estos componentes:

Cemento	$282.16/(3.08 \times 1000)$	= 0.092 m <sup>3</sup>
Agua	$193/(1 \times 1000)$	= 0.193 m <sup>3</sup>
Aire	1.50%	= 0.015 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	$1063.20/(2.85 \times 1000)$	= <u>0.373 m<sup>3</sup></u>
Suma de volúmenes conocidas		= 0.673 m <sup>3</sup>

### **Contenido del agregado fino**

El volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma del volumen absoluto conocido. El peso del agregado fino es igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} = 1 - 0.673 = 0.327 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.327 \times 2.66 \times 1000 = 870.90 \text{ kg/m}^3$$

### Valores de diseño

Cemento	282.16 kg/m <sup>3</sup>
Agua de diseño	193.00 lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino seco	870.90 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco	1063.20 kg/m <sup>3</sup>

### Corrección por humedad del agregado

La proporción de materiales que componen una unidad cúbica de concreto debe corregirse de acuerdo con las condiciones de humedad del agregado fino y del agregado grueso para obtener el valor a utilizar en el laboratorio.

Peso húmedo del:

Agregado fino	$870.90 \times 1.005 = 875.23 \text{ kg/m}^3$
Agregado grueso	$1063.20 \times 1.0014 = 1064.74 \text{ kg/m}^3$

A continuación, determinamos la humedad superficial del agregado:

Agregado fino	$0.50 - 0.87 = -0.38\%$
Agregado grueso	$0.14 - 0.70 = -0.56\%$

Y los aportes de humedad de los agregados serán:

Agregado fino	$870.90 \times (-0.38\%) = -3.29 \text{ lts/m}^3$
Agregado grueso	$1063.20 \times (-0.56\%) = \underline{-5.95 \text{ lts/m}^3}$

Aporte de humedad de los agregados = - 9.23 lts/m<sup>3</sup>

Agua efectiva =  $193 + 9.23 = 202.23 \text{ lts/m}^3$

Y los pesos de los materiales que se han corregido por la humedad del agregado, a ser utilizados en las mezclas de prueba serán:

Cemento	282.164 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	202.233 lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	875.226 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	1064.736 kg/m <sup>3</sup>

### **Proporción en peso**

La proporción en peso de los materiales sin corregir, y ya corregida por humedad del agregado, serán:

$$\frac{282.164}{282.164} : \frac{870.900}{282.164} : \frac{1063.197}{282.164} = 1 : 3.09 : 3.77 : 29.07 \text{ lts/bolsa (en peso seco)}$$

$$\frac{282.164}{282.164} : \frac{875.226}{282.164} : \frac{1064.736}{282.164} = 1 : 3.10 : 3.77 : 30.46 \text{ lts/bolsa}$$

$$\text{Relación agua/cemento de diseño} = 193/282.164 = 0.684$$

$$\text{Relación agua/cemento efectiva} = 202.233/282.164 = 0.717$$

### **Proporción en volumen pie<sup>3</sup>**

Para la dosificación en volumen similar a la dosificación en peso, se seguirá el siguiente procedimiento:

Peso unitario del agregado:

$$\text{Fino húmedo} \quad 1510 \times 1.005 = 1517.22 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Grueso húmedo} \quad 1409 \times 1.0014 = 1410.80 \text{ kg/m}^3$$

Peso por pie<sup>3</sup> del agregado:

$$\text{Fino húmedo} \quad 1517.22/35.31 = 42.97 \text{ kg/pie}^3$$

$$\text{Grueso húmedo} \quad 1410.80/35.31 = 39.95 \text{ kg/pie}^3$$

Y la dosificación en volumen equivalente será:

$$\text{Cemento} \quad 1 \times 42.5/42.5 = 1$$

$$\text{Agregado fino húmedo} \quad 3.10 \times 42.5/42.97 = 3.07$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} \quad 3.77 \times 42.5/39.95 = 4.01$$

Dosificación en volumen equivalente: 1 : 3.07 : 4.01 : 30.46 lts/bolsa

### **Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas patrón**

Medidas del molde : 15cm x 15cm x 50cm

Volumen del molde : 11250 cm<sup>3</sup>

Desperdicio : 3%



Volumen producido por viga : 11588 cm<sup>3</sup>

**Tabla 37:** Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas patrón.

Cemento	29.43 kg
Agregado fino	91.28 kg
Agregado grueso	111.04 kg
Agua	21.09 lts

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### Cantidad de material para la elaboración de 9 discos patrón

Medidas del molde : Ø15cm x 5cm

Volumen del molde : 884 cm<sup>3</sup>

Desperdicio : 3%

Volumen producido por disco : 910 cm<sup>3</sup>

**Tabla 38:** Cantidad de material para la elaboración de 9 discos patrón.

Cemento	2.31 kg
Agregado fino	7.17 kg
Agregado grueso	8.72 kg
Agua	1.66 lts

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### 3.3.2 Relación agua/cemento para la mezcla de un concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> con adición de 0.50% de fibras de furcraea andina (penca)

#### Especificaciones

- ✓ Selección de las proporciones del Concreto Método del Comité 211 del ACI.
- ✓ La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.

#### Materiales

##### 1. Cemento

- Portland ASTM Tipo I "Pacasmayo"
- Peso Específico 3.08 gr/cm<sup>3</sup>

2. Agua	
- Potable del campus de la Universidad San Pedro	
- Peso Específico	1.00 gr/cm <sup>3</sup>
3. Agregado fino CANTERA : VESIQUE	
- Peso específico de masa	2.66
- Peso unitario suelto	1510 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1742 kg/m <sup>3</sup>
- Contenido de humedad	0.50%
- Absorción	0.87%
- Módulo de finura	2.75
4. Agregado grueso CANTERA : MEDINA	
- Piedra, perfil angular	
- Tamaño máximo nominal	1"
- Peso específico de masa	2.85
- Peso unitario suelto	1409 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1564 kg/m <sup>3</sup>
- Contenido de humedad	0.14%
- Absorción	0.70%

### **Selección del tamaño máximo nominal del agregado**

Según las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, equivalente a un asentamiento de 3 a 4 pulgadas (Rivva López, 2014).

### **Volumen unitario de agua**

Entrando a la Tabla 10.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina “el volumen unitario de agua necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", es de 193 lts/m<sup>3</sup>” (Rivva López, 2014).

### **Contenido de aire**

Desde que la estructura a ser vaciada no va estar expuesto a condiciones de intemperismo severo, no se considera necesario incorporar aire a la mezcla. De la Tabla 11.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina “el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1" es de 1.5%” (Rivva López, 2014).

### **Relación agua/cemento**

En este caso, como no habrá intemperismo o corrosión por sulfato, u otros efectos que puedan dañar el concreto, la relación agua/cemento se seleccionará solo por resistencia.

Entrando a la Tabla 12.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, nos dice que “para una resistencia promedio correspondiente a 210 kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua/cemento por resistencia de 0.684” (Rivva López, 2014).

### **Factor cemento**

El factor cemento se determinó dividiendo el volumen unitario de agua por la relación agua/cemento:

$$\text{Factor cemento} = 193/0.684 = 282.16 \text{ kg/m}^3 = 6.64 \text{ bolsas/m}^3$$

### **Contenido de agregado grueso**

Para determinar el contenido de agregado grueso, empleando el Método del Comité 211 del ACI, se debe entrar a la Tabla 16.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva donde señala que “para un Módulo de Finura de 2.75 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1" encontrándose un valor de  $b/b_0 = 0.675 \text{ m}^3$  del agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto” (Rivva López, 2014).

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.675 \times 1564 = 1063.20 \text{ kg/m}^3$$

### **Cálculo de volúmenes absolutos**

Después de conocer el peso del cemento, el agua y el agregado grueso y el volumen de aire, continuamos calculando la suma de las cantidades absolutas de estos componentes:

Cemento	$282.16/(3.08 \times 1000)$	= 0.092 m <sup>3</sup>
Agua	$193/(1 \times 1000)$	= 0.193 m <sup>3</sup>
Aire	1.50%	= 0.015 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	$1063.20/(2.85 \times 1000)$	= 0.373 m <sup>3</sup>
Suma de volúmenes conocidas		= 0.673 m <sup>3</sup>
Fibra de furcraea andina 0.50%		= 0.005 m <sup>3</sup>

### **Contenido del agregado fino**

El volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma del volumen absoluto conocido. El peso del agregado fino es igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} = 1 - 0.673 = 0.327 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.327 \times 2.66 \times 1000 = 870.90 \text{ kg/m}^3$$

### **Valores de diseño**

Cemento	282.16 kg/m <sup>3</sup>
Agua de diseño	193.00 lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino seco	870.90 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco	1063.20 kg/m <sup>3</sup>

### **Corrección por humedad del agregado**

La proporción de materiales que componen una unidad cúbica de concreto debe corregirse de acuerdo con las condiciones de humedad del agregado fino y del agregado grueso para obtener el valor a utilizar en el laboratorio.

Peso húmedo del:

$$\text{Agregado fino} \quad 870.90 \times 1.005 = 875.23 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} \quad 1063.20 \times 1.0014 = 1064.74 \text{ kg/m}^3$$

A continuación, determinamos la humedad superficial del agregado:

$$\text{Agregado fino} \quad 0.50 - 0.87 = -0.38\%$$

$$\text{Agregado grueso} \quad 0.14 - 0.70 = -0.56\%$$

Y los aportes de humedad de los agregados serán:

$$\text{Agregado fino} \quad 870.90 \times (-0.38\%) = -3.29 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} \quad 1063.20 \times (-0.56\%) = \underline{-5.95 \text{ lts/m}^3}$$

$$\text{Aporte de humedad de los agregados} = -9.23 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 193 + 9.23 = 202.23 \text{ lts/m}^3$$

Y los pesos de los materiales que se han corregido por la humedad del agregado, a ser utilizados en las mezclas de prueba serán:

$$\text{Cemento} \quad 282.164 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} \quad 202.233 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Agregado fino húmedo} \quad 875.226 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} \quad 1064.736 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Fibra de furcraea andina} \quad 12.122 \text{ kg/m}^3$$

### **Corrección por agua adicional y asentamiento**

Materiales corregidos por tanda (volumen producido por viga 0.011588 m<sup>3</sup>):

$$\text{Cemento} \quad 3.27 \text{ kg/tanda}$$

$$\text{Agua efectiva} \quad 2.34 \text{ lts/tanda}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} \quad 10.14 \text{ kg/tanda}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} \quad 12.34 \text{ kg/tanda}$$

$$\text{Fibra de furcraea andina} \quad 0.14 \text{ kg/tanda}$$

Datos obtenidos en el laboratorio:

$$\text{Asentamiento (Slump)} \quad 3.5''$$

$$\text{Agua adicional} \quad 0.089 \text{ lts/tanda}$$

#### Tanda de mezclado

Cemento	3.27 kg/tanda
Agua efectiva	2.43 lts/tanda
Agregado fino húmedo	10.14 kg/tanda
Agregado grueso húmedo	12.34 kg/tanda
Fibra de furcraea andina	0.14 kg/tanda

#### Nuevos materiales corregidos

Cemento	282.164 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	209.904 lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	875.226 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	1064.736 kg/m <sup>3</sup>
Fibra de furcraea andina	12.122 kg/m <sup>3</sup>

#### Proporción en pesos

$$\frac{282.164}{282.164} : \frac{12.122}{282.164} : \frac{875.226}{282.164} : \frac{1064.736}{282.164}$$

$$1 : 0.04 : 3.10 : 3.77 : 31.62 \text{ lts/bolsa}$$

$$\text{Relación agua/cemento de diseño} = 193/282.164 = 0.684$$

$$\text{Relación agua/cemento efectiva} = 209.904/282.164 = 0.744$$

#### Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 0.50% de fibra de furcraea andina

Medidas del molde : 15cm x 15cm x 50cm

Volumen del molde : 11250 cm<sup>3</sup>

Desperdicio : 3%

Volumen producido por viga : 11588 cm<sup>3</sup>

**Tabla 39:** Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 0.50% de fibra.

Cemento	29.43 kg
Agregado fino	91.28 kg
Agregado grueso	111.04 kg
Agua	21.89 lts
Fibra de furcraea andina	1.26 kg

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### **Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 0.50% de fibra de furcraea andina**

Medidas del molde : Ø15cm x 5cm

Volumen del molde : 884 cm<sup>3</sup>

Desperdicio : 3%

Volumen producido por disco : 910 cm<sup>3</sup>

**Tabla 40:** Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 0.50% de fibra.

Cemento	2.31 kg
Agregado fino	7.17 kg
Agregado grueso	8.72 kg
Agua	1.72 lts
Fibra de furcraea andina	0.10 kg

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### **3.3.3 Relación agua/cemento para la mezcla de un concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> con adición de 1.00% de fibras de furcraea andina (penca)**

#### **Especificaciones**

- ✓ Selección de las proporciones del Concreto Método del Comité 211 del ACI.
- ✓ La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.

## **Materiales**

### 1. Cemento

- Portland ASTM Tipo I "Pacasmayo"
- Peso Específico 3.08 gr/cm<sup>3</sup>

### 2. Agua

- Potable del campus de la Universidad San Pedro
- Peso Específico 1.00 gr/cm<sup>3</sup>

### 3. Agregado fino

CANTERA : VESIQUE

- Peso específico de masa 2.66
- Peso unitario suelto 1510 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1742 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de humedad 0.50%
- Absorción 0.87%
- Módulo de finura 2.75

### 4. Agregado grueso

CANTERA : MEDINA

- Piedra, perfil angular
- Tamaño máximo nominal 1"
- Peso específico de masa 2.85
- Peso unitario suelto 1409 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1564 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de humedad 0.14%
- Absorción 0.70%

## **Selección del tamaño máximo nominal del agregado**

Según las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, equivalente a un asentamiento de 3 a 4 pulgadas (Rivva López, 2014).



### **Volumen unitario de agua**

Entrando a la Tabla 10.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina que “el volumen unitario de agua necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", es de 193 lts/m<sup>3</sup>” (Rivva López, 2014).

### **Contenido de aire**

Desde que la estructura a ser vaciada no va estar expuesto a condiciones de intemperismo severo, no se considera necesario incorporar aire a la mezcla. De la Tabla 11.2.1 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, se determina que “el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1" es de 1.5%” (Rivva López, 2014).

### **Relación agua/cemento**

En este caso, como no habrá intemperismo o corrosión por sulfato, u otros efectos que puedan dañar el concreto, la relación agua/cemento se seleccionará solo por resistencia.

Entrando a la Tabla 12.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva, nos dice que “para una resistencia promedio correspondiente a 210 kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua/cemento por resistencia de 0.684” (Rivva López, 2014).

$$\text{Relación agua/cemento} = 0.684$$

### **Factor cemento**

El factor cemento se determinó dividiendo el volumen unitario de agua por la relación agua/cemento:

$$\text{Factor cemento} = 193/0.684 = 282.16 \text{ kg/m}^3 = 6.64 \text{ bolsas/m}^3$$

### **Contenido de agregado grueso**

Para determinar el contenido de agregado grueso, empleando el Método del Comité 211 del ACI, se debe entrar a la Tabla 16.2.2 del libro “*Diseño de Mezclas*” de Rivva

donde señala que “para con un Módulo de Finura de 2.75 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1" encontrándose un valor de  $b/b_0 = 0.675 \text{ m}^3$  del agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto” (Rivva López, 2014).

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.675 \times 1564 = 1063.20 \text{ kg/m}^3$$

### **Cálculo de volúmenes absolutos**

Después de conocer el peso del cemento, el agua y el agregado grueso y el volumen de aire, continuamos calculando la suma de las cantidades absolutas de estos componentes:

Cemento	$282.16 / (3.08 \times 1000)$	=	$0.092 \text{ m}^3$
Agua	$193 / (1 \times 1000)$	=	$0.193 \text{ m}^3$
Aire	1.50%	=	$0.015 \text{ m}^3$
Agregado grueso	$1063.20 / (2.85 \times 1000)$	=	$0.373 \text{ m}^3$
Suma de volúmenes conocidas		=	$0.673 \text{ m}^3$
Fibra de furcraea andina 1.00%		=	$0.010 \text{ m}^3$

### **Contenido del agregado fino**

El volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma del volumen absoluto conocido. El peso del agregado fino es igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} = 1 - 0.673 = 0.327 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.327 \times 2.66 \times 1000 = 870.90 \text{ kg/m}^3$$

### **Valores de diseño**

Cemento	$282.16 \text{ kg/m}^3$
Agua de diseño	$193.00 \text{ lts/m}^3$
Agregado fino seco	$870.90 \text{ kg/m}^3$
Agregado grueso seco	$1063.20 \text{ kg/m}^3$

### **Corrección por humedad del agregado**

La proporción de materiales que componen una unidad cúbica de concreto debe corregirse de acuerdo con las condiciones de humedad del agregado fino y del agregado grueso para obtener el valor a utilizar en el laboratorio.

Peso húmedo del:

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} & \quad 870.90 \times 1.005 = 875.23 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Agregado grueso} & \quad 1063.20 \times 1.0014 = 1064.74 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

A continuación, determinamos la humedad superficial del agregado:

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} & \quad 0.50 - 0.87 = -0.38\% \\ \text{Agregado grueso} & \quad 0.14 - 0.70 = -0.56\% \end{aligned}$$

Y los aportes de humedad de los agregados serán:

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} & \quad 870.90 \times (-0.38\%) = -3.29 \text{ lts/m}^3 \\ \text{Agregado grueso} & \quad 1063.20 \times (-0.56\%) = \underline{-5.95 \text{ lts/m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Aporte de humedad de los agregados} = -9.23 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 193 + 9.23 = 202.23 \text{ lts/m}^3$$

Y los pesos de los materiales, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba serán:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} & \quad 282.164 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Agua efectiva} & \quad 202.233 \text{ lts/m}^3 \\ \text{Agregado fino húmedo} & \quad 875.226 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Agregado grueso húmedo} & \quad 1064.736 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Fibra de furcraea andina} & \quad 24.244 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

### **Corrección por agua adicional y asentamiento**

Materiales corregidos por tanda (volumen producido por viga 0.011588 m<sup>3</sup>):

$$\begin{aligned} \text{Cemento} & \quad 3.27 \text{ kg/tanda} \\ \text{Agua efectiva} & \quad 2.34 \text{ lts/tanda} \\ \text{Agregado fino húmedo} & \quad 10.14 \text{ kg/tanda} \end{aligned}$$

Agregado grueso húmedo	12.34 kg/tanda
Fibra de furcraea andina	0.28 kg/tanda

Datos obtenidos en el laboratorio:

Asentamiento (Slump)	3.5"
Agua adicional	0.167 lts/tanda

Tanda de mezclado

Cemento	3.27 kg/tanda
Agua efectiva	2.51 lts/tanda
Agregado fino húmedo	10.14 kg/tanda
Agregado grueso húmedo	12.34 kg/tanda
Fibra de furcraea andina	0.28 kg/tanda

### **Nuevos materiales corregidos**

Cemento	282.164 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	216.616 lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	875.226 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	1064.736 kg/m <sup>3</sup>
Fibra de furcraea andina	24.244 kg/m <sup>3</sup>

### **Proporción en pesos**

282.164 : 24.244 : 875.226 : 1064.736  
 282.164 282.164 282.164 282.164

1 : 0.09 : 3.10 : 3.77 : 32.63 lts/bolsa

Relación agua/cemento de diseño =  $193/282.164 = 0.684$

Relación agua/cemento efectiva =  $216.616/282.164 = 0.768$

### **Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 1.00% de fibra de furcraea andina**

Medidas del molde	: 15cm x 15cm x 50cm
Volumen del molde	: 11250 cm <sup>3</sup>
Desperdicio	: 3%

Volumen producido por viga : 11588 cm<sup>3</sup>

**Tabla 41:** Cantidad de material para la elaboración de 9 vigas experimental con el 1.00% de fibra.

---

Cemento	29.43 kg
Agregado fino	91.28 kg
Agregado grueso	111.04 kg
Agua	22.59 lts
Fibra de furcraea andina	2.53 kg

---

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 1.00% de fibra de furcraea andina**

Medidas del molde : Ø15cm x 5cm

Volumen del molde : 884 cm<sup>3</sup>

Desperdicio : 3%

Volumen producido por disco : 910 cm<sup>3</sup>

**Tabla 42:** Cantidad de material para la elaboración de 9 discos experimental con el 1.00% de fibra.

---

Cemento	2.31 kg
Agregado fino	7.17 kg
Agregado grueso	8.72 kg
Agua	1.77 lts
Fibra de furcraea andina	0.20 kg

---

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### 3.4 Resultados del comportamiento a flexión e impacto de los elementos de concreto

#### 3.4.1 Ensayo de resistencia a la flexión de vigas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

*Tabla 43: Resistencia a la flexión de vigas de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con carga en el tercio de la luz libre a los 7 días.*

VIGA N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARA FRACTURADA ANCHO	CARA FRACTURADA ALTO	LUZ LIBRE L (cm)	CARGA P (Kg)	MODULO DE ROTURA R (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DE ROTURA MEDIO R (Kg/cm <sup>2</sup> )
					b (cm)	d (cm)				
V1					15.20	15.15	45	3206	41.35	
V2	0.00%	09/07/2018	16/07/2018		15.15	15.20	45	3189	41.00	<b>41.22</b>
V3					15.20	15.20	45	3223	41.30	
V1					15.00	15.10	45	3289	43.27	
V2	0.50%	09/05/2019	16/05/2019	7	15.10	15.00	45	3316	43.92	<b>43.52</b>
V3					15.00	15.00	45	3252	43.36	
V1					15.10	15.00	45	1882	24.93	
V2	1.00%	09/05/2019	16/05/2019		15.10	15.00	45	1966	26.04	<b>24.72</b>
V3					15.00	15.10	45	1762	23.18	

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

Fórmula utilizada para el cálculo del módulo de rotura:

$$R = PL / bd^2$$

Dentro del tercio medio  
de la luz libre.

Donde:

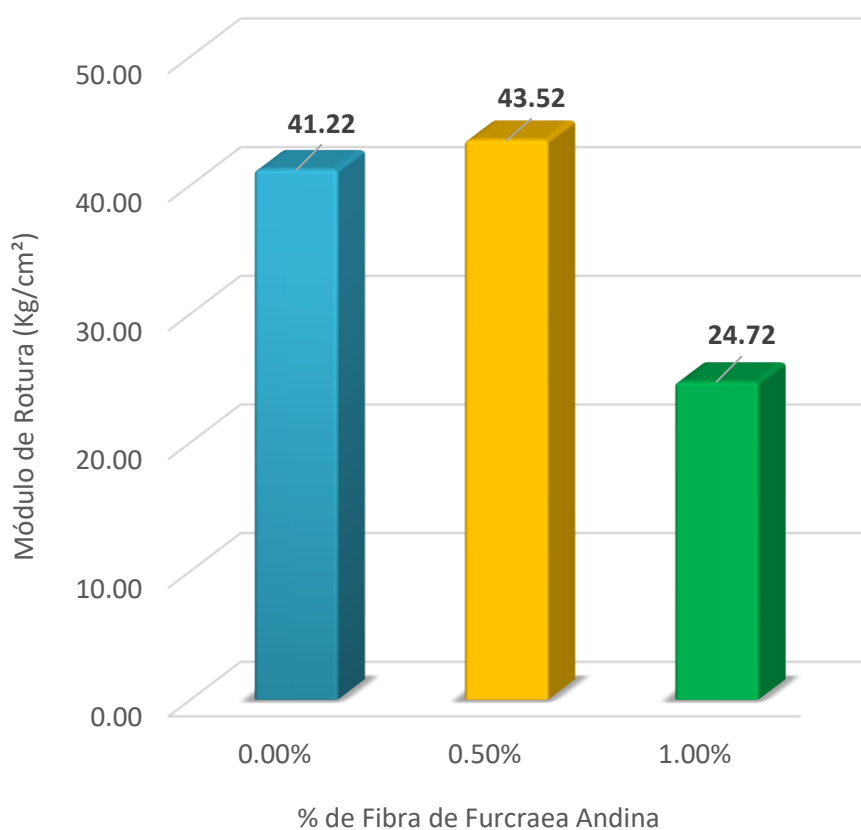
R = Módulo de rotura

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo

L = Longitud libre de apoyos

b = Ancho promedio de viga

d = Altura promedio de viga



**Figura 10:** Resistencia a flexión de vigas de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, sin fibra y con fibra a los 7 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 44:** Resistencia a la flexión de vigas de concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con carga en el tercio de la luz libre a los 14 días.

VIGA N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARA FRACTURADA ANCHO	CARA FRACTURADA ALTO	LUZ LIBRE	CARGA	MODULO DE ROTURA	MODULO DE ROTURA MEDIO
					b (cm)	d (cm)	L (cm)	P (Kg)	R (Kg/cm <sup>2</sup> )	R (Kg/cm <sup>2</sup> )
V4					15.20	15.20	45	3302	42.31	
V5	0.00%	09/07/2018	23/07/2018		15.15	15.15	45	3281	42.46	<b>42.24</b>
V6					15.15	15.20	45	3264	41.96	
V4					15.00	15.00	45	3355	44.73	
V5	0.50%	09/05/2019	23/05/2019	14	15.00	15.15	45	3402	44.47	<b>44.65</b>
V6					15.10	15.00	45	3379	44.75	
V4					15.00	15.10	45	2198	28.92	
V5	1.00%	09/05/2019	23/05/2019		15.10	15.15	45	2195	28.50	<b>28.86</b>
V6					15.10	15.00	45	2201	29.15	

*Fuente: Elaboración propia (2020).*



Fórmula utilizada para el cálculo del módulo de rotura:

$$R = PL / bd^2$$

Dentro del tercio medio  
de la luz libre.

Donde:

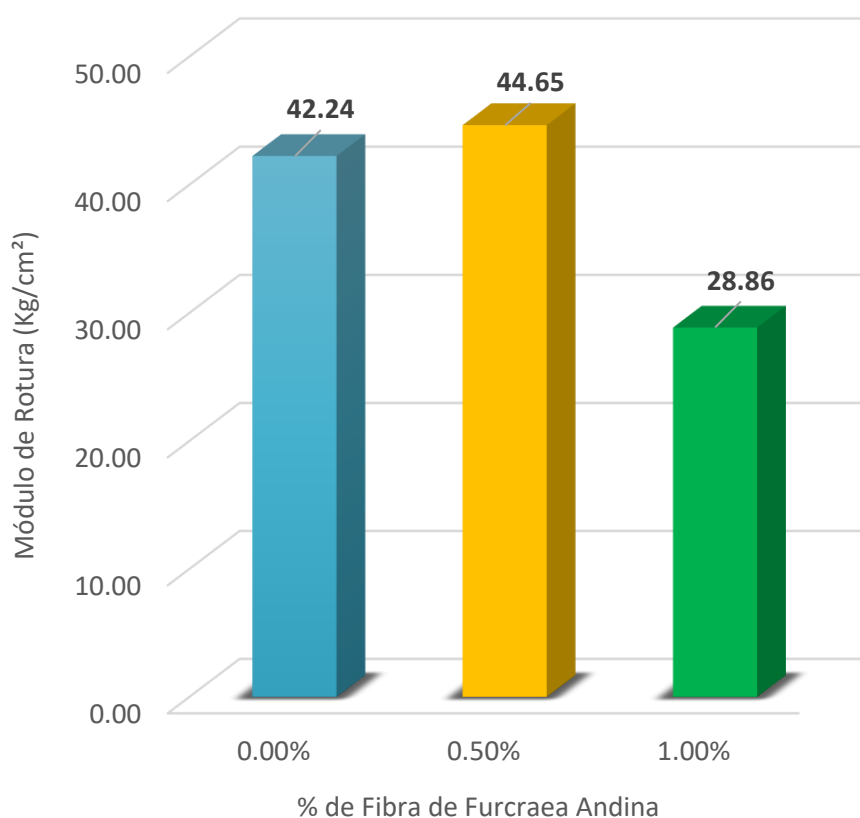
R = Módulo de rotura

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo

L = Longitud libre de apoyos

b = Ancho promedio de viga

d = Altura promedio de viga



**Figura 11:** Resistencia a flexión de vigas de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, sin fibra y con fibra a los 14 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 45:** Resistencia a la flexión de vigas de concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con carga en el tercio de la luz libre a los 28 días.

VIGA N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARA FRACTURADA ANCHO	CARA FRACTURADA ALTO	LUZ LIBRE	CARGA	MODULO DE ROTURA	MODULO DE ROTURA MEDIO
					b (cm)	d (cm)				
V7					15.20	15.20	45	3527	45.19	
V8	0.00%	09/07/2018	06/08/2018		15.15	15.20	45	3515	45.19	<b>45.09</b>
V9					15.20	15.15	45	3481	44.90	
V7					15.00	15.00	45	3795	50.60	
V8	0.50%	09/05/2019	06/06/2019	28	15.00	15.10	45	3809	50.12	<b>50.41</b>
V9					15.10	15.00	45	3813	50.50	
V7					15.10	15.00	45	2481	32.86	
V8	1.00%	09/05/2019	06/06/2019		15.10	15.10	45	2536	33.15	<b>32.98</b>
V9					15.00	15.10	45	2502	32.92	

Fuente: Elaboración propia (2020).

Fórmula utilizada para el cálculo del módulo de rotura:

$$R = PL / bd^2$$

Dentro del tercio medio  
de la luz libre.

Donde:

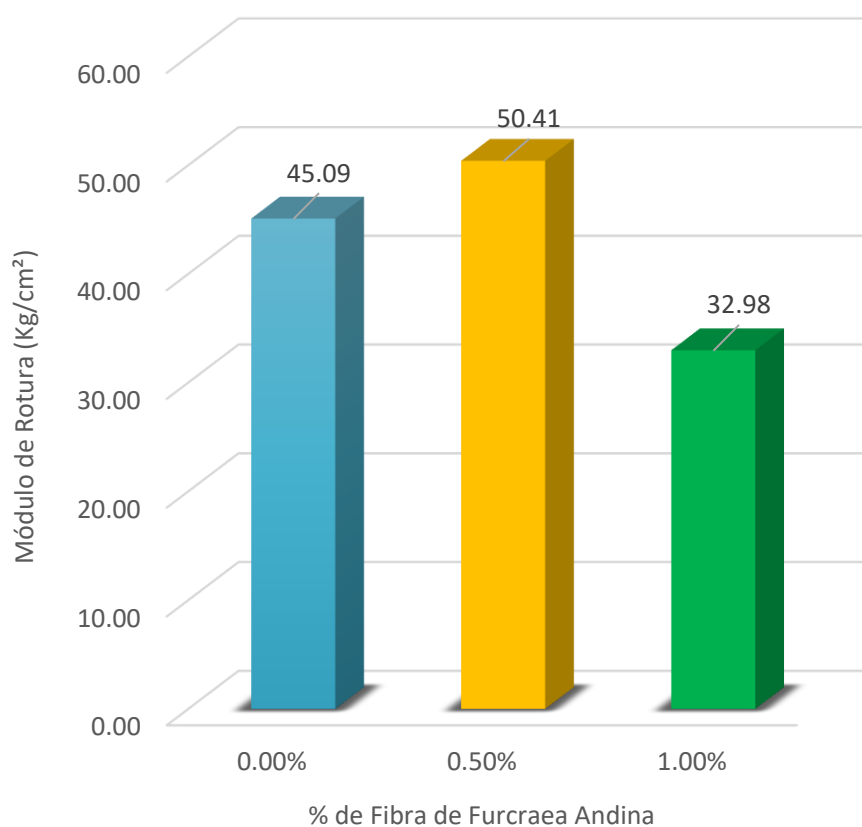
R = Módulo de rotura

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo

L = Longitud libre de apoyos

b = Ancho promedio de viga

d = Altura promedio de viga



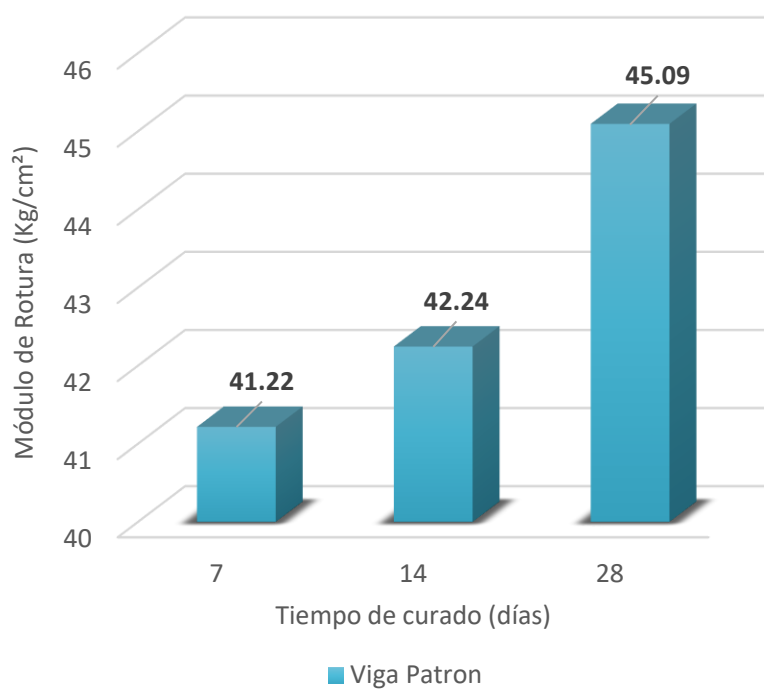
**Figura 12:** Resistencia a flexión de vigas de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , sin fibra y con fibra a los 28 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 46:** Resistencia a la flexión de vigas de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7, 14 y 28 días.

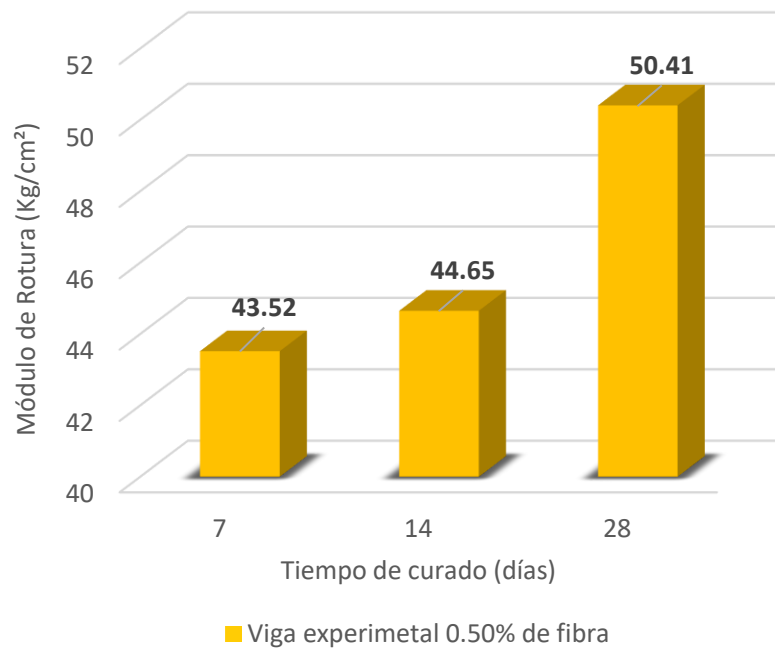
MODULO DE ROTURA MEDIO DE LAS VIGAS			
% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	EDAD EN DIAS		
	7	14	28
<b>PATRON</b>	41.22	42.24	45.09
<b>0.50%</b>	43.52	44.65	50.41
<b>1.00%</b>	24.72	28.86	32.98

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



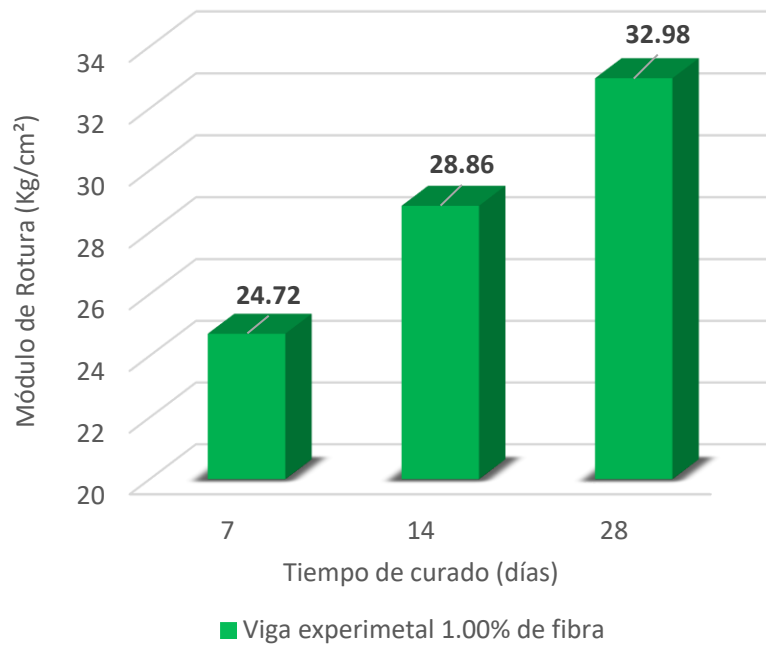
**Figura 13:** Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga patrón.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



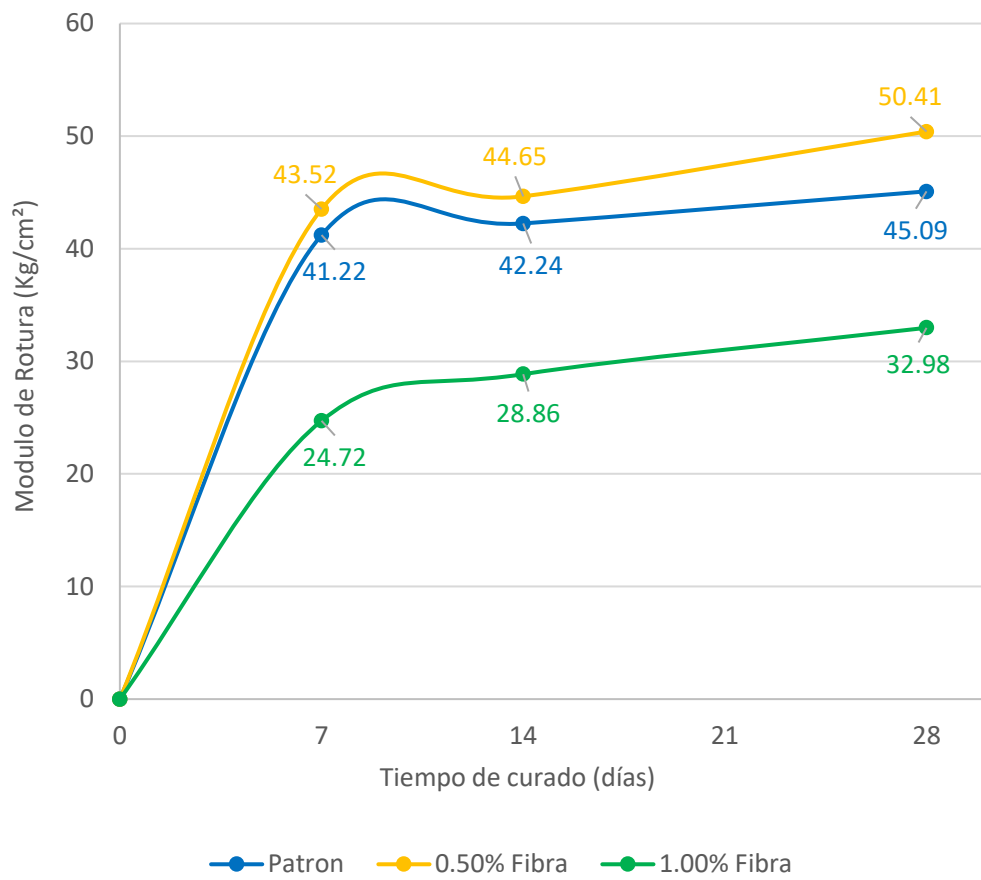
**Figura 14:** Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga experimental con adición de 0.50% de fibra.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



**Figura 15:** Módulo de rotura vs tiempo de curado de la viga experimental con adición de 1.00% de fibra.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



**Figura 16:** Módulo de rotura vs tiempo de curado de las vigas de concreto.

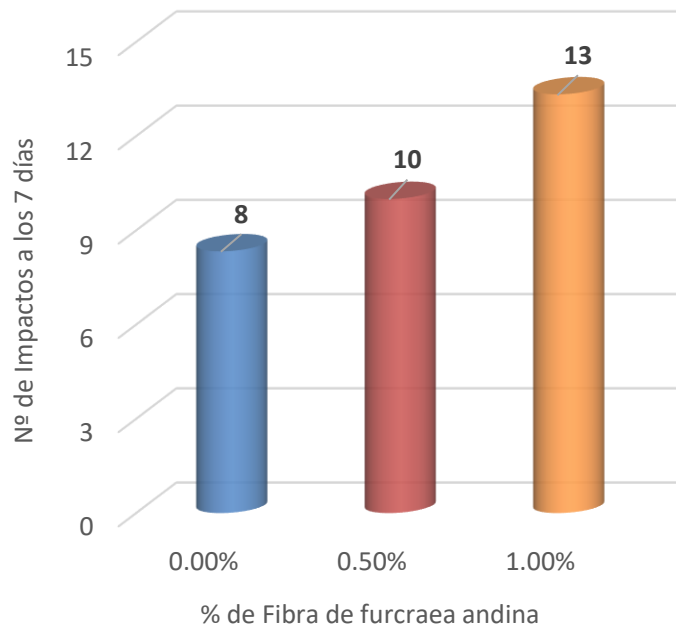
**Fuente:** Elaboración propia (2020).

### 3.4.2 Ensayo de resistencia al impacto de discos de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

*Tabla 47: Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días.*

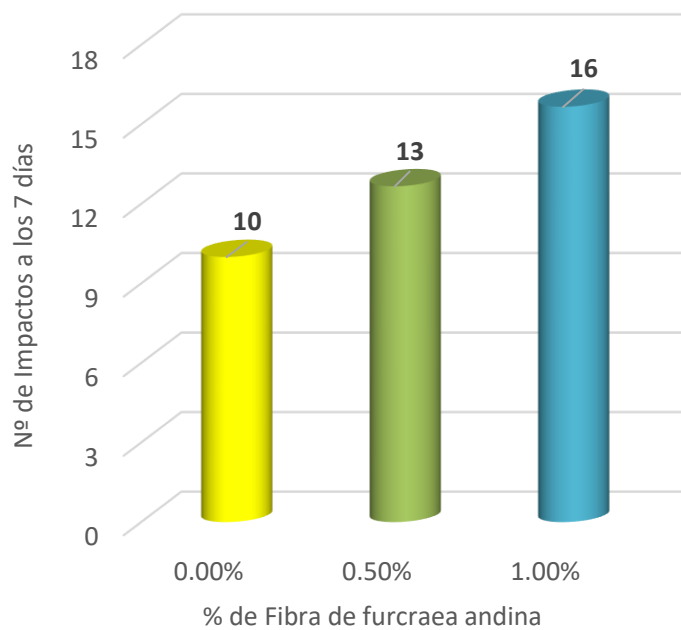
DISCO N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4.536 kg DESDE 457.2 mm DE CAIDA LIBRE			
					A LA 1 <sup>era</sup> FISURA	PROM. A LA 1 <sup>era</sup> FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
D1					7		9	
D2	0.00%	10/05/2019	17/05/2019		9	<b>8</b>	11	<b>10</b>
D3					9		10	
D1					11		13	
D2	0.50%	10/05/2019	17/05/2019	7	10	<b>10</b>	13	<b>13</b>
D3					9		12	
D1					13		15	
D2	1.00%	10/05/2019	17/05/2019		14	<b>13</b>	16	<b>16</b>
D3					13		16	

*Fuente: Elaboración propia (2020).*



**Figura 17:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la 1<sup>era</sup> fisura a los 7 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



**Figura 18:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la rotura a los 7 días.

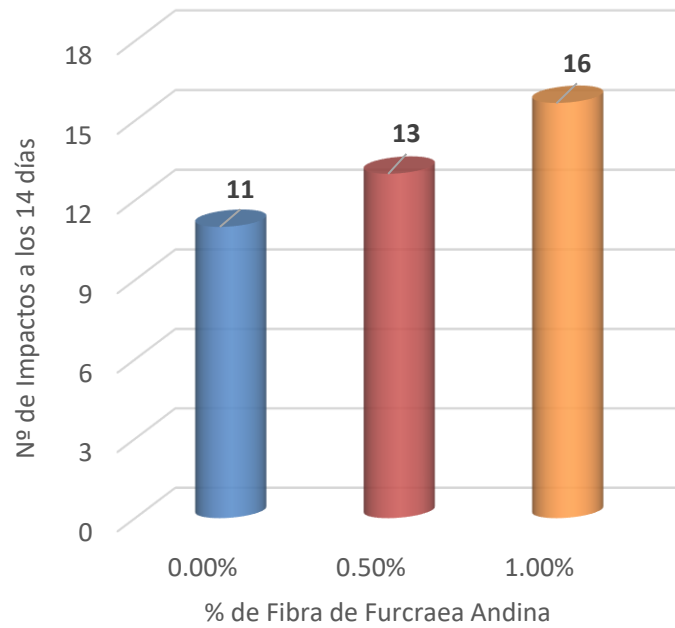
**Fuente:** Elaboración propia (2020).



**Tabla 48:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días.

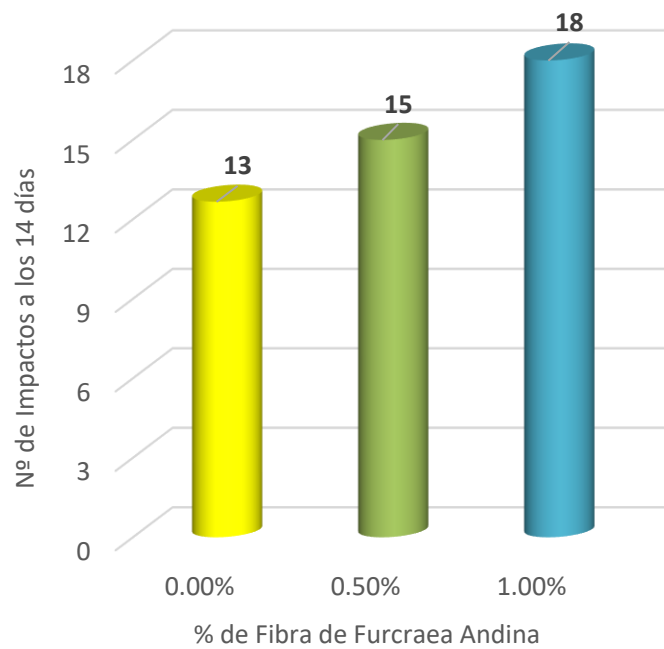
DISCO N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4.536 kg DESDE 457.2 mm DE CAIDA LIBRE			
					A LA 1era FISURA	PROM. A LA 1era FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
<b>D4</b>					12		13	
<b>D5</b>	0.00%	10/05/2019	24/05/2019		10	<b>11</b>	12	<b>13</b>
<b>D6</b>					11		13	
<b>D4</b>					14		16	
<b>D5</b>	0.50%	10/05/2019	24/05/2019	14	13	<b>13</b>	15	<b>15</b>
<b>D6</b>					12		14	
<b>D4</b>					16		18	
<b>D5</b>	1.00%	10/05/2019	24/05/2019		16	<b>16</b>	19	<b>18</b>
<b>D6</b>					15		17	

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



**Figura 19:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la 1<sup>era</sup> fisura a los 14 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



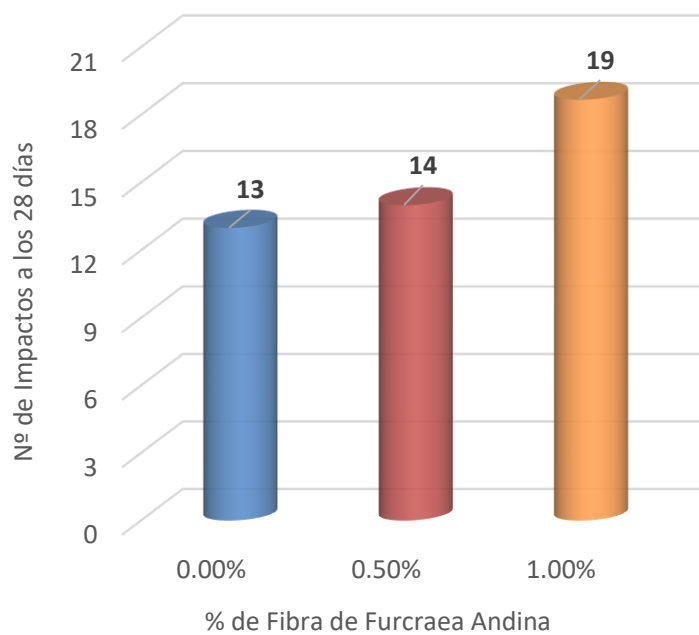
**Figura 20:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la rotura a los 14 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 49:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

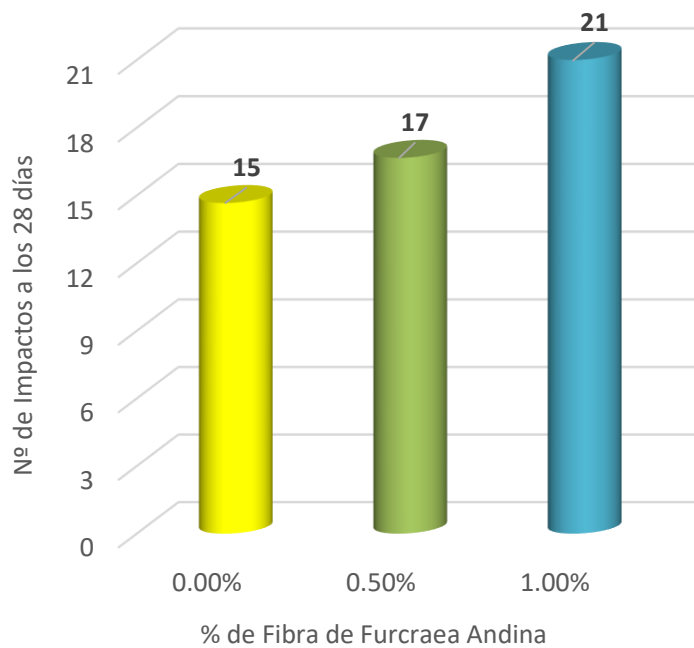
DISCO N°	% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4.536 kg DESDE 457.2 mm DE CAIDA LIBRE			
					A LA 1era FISURA	PROM. A LA 1era FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
<b>D7</b>					12		14	
<b>D8</b>	0.00%	10/05/2019	07/06/2019		13	<b>13</b>	15	<b>15</b>
<b>D9</b>					14		15	
<b>D7</b>					13		16	
<b>D8</b>	0.50%	10/05/2019	07/06/2019	28	15	<b>14</b>	17	<b>17</b>
<b>D9</b>					14		17	
<b>D7</b>					19		21	
<b>D8</b>	1.00%	10/05/2019	07/06/2019		17	<b>19</b>	20	<b>21</b>
<b>D9</b>					20		22	

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



**Figura 21:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la 1<sup>era</sup> fisura a los 28 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



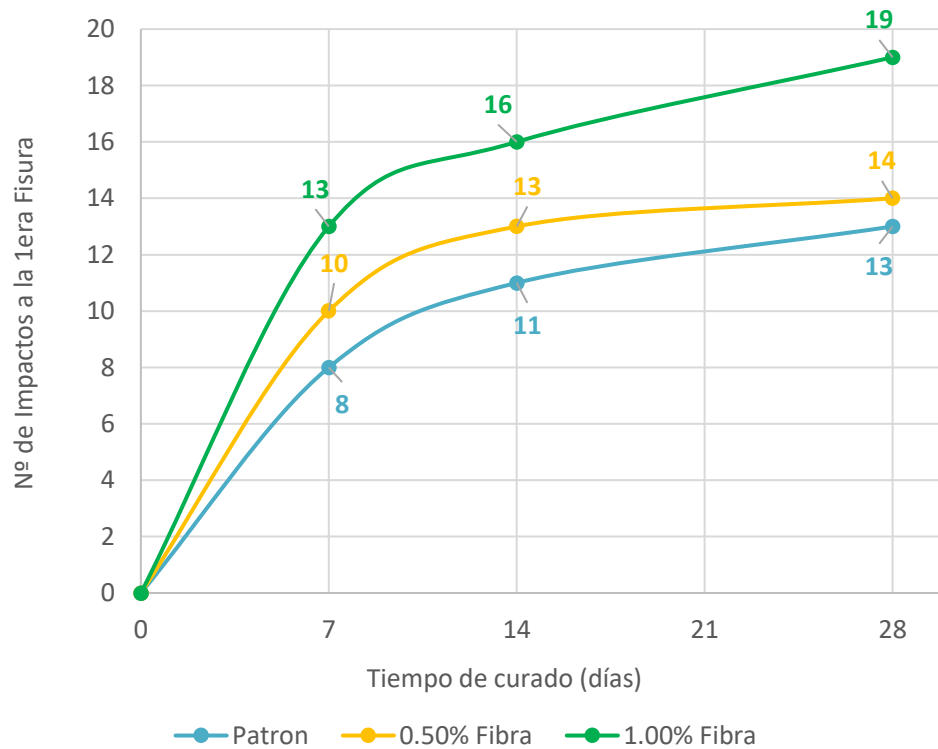
**Figura 22:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , a la rotura a los 28 días.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 50:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la 1<sup>era</sup> fisura a los 7, 14 y 28 días.

<b>A LA 1<sup>era</sup> FISURA</b>			
<b>% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)</b>	<b>EDAD EN DIAS</b>		
	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
<b>PATRON</b>	8	11	13
<b>0.50%</b>	10	13	14
<b>1.00%</b>	13	16	19

**Fuente:** Elaboración propia (2020).



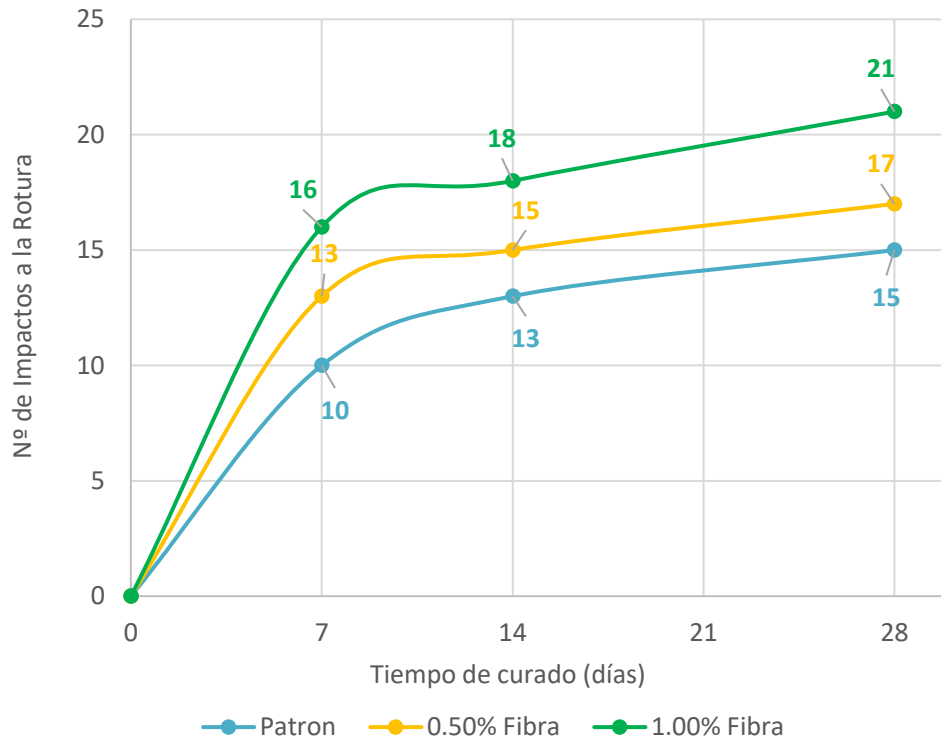
**Figura 23:** N° de impactos vs tiempo de curado de los discos de concreto a la 1<sup>era</sup> fisura.

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

**Tabla 51:** Resistencia al impacto de discos de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la rotura a los 7, 14 y 28 días.

<b>A LA ROTURA</b>			
<b>% DE FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)</b>	<b>EDAD EN DIAS</b>		
	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
<b>PATRON</b>	10	13	15
<b>0.50%</b>	13	15	17
<b>1.00%</b>	16	18	21

*Fuente:* Elaboración propia (2020).



**Figura 24:** N° de impactos vs tiempo de curado de los discos de concreto a la rotura.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

### 3.5 Análisis estadístico

#### 3.5.1 Análisis estadístico: Resistencia a la flexión del concreto patrón (C°P)

*Tabla 52: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C°P a los 28 días.*

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°P - V7	45.19	0.10	0.009976
C°P - V8	45.19	0.09	0.008980
C°P - V9	44.90	-0.19	0.037888

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	0.056845
$\Sigma X$	=	135.28	S <sup>2</sup>	=	0.028422
$\bar{X}$	=	45.09	S	=	0.168589

#### 3.5.2 Análisis estadístico: Resistencia a la flexión del concreto experimental (C°E 1 con 0.50% de fibra de furcraea andina)

*Tabla 53: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C°E 1 a los 28 días.*

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°E 1 - V7	50.60	0.19	0.037438
C°E 1 - V8	50.12	-0.29	0.084267
C°E 1 - V9	50.50	0.10	0.009370

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	0.131075
$\Sigma X$	=	151.22	S <sup>2</sup>	=	0.065538
$\bar{X}$	=	50.41	S	=	0.256003

#### 3.5.3 Análisis estadístico: Resistencia a la flexión del concreto experimental (C°E 2 con 1.00% de fibra de furcraea andina)

*Tabla 54: Análisis Estadístico - Resistencia a la Flexión C°E 2 a los 28 días.*

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°E 2 - V7	32.86	-0.11	0.013128
C°E 2 - V8	33.15	0.17	0.029063
C°E 2 - V9	32.92	-0.06	0.003125

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	0.045316
$\Sigma X$	=	98.93	$S^2$	=	0.022658
$\bar{X}$	=	32.98	S	=	0.150525

### 3.5.4 Análisis estadístico: Resistencia al impacto del concreto patrón (C°P) a la Rotura

*Tabla 55: Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C°P a la Rotura a los 28 días.*

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°P - D7	14	-0.67	0.444444
C°P - D8	15	0.33	0.111111
C°P - D9	15	0.33	0.111111

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	0.666667
$\Sigma X$	=	44	$S^2$	=	0.333333
$\bar{X}$	=	14.67	S	=	0.577350

### 3.5.5 Análisis estadístico: Resistencia al impacto del concreto experimental (C°E 1 con 0.50% de fibra de furcraea andina) a la Rotura

*Tabla 56: Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C°E 1 a la Rotura a los 28 días.*

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°E 1 - D7	16	-0.67	0.444444
C°E 1 - D8	17	0.33	0.111111
C°E 1 - D9	17	0.33	0.111111

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	0.666667
$\Sigma X$	=	50	$S^2$	=	0.333333
$\bar{X}$	=	16.67	S	=	0.577350

### 3.5.6 Análisis estadístico: Resistencia al impacto del concreto experimental (C°E 2 con 1.00% de fibra de furcraea andina) a la Rotura



**Tabla 57:** Análisis Estadístico - Resistencia al Impacto C°E 2 a la Rotura a los 28 días.

Muestra	X	X- $\bar{X}$	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
C°E 2 - D7	21	0.00	0.000000
C°E 2 - D8	20	-1.00	1.000000
C°E 2 - D9	22	1.00	1.000000

Fuente: Elaboración propia (2020).

n	=	3	$\Sigma(X-\bar{X})^2$	=	2.000000
$\Sigma X$	=	63	S <sup>2</sup>	=	1.000000
$\bar{X}$	=	21.00	S	=	1.000000

### 3.6 Prueba de hipótesis

#### 3.6.1 Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (C°P) con respecto al Concreto Experimental (C°E 1 con 0.50% de fibra de furcraea andina) en el ensayo de resistencia a la flexión

##### a. Parámetros de interés

**Tabla 58:** Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 2 - RF.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
	Concreto Patrón (C°P)	Concreto Experimental (C°E 1)
% de fibra de furcraea andina	0.00%	0.50%
Número de muestras (n)	3	3
Media ( $\bar{X}$ )	45.09	50.41
Varianza (S <sup>2</sup> )	0.0284	0.0655

Fuente: Elaboración propia (2020).

##### b. Hipótesis

Hipótesis Nula  $H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$

Hipótesis Alternativa  $H_1 : \bar{X}_1 > \bar{X}_2$  o  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$

##### c. Nivel de significancia o riesgo

$\alpha = 0.05$  (para proyectos de investigación)

gl = 4

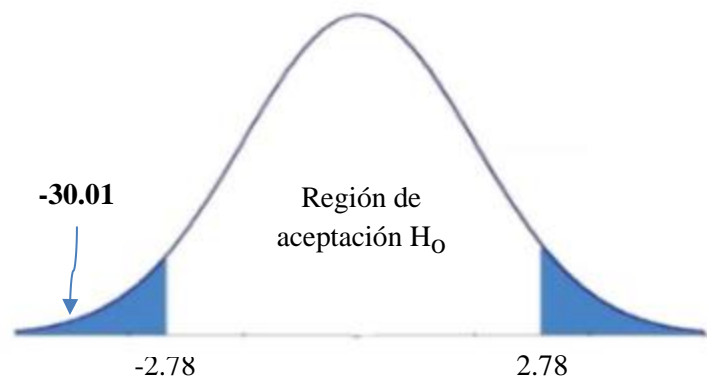
Investigando a 5% de significancia y 4 grados de libertad en la prueba T-Student se obtiene los puntos críticos o “t” teórica de la tabla estadística (ver anexo 7) igual a 2.776445. Por lo que se plantea:

Rechazar  $H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$  ; si  $-t \geq t_p \geq t$  (no se rechaza  $H_1 : \bar{X}_1 > \bar{X}_2$  o  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$  ; “se acepta”).

**d. Estadístico de prueba T-Student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad, es:**

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$$S_c^2 = 0.046980 \quad t_p = -30.014046 \quad p\text{-valor} = 0.000007$$



**Figura 25:** Distribución T- Student C°P vs C°E 1 en RF.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**e. Conclusión estadística**

"Se rechaza  $H_0$ ", puesto que  $-t \geq t_p$  ( $-2.78 \geq -30.01$ ) y como en la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) existe dos posibilidades ( $H_1 : \bar{X}_1 > \bar{X}_2$  o  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$ ) se toma la segunda ya que  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$  ( $45.09 < 50.41$ ), se concluye que los elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> reforzados con 0.50% de fibra de furcraea andina mejoran su comportamiento a flexión.

**3.6.2 Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (C°P) con respecto al Concreto Experimental (C°E 2 con 1.00% de fibra de furcraea andina) en el ensayo de resistencia a la flexión**

**a. Parámetros de interés**

*Tabla 59: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 3 - RF.*

Descripción	Muestra 1	Muestra 3
	Concreto Patrón (C°P)	Concreto Experimental (C°E 2)
% de fibra de furcraea andina	0.00%	1.00%
Número de muestras (n)	3	3
Media ( $\bar{x}$ )	45.09	32.98
Varianza ( $S^2$ )	0.0655	0.0227

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

**b. Hipótesis**

Hipótesis Nula  $H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$

Hipótesis Alternativa  $H_1 : \bar{X}_1 > \bar{X}_2$  o  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$

**c. Nivel de significancia o riesgo**

$\alpha = 0.05$  (para proyectos de investigación)

gl = 4

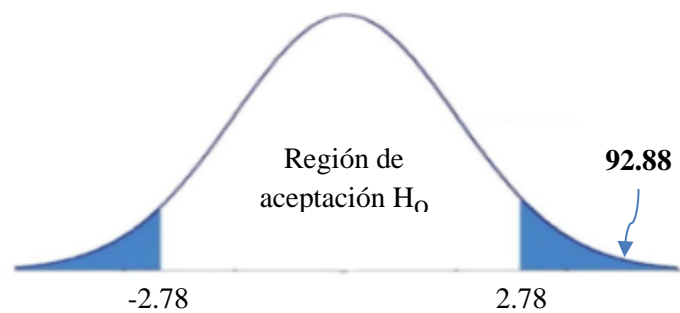
Investigando a 5% de significancia y 4 grados de libertad en la prueba T-Student se obtiene los puntos críticos o “t” teórica de la tabla estadística (ver anexo 7) igual a 2.776445. Por lo que se plantea:

Rechazar  $H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ ; si  $-t \geq t_p \geq t$  (no se rechaza  $H_1 : \bar{X}_1 > \bar{X}_2$  o  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$ ; “se acepta”).

**d. Estadístico de prueba T-Student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad, es:**

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$$S_c^2 = 0.025540 \quad t_p = 92.877639 \quad p\text{-valor} = 0.00000008$$



**Figura 26:** Distribución T- Student C°P vs C°E 2 en RF.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

#### e. Conclusión estadística

"Se rechaza  $H_0$ ", puesto que  $t_p \geq t$  ( $92.88 \geq 2.78$ ) y como en la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) existe dos posibilidades ( $H_1 : \bar{x}_1 > \bar{x}_2$  o  $\bar{x}_1 < \bar{x}_2$ ) se toma la primera ya que  $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$  ( $45.09 > 32.98$ ), se concluye que los elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> reforzados con 1.00% de fibra de furcraea andina no mejoran su comportamiento a flexión.

### 3.6.3 Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (C°P) con respecto al Concreto Experimental (C°E 1 con 0.50% de fibra de furcraea andina) en el ensayo de resistencia al impacto

#### a. Parámetros de interés

**Tabla 60:** Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 2 - RI.

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
	Concreto Patrón (CP)	Concreto Experimental (CE 1)
% de fibra de furcraea andina	0.00%	0.50%
Número de muestras (n)	3	3
Media ( $\bar{x}$ )	14.67	16.67
Varianza ( $S^2$ )	0.5774	0.5774

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

#### b. Hipótesis

Hipótesis Nula  $H_0 : \bar{x}_2 \leq \bar{x}_1$

Hipótesis Alternativa  $H_1 : \bar{x}_2 > \bar{x}_1$

**c. Nivel de significancia o riesgo**

$\alpha = 0.05$  (para proyectos de investigación)

gl = 4

Investigando a 5% de significancia y 4 grados de libertad en la prueba T-Student se obtiene los puntos críticos o “t” teórica de la tabla estadística (ver anexo 7) igual a 2.776445. Por lo que se plantea:

Rechazar  $H_0 : \bar{X}_2 \leq \bar{X}_1$ ; si  $-t \geq t_p \geq t$  (no se rechaza  $H_1 : \bar{X}_2 > \bar{X}_1$ ; “se acepta”).

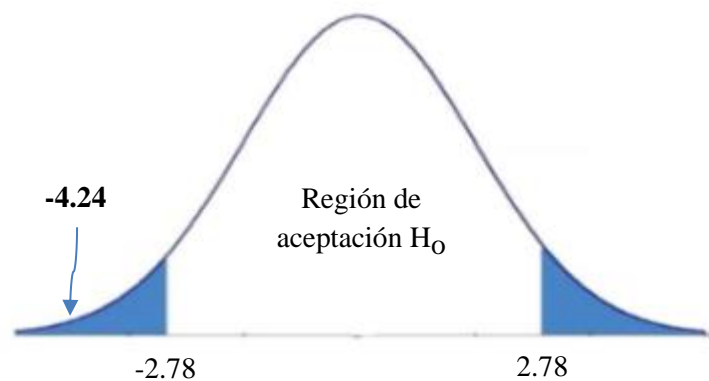
**d. Estadístico de prueba T-Student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad, es:**

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$S_c^2 = 0.333333$

$t_p = -4.242641$

p-valor = 0.013236



**Figura 27:** Distribución T- Student C°P vs C°E 1 en RI.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**e. Conclusión estadística**

"Se rechaza  $H_0$ ", puesto que  $-t \geq t_p$  ( $-2.78 \geq -4.24$ ), se concluye que los elementos de concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup> reforzados con 0.50% de fibra de furcraea andina mejoran su comportamiento a impacto.

**3.6.4 Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (C°P) con respecto al Concreto Experimental (C°E 2 con 1.00% de fibra de furcraea andina) en el ensayo de resistencia al impacto**

**a. Parámetros de interés**

*Tabla 61: Parámetros estadísticos de la muestra 1 y 3 - RI.*

Descripción	Muestra 1	Muestra 3
	Concreto Patrón (CP)	Concreto Experimental (CE 1)
% de fibra de furcraea andina	0.00%	1.00%
Número de muestras (n)	3	3
Media ( $\bar{X}$ )	14.67	21.00
Varianza ( $S^2$ )	0.5774	1.0000

*Fuente: Elaboración propia (2020).*

**b. Hipótesis**

Hipótesis Nula  $H_0 : \bar{X}_2 \leq \bar{X}_1$

Hipótesis Alternativa  $H_1 : \bar{X}_2 > \bar{X}_1$

**c. Nivel de significancia o riesgo**

$\alpha = 0.05$  (para proyectos de investigación)

gl = 4

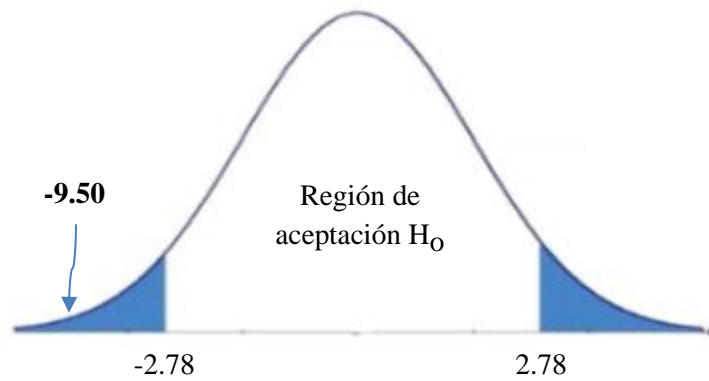
Investigando a 5% de significancia y 4 grados de libertad en la prueba T-Student se obtiene los puntos críticos o “t” teórica de la tabla estadística (ver anexo 7) igual a 2.776445. Por lo que se plantea:

Rechazar  $H_0 : \bar{X}_2 \leq \bar{X}_1$ ; si  $-t \geq t_p \geq t$  (no se rechaza  $H_1 : \bar{X}_2 > \bar{X}_1$ ; “se acepta”).

**d. Estadístico de prueba T-Student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad, es:**

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$$S_c^2 = 0.666667 \quad t_p = -9.500000 \quad p\text{-valor} = 0.000685$$



**Figura 28:** Distribución T- Student C°P vs C°E 2 en RI.

*Fuente:* Elaboración propia (2020).

**e. Conclusión estadística**

"Se rechaza  $H_0$ ", puesto que  $-t \geq t_p$  ( $-2.78 \geq -9.50$ ), se concluye que los elementos de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> reforzados con 1.00% de fibra de furcraea andina mejoran su comportamiento a impacto.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se analizarán y discutirán los resultados obtenidos de los ensayos realizadas en los diferentes laboratorios para contrastar la hipótesis propuesta en el primer capítulo de esta investigación.

De los ensayos realizados, se puede mencionar:

En la Tabla 19, se muestran los resultados del análisis elemental de la fibra de furcraea andina, las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los elementos identificados y cuantificados con una concentración total de 3.568% del total. El resto del material, en un 96.431%, debe estar compuesto en parte de Na y Mg que esta técnica no puede detectar y material orgánico. Al analizar el espectro FRXDE de la fibra de furcraea andina, se puede apreciar que en su mayoría está compuesta por Silicio (Si) en 0.927%, Calcio (Ca) en 0.920%, Aluminio (Al) en 0.676% y Potasio (K) en 0.468%; y el componente químico en menor proporción es el Titanio (Ti) en 0.003%. A nivel molecular, como otros materiales orgánicos (como la madera), las fibras están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina (Young, Mindess, Bentur, & Gray, 1998). “La celulosa es el componente principal de la fibra. Es un carbohidrato complejo, generalmente compuesto por miles de cadenas lineales de unidades de glucosa individuales” (Brown, LeMay Jr., Bursten, & Burdge, 2004).

La forma en que estos tres componentes principales interactúan es importante, de acuerdo a Gram “la descomposición de la celulosa en un ambiente alcalino, que es la unidad estructural principal de la fibra, puede ocurrir por disolución de la cadena principal molecular que causa el desfibramiento” (Gram, 1988).

Para proteger los componentes de la fibra del ambiente alcalino de la matriz de cemento, se utilizó cera de parafina, siendo una sustancia orgánica inofensiva para el concreto, no tóxica en el proceso de tratamiento, barata y fácil de usar.

En la Tabla 20, según el análisis realizado a la fibra de furcraea andina esta tiene un pH de 6.30, y según clasificación del pH esta es ácido pero no agresivo, ya que su  $pH < 7$ , pero la fibra se verá afectada por el ambiente alcalino del concreto, por lo



que las fibras se trataron con parafina, el compuesto puede soportar ambientes agresivos, cambios de humedad y temperatura.

Como se puede observar en la Tabla 21, la resistencia a la tracción de la fibra de furcraea andina es de 129 N/mm<sup>2</sup>, siendo esta una de las principales propiedades mecánicas de la fibra, que determinará la capacidad de este componente para reforzamiento, para establecer las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de furcraea andina y la matriz cementicia. Los resultados obtenidos muestran que la fibra furcraea andina es un material altamente resistente a la tracción, lo que ayudará a mejorar la resistencia a flexión e impacto del concreto.

En la Tabla 22 y Tabla 23, se pueden apreciar los diámetros de la fibra de furcraea andina de 100 muestras medidos y tomados al azar. Los datos obtenidos se tabularon y fueron organizados para llenar la Tabla 24 de distribución de frecuencias, a través de la inferencia estadística, porque esta es la más utilizada para analizar la mayoría de estudios observacionales o experimentos diseñados en el campo de la ciencia.

A diferencia de las fibras industriales (acero, vidrio y plástico) que son de tamaño muy uniforme, las fibras naturales varían mucho en diámetro, dado que la resistencia de la fibra depende mucho de su diámetro, y esto afecta directamente a las propiedades mecánicas de la fibra, por lo que, en cada etapa de esta investigación, se utilizó fibras representativas. En la Figura 6 se puede observar que, de las 100 muestras medidas, el número de fibras con diámetros entre (0.18 - 0.26) es el más grande, representando el 66% del total. El ensayo realizado a la fibra de furcraea andina nos permitió conocer que su diámetro promedio es de 0.20 mm, su desviación estándar es de 0.044 y su coeficiente de variación es de 22.06%, menor al 25%, lo que significa que la muestra es homogénea, lo que se trató de buscar en la presente investigación.

“Las fibras naturales tienen una alta capacidad de absorber agua” (ACI Committee 544, 2002). Según los resultados de la Tabla 25, la fibra de furcraea andina sin tratamiento, puede absorber alrededor del 92,04% de agua en relación a su peso

seco en 24 horas. La alta absorción de agua de la fibra causa problemas prácticos en el proceso de mezcla, porque puede absorber el agua de reacción, cambiando así la relación A/C, afectando así la reacción de hidratación del cemento. Al disminuir la relación A/C puede originar una mezcla no trabajable y problemas durante el proceso de compactación. Por otro lado, la absorción excesiva de agua producirá un gran aumento de volumen en la fibra y la fibra quedará incrustada en la pasta de cemento en estado plástico. A medida que el concreto se endurece y las fibras se secan, se contrae, lo que provoca una pérdida de adhesión entre las fibras y la matriz. Afectando la resistencia a la flexión y al impacto del concreto.

Por otro lado, como se muestra en la Figura 7, los resultados de la absorción de agua de la fibra tratada con parafina mostraron que la absorción de agua se redujo en un 56.37% en comparación con la fibra sin tratar. Esto se debe a que la parafina cuando se enfría se solidifica y sella parcialmente la porosidad de la fibra. Del mismo modo, la capa de parafina formada sobre la fibra parece actuar como repelente al agua, evitando que se sature por completo.

Para la mezcla de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, la relación agua/cemento efectiva se determinó a partir de los ensayos realizados a los materiales a ser empleados en la elaboración de las muestras, obteniendo un valor de 0,717. De manera similar, la relación agua/cemento efectiva para la mezcla de un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 0.50% y 1.00% de fibra de furcraea andina fue de 0.744 y 0.768, respectivamente. En comparación con la relación A/C de la mezcla de un concreto sin fibras, la razón del incremento de estos últimos es porque las fibras absorben agua, por lo que se tuvo que aumentar una pequeña cantidad de agua para obtener un concreto trabajable con un asentamiento de 3.5" y cumplir con el rango de 3" a 4" especificado por la norma ACI 211.

De acuerdo con las normas NTP 339-078, ASTM C-78 y MTC E-709-2000, se realizó los ensayos de resistencia a la flexión. La sección transversal del molde fue rectangular de 15 x 15 cm x 50 cm, siendo estos fallados a los 7, 14 y 28 días de

curado. Para cada grupo de edad y cada tipo de muestra, se ensayaron 3 vigas para promediar los resultados.

Como se puede observar en la Figura 10, la mayor resistencia a la flexión obtenida a los 7 días fue en las muestras con 0.50% de fibra con un valor medio de 43.52 kg/cm<sup>2</sup>, seguida por las muestras sin fibra (patrón) con una resistencia de 41,22 kg/cm<sup>2</sup>. Y en las muestras con 1.00% de fibra, se observó que cuanto mayor es la cantidad de fibra, menor es la resistencia a la flexión porque el valor obtenido fue de 24.72 kg/cm<sup>2</sup>.

Para los ensayos realizados a los 14 días para cada uno de las muestras se obtuvo una tendencia similar a la evidenciada en los ensayos realizados a los 7 días, como se puede observar en la Figura 11, las muestras con mayor resistencia a la flexión fueron en las muestras con adición de 0.50% de fibra con un resultado de 44.65 kg/cm<sup>2</sup>, seguida por las muestras sin fibra (patrón) con una resistencia de 42.24 kg/cm<sup>2</sup>. Al igual que a los 7 días, el resultado de las muestras con adición de 1.00% de fibra tuvo una menor resistencia a la flexión con un resultado de 28.86 kg/cm<sup>2</sup>.

Para cada muestra ensayada a los 14 días, la tendencia obtenida es similar a la tendencia ensayada a los 7 días. Como se puede ver en la Figura 11, las muestras con la mayor resistencia a la flexión fueron en las muestras con 0.50% de fibra con un resultado de 44.65 kg/cm<sup>2</sup>, seguida la muestra sin fibra (patrón), que tiene una resistencia de 42.24 kg/cm<sup>2</sup>. Al igual que del séptimo día, la resistencia a la flexión de la muestra con 1.00% de fibra fue menor con un resultado de 28.86 kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente, como se puede observar en la Figura 12, los ensayos realizados a los 28 días mostraron que la muestra con mayor resistencia a la flexión fue la muestra con 0.50% de fibra con un valor de 50.41 kg/cm<sup>2</sup>, seguida la muestra sin fibra (patrón) con un resultado promedio de 45.09 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, similar para los días 7 y 14, se puede ver que los resultados de la muestra con 1.00% de fibra mantiene la tendencia, cuanto mayor es la cantidad de fibra, menor es la resistencia a la flexión, porque su resistencia a los 28 días fue de 32.98 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Figura 16 se muestra el consolidado de los valores medios obtenidos del ensayo a flexión de las vigas de concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en las diferentes edades y porcentajes de adición de fibra, como se puede ver en esta figura, los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días del ensayo a flexión, muestran que el concreto con 0.50% de fibra siempre presenta mayor resistencia a la flexión.

Además, se pudo observar que las muestras sin fibras presentaron fallas frágiles con mínima deflexión. Sin embargo, la falla de las muestras con fibra es dúctil y tienen la capacidad de soportar cargas después de la ruptura. En la Figura 81 se muestra el tipo de falla de las muestras ensayadas.

En los resultados de impacto se pueden evidenciar la categoría de daño que se produjo a las muestras ensayadas, el mayor número de impactos se dio en las muestras con adición de 1.00% de fibra, esto debido a que las fibras absorben la energía que se produce cuando el martillo de proctor modificado choca violentamente y las disipa a través de las fibras antes de su falla inicial, la aglomeración de fibras evita que la energía de deformación produzca fisuras por lo que se necesita mayor cantidad de energía potencial para su fallo (Ramakrishna & Sundararajan, 2005).

En el ensayo de impacto se pudo observar que las muestras con fibras no se separan repentinamente después de la formación de fisuras, a diferencia de las muestras sin fibras que se separaron en fragmentos individuales, como se muestra en la Figura 82, también se puede analizar que las muestras cuanto mayor sea el contenido de fibra, mayor será la resistencia al impacto, como se muestra en la Figura 24.

Para las muestras con mayor contenido de fibra (1.00%), se pudo observar que gran cantidad de energía es absorbida desde la primera fisura hasta la rotura final, mientras que para muestras sin fibras este no es el caso, su falla es tras la primera fisura.

En comparación con la muestra con fibra, la muestra sin fibra tiene menor resistencia a la primera fisura y rotura. Además, como se puede observar en la Figura 23, la resistencia a la primera fisura aumenta en proporción a la cantidad de

fibra agregada a la muestra, y de la misma forma, la resistencia a la rotura aumenta en proporción a la cantidad de fibra agregada a la muestra.

Por tanto, la hipótesis planteada es: “Los elementos de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  reforzado con fibra de furcraea andina (penca) pueden mejorar sus propiedades a flexión e impacto”.

Después de analizar los resultados de los diferentes ensayos del laboratorio, se verifico que los elementos de concreto reforzados con fibra de furcraea andina mejoran sus propiedades de flexión y de impacto, puesto que el concreto con 0.50% de fibra a los 28 días tuvo un incremento de 11.78% en flexión y 13.33% en impacto (a la rotura), y el concreto con 1.00% de fibra a los 28 días tuvo un incremento de 40% en impacto (a la rotura).

Por tanto, nuestra hipótesis se cumple parcialmente.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se analizó las propiedades de flexión e impacto de elementos de concreto reforzado con fibra de furcraea andina. Llegando a las siguientes conclusiones importantes:

Los resultados del análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE) realizado a la fibra de furcraea andina, muestran que en su mayoría la fibra está compuesta por Silicio (Si) en 0.927%, Calcio (Ca) en 0.920%, Aluminio (Al) en 0.676% y Potasio (K) en 0.468%; y el componente químico en menor proporción es el Titanio (Ti) en 0.003%. El resto del material, en un 96.431%, debe estar compuesto en parte de Na y Mg que esta técnica no puede detectar y material orgánico.

El valor del pH de la fibra de furcraea andina fue de 6.30, estando en la escala  $\text{pH} < 7$  por lo que esta vendría ser ácido, pero no agresivo, pero debido a la interacción química entre la fibra y la matriz alcalina del cemento, esta se verá afectada, por lo que la fibra ha sido tratada con parafina para poder soportar ambientes agresivos y reducir la capacidad de absorción de agua en un 56.37% en comparación con la fibra sin tratar.

La relación agua/cemento del concreto sin fibra (patrón) fue de 0.717, del concreto con 0.50% y 1.00% de fibra de furcraea andina fue de 0.744 y 0.768 respectivamente. El incremento de la relación A/C de las muestras experimentales fue debido a que las fibras para que se hidraten lo suficiente absorbieron agua en proporciones mínimas, habiendo una diferencia de 0.027 y 0.051 respectivamente con respecto al concreto patrón.

La resistencia a la flexión del concreto con 0.50% de fibra de furcraea andina tuvo un incremento de 5.58%, 5.70% y 11.78% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente, con respecto al concreto patrón. Estos resultados muestran que la fibra de furcraea andina puede mejorar su comportamiento a flexión a los elementos de concreto.

Mientras que la resistencia a la flexión del concreto con 1.00% de fibra de furcraea andina disminuyó en un 40.03%, 31.69% y 26.88% en los días 7, 14 y 28, respectivamente, en comparación con el concreto patrón.

El concreto reforzado con fibra de furcraea andina presentó menor grietas durante el ensayo, con aberturas, profundidad y longitud menor, en comparación con el concreto patrón.

Los resultados del ensayo de impacto muestran que cuanto mayor es el número de fibras, mayor capacidad tiene en resistir el impacto a la rotura. Los mejores resultados se obtuvieron en el concreto con 1.00% de fibra de furcraea andina; así mismo se pudo observar que en la resistencia al impacto en la primera fisura el aumento de la resistencia es proporcional a la cantidad de fibra agregada. Además, se pudo constatar que el concreto patrón tiene rotura frágil, se rompe en pedazos, mientras que el concreto con fibra tiene mayor ductilidad (baja fragilidad) debido a la rotura, pero siempre se mantiene en un solo bloque.

Finalmente, el uso de la fibra de furcraea andina como refuerzo en elementos de concreto, mejora considerablemente la resistencia a flexión e impacto del concreto.

#### RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar otro tipo de tratamiento a la fibra para poder realizar una comparativa entre sus resultados y verificar el óptimo tratamiento.

Estudiar la durabilidad del concreto reforzado con fibra en ambientes naturales bajo diversas condiciones climáticas durante un tiempo prolongado y correlacionar los resultados con los resultados obtenidos mediante ensayos de degradación acelerada.

En el caso del método de ensayo a impacto se recomienda utilizar equipos electrónicos, para que los ensayos sean más precisos y se pueda caracterizar mejor el comportamiento del concreto.

Realizar más estudios, incorporando nuevas proporciones de fibra de furcraea andina a la mezcla de concreto, diferente al porcentaje introducido en el estudio actual.

Realizar estudios de costo/beneficio sobre el uso de fibras de furcraea andina y fibras compuestas.



## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2017). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- Abortiz. (12 de Noviembre de 2020). *Fibras de Origen Animal*. Obtenido de <https://abortiz.wixsite.com/textiles/fibras-animales>
- ACI 544.2R. (1986). *Measurements of Properties of Fiber Reinforced Concrete*. American Concrete Institute Committee.
- ACI Committee 544. (2002). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Farmington Hills - USA: American Concrete Institute.
- ACI Committee 544. (2008). *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete*. Farmington Hills - USA: American Concrete Institute.
- ASTM C 1116-03. (2003). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete*. Pennsylvania - United States: ASTM International.
- Aziz, M. A., Paramaswivam, P., & Lee, S. (1984). *Concrete Reinforced with Natural Fibers*. U.K.: Surrey University Press.
- Barrantes Vega, W. A. (2012). *Efecto de la concentración de sólidos solubles de aguamiel de Cabuya (Furcraea Andina) en las características sensoriales de una bebida destilada tipo tequila blanco*. Trujillo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Becerra Granda, M. E. (2016). *Experimentación con cal y fibra de cabuya en la estabilización de tierra como material de construcción*. Loja - Ecuador: UTPL.
- Benites Zapata, V. B. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)*. Piura - Perú: Universidad de Piura.

- Briseño Sánchez, D. Y. (2016). *Análisis del Comportamiento a Flexión de Vigas Reforzadas con Fibra de Cabuya*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Brown, T. L., LeMay Jr., H. E., Bursten, B. E., & Burdge, J. R. (2004). *Química la Ciencia Central*. Naucalpan de Juárez - México: Prentice Hall Inc.
- Cervantes Meneses, L. G., & Cuya Inga, S. (2015). *Elaboración de miel de Cabuya y estudio de prefactibilidad de una planta en el distrito de Huanca, Provincia de Angaraes, Departamento de Huancavelica*. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Checa Gordillo, C. M., & Jurado Arturo, F. M. (2001). *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación*. Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Estrella Charcopa, S. A. (2015 - 2016). *Estudio de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado*. Riobamba - Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Eurofique. (12 de Enero de 2020). *Fique y su Proceso de Transformación*. Obtenido de <http://eurofique.info/fique-y-su-proceso-de-transformacion/>
- Florez León, F., & Limpe Zevallos, Y. (2019). *Influencia de la fibra de maguey (Furcraea andina) en las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe tradicional*. Cusco - Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- González G, G. (1965). *La cabuya: cultivo e industrialización*. Quito - Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Gram, H. E. (1988). Concrete Technology and Design, Volume 5, Natural Fibre Reinforced cement and concrete. *Natural fibre concrete roofing*, 256-285.

- Instron. (11 de Marzo de 2020). *Resistencia al impacto*. Obtenido de <https://www.instron.es/es-es/our-company/library/glossary/i/impact-strength>
- Juárez Alvarado, C. A. (2002). *Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México*. Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Julca Chugnas, R. A. (2016). *Influencia de tres niveles de jugo de agave americana (penca azul) sobre la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Jurado López, S. E., & Sarzosa Pazmiño, X. S. (2009). *Estudio de la cadena agroindustrial de la cabuya en la producción de miel y licor de la cabuya*. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Martha Esparta, L. Y. (2009). *Perfil de las demás cuerdas y cordajes del género agave: fibras de Cabuya, Sisal, etc.* Quito - Ecuador: Estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (1998). *Concreto Estructura, Propiedades y Materiales*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima - Perú.
- Pajares Urteaga, E. F. (2015). *Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal*. Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Paredes Salinas, J. G. (2012). *Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

- Parra López, A., & Parra Mejía, M. (2007). *Comportamiento del concreto hidráulico con adiciones de fibra*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Pazmiño Cepeda, M. A., & Guamán Ortega, J. D. (2016). *Sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibras de cabuya y vidrio para el fortalecimiento de columnas y vigas de concreto reforzado*. Riobamba - Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Pérez, J., & Gómez, P. (1992). *Resistencia de Materiales*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Ramakrishna, G., & Sundararajan, T. (10 de Junio de 2005). *Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study*. Pondicherry - India: Cement & Concrete Composites. Obtenido de Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: A comparative study: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946504001453?via%3Dihub>
- Rincón Rincón, E., Castro Martínez, L., & Iglesias Ibáñez, D. (2006). *Resistencia de Materiales, Determinación de Tensiones y Deformaciones*. Madrid - España: Visión Net.
- Rivva López, E. (2014). *Concreto: Diseño de Mezclas, 2da Edición*. Lima - Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG.
- Rivva López, E. (2014). *Concreto: Materiales Para el Concreto 3era Edición*. Lima - Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG.
- Sánchez Potes, A. (1990). *Manuales para educación agropecuaria : cultivos de fibras*. México: Trillas.

- Simbaña Villarreal, E. A., & Pabón Garcés, G. (2006). *Fibras Naturales de la Provincia de Imbabura*. Ibarra - Ecuador: Cámara Ecuatoriana del Libro - Núcleo de Pichincha.
- Young, J., Mindess, S., Bentur, A., & Gray, R. (1998). *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. New Jersey: Prentice Hall International Series.
- Zaldivar Vargas, J. E. (2018). *Influencia de tres niveles de fibra de furcraea andina (penca) sobre la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$* . Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Zambrano Sandoval, A. B. (2016). *Estudio de las características físico-mecánicas de bloque de hormigón con fibra de cabuya*. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Primeramente, el agradecimiento muy especial a mis padres y hermanos, por su presencia en todo momento, por su esfuerzo y por el apoyo incondicional para lograr alcanzar mi objetivo trazado de ser Ingeniero Civil.

A mi padre, Alejandro Méndez, que falleció poco después de terminar mi carrera, siendo el pilar básico de la familia Méndez, fruto de la noble virtud, enseñanza y valores que mantendré a lo largo de mi vida. Agradeciendo sus sabios consejos que en el momento exacto me supo dar, para no desistir y afrontar los momentos difíciles, porque me ayudo a tomar buenas decisiones para equilibrar mi vida.

Gracias a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Sede Chimbote por brindarme sus conocimientos para desenvolverme en este campo profesional.

## **VIII. ANEXOS Y APÉNDICE**

### **ANEXO N° 01**

**Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía de la Fibra de  
Furcraea Andina (Penca)**

**Laboratorio de Arqueometría de la Universidad Nacional Mayor de San  
Marcos - Lima**



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**Laboratorio de Arqueometría**

**Informe N°041-LAQ/2019**

**Análisis de fibra de *furcraea andina* (penca) por FRXDE**

**Introducción.**

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de fibras de *furcraea andina* a pedido del Sr. Méndez Silva, Javier Edison, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

**“Análisis del Comportamiento a Flexión e Impacto de Elementos de Concreto Reforzados con Fibra de Furcraea Andina (Penca).”**

La muestra está en la forma de fibras de color gris claro.

**Arreglo experimental.**

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15  $\mu$ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 5180 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico  $Z$  igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de  $Z$  y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Na ( $Z=11$ ) y Mg ( $Z=12$ ) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una





## UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

### FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

#### Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

#### **Resultados.**

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de libras de penca. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 16 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico y la energía.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los elementos identificados y cuantificados con una concentración total de 3.569% del total. El resto del material, en un 96.431%, debe



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
**Laboratorio de Archeometría**

estar compuesto en parte de Na y Mg que esta técnica no puede detectar y material orgánico. . Para mayores detalles sobre la composición elemental y estructural de la muestra se sugiere hacer análisis por otras técnicas químicas y difracción de rayos-X respectivamente.

Tabla 1. Composición elemental de las fibras de penca en % de masa.

Elemento	Concentración % masa
Al	0.676
Si	0.927
S	0.154
Cl	0.086
K	0.468
Ca	0.920
Ti	0.003
Mn	0.005
Fe	0.018
Ni	0.009
Cu	0.189
Zn	0.112
Sr	0.004
Sub Total	3.569
Otros	96.431
Total	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS  
Laboratorio de Arqueometría

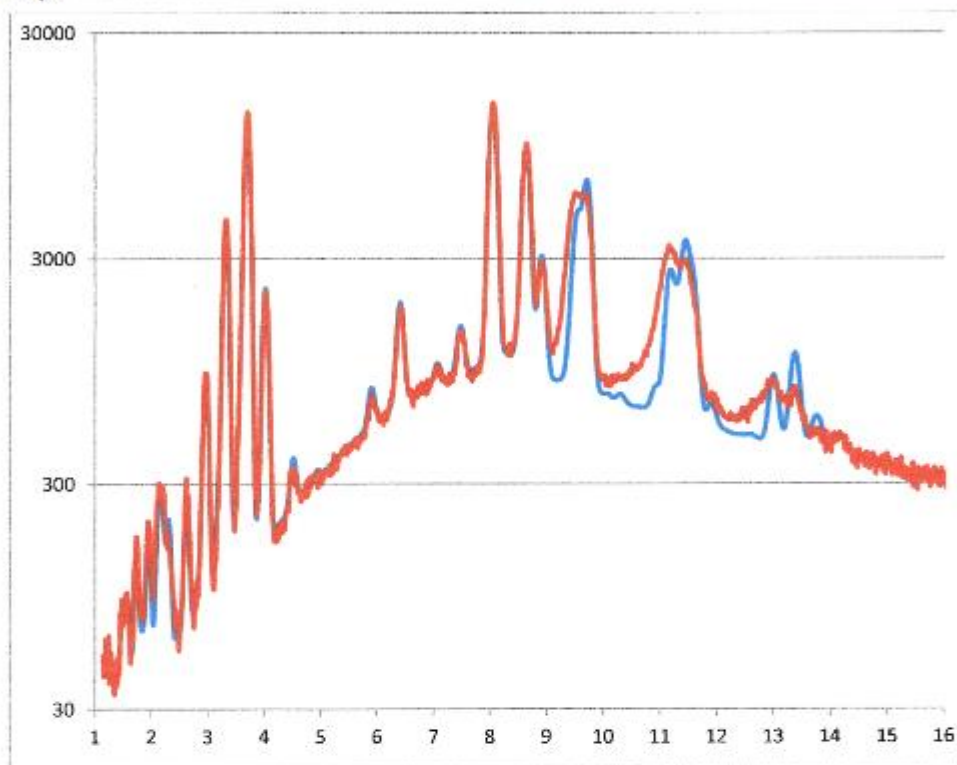


Figura 1. Espectro de FRXDE de fibras de *furcraea andina* (pcnca) en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....  
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 22 de mayo del 2019

**ANEXO N° 02**

**Ensayo de pH y Resistencia a Tracción de la Fibra de Furcraea Andina (Penca)**

**Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química - Dpto.  
Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la  
Molina - Lima**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Dpto. Académico de Industrias Forestales

Área de Transformación Química-Laboratorio de Pulpa y Papel

INFORME TÉCNICO: ANÁLISIS DE MUESTRAS

N° 012/05-2019-LPP


Fecha 24 de Mayo del 2019

**ENSAYOS SOLICITADO por: Javier Edison Mendez Silva**

**RESULTADOS:**

Nombre de la muestra (mencionado a la recepción): Fibras de penca  
(*Furcraea andina*)

ENSAYO	Método/norma	Unidad	VALOR
RESISTENCIA A TRACCIÓN	TAPPI 494-om92	N/mm2	129
pH	TAPPI T 252		6,30

  
HÉCTOR ENRIQUE GONZÁLES MORA, Ph.D.  
Responsable  
Jefe LABORATORIO DE PULPA Y PAPEL  
CIP 310



Dirección: Av. La Universidad s/n Apdo. 12-056-La Molina, Lima 100 PERÚ Telefax (51-1) 6147800 anexo 229 Correo electrónico: [egonzales@lamolina.edu.pe](mailto:egonzales@lamolina.edu.pe)

**ANEXO N° 03**

**Ensayos del Agregado Grueso y Fino**

**Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad  
San Pedro**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO**  
(ASTM C 136-06)

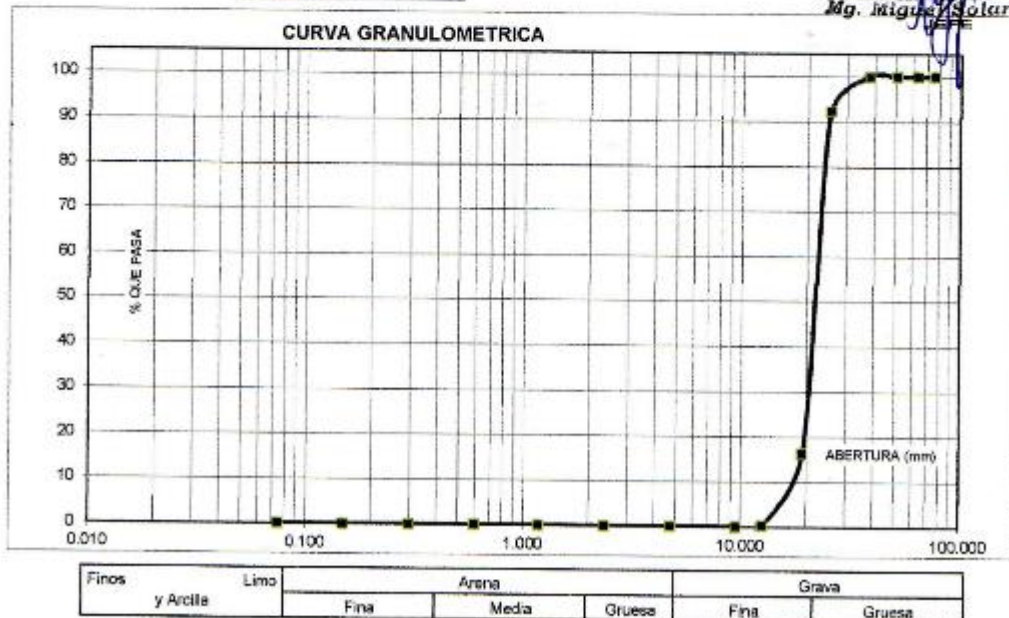
SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
 TESIS : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
 CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
 CANTERA : MEDINA  
 MATERIAL : PIEDRA CHANCADA  
 FECHA : 30/07/2020

TAMIZ	Peso retenido (gr.)	% ret. Parcial (%)	% ret. Acumu. (%)	% Que pasa (gr.)
N° 3"	76.200	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	239.0	7.7	92.3
3/4"	19.100	2345.5	76.0	16.3
1/2"	12.500	496.6	16.1	0.2
3/8"	9.520	7.4	0.2	100.0
N° 4	4.760	0.0	0.0	100.0
N° 8	2.360	0.0	0.0	100.0
N° 16	1.180	0.0	0.0	100.0
N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0
N° 50	0.300	0.0	0.0	100.0
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0
N° 200	0.075	0.0	0.0	100.0
PLATO ASTM C-117-04	0	0.0	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>3087.5</b>	<b>100.0</b>		

PROPIEDADES FÍSICAS	
Tamaño Máximo Nominal	1"
Huso	N° 67 Ref. (ASTM C-33)

OBSERVACIONES  
 La Muestra tomada identificada por el solicitante.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
 Mg. Miguel Solar Jara





**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO**  
(ASTM C 136-05)

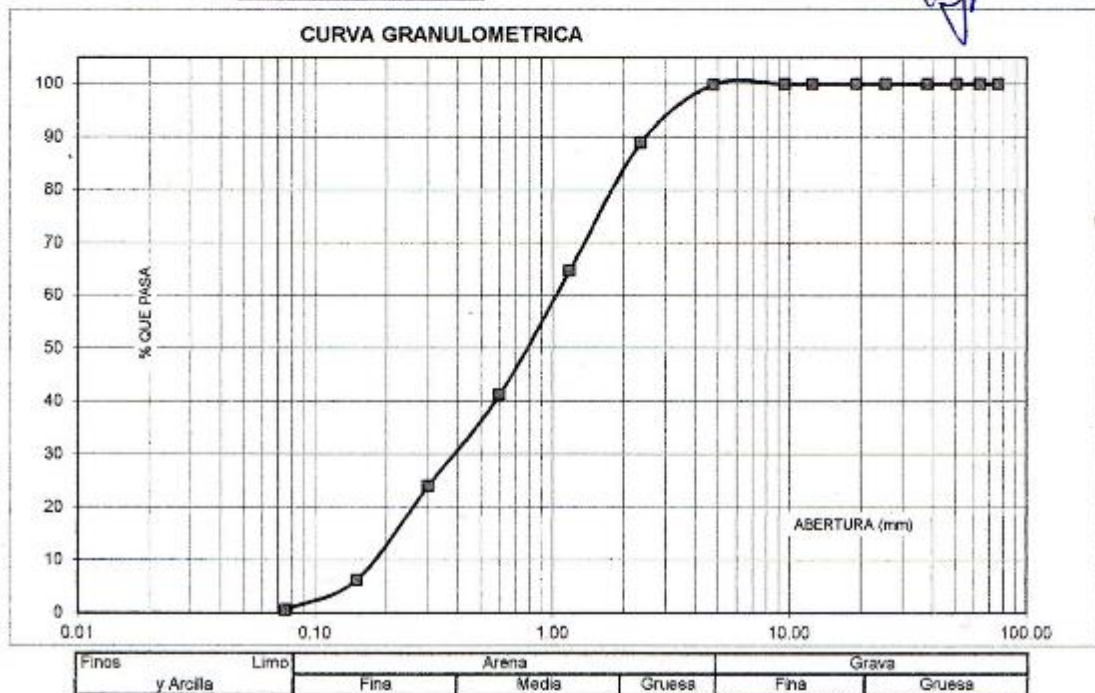
SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
 TESIS : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
 CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
 CANTERA : VESIQUE  
 MATERIAL : ARENA GRUESA  
 FECHA : 30/07/2020

TAMIZ	Peso retenido (gr.)	% ret. Parcial (%)	% ret. Acumu. (%)	% Que pasa (gr.)
N° 3"	76.20	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.10	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.52	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	1.0	0.1	99.9
N° 8	2.36	118.8	10.9	89.0
N° 16	1.18	282.8	24.2	64.6
N° 30	0.60	254.8	23.5	41.3
N° 50	0.30	166.9	17.2	24.1
N° 100	0.15	192.7	17.8	6.3
N° 200	0.06	62.0	5.7	0.6
PLATO ASTM C-117-04	6.5	0.6	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>1085.5</b>	<b>100.0</b>		

PROPIEDADES FÍSICAS	
Módulo de Fineza	2.75

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FAC. DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
 Ing. Miguel Solar Jara







**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : MEDINA  
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA  
FECHA : 30/07/2020

**PESO UNITARIO SUELTO**

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	18450	18200	18300
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13330	13080	13180
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1426	1398	1409
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>	<b>1411</b>		
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>	<b>1409</b>		

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	19950	19600	19750
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	14830	14480	14630
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1586	1548	1564
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>	<b>1564</b>		
<b>CORREGIDO POR HUMEDAD</b>	<b>1564</b>		

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO**

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : VESIQUE  
MATERIAL : ARENA GRUESA  
FECHA : 30/07/2020

**PESO UNITARIO SUELTO**

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7560	7550	7550
Peso de molde	3320	3320	3320
Peso de muestra	4230	4230	4230
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1517	1517	1517
Peso unitario prom. ( Kg/m <sup>3</sup> )	1517		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1610		

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8150	8250	8200
Peso de molde	3320	3320	3320
Peso de muestra	4830	4930	4880
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1732	1768	1750
Peso unitario prom. ( Kg/m <sup>3</sup> )	1750		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1742		

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
C. Nacional de la Universidad  
Mg. Miguel Solar Jara



**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO  
(Según norma ASTM C-127)**

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : MEDINA  
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA  
FECHA : 30/07/2020

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	1195.60	1193.20
B	Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	781.50	774.40
C	Volumen de masa + volumen de vacios (A-B)	414.10	418.80
D	Peso de material seco en estufa	1186.90	1185.20
E	Volumen de masa (C-(A-D))	405.40	410.80
G	P.e. Bulk (Base Seca) D/C	2.866	2.830
H	P.e. Bulk (Base Saturada) A/C	2.887	2.849
I	P.e. Aparente (Base Seca) D/E	2.928	2.855
F	Absorción (%) ((D-A)/A)x100	0.73	0.67

**P.e. Bulk (Base Seca) : 2.848**  
**P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.868**  
**P.e. Aparente (Base Seca) : 2.906**  
**Absorción (%) : 0.70**

  
  
**Mg. Miguel Solari Jara**  
JEFE



**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO  
(Según norma ASTM C-127)**

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : VESIQUE  
MATERIAL : ARENA GRUESA  
FECHA : 30/07/2020

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire) gr.	300.00	300.00
B	Peso de piconometro + agua gr.	669.30	669.30
C	Volumen de masa + volumen de vacios (A+B) cm <sup>3</sup>	969.30	969.30
D	Peso de piconometro + agua + material gr.	857.60	857.60
E	Volumen de masa + volumen de vacios (C-D) cm <sup>3</sup>	111.70	111.70
F	Peso de material seco en estufa gr.	297.40	297.40
G	Volumen de masa (E-(A-F))	109.10	109.10
H	P.e. Bulk (Base Seca) F/E	2.662	2.662
I	P.e. Bulk (Base Saturada) A/E	2.686	2.686
J	P.e. Aparente (Base Seca) F/E	2.726	2.726
K	Absorción (%) ((D-A)/A)x100	0.87	0.87

P.e. Bulk (Base Seca) : 2.662  
P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.686  
P.e. Aparente (Base Seca) : 2.726  
Absorción (%) : 0.87

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Mg. Miguel Solar Jara



**CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO**

(ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : MEDINA  
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA  
FECHA : 30/07/2020

PRUEBA N°	01	02	03
TARA N°			
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1103,2	790	
TARA + SUELO SECO (gr)	1102	788,9	
PESO DEL AGUA (gr)	1,2	1,1	
PESO DE LA TARA (gr)	210	79	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	892	709,9	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0,13	0,15	
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)		0,14	

  
Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



**CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO**

[ ASTM D-2216 ]

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
CANTERA : VESIQUE  
MATERIAL : ARENA GRUESA  
FECHA : 30/07/2020

PRUEBA N°	01	02	03
TARA N°			
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1106	1126	
TARA + SUELO SECO (gr)	1102.2	1120.6	
PESO DEL AGUA (gr)	3.8	5.4	
PESO DE LA TARA (gr)	167	201	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	935.2	919.6	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.41	0.59	
PROC. CONTENIDO HUMEDAD (%)		0.50	

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
Mg. Miguel Solís Jara  
JEFE

**ANEXO N° 04**

**Diseño de Mezcla  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

**Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad  
San Pedro**



**DISEÑO DE MEZCLA**

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
 TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO  
 CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
 FECHA : 30/07/2020

**ESPECIFICACIONES**

- La selección de las proporciones se hará empleando el metodo del ACI
- La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.

**MATERIALES**

**A.- Cemento :**

- Tipo I "Pacasmayo"
- Peso especifico ..... 3.08

**B.- Agua :**

- Potable, de la zona.

**C.-Agregado Fino :**

**CANTERA : VESIQUE**

- Peso especifico de masa 2.66
- Peso unitario suelto 1510 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1742 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de humedad 0.50 %
- Absorción 0.87 %
- Módulo de fineza 2.75

**D.- Agregado grueso**

**CANTERA : MEDINA**

- Piedra, perfil angular
- Tamaño Máximo Nominal "1"
- Peso especifico de masa 2.85
- Peso unitario suelto 1409 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado 1564 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de humedad 0.14 %
- Absorción 0.70 %

  
 Mg. Miguel Solar Jara  
 INGENIERO CIVIL





**SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO**

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4" .

**VOLUMEN UNITARIO DE AGUA**

Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4" , sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de "1" , el volumen unitario de agua es de 193 lt/m<sup>3</sup> .

**RELACIÓN AGUA - CEMENTO**

Se obtiene una relación agua - cemento de 0.684

**FACTOR DE CEMENTO**

F.C. : 193 / 0.684 = 282.164 kg/m<sup>3</sup> = 6.64 bolsas / m<sup>3</sup>

**VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS**

Cemento.....	282.164	kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva.....	202.233	lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino.....	875.226	kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso.....	1064.736	kg/m <sup>3</sup>

**PROPORCIONES EN PESO**

$$\frac{282.16}{282.16} : \frac{875.226}{282.16} : \frac{1064.74}{282.16}$$

$$1 : 3.1 : 3.77 : 30.46 \text{ lts / bolsa}$$

**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$1 : 3.07 : 4.01 : 30.46 \text{ lts / bolsa}$$

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
INGENIERÍA CIVIL  
Mg. Miguel Solar Jara

**ANEXO N° 05**

**Ensayo de Resistencia a la Flexión**

**Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad  
San Pedro**



**RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO - PATRON**  
**MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ**  
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
 TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO  
 REFORZADOS CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
 LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH  
 FECHA : 30/07/2020  
 MUESTRA : PATRON

R = Módulo de rotura

P = Máxima carga aplicada indicada por la maquina de ensayo

L = Longitud libre de apoyos

b = Ancho promedio de viga

d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

N°	ESPECIMEN		FECHA			Ancho b(cm)	Altura d(cm)	Longitud L(cm)	Carga P(kg)	Módulo Rotura R(kg/cm <sup>2</sup> )
	ELEMENTO	MOLDEO	ROTURA	EDAD						
01	PATRON VA-1	9/07/2018	16/07/2018	7	15.20	15.15	45	3208.0	41.35	
02	PATRON VA-2	9/07/2018	16/07/2018	7	15.15	15.20	45	3189.0	41.00	
03	PATRON VA-3	9/07/2018	16/07/2018	7	15.20	15.20	45	3223.0	41.30	
04	PATRON VA-4	9/07/2018	23/07/2018	14	15.20	15.20	45	3302.0	42.31	
05	PATRON VA-5	9/07/2018	23/07/2018	14	15.15	15.15	45	3281.0	42.46	
06	PATRON VA-6	9/07/2018	23/07/2018	14	15.15	15.20	45	3264.0	41.96	
07	PATRON VA-7	9/07/2018	8/08/2018	28	15.20	15.20	45	3527.0	45.19	
08	PATRON VA-8	9/07/2018	8/08/2018	28	15.15	15.20	45	3515.0	45.19	
09	PATRON VA-9	9/07/2018	8/08/2018	28	15.20	15.15	45	3481.0	44.90	

  
 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 30000 CHIMBOTE PERU  
 JAVIER EDISON MENDEZ SILVA



**RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO - EXPERIMENTAL AL 0.50%  
MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ**  
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
 TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO  
 REFORZADOS CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
 LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH  
 FECHA : 30/07/2020  
 MUESTRA : EXPERIMENTAL

- R = Módulo de rotura
- P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo
- L = Longitud libre de apoyos
- b = Ancho promedio de viga
- d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

N°	ESPECIMEN ELEMENTO	FECHA			Ancho b(cm)	Altura d(cm)	Longitud L(cm)	Carga P(kg)	Módulo Rotura R(kg/cm²)
		MOLDEO	ROTURA	EDAD					
01	EXPERIMENTAL VA-1	9/05/2019	16/05/2019	7	15.00	15.10	45	3288.0	43.27
02	EXPERIMENTAL VA-2	9/05/2019	16/05/2019	7	15.10	15.00	45	3316.0	43.92
03	EXPERIMENTAL VA-3	9/05/2019	16/05/2019	7	15.00	15.00	45	3252.0	43.96
04	EXPERIMENTAL VA-4	9/05/2019	23/05/2019	14	15.00	15.00	45	3355.0	44.73
05	EXPERIMENTAL VA-5	9/05/2019	23/05/2019	14	15.00	15.15	45	3402.0	44.47
06	EXPERIMENTAL VA-6	9/05/2019	23/05/2019	14	15.10	15.00	45	3379.0	44.75
07	EXPERIMENTAL VA-7	9/05/2019	6/06/2019	28	15.00	15.00	45	3795.0	50.60
08	EXPERIMENTAL VA-8	9/05/2019	6/06/2019	28	15.00	15.10	45	3809.0	50.12
09	EXPERIMENTAL VA-9	9/05/2019	6/06/2019	28	15.10	15.00	45	3813.0	50.50

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Mg. Miguel Solar Jara



**RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO - EXPERIMENTAL AL 1.00%**  
**MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ**  
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXION E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO  
REFORZADOS CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)  
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH  
FECHA : 30/07/2020  
MUESTRA : EXPERIMENTAL

R = Módulo de rotura

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo

L = Longitud libre de apoyos

b = Ancho promedio de viga

d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

N°	ESPECIMEN ELEMENTO	FECHA			Ancho b(cm)	Altura d(cm)	Longitud L(cm)	Carga P(kg)	Módulo Rotura R(kg/cm <sup>2</sup> )
		MOLDEO	ROTURA	EDAD					
01	EXPERIMENTAL VA-1	9/05/2019	16/05/2019	7	15.10	15.00	45	1862.0	24.85
02	EXPERIMENTAL VA-2	9/05/2019	16/05/2019	7	15.10	15.00	45	1966.0	26.04
03	EXPERIMENTAL VA-3	9/05/2019	16/05/2019	7	15.00	15.10	45	1762.0	23.18
04	EXPERIMENTAL VA-4	9/05/2019	23/05/2019	14	15.00	15.10	45	2198.0	28.92
05	EXPERIMENTAL VA-5	9/05/2019	23/05/2019	14	15.10	15.15	45	2195.0	28.50
06	EXPERIMENTAL VA-6	9/05/2019	23/05/2019	14	15.10	15.00	45	2201.0	29.15
07	EXPERIMENTAL VA-7	9/05/2019	6/06/2019	28	15.10	15.00	45	2481.0	32.66
08	EXPERIMENTAL VA-8	9/05/2019	6/06/2019	28	15.10	15.10	45	2536.0	33.15
09	EXPERIMENTAL VA-9	9/05/2019	6/06/2019	28	15.00	15.10	45	2502.0	32.92

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
Mg. Miguel Ángel Jara

**ANEXO N° 06**

**Ensayo de Resistencia al Impacto**

**Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - Universidad  
San Pedro**



**RESISTENCIA AL IMPACTO DE DISCOS DE CONCRETO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - PATRON**  
(ACI 544 2R 1989, ASTM D 1557)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)"  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
FECHA : 30/07/2020

DISCO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4.536 kg DESDE 467.2 mm DE CAIDA LIBRE			
				A LA 1era FISURA	PROM. A LA 1era FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
D1	10/05/2019	17/05/2019	7	7	8	9	10
D2				9		11	
D3				9		10	
D1	10/05/2019	24/05/2019	14	12	11	13	13
D2				10		12	
D3				11		13	
D1	10/05/2019	07/06/2019	28	12	13	14	15
D2				13		15	
D3				14		15	

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
Mg. Miguel Solar Jara



**RESISTENCIA AL IMPACTO DE DISCOS DE CONCRETO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  EXPERIMENTAL  
AL 0.50 %**

(ACI 544 2R 1989, ASTM D 1557)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)"  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
FECHA : 30/07/2020

DISCO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4,536 kg DESDE 457.2 mm DE CAIDA LIBRE			
				A LA 1era FISURA	PROM. A LA 1era FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
D1	10/05/2019	17/05/2019	7	11	10	13	13
D2				10		13	
D3				9		12	
D1	10/05/2019	24/05/2019	14	14	13	16	15
D2				13		15	
D3				12		14	
D1	10/05/2019	07/06/2019	28	13	14	16	17
D2				15		17	
D3				14		17	

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Mg. Jaiques Salar Jara  
JERE





**RESISTENCIA AL IMPACTO DE DISCOS DE CONCRETO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  EXPERIMENTAL  
AL 1.00 %**

(ACI 544 2R 1989, ASTM D 1557)

SOLICITA : BACH. JAVIER EDISON MENDEZ SILVA  
TESIS : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN E IMPACTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS  
CON FIBRA DE FURCRAEA ANDINA (PENCA)"  
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH  
FECHA : 30/07/2020

DISCO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	N° DE IMPACTOS DE 4.536 kg DESDE 457.2 mm DE CAIDA LIBRE			
				A LA 1era FISURA	PROM. A LA 1era FISURA	A LA ROTURA	PROM. A LA ROTURA
D1	10/05/2019	17/05/2019	7	13	13	15	16
D2				14		16	
D3				13		16	
D1	10/05/2019	24/05/2019	14	16	16	18	18
D2				16		19	
D3				15		17	
D1	10/05/2019	07/06/2019	28	19	19	21	21
D2				17		20	
D3				20		22	

  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Mg. Miguel Solís Jara  
JEFE

**ANEXO N° 07**

**Tabla T Student Nivel de Significancia Dos Colas**

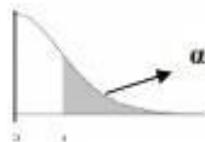
**Tabla de valores críticos de la distribución t de Student**



**Niveles de Significancia DOS COLA**

	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97
	0.250	0.125	0.100	0.050	0.025	0.013	0.010	0.005	0.003

**Niveles de Significancia UNA COLA**



**ANEXO N° 08**

**Panel Fotográfico**



**Figura 29:** Características de la planta de furcraea andina.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 30:** Plantas de furcraea andina usada en la investigación.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 31:** Corte de las hojas de *furcraea andina* utilizando un machete.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 32:** Recolección de las hojas de *furcraea andina*.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 33:** Macerado de la hoja de furcraea andina previamente golpeado.  
*Fuente:* El autor, 2020.



**Figura 34:** Raspado de la hoja para obtener la fibra de furcraea andina.  
*Fuente:* El autor, 2020.



**Figura 35:** *Fibra de furcraea andina (penca).*  
**Fuente:** *El autor, 2020.*



**Figura 36:** *Medición de la fibra de furcraea andina cada 2.5 cm*  
**Fuente:** *El autor, 2020.*





**Figura 37:** Corte de la fibra de furcraea andina en longitud de 2.5 cm  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 38:** Parafina en bloque.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 39:** Llevando la parafina de estado sólido ha estado líquido a fuego rápido.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 40:** Tratamiento de la fibra de furcraea andina con parafina.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 41:** Separación manual de las fibras de *furcraea andina* con parafina.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 42:** Fibra de *furcraea andina* (penca) con tratamiento.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 43:** *Recolección de agregados.*

**Fuente:** *El autor, 2020.*



**Figura 44:** *Visita a la UNMSM para realizar el ensayo de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE) de la fibra de furcraea andina.*

**Fuente:** *El autor, 2020.*



**Figura 45:** Visita a la UNALM para realizar el ensayo de pH y resistencia a tracción de la fibra de *furcraea andina*.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 46:** Tomando datos del diámetro de la fibra de *furcraea andina*.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 47:** Secado de la fibra de furcraea andina en horno a 100°C durante 24 horas.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 48:** Análisis granulométrico (tamizado).  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 49:** Análisis granulométrico (peso del agregado fino y grueso).  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 50:** Peso unitario suelto del agregado fino.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 51:** Peso unitario suelto del agregado grueso.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 52:** Peso unitario compactado del agregado fino y grueso.

**Fuente:** El autor, 2020.





**Figura 53:** Peso de la fiola más el agregado fino para el cálculo del peso específico.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 54:** Peso del agregado grueso para el cálculo del peso específico.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 55:** Colocación del agregado fino en el molde cónico de Absorción y retiro del molde en forma vertical.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 56:** Limpieza y aplicación de desmoldante en los moldes de madera.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 57:** Limpieza y aplicación de petróleo en los moldes de acero.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 58:** Moldes fabricados de tubos de PVC de 6 pulg. de diámetro, fijado y asegurados con tornillos y alambres de acero negro N°16 sobre una superficie de triplay, para la elaboración de discos.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 59:** Peso de material necesario para elaborar 9 vigas y 9 discos para cada muestra.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 60:** Preparación de la mezcla patrón y experimental.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 61:** Adición de la fibra de furcraea andina en la mezcla.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 62:** Colocación de la mezcla de concreto en el interior de los moldes.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 63:** Compactación de la mezcla en cada capa con 25 penetraciones de la varilla.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 64:** Golpeó de los lados del molde ligeramente por 12 veces con el mazo de goma.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 65:** Enrasado del exceso de mezcla con la varilla de compactación.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 66:** Identificación de los especímenes con el número, fecha y tipo de dosificación.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 67:** Desenfofrado de las vigas de concreto.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 68:** Desenfofrado de los discos de concreto.  
**Fuente:** El autor, 2020.





**Figura 69:** Curado de los especímenes de concreto en cilindros cubiertos con agua.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 70:** Compactación y alzado del molde de cono de abrams.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 71:** Medición del asentamiento del concreto patrón y experimental.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 72:** Máquina de ensayo a flexión de vigas de concreto.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 73:** Colocación de los especímenes en la máquina de ensayo a flexión.  
**Fuente:** El autor, 2020.

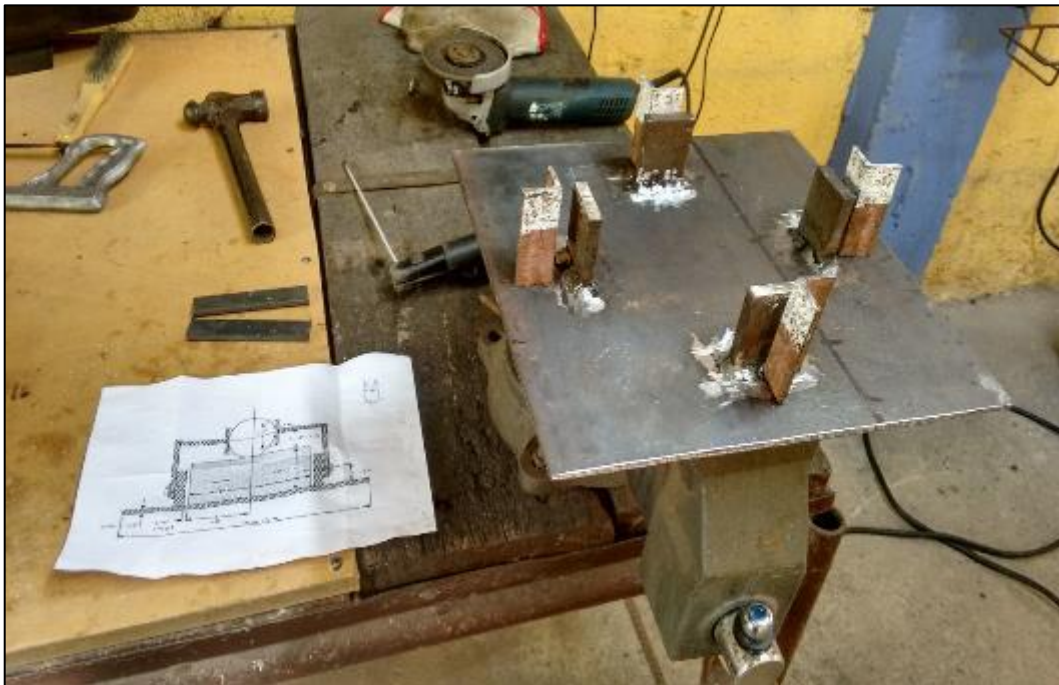


**Figura 74:** Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos de concreto.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 75:** (a) Falla frágil de un espécimen sin fibras, (b) Falla dúctil debido a las fibras de refuerzo, a flexión.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 76:** Fabricación de dispositivo para ensayo a impacto de discos de concreto.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 77:** Mostrando el disco de concreto en el dispositivo fabricado para el ensayo a impacto.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 78:** Colocación de los especímenes en el dispositivo de ensayo a impacto.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 79:** Se dejó caer libremente el martillo sobre la esfera de acero.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 80:** Ensayo de resistencia al impacto a la primera fisura y a la rotura.  
**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 81:** (a) Falla frágil de un espécimen sin fibras, (b) Falla dúctil debido a las fibras de refuerzo, a impacto.

**Fuente:** El autor, 2020.



**Figura 82:** Los especímenes con fibra no generaron desprendimientos abruptos.

**Fuente:** El autor, 2020.