

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

## **ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**AUTORES:**

**MARY ELIZABETH AMAGUAÑA PILICITA**  
mary.amaguana@epn.edu.ec

**LEIDY JOHANA GUAMÁN MUGMAL**  
leidy.guaman@epn.edu.ec

**DIRECTOR: MSc. ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ**  
nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

**Quito, Agosto 2022**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Amaguaña Pilicita Mary Elizabeth y Guamán Mugmal Leidy Johana, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**MARY ELIZABETH AMAGUAÑA  
PILICITA**

---

**LEIDY JOHANA GUAMÁN  
MUGMAL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Amaguaña Pilicita Mary Elizabeth y Guamán Mugmal Leidy Johana, bajo mi supervisión.

---

**MSc. ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, Luis Amaguaña y Blanca Pilicita por darme todo su amor, por ser los pilares de mi formación personal y motivo de mi superación académica. Muchas gracias papitos por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa, por darme la libertad de tomar mis propias decisiones y por depositarme toda su confianza. Los amo infinitamente.

A mi hermano, Dennis Javier, por ser la personita más importante en mi vida y la que también me motiva a superarme. Gracias por estar conmigo en todo momento.

A mi novio, Christian Alexander, por brindarme todo su amor, apoyo y comprensión. Te amo mucho mi amor.

A mi hija, Ada Emily, por llenarme de mucha felicidad y por ser el motivo más importante por el cual superarme. Te adoro mi bebé nucita.

A mi prima, Johana Magaly, por estar ahí para mí, por escucharme y alentarme.

A mis mascotas, Bianca (+), Capulina, Francisco (+), Niña, Saraby, Mashi y Mustafá por alegrarme la vida con sus intensas bienvenidas, con esos ojitos tan bonitos y esas sonrisas que llenan mi vida de mucha felicidad.

A mis amigos, Gaby, Estefy, Amanda y Emilio por ser grandiosas personas y por acompañarnos en las buenas, malas y peores durante toda la formación académica.

A mi compañera de tesis y amiga, Leidy Guamán, por la buena comunicación y compromiso durante todo el proceso de ejecución del trabajo de titulación.

*Mary Elizabeth Amaguaña Pilicita*

## AGRADECIMIENTO

A mis padres Vicente Guamán y Alexandra Mugmal por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional en cada una de mis metas y siempre ayudarme a cumplirlas. Por siempre buscar lo mejor para mi y por enseñarme a no rendirme jamás, siempre han sido y serán el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida.

A mi hermana Sarita quien me ha acompañado en cada momento de mi vida, por sacarme siempre una sonrisa aun en los peores momentos y ayudarme a ser mejor persona cada día, siempre serás el mejor complemento de mi vida.

A mis tíos María y Mauricio por acogerme en su hogar en el tiempo en que realicé mis estudios, por tratarme como una hija más y acompañarme en cada momento de mi vida universitaria.

A mis primos Edison y Brittany por llenar mi vida de alegría y ser como hermanos.

A mis primos Elvia y Luis por estar siempre al pendiente de mí dándome su apoyo.

A mi compañera de tesis Mary Amaguaña por su amistad y compromiso en la realización de este proyecto.

Finalmente, a todos mis amigos que fueron parte de mi vida universitaria, gracias por todos los momentos vividos y su amistad.

*Leidy Johana Guamán Mugmal*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Politécnica Nacional por impartirnos los conocimientos necesarios para nuestra formación académica.

Al LEMSUR por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para desarrollar los procesos prácticos necesarios para la elaboración de este proyecto de titulación.

A nuestro director de tesis Msc. Nicolay Yanchapanta por haber aportado con sus conocimientos y permitir que se lleve a cabo este proyecto de titulación.

Al Ing. Majid Khorami por ser un pilar importante en esta investigación, por su constante ayuda y por aportar con sus conocimientos.

*Mary Amaguaña y Leidy Guamán*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Luis y Blanca y a mi hermanito Dennis Javier pues son ustedes quienes con mucho amor me educaron e inspiraron a cumplir paso a pasito con mis sueños.

*Mary Elizabeth Amaguaña Pilicita*

## **DEDICATORIA**

A mis padres Vicente y Alexandra por darme todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida para cumplir todos mis sueños.

A mi hermana Sarita por ser mi mejor amiga y siempre ser la persona que me acompañaba en todas las locuras.

*Leidy Johana Guamán Mugmal*

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	VI
CONTENIDO .....	VII
RESUMEN .....	XVI
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.1. TEÓRICA .....	3
1.3.2. METODOLÓGICA .....	3
1.3.3. PRÁCTICA .....	6
CAPÍTULO II .....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. MARCO CONCEPTUAL .....	7
2.2. GENERALIDADES DEL HORMIGÓN SIMPLE .....	8
2.2.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	11
2.3. FISURACIÓN EN EL HORMIGÓN SIMPLE .....	17
2.3.1. DEFINICIÓN .....	17
2.3.2. FISURACIÓN EN EL HORMIGÓN EN ESTADO PLÁSTICO .....	18
2.3.3. FISURACIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO .....	20
2.3.4. CONSECUENCIAS .....	22
2.4. CONDICIONES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL HORMIGÓN .....	23
2.5. FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL .....	24

2.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS VEGETALES .....	24
2.6.	FIBRAS COMO REFUERZO EN EL HORMIGÓN .....	25
2.7.	FIBRA DE ESTOPA DE COCO .....	25
2.7.1.	GENERALIDADES .....	25
2.7.2.	OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO .....	27
2.7.3.	TRATAMIENTO QUÍMICO (MERCERIZACIÓN).....	29
CAPÍTULO III .....		30
METODOLOGÍA .....		30
3.1.	CÁMARA DE AIRE CALIENTE .....	30
3.1.1.	MATERIALES .....	30
3.1.2.	MODELOS.....	31
3.1.3.	EQUIPO.....	34
3.2.	MATERIALES PARA EL HORMIGÓN SIMPLE .....	36
3.2.1.	CEMENTO.....	36
3.2.2.	AGREGADOS.....	38
3.3.	FIBRA DE ESTOPA DE COCO .....	53
3.3.1.	OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA FIBRA.....	53
3.3.2.	LONGITUD DE LA FIBRA.....	54
3.3.3.	TRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA .....	55
3.4.	MÉTODO DE ENSAYOS.....	57
3.4.1.	ENSAYO DE FIBRA DE ESTOPA DE COCO .....	57
3.4.2.	ENSAYO DE ULTRASONIDO .....	59
3.4.3.	ENSAYO DE FUERZA.....	60
3.5.	HORMIGÓN CON FIBRA DE COCO .....	64
3.5.1.	TIPO Y CANTIDAD DE PROBETAS.....	64
3.5.2.	COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA MEZCLA .....	65
3.6.	HORMIGONADO EN PLACAS .....	68
3.7.	CONDICIONES AMBIENTALES CONTROLADAS .....	69
3.7.1.	VELOCIDAD DEL VIENTO .....	69
3.7.2.	TEMPERATURA.....	70

3.8. PÉRDIDA DE HUMEDAD .....	71
3.9. MEDICIÓN DE FISURAS.....	71
3.9.1. LONGITUD DE FISURAS .....	71
3.9.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS .....	72
CAPÍTULO IV.....	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
4.1. FIBRA DE ESTOPA DE COCO .....	75
4.1.1. TRATAMIENTO QUÍMICO.....	75
4.1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	75
4.2. TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE VIENTO .....	76
4.3. DOSIFICACIÓN.....	78
4.3.1. DOSIFICACIÓN EN PLACAS G Y P.....	78
4.3.2. DOSIFICACIÓN EN CILINDROS Y VIGAS.....	80
4.4. MEDICIÓN DE FISURAS.....	82
4.4.1. LONGITUD DE FISURAS .....	82
4.4.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS .....	86
4.5. PÉRDIDA DE HUMEDAD .....	87
4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	89
4.6.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	89
4.6.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	92
CAPÍTULO V.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1. CONCLUSIONES .....	97
5.2. RECOMENDACIONES .....	100
Bibliografía .....	102
ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Resistencia promedio requerida a compresión ( $f'_{cr}$ ).....	12
<b>Tabla 2</b>	Asentamientos sugeridos para varios tipos de construcción .....	12
<b>Tabla 3</b>	Tamaño máximo del agregado grueso en función del tipo de construcción .....	13
<b>Tabla 4</b>	Cantidad aproximada de agua y contenido de aire .....	14
<b>Tabla 5</b>	Relación agua/cemento vs $f'_{c}$ a los 28 días .....	15
<b>Tabla 6</b>	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón .....	16
<b>Tabla 7</b>	Composición química de la estopa de coco y de la fibra de coco.....	26
<b>Tabla 8</b>	Cantidad necesaria de muestra de agregado grueso.....	40
<b>Tabla 9</b>	Disposición de tamices para agregados gruesos .....	41
<b>Tabla 10</b>	Cantidad de agregado mínimo para el ensayo .....	42
<b>Tabla 11</b>	Determinación de moldes de ensayo .....	44
<b>Tabla 12</b>	Gradación del agregado de ensayo .....	46
<b>Tabla 13</b>	Resumen de caracterización del agregado grueso .....	48
<b>Tabla 14</b>	Disposición de tamices para agregado fino.....	48
<b>Tabla 15</b>	Escala de Gardner para comparación de color normalizado .....	52
<b>Tabla 16</b>	Resumen de caracterización del agregado fino .....	53
<b>Tabla 17</b>	Cantidad de probetas contempladas en el proyecto.....	65
<b>Tabla 18</b>	Dosificación inicial para $f'_{c}=210 \text{ kgf/cm}^2$ , agregado grueso $\frac{3}{4}$ ".....	66
<b>Tabla 19</b>	Relación entre el tamaño del agregado y espesor de la placa G.....	67
<b>Tabla 20</b>	Dosificación final para $f'_{c}=200 \text{ kgf/cm}^2$ , agregado grueso $\frac{3}{8}$ " .....	68
<b>Tabla 21</b>	Velocidades del ventilador .....	69
<b>Tabla 22</b>	Propiedades de las fibras de estopa de coco.....	75
<b>Tabla 23</b>	Dosificación para placas G sin fibras .....	78
<b>Tabla 24</b>	Dosificación para placas P sin fibras.....	78
<b>Tabla 25</b>	Dosificación para placas G con 0.5% de fibra .....	79
<b>Tabla 26</b>	Dosificación para placas P con 0.5% de fibra .....	79
<b>Tabla 27</b>	Dosificación para placas G con 0.75% de fibra .....	79
<b>Tabla 28</b>	Dosificación para placas P con 0.75% de fibra .....	79

<b>Tabla 29</b>	Dosificación para placas G con 1% de fibra .....	80
<b>Tabla 30</b>	Dosificación para placas P con 1% de fibra .....	80
<b>Tabla 31</b>	Dosificación para cilindros sin fibras .....	80
<b>Tabla 32</b>	Dosificación para vigas sin fibras .....	81
<b>Tabla 33</b>	Dosificación para cilindros con 0.5% de fibra .....	81
<b>Tabla 34</b>	Dosificación para vigas con 0.5% de fibra.....	81
<b>Tabla 35</b>	Dosificación para cilindros con 0.75% de fibra .....	81
<b>Tabla 36</b>	Dosificación para vigas con 0.75% de fibra .....	82
<b>Tabla 37</b>	Dosificación para cilindros con 1% de fibra .....	82
<b>Tabla 38</b>	Dosificación para vigas con 1% de fibra.....	82
<b>Tabla 39</b>	Longitud de fisuras de 6 horas y 18 horas.....	83
<b>Tabla 40</b>	Profundidad de fisuras medidas con el equipo de ultrasonido.....	87
<b>Tabla 41</b>	Densidad de cilindros [T/m <sup>3</sup> ].....	89
<b>Tabla 42</b>	Resistencia de cilindros [kgf/cm <sup>2</sup> ].....	91
<b>Tabla 43</b>	Carga máxima soportada en vigas [kN] .....	93
<b>Tabla 44</b>	Velocidad de aplicación de carga en vigas [N/seg] .....	94
<b>Tabla 45</b>	Módulo de rotura [MPa].....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fisuración en forma de mapa por contracción plástica y descamación	18
<b>Figura 2.</b> Clasificación de las fibras naturales de origen vegetal	24
<b>Figura 3.</b> Corte transversal de un fruto de coco	26
<b>Figura 4.</b> Diagrama de secuencia de la extracción de la fibra de coco	27
<b>Figura 5.</b> Desfibrado manual de estopas enriadas	28
<b>Figura 6.</b> Extracción de fibras de coco empleando un rodillo de púas	28
<b>Figura 7.</b> Túnel de viento	31
<b>Figura 8.</b> a) Bloque 1: Salida del flujo de aire. b) Bloque 1: Abertura para el ventilador. c) bloque 2: Cámara de transferencia del aire caliente	32
<b>Figura 9.</b> Modelo Final: a) Bloque 1; b) Rejilla profunda; c) Bloque 2	33
<b>Figura 10.</b> Bloque 1 detallado	33
<b>Figura 11.</b> Bloque 2 detallado	34
<b>Figura 12.</b> Anemómetro: sensor de temperatura y velocidad del viento	34
<b>Figura 13.</b> Calefactor de circulación forzada	35
<b>Figura 14.</b> Ventilador oscilante de tres velocidades	35
<b>Figura 15.</b> Balanza digital con apreciación de 40 kg	36
<b>Figura 16.</b> Cemento Holcim Fuerte Tipo GU	37
<b>Figura 17.</b> Proceso para la obtención de la densidad real del cemento	38
<b>Figura 18.</b> Cantera de agregados HOLCIM-Pifo	39
<b>Figura 19.</b> Agregados en presentación de sacos de 40 kg	39
<b>Figura 20.</b> Parte del proceso para la obtención de la densidad relativa y absorción	43
<b>Figura 21.</b> Masa del molde y la muestra en compactación	45
<b>Figura 22.</b> Tamizado del agregado fino	49
<b>Figura 23.</b> Parte del proceso de densidad relativa y absorción del agregado fino	50
<b>Figura 24.</b> Enrasado del agregado fino para la densidad suelta	51
<b>Figura 25.</b> Fibra comprada en Hidroponía-Ecuador	54
<b>Figura 26.</b> Proceso de limpieza y corte de la fibra	54
<b>Figura 27.</b> Preparación de la solución de sosa cáustica al 4%	55

<b>Figura 28.</b> Estopa sumergida en sosa cáustica con un PH de 14 (Muy alcalino) .	56
<b>Figura 29.</b> Estopa lavada con un PH de 7 (Neutro) .....	56
<b>Figura 30.</b> Procedimiento previo a la caracterización de las fibras .....	57
<b>Figura 31.</b> Prueba de tracción ASTM C1557-03 (2017): a) Prueba universal; b) detalles de las mordazas y muestra .....	58
<b>Figura 32.</b> Equipo de ultrasonido.....	59
<b>Figura 33.</b> Posicionamiento de los transductores .....	60
<b>Figura 34.</b> Tipo de fallas en cilindros sometidos a una fuerza de compresión .....	62
<b>Figura 35.</b> Ensayo a flexión, según el método de carga a los tercios de luz libre	63
<b>Figura 36.</b> Tipo de probetas usadas en el proyecto .....	65
<b>Figura 37.</b> Elaboración de la mezcla de hormigón con fibra .....	69
<b>Figura 38.</b> Anemómetro para medir velocidad y temperatura del viento .....	70
<b>Figura 39.</b> Registro de temperatura máxima en la caja de ensayo .....	71
<b>Figura 40.</b> Distinción de fisuras en la placa .....	72
<b>Figura 41.</b> Pantalla de comandos del equipo de ultrasonido.....	72
<b>Figura 42.</b> Uso de los sensores del equipo de ultrasonido.....	73
<b>Figura 43.</b> Representación gráfica de la Ecuación 28.....	74
<b>Figura 44.</b> Proceso de medición de las fisuras en el laboratorio .....	74
<b>Figura 45.</b> Temperatura promedio vs Edad del hormigón.....	76
<b>Figura 46.</b> Velocidad promedio del viento vs Edad del hormigón .....	77
<b>Figura 47.</b> Resumen de datos de temperatura y velocidad del viento.....	77
<b>Figura 48.</b> Análisis de fisuración en placas G 0% de fibra de estopa de coco .....	84
<b>Figura 49.</b> Análisis de fisuración en placas G 0.5% de fibra de estopa de coco ..	84
<b>Figura 50.</b> Análisis de fisuración en placas G 0.75% de fibra de estopa de coco	85
<b>Figura 51.</b> Análisis de fisuración en placas G 1% de fibra de estopa de coco .....	85
<b>Figura 52.</b> Longitud total de fisuras dentro de 24 horas en placas G .....	86
<b>Figura 53.</b> Promedio de la pérdida de humedad por variable .....	88
<b>Figura 54.</b> Pérdida de humedad general .....	88
<b>Figura 55.</b> Cilindro ensayado a compresión .....	89
<b>Figura 56.</b> Densidad de cilindros-S.T. y C.T. ....	90

<b>Figura 57.</b> Resistencia de cilindros-S.T. ....	91
<b>Figura 58.</b> Resistencia de cilindros-C.T. ....	92
<b>Figura 59.</b> Vigas ensayadas a flexión .....	92
<b>Figura 60.</b> Carga Máxima en vigas-S.T. ....	93
<b>Figura 61.</b> Carga Máxima en vigas-C.T. ....	94
<b>Figura 62.</b> Módulo de rotura (S.T.) .....	95
<b>Figura 63.</b> Módulo de rotura (C.T.) .....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. DISEÑO DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE .....	112
ANEXO 2. FABRICACIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE.....	117
ANEXO 3. ENSAYOS DE CEMENTO.....	120
ANEXO 4. ENSAYOS DE AGREGADO GRUESO.....	122
ANEXO 5. ENSAYOS DE AGREGADO FINO.....	127
ANEXO 6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	131
ANEXO 7. ENSAYOS DE LAS FIBRAS DE ESTOPA DE COCO .....	134
ANEXO 8. REGISTROS DE TEMPERATURA, VELOCIDAD DE VIENTO Y PÉRDIDA DE HUMEDAD .....	139
ANEXO 9. MEDICIÓN DE FISURAS .....	143
ANEXO 10. ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.....	151

## RESUMEN

La presente investigación analiza la fisuración debida a la contracción plástica producto del secado acelerado en la superficie de las placas de hormigón. Estas placas se confeccionaron con diferentes porcentajes de adición de fibra de estopa de coco (0%, 0.5%, 0.75% y 1%) en estado natural y con tratamiento químico, además de condiciones ambientales impuestas. A partir de los resultados conseguidos por Rodríguez y Vélez (2022) para el tratamiento de la fibra se decidió emplear el mejor tratamiento obtenido en su investigación, por lo tanto, se trabajó con la mercerización (NaOH).

Las fibras fueron adquiridas en una distribuidora de sustratos naturales, las cuales requerían una limpieza superficial y un corte de acuerdo con la norma ACI 544.4R-18 (2018) donde señala que la longitud recomendable de fibras naturales es de 4 cm. Todo el procedimiento se realizó en las instalaciones del LEMSUR, donde se procesó un muestreo de 7 tipologías en placas para la fisuración, cada una de estas configuraciones acompañadas de 3 cilindros y 3 vigas ensayadas a 28 días de curado, con el fin de evidenciar las propiedades mecánicas de las distintas mezclas.

Para el ensayo de placas se construyó una cámara de aire caliente en madera, donde se empleó un calefactor y ventilador para simular condiciones ambientales que facilitaron la formación temprana de fisuras, así como también la recolección de datos de la temperatura, velocidad de viento, pérdida de humedad y un registro fotográfico del proceso de fisuración para la determinación de la longitud total de las fisuras, además del uso del equipo de ultrasonido para el cálculo de la profundidad de estas fisuras.

Tanto para el mejoramiento de propiedades mecánicas como la reducción de las fisuras en la superficie del hormigón la mejor composición porcentual a usarse es del 0.75% de fibra de estopa de coco con el tratamiento de mercerización, ya que de tener un total de 4.57 m en fisuras en las placas al 0% se reduce a 1.77 m con la adición de fibras al 0.75%.

## ABSTRACT

The present investigation analyzes cracking due to plastic shrinkage resulting from accelerated drying on the surface of concrete plates. These plates were made with different percentages of coconut tow fiber addition (0%, 0.5%, 0.75% and 1%) in natural state and with chemical treatment, in addition to the environmental conditions imposed. Based on the results obtained by Rodriguez & Velez (2022) for fiber treatment, it was decided to use the best treatment obtained in their research, so mercerization (NaOH) was used.

The fibers were purchased from a distributor of natural substrates, which required surface cleaning and cutting according to ACI 544.4R-18 (2018) where it states that the recommended length of natural fibers is 4 cm. The entire procedure was carried out at the LEMSUR facilities, where a sampling of 7 typologies in plates for cracking was processed, each of these configurations accompanied by 3 cylinders and 3 beams tested at 28 days of curing, in order to evidence the mechanical properties of the different mixtures.

For the testing of the plates, a hot air chamber was built in wood, where a heater and a fan were used to simulate the environmental conditions that facilitate the early formation of cracks, as well as taking data on temperature, wind speed, moisture loss and a photographic record of the cracking process for the determination of the total length of the cracks, in addition to the use of ultrasound equipment for the calculation of the depth of the cracks.

Both for the improvement of mechanical properties and for the reduction of cracks in the concrete surface, the best percentage composition to use is 0.75% coconut tow fiber with the mercerization treatment, since from having a total of 4.57 m in cracks in the plates at 0%, it is reduced to 1.77 m with the addition of 0.75% of fibers.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La fibra de estopa de coco es considerada un residuo sólido excesivo y sin uso adicional para quienes desconocen su aplicabilidad en diferentes campos como la construcción, agricultura, etcétera. Esta fibra no aprovechada correctamente genera un gran golpe en el medio ambiente consecuencia de la extensa producción del coco y productos derivados del mismo (Villegas y Vélez, 2007). Por esta razón, se trata de reciclar de mejor manera la fibra, una de las opciones sería emplearla como materia prima fibrosa (agregado liviano) convirtiéndola en una alternativa constructiva eco amigable que apoye al urbanismo sustentable, así como también evite la incineración y reduzca el impacto ambiental.

Con el objeto de aprovechar las fibras naturales, se considera un muestreo de dos segmentos que se componen de fibras en estado natural y con un tratamiento químico, con el fin de asegurar su durabilidad, controlar su degradación y aplicarlo con fines estructurales (Escudero y Aristizabal, 2016).

Los materiales tradicionales combinados con fibra natural resultan beneficiosos para el diseño ingenieril e industrial, pues tienden a mejorar las propiedades mecánicas, es decir, no solo la resistencia del hormigón a la compresión como tal, sino también de forma significativa en la resistencia a la tracción, a la flexión, ductilidad, durabilidad y tenacidad, además de aminorar las fisuras y el peso de las estructuras (Amaziah y Nnodi, 2017). En este caso las fibras de estopa de coco actúan como un refuerzo adicional en el hormigón y se complementan con una alternativa que permita controlar la degradación de la fibra (Escudero y Aristizabal, 2016).

El estudio se enfoca en analizar la fisuración debida a la contracción plástica del hormigón producida por el secado acelerado, para así poder comparar si existe mejoras en su comportamiento con respecto a la metodología tradicional si se adicionan fibras de estopa de coco. Es significativo considerar que esta fibra posee

la capacidad de elongarse más allá de su límite elástico sin romperse y también absorber un estiramiento consistente cuando resiste cargas (Soluciones Limitadas, 2012) por ende, representaría una forma de refuerzo para el hormigón.

La fisuración por contracción ocurre cuando la humedad contenida en el área superficial de la mezcla del concreto recién colocado se evapora más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación ya sea en clima caluroso o frío. Esto se concibe si el elemento está sujeto a la combinación de variaciones entre la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Debido a la restricción proporcionada por el hormigón debajo de la capa superficial que se seca; en estado débil, plástico y en proceso de rigidización, se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas, pero de profundidad variable (ACI 224, 2001).

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la fisuración producto de la contracción plástica por secado acelerado en placas de hormigón con diferente composición porcentual de fibras de estopa de coco en estado natural y con tratamiento químico, de esta manera obtener la alternativa más idónea para reducir fisuras en el hormigón.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir una cámara de corriente de aire caliente que permita acelerar el proceso de secado del hormigón y a su vez evidenciar fotográficamente el desarrollo de fisuras debidas a la contracción contenida.
- Emplear las fibras de estopa de coco (en condición natural y con tratamiento químico) como refuerzo adicional en el hormigón y disminuir la fisuración desarrollada en el proceso de secado.
- Evaluar comparativamente las placas fisuradas producto de las diferentes composiciones porcentuales de fibra de estopa de coco, con el fin de diagnosticar la oposición a la fisuración y su aplicabilidad en grandes áreas.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1. TEÓRICA**

Las estructuras de hormigón armado son de naturaleza rígida con alta capacidad de carga, pero de naturaleza frágil si se contempla solo al hormigón, esto debido a la baja capacidad de deformación por tracción y tenacidad a la fractura (Amaziah y Nnodi, 2017). De igual manera los cambios volumétricos que ocurren por la contracción, exposición química y tensiones térmicas en etapas posteriores, dan como resultado la formación de fisuras en el hormigón (Goushis y Mini, 2021).

La contracción del hormigón por cambio de volumen de un elemento representa una de las propiedades más perjudiciales y objetables, ya que da paso a la aparición de fisuras que desacreditan la integridad estructural o proyectan una imagen antiestética, especialmente en suelos y pavimentos. En general, la contracción puede darse por: contracción autógena, contracción plástica, contracción por secado y contracción por carbonatación (Mushtaq et al., 2021).

El presente estudio considera la contracción plástica, la cual se origina a partir de la pérdida de humedad del hormigón, misma que puede contraerse hasta un 1% (ACI 224, 2001). Si la contracción se da por secado diferencial, se obtiene un esfuerzo de tracción en la superficie expuesta del hormigón provocando la aparición de fisuras (Kim y Lee, 1998). En términos de magnitud la contracción se da principalmente por las características y proporción de los agregados, además de la relación agua/cemento en la mezcla, es decir, a mayor cantidad de agregado grueso, menor será la contracción (Goushis y Mini, 2021). La fisuración de la capa superficial de tipo irregular (piel de cocodrilo) en muros y losas constituye un ejemplo de contracción plástica a menor escala (EUCLID, 2018).

### **1.3.2. METODOLÓGICA**

En los últimos años, el hormigón reforzado con fibra ha recibido considerable atención en infraestructuras de ingeniería civil como: pavimentos, puentes, túneles, losas, aeropuertos, refugios y almacenes de explosivos (Saradar et al., 2018). En función de esta premisa, se pretende hacer uso de la fibra de estopa de coco para

secciones de gran área y denotar su influencia en el desarrollo de las fisuras (Wu et al., 2018).

La estopa de coco al ser un material de origen vegetal requiere pasar por un proceso que evite su degradación como lo especifica (Cao et al., 2006). El tratamiento aplicado le confiere cierta aspereza logrando una mejor adherencia de la fibra tratada con la matriz cementante (Paricaguán et al., 2013). Las probetas deben seguir el lineamiento de dosificación normado para alcanzar una resistencia aproximada de 210 kgf/cm<sup>2</sup>, luego se incorporan las fibras de estopa de coco en estado natural y tratada químicamente de acuerdo con los porcentajes requeridos, con el objeto de poseer un campo más amplio de resultados y así poder compararlos.

Para simular la fase de contracción del hormigón se crea una cámara de aire caliente que permita controlar la velocidad del viento y la temperatura, evitando que se contraiga libremente la placa (Wolf et al., 2020).

#### **1.3.2.1. Tamaño de muestra**

Inicialmente se emplearon instrumentos estadísticos para establecer un número considerable de probetas a elaborar, capaces de proporcionar un conjunto de datos que sustente la validación del proyecto. Si durante el proceso estadístico resulta complejo establecer cierta cantidad de componentes que interfieren en el proyecto o si el costo para su representación resulta significativo, se optará por la realización de una muestra (García-García et al., 2013).

El tamaño que se considera para una muestra de ensayo es únicamente dado por un modelo de carácter matemático, el cual permite definir y modelar diversos estudios e investigaciones de distinta naturaleza. En este sentido, existen diversos modelos estadísticos que facilitan este cálculo, los cuales se señalan como distribuciones, las se manejan en el muestreo probabilístico, con el fin de reprimir los sesgos conscientes o inconscientes de los investigadores. Además, se adopta como medida el control de errores cuando es necesario lograr una extensa representación en la investigación (Unidad Técnica de Control Externo, 2012).

Se usa Ecuación 1 como menciona Aguilar-Barojas (2005), válida para calcular el tamaño mínimo de la muestra necesaria para obtener resultados fiables.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{c^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- Z= Nivel de confianza (valor asumido y tomado de la distribución normal).
- n= Tamaño de muestra.
- p= Variabilidad en función de la muestra.
- c= Margen de error (valor asumido).

El nivel de confianza expresado en porcentaje equivale al grado de certeza (o probabilidad) manejado en la apreciación de un parámetro a través de un estadístico muestral. También se alude a la tasa de éxito a largo plazo, es decir, con qué frecuencia este tipo de intervalo recogerá el parámetro de interés. El nivel de confianza más efectivo y utilizado es 90% (Aguilar-Barojas, 2005).

Para determinar el nivel de precisión del tamaño de muestra se debe utilizar el peor porcentaje (50%). En el caso de no tener antecedentes de la investigación a realizarse es habitual optar por la opción de máxima variabilidad, para estos casos se dispone que; si la muestra es pequeña, entonces  $p [0; \frac{1}{2}]$  y si la muestra es grande, entonces  $p [0; 1]$  (Walpole et al., 2012).

El intervalo de confianza ya sea una cifra positiva o negativa es el margen de error que se reporta comúnmente en los resultados de una investigación, que para el caso se asume un valor del 30% debido a que en una prueba experimental siempre existen variantes que pueden alterar los resultados (Aguilar-Barojas, 2005).

A continuación, se calcula el número de muestras por cada variable.

$$\text{Tamaño de Muestra} = n = \frac{0.9^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.3^2} = 2.25 \cong 3 \text{ muestras}$$

Es decir, cada variable que es considerada en este proyecto deberá contar con 3 especímenes con las mismas características, de esta manera se podrá conseguir los datos necesarios para ver el comportamiento de cada consideración y así proceder a su evaluación.

### 1.3.3. PRÁCTICA

Las fibras de origen vegetal se están volviendo una opción válida para distintas aplicaciones de carácter industrial debido a que al ser una materia prima renovable y de peso ligero, se la puede usar como refuerzo en materiales compuestos de una matriz polimérica (Velásquez Restrepo et al., 2016). Varias publicaciones han demostrado que la reducción del riesgo de fisuramiento producto de la contracción plástica se da por la adición de aditivos reductores de la contracción (SRA) y por el aumento de la resistencia a la apertura de fisuras debido al uso de fibras sintéticas (Passuello et al., 2009). Sin embargo, estas pueden llegar a ser caras, por esto la aplicación de las fibras naturales representan una opción más económica y con buenas propiedades.

Por ello, se pretende reducir las fisuras que generalmente se forman a temprana edad y son visibles un día después del hormigonado o como mínimo al final de la primera semana, en general no son perceptibles hasta que la superficie del hormigón humedecido está comenzando a secarse (Safiuddin et al., 2018). La aparición de fisuras en la superficie del concreto, pueden ser un problema crítico en términos de durabilidad, puesto que la presencia de estas crea un camino libre para sustancias nocivas que puedan conducir a un deterioro prematuro y a la depreciación de la vida útil de la estructura (Passuello et al., 2009).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

Boghossian y Wegner, en su artículo del 2008 *“Use Of Flax Fibres To Reduce Plastic Shrinkage Cracking In Concrete”*, buscaron encontrar la relación entre la adición de fibras de linaza en fracciones de volumen del 0.05% al 3% y el número de fisuras, área total y ancho máximo de fisuras producidos en las primeras 24 horas en losetas de mortero de hormigón expuestas a condiciones cálidas, secas y de alta velocidad de viento dentro de una cámara ambiental construida para la investigación. Encontraron que, con porcentajes en volumen del 0.3% se podía obtener una reducción del área de fisuras de un 99.5% y el ancho máximo de estas en un 98.5%.

Pelisser y otros autores, en su artículo del 2010 *“Effect Of The Addition Of Synthetic Fibers To Concrete Thin Slabs On Plastic Shrinkage Cracking”*, evaluaron la influencia de la adición de fibras sintéticas (polipropileno, fibra de vidrio, PET y nylon) en el control de la fisuración por contracción en estado plástico en morteros de hormigón. Se prepararon muestras de mortero que fueron colocadas en un cuarto ventilado con condiciones controladas de temperatura, humedad del aire y velocidad del viento. Se encontró que con una fracción del 0.1% en volumen de fibras o más se conseguía una reducción efectiva de la fisuración en un 55%, 28%, 45% y 24% respectivamente, para todos los tipos de fibra mencionadas anteriormente.

Hwang y otros, en su artículo del 2016 *“Effects Of Short Coconut Fiber On The Mechanical Properties, Plastic Cracking Behavior, And Impact Resistance Of Cementitious Composites”*, examinan la aportación de las fibras de coco en el desarrollo de propiedades mecánicas, fisuración plástica y resistencia al impacto del hormigón compuesto con fibras. Obtuvieron resultados en donde muestran que a mayores porcentajes de fibra se produjeron menores resistencias a la compresión, densidad y mayor absorción de agua; sin embargo, se reportaron

incrementos en la resistencia a la flexión, mayor tenacidad, menor aparición de fisuras y mayor resistencia ante el impacto.

Ghoddousi y otros autores, en su artículo del 2019 "*Prediction Of Plastic Shrinkage Cracking Of Self-Compacting Concrete*", detallan cómo prepararon trece muestras de hormigón autocompactante, elaboradas con diferentes diseños de mezcla. Estas muestras fueron colocadas en un túnel de viento que simulaba condiciones ambientales cálidas y secas. Observaron que existe una relación lineal entre la contracción plástica y la diferencia entre agua evaporada y evacuada. Con los resultados se obtuvo una expresión matemática para estimar la contracción plástica basada en el diámetro promedio de los agregados, relación a/c, volumen de pasta cementante, tasa de evaporación, evacuación de agua y un factor de restricción.

Geremew y otros autores, en su artículo del 2021 "*Treatment Of Natural Fiber For Application In Concrete Pavement*", explican el potencial del manejo de fibras naturales en la elaboración de pavimentos, luego de que estas fibras han experimentado un tratamiento superficial (entre ellos tratamiento alcalino, acetilación, silanos y silanos con pre-tratamiento) con el objetivo de mejorar su adherencia a la matriz cementicia y algunas de sus propiedades físicas. De acuerdo con la investigación realizada por los autores, el uso de fibras naturales ha brindado resultados prometedores en el control de la fisuración donde, con un pretratamiento adecuado, estas pueden llegar a competir o incluso superar el desempeño de las fibras sintéticas.

## **2.2. GENERALIDADES DEL HORMIGÓN SIMPLE**

El hormigón al ser un material versátil se lo ha usado mayormente en el campo de la ingeniería, esta mezcla está conformada por una sustancia cementante hidráulica, áridos, agua y a menudo contiene cantidades controladas de aire. El hormigón por sus componentes forma una mezcla plástica y trabajable que puede ser moldeada en varias formas dependiendo de las necesidades. Una de sus características principales es la fuerza a compresión que desarrolla el hormigón, esta fuerza depende de la reacción de hidratación entre el cemento y el agua (Jahren y Sui, 2018).

### **2.2.1.1. Agregados**

Los agregados que componen al hormigón suelen ser generalmente de carácter natural ya que se los obtiene en grandes cantidades de la naturaleza, mediante la extracción y explotación en canteras.

Estos materiales forman parte de al menos un 65%-85% de la mezcla de hormigón, son un factor importante tanto en la estabilidad, durabilidad y economía de las construcciones civiles por lo que siempre es necesario verificar si son los adecuados para su uso.

Su clasificación se da por el tamaño de sus partículas, de tal manera que se tiene dos grandes grupos:

#### **1. Agregado Grueso**

Son aquellos materiales cuya distribución granulométrica varía entre 5 mm y hasta 152 mm, estas se pueden obtener en ríos o canteras mediante la trituración de rocas.

#### **2. Agregado Fino**

La arena (agregado fino) tiene una dimensión de partículas que varían entre 60  $\mu\text{m}$  hasta 4.75 mm, se usa como material de relleno para favorecer la manejabilidad de la mezcla, ya que la falta de este agregado da como consecuencia la aspereza en el hormigón (Gutiérrez de López, 2003).

Estos agregados al ser componentes importantes del hormigón deben ser valorados mediante especificaciones técnicas, para así verificar su calidad como se indica en la norma ASTM C33-07 (2007) *Standard Specification for Concrete Aggregates* o en la NTE INEN 872 (2011) *Áridos para hormigón. Requisitos.*, donde señalan los siguientes ensayos a realizar para obtener su caracterización.

- Análisis granulométrico y módulo de finura de áridos (NTE INEN 696).
- Determinación del contenido orgánico en el agregado fino (NTE INEN 855).
- Densidad aparente (Masa Unitaria) de escoria (NTE INEN 858).
- Densidad relativa y absorción (NTE INEN 857: Agregado Grueso, NTE INEN 856: Agregado fino).

- Degradación del árido grueso (NTE INEN 860 o NTE INEN 861).

Para el agregado grueso además de análisis granulométrico también es necesario determinar el tamaño máximo nominal (NTE INEN 872, 2011).

#### **2.2.1.2. Cementos**

Uno de los materiales más elementales para la construcción de infraestructuras y otros elementos debido a sus cualidades de moldeo, resistencia y durabilidad es el cemento. Su propiedad principal es la capacidad de formar pastas pétreas fuertes y resistentes al mezclarse con áridos, agua y en ocasiones aditivos (Sanjuán Barbudo y Chinchón Yepes, 2004).

Generalmente en el sector de la construcción se maneja el cemento portland ya que puede ser amasado con agua, endurece al aire o bajo agua, por lo tanto, dicho cemento entra en la categoría de conglomerantes hidráulicos (NTE INEN 151, 2021).

De acuerdo con la NTE INEN 152:2012 *Cemento Portland. Requisitos.*, el cemento portland se clasifica de la siguiente manera:

- **Tipo I.** De uso habitual cuando no se requieran especificaciones especiales.
- **Tipo II.** Solicitud moderada de resistencia a los sulfatos, aire incorporado y calor de hidratación mitigado.
- **Tipo III.** En caso de necesitar una resistencia alta a edades tempranas e incorporación de aire.
- **Tipo IV.** Para cuando se busque calor de hidratación mínimo.
- **Tipo V.** En caso de requerir resistencias elevadas a los sulfatos.

Se conoce asimismo que el cemento portland Tipo I también forma parte de la clasificación Tipo GU (NTE INEN 2380, 2011).

En cuanto al hormigón con fibras se refiere la norma NTE INEN 2874:2015 *Hormigón Reforzado con Fibra. Requisitos y Métodos de Ensayo.*, señala que de acuerdo con el comité 544 del American Concrete Institute el cemento que se puede usar para mezclarlo con fibras y que no afecte sus propiedades es el cemento portland Tipo I (ACI 544.4R-18, 2018).

### **2.2.1.3. Aditivos**

Los aditivos en el concreto son químicos que se usan con el fin de mejorar varias de sus propiedades físicas y mecánicas, por ejemplo: ajustar el tiempo de fraguado de la mezcla, aumentar la resistencia, tener mejor trabajabilidad sin modificar el contenido de agua, disminuir el contenido de agua sin modificar la trabajabilidad, reducir la segregación y permeabilidad. Existen varios tipos de aditivos como son los plastificantes, acelerantes, incorporadores de aire, reductores de agua, retardantes (ASTM C494-08, 2008). Sin embargo, en este proyecto no se tiene contemplado el uso de aditivos de ningún tipo.

### **2.2.1.4. Agua**

El agua en el hormigón es el componente que permite al cemento desarrollar sus propiedades ligantes mediante su hidratación, también ayuda a la trabajabilidad y manejo de la mezcla. Es importante considerar que el exceso o falta de agua puede dañar por completo la pasta cementante, con el fin de evitar este problema se debe controlar la relación agua-cemento en función de lo señalado en la ACI 211.1-91.

Cabe recalcar que el agua a ser empleada tiene que ser potable, es decir, sin sustancias que perjudiquen a la mezcla de hormigón, por ejemplo: aceites, componentes orgánicos, ácidos, alcalinos, etc., como señala la Norma NTE INEN 1108:2020, *Agua potable. Requisitos*.

## **2.2.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN**

La determinación de la dosificación de los materiales que componen el hormigón debe establecerse para definir las cantidades necesarias de áridos, cemento y agua, de tal manera que garantice la demanda de resistencia, durabilidad y manejabilidad de un determinado diseño constructivo.

Existen varios métodos de dosificación, el óptimo es de acuerdo con lo señalado en la norma ACI 211.1-91: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, pero al no ser un método exacto siempre se realiza un ensayo de prueba y error en donde si no se cumple con las especificaciones requeridas con la dosificación inicial se realizan los ajustes requeridos.

Para la dosificación se requiere emplear los siguientes parámetros:

### 1. Determinación de la Resistencia requerida [ $f'_{cr}$ ]

En cuanto a la resistencia requerida se refiere, la Tabla 1 es la guía para su determinación, ya que al no contarse con datos previos de la muestra para establecer una desviación estándar y verificar la validez de estos materiales para la obtención de una resistencia en específico, es necesario hacer uso de los parámetros señalados en la norma ACI 318S-08 en la sección 5.2.

**Tabla 1**

*Resistencia promedio requerida a compresión ( $f'_{cr}$ )*

Resistencia Específica ( $f'_c$ ) [MPa]	Resistencia Promedio Requerida ( $f'_{cr}$ ) [MPa]
$f'_c < 20$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: (ACI 318S-08, 2008)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### 2. Selección de Asentamiento

El asentamiento depende principalmente del tipo de construcción a realizar, la Tabla 2 muestra diferentes rangos basados en que la mezcla será vibrada, además de que tendrá una consistencia lo suficientemente rígida pero que también se pueda colocar de manera eficiente.

**Tabla 2**

*Asentamientos sugeridos para varios tipos de construcción*

Tipos de construcción	Asentamiento [cm]	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas simples, cajones y subestructura de muros	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas	10	5
Losas y pavimentos	7.5	2.5
Construcción en masa	7.5	2.5

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### 3. Elección del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso

Generalmente se lo realiza dependiendo de los tamaños del tipo de elemento estructural como se lo señala en la Tabla 3 obtenida de la norma ACI 211, también se considera la disponibilidad económica para su selección.

Se debe considerar que el tamaño del agregado no debe sobrepasar las dimensiones de profundidad de las losas en  $1/3$ , ni en  $3/4$  de la separación mínima entre las barras de refuerzo y tampoco debe ser mayor a la quinta parte del tamaño más estrecho entre los lados del encofrado. Se debe contemplar que se obvian estas consideraciones en caso de que se coloque el hormigón en obras que no necesiten ningún tipo de refuerzo ya que estos evitan la buena distribución de la mezcla y atascan a los agregados que son demasiado grandes (ACI 211.1-91, 1991).

Con los agregados de tamaños máximos nominales reducidos se puede conseguir altas resistencias puesto que evitan grandes vacíos en la mezcla.

**Tabla 3**

*Tamaño máximo del agregado grueso en función del tipo de construcción*

Dimensión mínima de la sección in, (cm)	Losas ligeramente armadas	Losas fuertemente armadas	Muros sin refuerzos	Columnas, vigas y paredes
30" o más (76.2 o más)	3" - 6"	1 1/2" - 3"	6"	1 1/2" - 3"
12" - 29" (30.5 – 73.7)	3"	1 1/2" - 3"	3"	1 1/2" - 3"
5.9" - 11" (15 – 28)	1 1/2" - 3"	1 1/2"	1 1/2"	3/4" - 1 1/2"
2.5" - 5" (6.4 – 12.7)	3/4" - 1 1/2"	3/4" - 1"	3/4"	1/2" - 3/4"

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### 4. Determinación del Volumen unitario de agua y Contenido de Aire

El volumen unitario de agua en función del asentamiento de la mezcla de hormigón escogido anteriormente depende de varios aspectos tales como: clasificación de los agregados, el tamaño máximo nominal, cantidad de aire que se arrastra, temperatura del hormigón, disposición de las partículas de los agregados, presencia o no de aditivos químicos, etc.

A continuación, en la Tabla 4 se señalan estimaciones aproximadas del agua necesaria para la fabricación del hormigón, la cual depende del asentamiento, incorporación o no del aire y tamaño máximo nominal del agregado.

**Tabla 4**

*Cantidad aproximada de agua y contenido de aire*

Asentamiento, in (cm)	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
<b>Hormigón Sin Aire incorporado</b>								
1" a 2" (2.5 a 5.1)	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4" (7.6 a 10.2)	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7" (15.2 a 17.8)	243	228	216	202	190	178	160	-
%Aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Hormigón Con Aire incorporado</b>								
1" a 2" (2.5 a 5.1)	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4" (7.6 a 10.2)	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7" (15.2 a 17.8)	216	205	197	184	174	166	154	-
<b>% de aire incorporado en función del grado de exposición</b>								
<i>Normal</i>	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
<i>Moderada</i>	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
<i>Extrema</i>	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

La resistencia del hormigón no necesariamente refleja las diferencias de la demanda del agua, ya que puede estar afectada por otros factores de compensación como los agregados usados (ACI 211.1-91, 1991).

## 5. Relación agua-cemento [a/c]

Los factores como la resistencia y la durabilidad que se requieren para un determinado tipo de construcción dependen de la relación agua-cemento (a/c), dado que, con diferentes cementos, agregados y aditivos se pueden obtener distintas resistencias con la misma relación a/c.

Por tal motivo se deberían obtener relaciones para los materiales a usarse, pero en caso de no poseer dichos datos, la Tabla 5 que proporciona la norma ACI 211.1-91 (1991) muestra valores aproximados para el hormigón que contiene cemento portland Tipo I.

**Tabla 5***Relación agua/cemento vs f'c a los 28 días*

Relación agua/cemento (L/kg)	Resistencia a la compresión en 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Hormigón con aire incorporado	Hormigón sin aire incorporado
0.800	110	140
0.705	140	180
0.623	180	210
0.530	210	280
0.445	280	350
0.353	325	425

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

Usando los materiales típicos para la mezcla de hormigón los valores dados de relación a/c deberían ser suficientes para producir las resistencias señaladas a los 28 días de curado en condiciones de laboratorio.

## 6. Factor y volumen del cemento

El factor cemento se determina con el volumen unitario de agua dividido para la relación agua/cemento.

$$Factor\ Cemento = \frac{Volumen\ unitario\ de\ agua}{Relación\ a/c} \quad \text{Ec. 2}$$

El volumen del cemento consiste en dividir el factor cemento para la densidad real del cemento.

$$Volumen\ cemento = \frac{Factor\ cemento}{\gamma_{real-cemento}} \quad \text{Ec. 3}$$

## 7. Porción del agregado grueso

La Tabla 6 indica los valores adecuados para obtener el volumen de agregado grueso necesario en la mezcla de hormigón, el cual depende únicamente del tamaño máximo nominal y el módulo de finura de la arena (agregado fino), de tal modo que se pueda conseguir una buena trabajabilidad debido a la compensación entre sus partículas.

**Tabla 6**

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón*

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso in, (cm)	Módulos de finura del agregado fino							
	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
3/8" (0.9525)	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1/2" (1.27)	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
3/4" (1.905)	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
1" (2.54)	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
1 1/2" (3.81)	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
2" (5.08)	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
3" (7.62)	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
6" (15.24)	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

## 8. Determinación de volúmenes absolutos de agregados

Para la obtención del volumen real del ripio (agregado grueso) se divide la densidad aparente compactada del ripio entre la densidad real en condición de superficie saturada seca, todo esto multiplicado por el volumen aparente.

$$V_{\text{real agregado grueso}} = V_{\text{aparente}} * \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Densidad real (SSS)}} \quad \text{Ec. 4}$$

El volumen absoluto de la arena (agregado fino) está dado por la diferencia de todos los volúmenes absolutos conocidos a la unidad de volumen del hormigón.

$$V_{\text{agregado fino}} = 1m^3_{\text{hormigón}} - V_{\text{aire}} - V_{r. \text{ agre. grueso}} - V_{\text{agua}} - V_{\text{cemento}} \quad \text{Ec. 5}$$

## 9. Corrección por humedad del agregado

Las proporciones de los materiales que forman parte de la unidad cúbica del hormigón deben ser rectificadas de acuerdo con las circunstancias de humedad que presenten los agregados, ya que la dosificación expuesta considera que los materiales están en un estado de superficie saturada seca (SSS) para así no alterar la relación agua/cemento.

Con las siguientes ecuaciones se ejecuta la corrección por humedad del agregado.

$$W\% = \frac{W_o - W_f}{W_f} * 100 \quad \text{Ec. 6}$$

$$\Delta_{agua\ mezcla\ final} = V_{agua\ inicial} - \left( (W\% - Abs\%) * W_{agregado} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

- $W\%$ = contenido de humedad [%]
- $W_o$ = Masa inicial [gr]
- $W_f$ = Masa final [gr]
- $\Delta_{agua\ mezcla\ final}$ = Variación de agua para la mezcla final [l/m<sup>3</sup>]
- $V_{agua\ inicial}$ = Cantidad de agua inicial dada por la dosificación [l/m<sup>3</sup>]
- $W_{agregado}$ = Cantidad inicial en masa del agregado
- $Abs\%$ = Absorción [%]

## 2.3. FISURACIÓN EN EL HORMIGÓN SIMPLE

### 2.3.1. DEFINICIÓN

El concreto por naturaleza es un material frágil dada su baja resistencia a la tensión y su inestabilidad volumétrica, lo cual lo hace susceptible a manifestar fisuras. Para poder realizar una reparación de fisuras es importante conocer el origen de estas, que pueden ser provocadas tanto por causas externas como internas, entre ellas la expansión térmica, cargas excesivas, restricciones de volumen o reacciones químicas. Las fisuras pueden ir desde pequeñas micro aberturas hasta grietas de dimensiones importantes, provocadas generalmente por factores externos. La fisuración puede manifestarse durante el encofrado, cuando el hormigón aún se encuentra en estado plástico, o cuando ya se encuentra endurecido (Larosche, 2009).

En la Figura 1 se aprecian algunos ejemplos de superficies de hormigón que experimentan fisuración.



**Figura 1.** Fisuración en forma de mapa por contracción plástica y descamación

**Fuente:** (Geremew et al., 2021)

### **2.3.2. FISURACIÓN EN EL HORMIGÓN EN ESTADO PLÁSTICO**

Los mecanismos desencadenantes de la fisuración en estado plástico empiezan con la consolidación de las partículas que conforman el hormigón y la consiguiente evacuación de agua que en las superficies expuestas se evapora rápidamente. La evaporación ocasiona altas tensiones capilares dentro de los poros del hormigón en estado plástico, lo que provoca contracción capilar. Entre ambos mecanismos, el asentamiento y la contracción capilar, se produce la reducción del volumen, que sí está restringida (ya sea por la fricción con el encofrado, refuerzo de acero, cambios de sección transversal, diferencias de humedad entre superficies externas e internas, etc.), da usualmente como resultado la aparición de fisuras (Kayondo et al., 2019).

En el artículo de Kayondo y otros del 2019 se mencionan los siguientes mecanismos de alteración de volumen en el hormigón fresco:

#### **2.3.2.1. Hidratación**

La hidratación del hormigón interviene en distintos mecanismos de fisuración temprana durante las diferentes etapas de rigidización, solidificación y endurecimiento. El proceso de hidratación también se caracteriza por la pérdida de agua libre, la velocidad en la que esta se produce influencia directamente el progreso de otros mecanismos de fisuración por contracción en estado plástico, como el asentamiento libre, evacuación, y presión capilar. Idealmente, la hidratación afecta la rigidez del concreto en estado plástico, lo que influye significativamente en el comportamiento de la fisuración (p.888).

### **2.3.2.2. Asentamiento Libre**

La ley de la gravedad dirige el asentamiento libre de las partículas sólidas en el hormigón fresco, de manera que se produce una aglomeración de las partículas más densas. El asentamiento de las partículas desplaza el agua hacia arriba, produciendo una fuerza ascendente debido al arrastre viscoso provocado por el agua flotante. El asentamiento libre se produce hasta el inicio de la hidratación, y puede ser detenido mecánicamente antes del fin del periodo durmiente. El resultado de este fenómeno es una contracción vertical del volumen. (p. 888)

### **2.3.2.3. Evacuación**

Este mecanismo es posterior al asentamiento libre, al quedar una película delgada de agua sobre la superficie. La evacuación es facilitada por los espacios entre las partículas sólidas que crean un sistema de poros interconectados mediante los cuales el agua llega a la superficie. También se sostiene por el efecto de succión causado por la presión capilar del poro, al comenzar a desaparecer el agua por evaporación. Normalmente se presentan dos fases: la primera en que la evacuación empieza en cero y aumenta a un ritmo constante, hasta la segunda en que se reduce y finalmente termina, usualmente cuando concluye la consolidación de las partículas. (pp. 888-889)

### **2.3.2.4. Evaporación**

Una vez que el agua evacuada alcanza la superficie del concreto, esta se evapora. Los factores fundamentales que influyen en la tasa de evaporación son: humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, temperatura del aire y del hormigón. A mayor velocidad de viento, temperatura del hormigón o radiación solar y menor humedad relativa, mayor será la tasa de evaporación. (p. 889)

### **2.3.2.5. Presión Capilar**

Al momento en que el agua excretada sobre la superficie del hormigón comienza a evaporarse, las partículas sólidas de esta área forman un sistema complejo de conducciones, en las cuales se generan fuerzas capilares que reducen el tamaño de los capilares y expulsan el agua hacia la superficie; sin embargo, estas fuerzas se equilibran con las fuerzas de repulsión entre las partículas. Cuando estas últimas

fuerzas superan cierto valor de umbral, se induce un esfuerzo de contracción que, si no es soportado por la capacidad a tensión del hormigón en estado plástico, promueve la formación de fisuras. (p. 889)

### **2.3.3. FISURACIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO**

Después de que se produce el endurecimiento del hormigón, la fisuración puede ser causada por los siguientes factores descritos por Larosche (2009).

#### **2.3.3.1. Daño por Hielo Deshielo**

El agua puede expandirse hasta un 9% al congelarse. Como el agua que ocupa los poros del hormigón pasa de líquido a sólido, las presiones producto de la expansión provocan un deterioro de la pasta de cemento. A mayor inclusión de aire (de tal manera que el agua pueda expandirse con mayor facilidad) y menor relación agua cemento (por tanto, menor permeabilidad), los daños por hielo-deshielo son menores en la pasta de cemento. Por otro lado, ciertos tipos de agregado grueso son susceptibles a desarrollar un tipo de fisuración conocida como D-cracking, esto especialmente visible en pavimentos.

El uso de químicos para inducir el deshielo también puede provocar fisuración dado que induce la descamación de la superficie, por la presión osmótica que genera el agua salada sobre el hormigón. (pp. 62-66)

#### **2.3.3.2. Fluencia Lenta y Contracción**

Cuando se aplica carga sobre el hormigón, generan deformaciones inducidas que pueden dividirse en dos partes, la deformación inmediata como resultado de la carga, y la deformación a largo plazo dependiente del tiempo que empieza con la aplicación de la carga a una tasa decreciente. Esta última deformación se conoce como fluencia lenta (creep). Algunos de los factores que afectan a la fluencia lenta y a la vez a la contracción por secado incluye la relación agua/cemento, curado, temperatura, humedad, composición del hormigón y aditivos.

Existe la contracción autógena, que se produce cuando no se añade agua adicional después de la mezcla y el hormigón empieza a secarse (con o sin pérdida de humedad hacia la atmósfera), debido a la formación de meniscos, vaciándose los

poros y produciendo la desecación de la pasta de cemento, pudiendo presentar macro o micro fisuras.

La contracción por secado, en cambio, se produce cuando las condiciones ambientales externas generan la pérdida de agua, y el agua de la mezcla es consumida durante la hidratación. La mitigación de las fisuras por contracción se puede realizar a través de la adición de juntas de dilatación. (pp. 66-70)

#### **2.3.3.3. Fisuración por Estrés Químico**

Dentro del hormigón pueden existir componentes que son incompatibles químicamente de manera interna o por las condiciones ambientales, llevando al agotamiento del material de manera química. Entre las posibles reacciones que producen estrés químico se encuentra la reactividad álcali-sílice (ASR), ataque de sulfatos y formación retardada de etringita (DEF).

La lixiviación y eflorescencia se evidencia en campo cuando el agua ha migrado a través de la estructura de hormigón. Las eflorescencias son sales depositadas que se cristalizan durante la migración de la solución acuosa a través del concreto, siendo un síntoma de estrés producido por infiltración de agua, que puede empeorar otros mecanismos de estrés químico previos.

El ataque externo de sulfatos se produce cuando el suelo y el agua subterránea poseen suficientes niveles de sulfatos que reaccionan con la pasta de cemento del concreto. El deterioro empieza en la zona en contacto con los sulfatos y se propaga, comprometiendo la integridad de la pasta cementicia. Se produce yeso y etringita, como resultado de una reacción expansiva, generando esfuerzos que exceden la resistencia a tensión de la sección y ocasionan fisuración y desintegración de la pasta de cemento.

Algunos agregados silíceos pueden reaccionar con hidróxidos formados durante la hidratación del cemento Portland en la presencia de metales alcalinos. La reacción forma un gel amorfo hidrofílico que es capaz de absorber grandes cantidades de agua, produciendo cambios de volumen en la sección de hormigón, superando eventualmente la resistencia a tensión y produciendo fisuración.

La forma más importante de ataque interno de sulfatos es la producción retardada de etringita (DEF). En este caso, debido a las elevadas temperaturas el proceso de formación normal de etringita se detiene, y sus componentes se dispersan. Una vez que el hormigón se encuentre en estado endurecido y si las condiciones ambientales son favorables, se forma etringita secundaria resultando en la expansión de la pasta de cemento y la aparición de microfisuras. (pp. 72-75)

#### **2.3.3.4. Fisuración Inducida por Cargas**

Este proceso se da cuando las cargas externas aplicadas generan esfuerzos superiores a la capacidad a tensión del hormigón. Se debe tener especial cuidado de las cargas aplicadas durante la construcción, dado que en esta etapa las secciones de hormigón aún no han alcanzado las resistencias máximas. (pp. 77-78)

#### **2.3.3.5. Fisuración Térmica**

Los esfuerzos térmicos en el hormigón pueden ser externos o internos y se pueden dar en cualquier tipo de estructura expuesta a grandes cambios de temperatura exterior. En el caso de la fisuración térmica de origen interno, se produce por un calor de hidratación desigual, donde el exterior se enfría mucho antes que el interior, dando como resultado cambios volumétricos. En este caso, se puede prevenir la fisuración al controlar artificialmente la temperatura de la mezcla durante su colocación.

Por otro lado, el hormigón ya endurecido se expandirá o contraerá de acuerdo con los cambios de temperatura que presente (regidos por un coeficiente de expansión térmica), en caso de no presentar restricciones no se produce la fisuración. Los diseñadores deben tener en cuenta la dotación de suficientes juntas de dilatación para evitar la aparición de esfuerzos que puedan fisurar la sección de hormigón. (pp. 78-79)

#### **2.3.4. CONSECUENCIAS**

La fisuración de edad temprana es un fenómeno común en las estructuras, el cual no significa que existan fallas en los elementos estructurales, siempre y cuando no se supere el nivel de tolerancia. Sin embargo, esas fisuras afectan la apariencia de

las estructuras y generan preocupación a los usuarios que pueden interpretarlas como un problema de seguridad y por tanto perjudicar la reputación de los involucrados en la construcción (Safiuddin et al., 2018).

La fisuración puede ocasionar problemas relacionados con el mantenimiento si no se proporciona una remediación oportuna. Algunas de las consecuencias pueden ser el ingreso de agentes agresivos como cloruros, sulfatos y carbonatos que provocan la corrosión del refuerzo de acero y la carbonatación del hormigón, reduciendo significativamente la vida útil de las estructuras. Las fisuras inciden en la funcionalidad de las construcciones civiles como reservorios de agua y techos, al producirse fugas, que con el tiempo se agrandan y llegan a comprometer su capacidad portante, además de afectar la integridad de los usuarios y sus bienes. Otras estructuras sensibles como plantas nucleares, reservorios químicos o radioactivos pueden significar un peligro inminente (Safiuddin et al., 2018).

#### **2.4. CONDICIONES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL HORMIGÓN**

Se pueden verificar varios agentes como la temperatura inicial de la mezcla, temperatura ambiente, humedad, viento y radiación solar como los factores de mayor influencia en la tasa de evaporación del agua. La reducida humedad atmosférica propicia un incremento de temperatura inicial de los elementos de hormigón, el cual se ve potenciado por el calor de hidratación. Bajo estas condiciones se produce una reducción de la humedad del hormigón y se inducen esfuerzos de tensión, lo que aumenta las probabilidades de fisuración (Safiuddin et al., 2018).

La lluvia es otra las circunstancias cruciales durante el proceso constructivo, puesto que influye en el incremento de la humedad relativa, lo que reduce la fisuración por contracción, pero por otro lado se altera la relación agua/cemento, lo que puede comprometer las propiedades mecánicas del hormigón y fomentar la ocurrencia de otros tipos de fisuración de edad temprana. Las bajas temperaturas también son desfavorables dado que pueden inhibir la fase de hidratación del hormigón (Safiuddin et al., 2018).

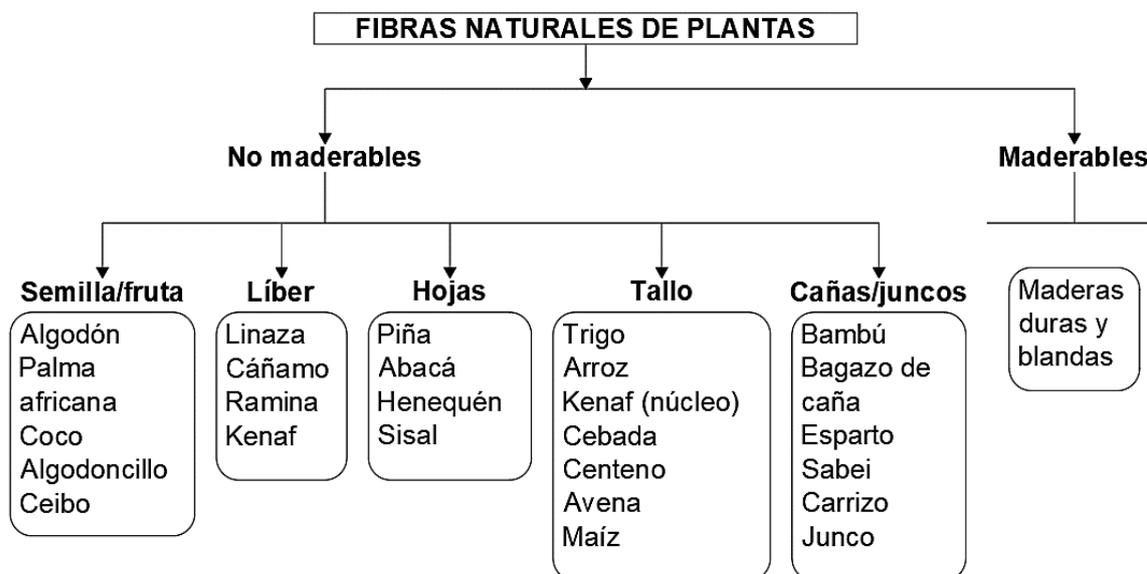
## 2.5. FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL

### 2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS VEGETALES

Las fibras de origen vegetal son un material renovable, cuya explotación requiere bajas cantidades de energía y presenta propiedades físicas y mecánicas llamativas. Esto ha incentivado en las últimas décadas una amplia investigación en torno a establecer cada vez mejores métodos de aprovechamiento para su uso en la elaboración de materiales compuestos (Djafari Petroudy, 2017).

Una manera de clasificar a las fibras de origen natural es de acuerdo con sus dimensiones, las cuales varían entre 1-35 mm de longitud y 15-30  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las fibras cortas son típicas de especies maderables y no maderables con propiedades isotrópicas de acuerdo con el plano observado, dada la orientación aleatoria de sus fibras. Las fibras largas son típicas de especies no maderables (muchas de ellas plantas anuales) con propiedades anisotrópicas, debido a que adoptan una orientación específica (Djafari Petroudy, 2017).

Considerando si las fibras son de tipo maderable o no maderable, y de la parte de la planta que son extraídas, se puede seguir la disposición ilustrada en la Figura 2:



**Figura 2.** Clasificación de las fibras naturales de origen vegetal

**Fuente:** (Djafari Petroudy, 2017)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

## **2.6. FIBRAS COMO REFUERZO EN EL HORMIGÓN**

Las diferentes ventajas de los materiales compuestos con fibras naturales pueden ser; una alta relación rigidez/peso, ligereza y biodegradabilidad, lo que permite ser una opción atractiva para la elaboración de materiales de construcción. Algunas de las ventajas del hormigón reforzado con fibras (entre estas, las fibras naturales), son enumerados por Geremew et al. (2021, p. 8):

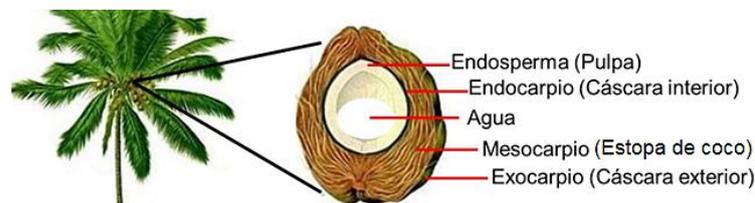
- Actúa como mecanismo para la contención y el control de la fisuración.
- Aumenta la resistencia a la flexión, capacidad de carga post-fisuración, tenacidad y viscosidad en estado fresco.
- Disminuye la densidad con un material que es eficiente energéticamente y de buen costo-beneficio.
- Minimiza la contracción, fisuras, astillado y la hinchazón del hormigón durante el encofrado.
- Reducción del espesor mínimo necesario en el caso de pavimentos.
- Mayor absorción de energía debido a la tenacidad y ductilidad de las fibras.

## **2.7. FIBRA DE ESTOPA DE COCO**

### **2.7.1. GENERALIDADES**

El cocotero (*Cocos nucifera* L.) es una planta que ha experimentado una amplia expansión de su cultivo en las actuales décadas debido al acrecentamiento de la solicitud de productos alimenticios e industriales derivados del fruto de coco. De acuerdo con las Naciones Unidas (FAO), el aumento de la producción de coco ha sido de 900,000 toneladas métricas en 2002 a más de 1,250,000 toneladas métricas en 2019, concentrándose el 80% de dicha producción en las regiones costeras de Asia. El cultivo de coco da como resultado la producción de un exceso de subproductos dado que se aprovecha en mayor medida las partes comestibles del fruto y el resto termina siendo descartado, lo que ha dado lugar a la investigación de alternativas rentables y ecológicamente amigables para su revalorización (Both et al., 2022).

El fruto se compone de las siguientes partes, detalladas en la Figura 3. El endocarpio (y el líquido que éste contiene) es la parte comestible del fruto de coco. Las fibras provienen del mesocarpio o estopa, un subproducto sin valor nutricional. De acuerdo con Puentes y Joya (2005), la estopa de coco está compuesta por un 30% de peso seco de fibra y un 70% de médula. La médula una vez separada de las fibras puede ser empleada en el acondicionamiento de sustratos en cultivos.



**Figura 3.** Corte transversal de un fruto de coco

Fuente: (Valencia et al., 2021)

Las fibras obtenidas a partir de la estopa de coco son gruesas y ásperas, con algunas ventajas con respecto a las fibras artificiales como son: alta durabilidad, dureza (no son frágiles como las fibras de vidrio), mejor aislamiento acústico, no presenta toxicidad, resistente a la degradación por polillas, bacterias u hongos y con una tendencia baja a la combustión. Con respecto a otras fibras de origen natural, la fibra de coco retiene menos humedad y es capaz de resistir el agua salada y la exposición al calor (Hasan et al., 2021).

La composición química de la estopa y la fibra por sí sola se describe en la Tabla 7. Como se puede observar, las fibras de coco poseen altos porcentajes de lignina y celulosa, pero mayor proporción de lignina que otras fibras vegetales, lo que las hace más fuertes y durables (Hasan et al., 2021).

**Tabla 7**

*Composición química de la estopa de coco y de la fibra de coco*

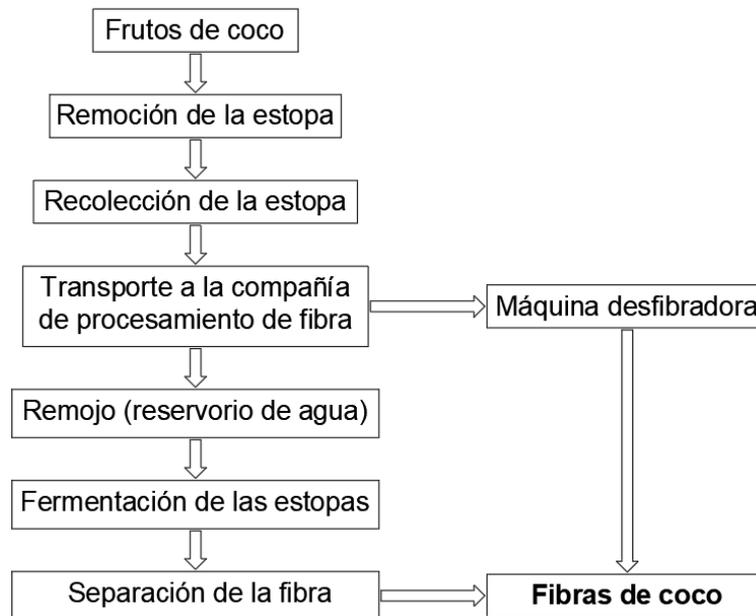
Componente	Estopa (%)	Fibra (%)
Lignina	29.23	45.84
Celulosa	21.07	43.44
Hemicelulosa	8.50	0.25
Pectina	14.25	3.00
Agua	26.00	5.25

Fuente: (Puspaningrum et al., 2020)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

## 2.7.2. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO

En la Figura 4 se indica de manera general la secuencia de extracción de la fibra de coco, que puede ser desarrollada de manera manual o con la asistencia de equipo mecanizado.



**Figura 4.** Diagrama de secuencia de la extracción de la fibra de coco

**Fuente:** (Hasan et al., 2021)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

### 2.7.2.1. Extracción Manual (Enriado)

El enriado de la fibra de coco (retting) es un método biológico basado en la fermentación. En este proceso, las estopas generalmente verdes (frutos de alrededor de 10-11 meses) son sumergidas en agua por períodos de tiempo de entre 6 a 10 meses. En la primera etapa, la estopa absorbe agua y se hincha, lo que facilita la liberación de carbohidratos, glucósidos, taninos y compuestos nitrogenados. En la segunda etapa, una variedad de microorganismos descomponen el tejido conectivo de las estopas y se disuelve la pectina, produciendo la separación de las fibras (Mishra y Basu, 2020).

Una vez concluido el enriado, las estopas sumergidas son golpeadas manualmente para la remoción del exocarpio y para aflojar la médula de las fibras, como se expone en la Figura 5. Finalmente, las fibras son llevadas a un desintegrador y a

un abridor de púas para remover la médula restante. Las fibras obtenidas mediante este método son de mejor calidad y pueden ser empleadas en la confección de tejidos y esteras (Mishra y Basu, 2020).

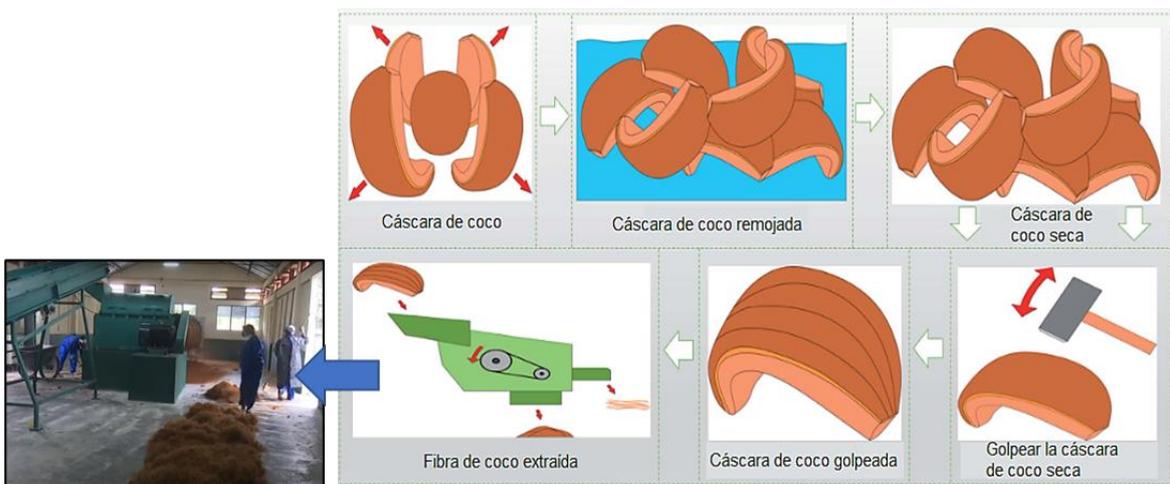


**Figura 5.** Desfibrado manual de estopas enriadas

Fuente: (Mishra y Basu, 2020)

### 2.7.2.2. Extracción Mecánica

La extracción directa de la fibra desde las estopas (más apropiado para los frutos secos) es realizada por medios mecánicos, posterior o no a un remojo breve de un par de días. Primeramente, se produce la remoción del exocarpio con una pala afilada de doble borde, seguido de la desintegración en un cilindro mecánico y el remojo y lavado para finalmente ser llevadas a una máquina desfibradora. Las fibras son secadas al sol antes de un procesamiento posterior. Las fibras extraídas de esta manera son utilizadas para elaborar cepillos, redes, tapetes y geotextiles para el control de la erosión de la tierra (Mishra y Basu, 2020).



**Figura 6.** Extracción de fibras de coco empleando un rodillo de púas

Fuente:(Hasan et al., 2021)

### **2.7.3. TRATAMIENTO QUÍMICO (MERCERIZACIÓN)**

El tratamiento con hidróxido de sodio o NaOH, también conocido como mercerización o alcalinización, es uno de los procedimientos más extendidos en el tratamiento de fibras naturales, debido a su alta efectividad y bajo costo comparativo. El tratamiento con NaOH optimiza la adhesión de las fibras a la matriz cementicia, al eliminar las impurezas de la superficie de las fibras y proporcionar una superficie de mayor rugosidad, además se ha reportado que mejora las propiedades mecánicas, entre ellas la resistencia a la tensión y la elongación a la rotura (Shah et al., 2021).

También se consigue aumentar la estabilidad térmica al eliminar pectinas, grasas y ceras que se encuentran en los paneles externos de las fibras. Adicionalmente se reduce la absorción de agua, que es uno de los mayores inconvenientes que muestran los materiales compuestos con fibras (Shah et al., 2021).

Karthikeyan y otros autores (2014) encontraron que las fibras de coco tratadas con NaOH presentan una menor resistencia a la tensión. Sin embargo, sí hallaron una mayor elongación a la rotura que las fibras sin tratar, además que en el caso de aglomerados epóxicos se conseguían los mejores resultados con concentraciones de NaOH al 4%.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

Para la ejecución del trabajo experimental que sustenta este proyecto, fue necesario la modelación y elaboración de una cámara de aire caliente, la cual se desarrolló independientemente. Sin embargo, la preparación de probetas y ensayo de estas se los realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN. Se fabricaron 7 tipos de mezclas de hormigón, donde se tomó como variables a los porcentajes de adición de la fibra (0%, 0.5%, 0.75% y 1%) y una longitud de fibra única (4 cm).

#### 3.1. CÁMARA DE AIRE CALIENTE

##### 3.1.1. MATERIALES

Para la construcción de la cámara de aire caliente fue necesario emplear materiales que resulten económicos y beneficiosos para simular un prototipo que permita condicionar la temperatura y velocidad del viento dentro de la misma, para lo cual fue necesario los siguientes materiales:

**a) Planchas de triplex de espesor 9mm.**

Este material se empleó para cubrir todo el esqueleto de la caja, siendo necesario utilizar 4 planchas de 1.22x2.44x0.09 m, las cuales fueron colocadas para el corte de las secciones necesarias de tal manera que permitiese optimizar todas las áreas disponibles.

**b) Plancha de MDF de espesor 3mm.**

Se optó por trabajar con este material para armar exclusivamente las rejillas profundas que permiten que el flujo de viento se transfiera hacia la caja de forma laminar. Se empleó una plancha de 2.14x2.44x0.03 m.

**c) Sección de vidrio de espesor 4mm.**

Se empleó vidrio de 4mm de espesor como máximo, debido a que la longitud a la que se sometería es muy grande lo cual podría dar paso al pandeo (sobrepeso si se incrementa el espesor) y por ende destrucción total del vidrio.

**d) Lámparas fluorescentes.**

Fue necesario colocar dos lámparas fluorescentes (no producen calor) con el objeto de dar iluminación y mejor calidad a las fotografías.

**e) Tablón de madera**

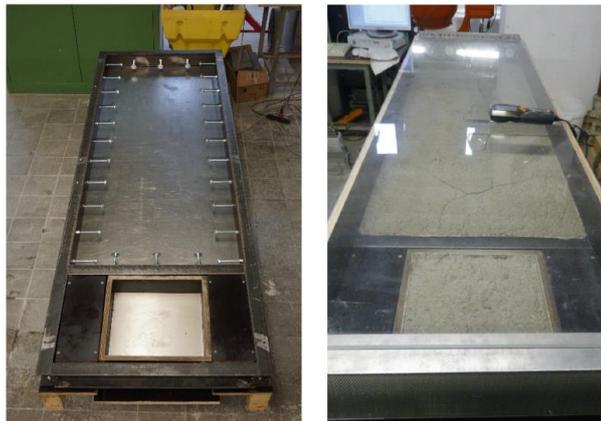
Con este material se logró conformar todo el esqueleto, es decir se lo empleó como rigidizadores con una sección transversal de 4x4 cm y de longitud variable.

**f) Pegamento industrial**

Necesario para juntar todas las piezas y consolidar la caja.

**3.1.2. MODELOS****3.1.2.1. Modelo Inicial**

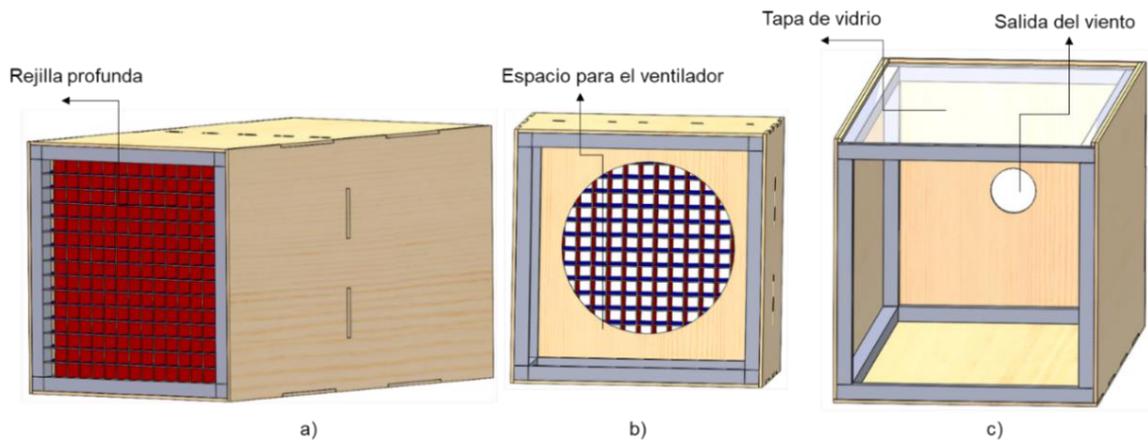
El criterio de diseño fue tomado en base a la investigación de Wolf et al. (2020), en donde demostró la obtención de fisuras en placas de hormigón simple mediante el uso de un túnel de viento para luego observar su comportamiento al reforzar la mezcla con fibras de acero como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Túnel de viento

Fuente: (Wolf et al., 2020)

Para este proyecto se partió con el diseño en SolidWorks de la cámara de aire, la cual estaba conformada por un ventilador, una rejilla que ayuda a transferir el flujo de aire en forma laminar, la zona de transferencia del flujo y la ventana de visualización de las placas.



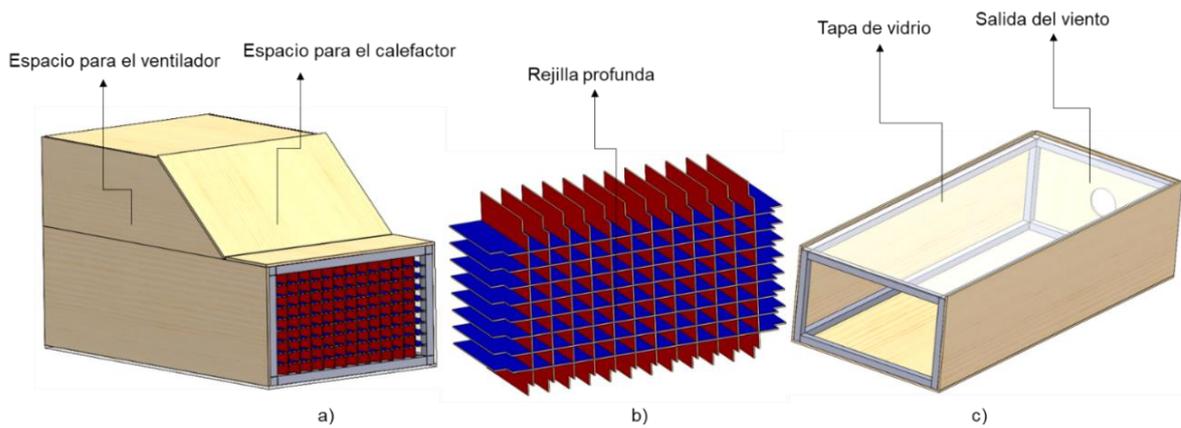
**Figura 8.** a) Bloque 1: Salida del flujo de aire. b) Bloque 1: Abertura para el ventilador. c) bloque 2: Cámara de transferencia del aire caliente

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Sin embargo, este modelo se vio afectado por una modificación muy importante, la cual consistía en la adición de un calefactor para producir ondas de aire caliente con el objeto de acortar el tiempo de secado de las placas de hormigón y por ende acelerar el proceso de fisuración.

### 3.1.2.2. Modelo definitivo

Con las consideraciones anteriormente mencionadas se modificó el modelo en SolidWorks, puesto que era necesario dar lugar a la colocación de un calefactor y un ventilador. Este modelo resultó conveniente porque permitió sustituir la forma rectangular como muestra la Figura 8 la cual genera desperdicio de material y pérdida de las condiciones impuestas para el ensayo de las placas, por otro modelo como se indica en la Figura 9, mismo que facilitó el proceso de transferencia del aire caliente, aprovechando al máximo las condiciones impuestas y a su vez convirtiéndose en la más óptima para el registro de las fotografías donde era necesario una altura más reducida para capturar el proceso de fisuración en la superficie del hormigón.



**Figura 9.** Modelo Final: a) Bloque 1; b) Rejilla profunda; c) Bloque 2

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

En la Figura 10 se muestra el Bloque 1 en donde se evidencia el espacio asignado para empotrar el ventilador y colocar el calefactor de manera que puedan trabajar en conjunto. Es necesario mencionar que el ventilador debe estar detrás del calefactor, este orden de ubicación de los equipos se dio considerando que el calor producido por el calefactor podría perjudicar al funcionamiento del motor del ventilador, además de que así se mejora la circulación del aire caliente a lo largo del Bloque 2.



**Figura 10.** Bloque 1 detallado

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

En la Figura 11 se indica el Bloque 2, el cual se divide en dos partes:

- Una base que se encuentra fija y firme, en donde se asienta el molde de la placa G, el anemómetro y la balanza.
- Una estructura móvil (tapa) que facilita la colocación de la mezcla en los moldes y evita el traslado innecesario de las placas hacia la base.



**Figura 11.** Bloque 2 detallado

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.1.3. EQUIPO

#### a) Sensor para temperatura y velocidad de viento

Se adquirió un anemómetro el cual permitió medir y registrar la temperatura y velocidad del viento producida dentro de la cámara de aire caliente mientras las placas de hormigón con composiciones porcentuales diferentes de fibra se encontraban en proceso de secado hasta presentar fisuras en la superficie.

Este equipo se compone de una hélice para medir el flujo de aire, un mango con sensor que marca la temperatura y un monitor que recepta la información de los sensores, es decir las velocidades del viento entre 0.091~44.99 m/s y la temperatura entre 0~59.99 °C, cabe recalcar que este monitor tiene la capacidad de retener datos y transferirlos mediante conexión USB (H HOLDPEAK, 2020).



**Figura 12.** Anemómetro: sensor de temperatura y velocidad del viento

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

#### b) Calefactor

Para producir aire caliente fue necesario adquirir un calefactor industrial de circulación forzada con niveles de calor de 3000/4000/5000 vatios, el cual permitió que la circulación del calor cubriera áreas considerables. Este equipo

cuenta con rejillas ajustables para mejor distribución de la onda calorífica, un termostato ajustable y un sistema de protección contra el sobrecalentamiento del equipo.



**Figura 13.** Calefactor de circulación forzada

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### c) Ventilador

Para que el flujo de aire llegue a la superficie de las placas, fue necesario adquirir un ventilador eléctrico que empuje el aire caliente, lo pase por la rejilla (transformando en laminar al flujo del aire) y lo transfiera a la zona de estudio donde estarán las placas. Para ello se consiguió un ventilador que posee tres velocidades, con las cuales se fue probando hasta conseguir que el aire se mantenga caliente y en movimiento.



**Figura 14.** Ventilador oscilante de tres velocidades

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### d) Balanza Digital

Con la finalidad de determinar la reducción de la humedad en la superficie del hormigón de la placa P se usó una balanza digital de 40 kg de capacidad

máxima, misma que dio paso al registro de datos de masa en función del tiempo de ensayo.



**Figura 15.** Balanza digital con apreciación de 40 kg

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

#### e) Cámara fotográfica

Para evidenciar el proceso de fisuración en la superficie de las placas de hormigón fue necesario utilizar una cámara de buena resolución que permita captar la formación de fisuras durante el tiempo de ensayo.

## 3.2. MATERIALES PARA EL HORMIGÓN SIMPLE

### 3.2.1. CEMENTO

Para el presente proyecto se trabajó con cemento Holcim Fuerte Tipo GU ya que obedece con la normativa NTE INEN 2380 (2011), en donde señala que este tipo de cemento es para uso general, además de que posee una etiqueta ecológica que garantiza una reducción de 30% de emisiones de CO<sub>2</sub>, demostrando el compromiso que tiene este producto con el medio ambiente (HOLCIM, 2022).

Es importante considerar que este cemento al ser de uso múltiple se lo pudo utilizar para la realización de los especímenes experimentales que se contemplaron en este proyecto.

Los beneficios que ofrece el cemento Tipo GU de HOLCIM son los siguientes:

- Resistencia mecánica elevada.
- Provee una trabajabilidad buena en las mezclas.
- Su fraguado se completa en periodos cortos de tiempo.

- Buena resistencia ante los sulfatos.
- Segregación reducida al igual que la exudación.



**Figura 16.** Cemento Holcim Fuerte Tipo GU

Fuente: Amaguaña y Guamán

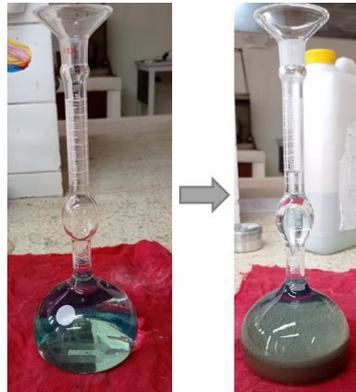
### 3.2.1.1. Densidad Real del Cemento

Uno de los ensayos que se realizó con el cemento hidráulico Tipo GU fue la Densidad Real, parámetro que influye con el diseño y control de la mezcla del hormigón. Para determinar la correlación existente entre la masa de cemento y el volumen de un líquido que es desplazado por esta masa dentro de un frasco de ensayo se realiza el procedimiento expuesto en la Norma NTE INEN 156:2009 *Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad.*

Como referencia se describe el siguiente procedimiento:

- Medir una cantidad de masa aproximadamente de 64 g de cemento  $\pm 0.05g$ .
- En el frasco de Le Chatelier colocar la cantidad necesaria del líquido (gasolina) de manera que no pase del cuello inferior del frasco, es decir que se mantenga entre 0 a 1  $cm^3$ .
- Se debe sumergir el frasco en agua que sostenga condiciones de temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ., para luego registrar el volumen inicial (V1) y la masa del frasco con reactivo (P1) en esas condiciones.
- Luego se continúa con el proceso de colocación del cemento en el frasco hasta que el nivel del reactivo se encuentre en el cuello superior entre los valores de 18 y 24  $cm^3$ .

- Después se coloca el tapón en el frasco y se extrae la mayor parte posible del aire atrapado en la muestra mediante giros cuidadosos.
- Ubicar nuevamente el frasco en agua con las condiciones previamente mencionadas para evitar variaciones, registrar el volumen final (V2) y la masa final del frasco con el líquido y cemento (P2).



**Figura 17.** Proceso para la obtención de la densidad real del cemento

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

La densidad real del cemento se calculó con la siguiente ecuación:

$$\gamma_{real} = \frac{P_2 - P_1}{V_2 - V_1} \frac{gr}{cm^3} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

- $\gamma_{real}$  = Densidad real del cemento  $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$
- $P_1$  = Masa del frasco con reactivo  $[gr]$
- $P_2$  = Masa del frasco con reactivo y cemento  $[gr]$
- $V_1$  = Volumen del frasco con reactivo  $[cm^3]$
- $V_2$  = Volumen del frasco con reactivo y cemento  $[cm^3]$

### 3.2.2. AGREGADOS

Los agregados gruesos (ripio y chispa) y finos (arena) fueron extraídos de la cantera de agregados de la empresa Holcim AGG Pifo, ubicada al Nororiente de Quito en el Km. 4.5 vía Pifo - Papallacta, estos agregados son regulados por un control de calidad basado en las especificaciones técnicas NTE INEN vigentes en el Ecuador.



**Figura 18.** Cantera de agregados HOLCIM-Pifo

**Fuente:** (HOLCIM, 2022)

El producto adquirido para la realización de las muestras experimentales se conformó de piedra #8 con un tamaño máximo nominal de 3/8 in (9.5 mm) además de tener apariencia grisácea y de arena no lavada obtenida luego de tres o más procesos de trituración con una granulometría entre 0-4.75 mm, los dos agregados cuentan con una presentación en sacos de 40 kg.



**Figura 19.** Agregados en presentación de sacos de 40 kg

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

Cabe señalar que a pesar de contar con garantías de calidad de los agregados obtenidos fue necesario la realización de varios ensayos en laboratorio para validar y comprobar que se cumplan los requisitos necesarios para la obtención de una buena mezcla de hormigón, para esto se toma como referencia varias normas que son parte del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.

### 3.2.2.1. Agregado Grueso

#### 3.2.2.1.1. Análisis Granulométrico

El proceso granulométrico ayuda a la clasificación de las partículas que conforman una determinada muestra, de esta manera se conoce el porcentaje de aportación en masa de estas fracciones a la muestra total.

Para el desarrollo de este ensayo se tomó en cuenta los parámetros señalados en la Norma NTE INEN 696:2011 *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*, los pasos a seguir se describen a continuación:

- Medir la cantidad de masa necesaria de agregado en base a la Tabla 8, luego colocar la muestra en el horno a condiciones de temperatura entre  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  aproximadamente por 24 horas o mínimo 18 horas para su secado.

**Tabla 8**

*Cantidad necesaria de muestra de agregado grueso*

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9.5	1
12.5	2
19.0	5
25.0	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

**Fuente:** (NTE INEN 696, 2011)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

- Acomodar de forma decreciente la serie de tamices como se señala en la Tabla 9 y vaciar la muestra en el tamiz superior. Esta tabla de tamices se la obtuvo verificando el tamaño máximo nominal del agregado mediante la Tabla 8 basada en la Norma NTE INEN 872 (2011).

**Tabla 9***Disposición de tamices para agregados gruesos*

Tamiz No.	Abertura [mm]
1/2"	12.50
3/8"	9.50
4	4.75
8	2.36
16	1.18
50	0.300
Bandeja	

**Fuente:** (NTE INEN 696, 2011)**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

- Colocar la serie de tamices en el agitador mecánico por al menos 5 minutos.
- Al final se registra la masa del material retenido en cada tamiz, hay que tomar en cuenta que la pérdida de material en este proceso debe ser menor al 0.3% de la muestra inicial para considerarse válido.

Para la obtención del módulo de finura de los agregados (grueso y fino) se lo realiza en base a la norma NTE INEN 696:2011 en donde señala que se debe realizar lo siguiente:

$$MF = \frac{\sum \% Ret. Acum. (N^{\circ}100, N^{\circ}50, N^{\circ}30, N^{\circ}16, N^{\circ}8, N^{\circ}4, 3/8", 3/4", 1 1/2")}{100} \quad \text{Ec. 9}$$

Y para porcentajes de material en tamices mayores a 37,5 mm (1 1/2") se van aumentando en una relación de 2 a 1. (p. 7)

### 3.2.2.1.2. Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

El aumento en masa del material ensayado debido a la penetración del agua en los poros de una partícula por un período de tiempo específico es lo que se conoce como absorción, excepto por el agua adherida a la superficie de la partícula, que se la expresa como el porcentaje de la masa seca (UCA, 2016). De acuerdo con la norma ASTM C128 (2016) las densidades a determinar son las siguientes:

- Densidad (SH), es la masa del agregado secado en horno por unidad de volumen de partículas acumuladas.

- Densidad (SSS) es la masa de agregado seco superficial saturado por unidad de volumen.
- Densidad relativa (gravedad específica), (SH), se la precisa como la relación entre la densidad (SH) del agregado y la densidad del agua.
- Densidad relativa (gravedad específica), (SSS), se la define como la relación de la densidad (SSS) del agregado y la densidad del agua.

El proceso que se siguió para este ensayo se detalla en la Norma NTE INEN 857:2010 *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso*, en donde se señala lo siguiente:

- Lavar la muestra del agregado a usar para retirar partículas de material y polvo adheridos al agregado grueso, luego cubrir la muestra con agua y dejar que repose por  $24h \pm 4h$  para llenar con agua sus poros.
- Secar la muestra hasta eliminar toda lámina visible de agua (brillo).
- En la condición saturada superficialmente seca (S.S.S), medir la cantidad de material señalada en la Tabla 10.
- Sumergir el recipiente con la muestra en un tanque con agua a una temperatura de  $23^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ , agitar para sacar burbujas y pesar.
- Finalmente sacar la muestra, colocar en un recipiente, poner a secar por al menos 24 horas y pesar la muestra final seca.

**Tabla 10**  
*Cantidad de agregado mínimo para el ensayo*

Tamaño nominal máximo, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, Kg
12.5 o menor	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

**Fuente:** (NTE INEN 857, 2010)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán



**Figura 20.** Parte del proceso para la obtención de la densidad relativa y absorción

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

Las fórmulas por usarse para la obtención de datos son las siguientes:

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B - C} \quad \text{Ec. 10}$$

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica) (S.S.S)} = \frac{B}{B - C} \quad \text{Ec. 11}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente (gravedad específica)} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{B - A}{A} \right) * 100 \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

- A= Masa del material seco al aire [gr]
- B= Masa de la muestra en superficie saturada seca (S.S.S) [gr]
- C= Masa de la muestra sumergida en agua [gr]

### 3.2.2.1.3. Densidad Aparente

La densidad aparente se la especifica como una relación entre la masa y el volumen que ocupa un material incluido el vacío que puedan existir entre las partículas de dicho material.

Por lo tanto, el ensayo se divide en dos condiciones; suelta y compactada, en donde la diferencia radica en el proceso, ya que para la densidad suelta no se requiere ningún apisonamiento o compactación para llenar los vacíos entre las partículas de un material como se requiere en la densidad compactada.

Para la determinación de la densidad aparente del agregado grueso se siguió los parámetros señalados en la Norma NTE INEN 858:2010 *Áridos. Determinación de*

la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos, en donde se explica el siguiente procedimiento:

- Obtener una muestra que sobrepase en un 125% a 200% de la masa solicitada para rellenar el molde requerido de acuerdo a la Tabla 11, esta muestra debe estar previamente secada al horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un periodo mínimo de 24 h.

**Tabla 11**

*Determinación de moldes de ensayo*

Tamaño máximo nominal del árido [mm]	Capacidad nominal del molde m <sup>3</sup> [litros]
12.5	0.0028 [2.8]
25.0	0.0093 [9.3]
37.5	0.014 [14]
75.0	0.028 [28]
100.0	0.070 [70]
125.0	0.100 [100]

Fuente: (NTE INEN 858, 2010)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

- Una vez determinado el molde, registrar diámetro, altura y masa del mismo. En este molde se realiza el ensayo con el agregado tanto de manera suelta como compactada.
  - Densidad Suelta**
    - Colocar la muestra en el recipiente mediante el uso de paladas desde una altura máxima aproximada de 5 cm, de tal manera que se llene sin realizar movimientos bruscos o vibraciones al molde.
    - Una vez lleno el molde nivelar con ayuda de una varilla lisa o regleta procurando no realizar movimientos que compacten la muestra.
    - Limpiar excesos y pesar la muestra con el molde.
  - Densidad Compactada**
    - Llenar con muestra una tercera parte del recipiente con ayuda de paladas y realizar 25 golpes fuertes con ayuda de una varilla lisa de compactación de diámetro 1.6 cm y 60 cm de longitud, con punta semiesférica de diámetro 1.6 cm.

- Repetir el procedimiento anterior con las dos capas restantes del recipiente procurando no atravesar a la capa anterior con la varilla de compactación.
- Luego de llenar por completo el molde, enrasar con la ayuda de la varilla y tratar de ir llenando los espacios vacíos que hayan quedado.
- Limpiar y pesar la muestra con el molde.



**Figura 21.** Masa del molde y la muestra en compactación

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

La ecuación que permite calcular de la densidad aparente suelta y compactada es la siguiente:

$$D = \frac{G - T}{V} \left( \frac{gr}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

- $D$  = Densidad aparente del árido  $\left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$
- $G = W_{agregado+molde}$  = masa del agregado + masa del molde  $[gr]$
- $T = W_{molde}$  = masa del molde  $[gr]$
- $V$  = volumen del molde  $[cm^3]$

Para mayor confiabilidad de resultados de los ensayos se debe repetir el proceso al menos dos veces.

#### 3.2.2.1.4. Abrasión

Mediante este ensayo se puede determinar la calidad relativa, durabilidad y dureza del agregado grueso ya que se encuentra sometido a un impacto y desgaste se su

masa mediante el uso de la máquina de los Ángeles, que consiste en un tambor rotativo de acero, además de una determinada cantidad de esferas de acero. Los resultados obtenidos nos ayudan a tener un buen control de calidad del agregado con el que se está trabajando y de la cantera de donde proviene.

Para este ensayo se tomaron como base las Normas NTE INEN 860:2011 y la NTE INEN 861:2011 de Áridos. *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm y mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles*, en donde se indica lo siguiente:

- La muestra a ocupar debe estar limpia, sin residuos orgánicos ni de otra índole, secada previamente a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Para la determinación de la cantidad de muestra se usa la Tabla 12, en donde señala las fracciones en que se debe pesar la muestra, las cuales dependen de la granulometría del agregado, se observa en qué tamiz se retuvo más material y dependiendo de este valor se procede a verificar la categorización del agregado.

**Tabla 12**

*Gradación del agregado de ensayo*

ABRASIÓN PARA AGREGADOS CON TAMAÑO MENOR A 1 1/2"				100 y 500 REV	TOTAL 500 REV
Tamices		Pesos (gr) y Gradaciones			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	Nº 4			2500 ± 10	
Nº 4	Nº 8				5000 ± 10
<b>TOTAL</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
<b># ESFERAS</b>		12	11	8	6

**Fuente:** (NTE INEN 860, 2011)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

- Luego de asignar las fracciones de muestra y número de esferas, se procede con la colocación de estas en la máquina de los Ángeles; el número de rotaciones que se da al tambor de la máquina depende del agregado (tamaño máximo), se clasifica de la siguiente manera:

- Tamaño máximo de las partículas menores a 37.5 mm: 100 rotaciones iniciales y luego se realizan 400 rotaciones sumando en total 500 rotaciones a una velocidad aproximada de 30-33 rev/min.
- Tamaño máximo de las partículas mayores a 19 mm: 200 rotaciones iniciales y luego se realizan 800 rotaciones sumando en total 1000 rotaciones a una velocidad aproximada de 30-33 rev/min.
- Al cabo de las primeras vueltas se debe sacar la muestra y tamizar (tamiz N° 8 y N° 12), pesar el material que se retuvo en los tamices, registrar y volver a colocar la muestra en la máquina para que se completen las revoluciones.
- Finalmente se saca el material de la máquina y se vuelve a pasar por los tamices N° 8 y N° 12 para registrar la masa retenida en cada uno.

De esta manera se obtienen los datos necesarios para calcular el desgaste por abrasión mediante la siguiente ecuación.

$$V(\%) = \frac{A - C}{A} * 100 \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

- V= Desgaste por abrasión [%]
- A= Masa inicial [gr]
- C= Masa a las 500 o 1000 revoluciones retenido en el tamiz N° 12 [gr]

Para comprobar si el agregado tiene dureza uniforme se debe estimar el Coeficiente de uniformidad, donde señala que no es válido un valor mayor a 0.2 (20%).

$$CU = \frac{A - B}{A - C} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

- B= Masa a las 100 o 200 revoluciones retenido en el tamiz N° 12 [gr]

### 3.2.2.1.5. Resultados de la Caracterización de Agregado Grueso

En la Tabla 13 se exhibe un resumen de la caracterización del agregado grueso usado para este proyecto.

**Tabla 13***Resumen de caracterización del agregado grueso*

<b>Propiedad</b>	<b>Dato</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de Finura [MF]	4.05	-
Tamaño Máximo Nominal	3/8"	in
Densidad Relativa [SH]	2.60	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Relativa [S.S.S.]	2.66	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Relativa Aparente	2.77	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	2.43	%
Densidad Aparente suelta	1.27	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente compactada	1.45	gr/cm <sup>3</sup>
Abrasión	22.69	%
Coeficiente de Uniformidad	0.25	-

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**3.2.2.2. Agregado Fino****3.2.2.2.1. Análisis Granulométrico**

Para el análisis granulométrico del agregado fino (arena) la colocación de los tamices es de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 14***Disposición de tamices para agregado fino.*

<b>Tamiz No.</b>	<b>Abertura [mm]</b>
3/8"	9.5
4	4.75
8	2.36
16	1.18
30	0.600
50	0.300
100	0.150
200	0.075
Bandeja	

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Luego se mantiene las mismas indicaciones descritas en el apartado 3.2.2.1.1 Análisis granulométrico de agregado grueso, con la diferencia de que la cantidad de muestra a ensayar no se verifica en una tabla, sin embargo, esta cantidad puede ser delimitada con un mínimo de 300 gr y un máximo 500 gr.

En cuanto al Módulo de Finura el procedimiento y ecuación es el mismo indicado en el apartado 3.2.2.1.1.



**Figura 22.** Tamizado del agregado fino

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

#### 3.2.2.2.2. Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

La Norma NTE INEN 856:2010 *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino*, señala el siguiente procedimiento para la realización del ensayo.

- Pesar 1.5 kg de agregado fino previamente seco en horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un periodo mínimo de 24 h, esta muestra se sumerge en agua por al menos 24 h para su saturación.

#### **Determinación de la condición “Superficie Saturada Seca (S.S.S)”.**

- Una vez transcurrido el tiempo de saturación, eliminar el exceso de agua de manera que no se pierdan los finos de la muestra, luego colocar en un recipiente seco que no absorba la humedad.
- Secar la muestra uniformemente hasta eliminar la capa brillante sobre el agregado, con el fin de evitar que sus partículas se peguen entre sí de manera muy marcada, se puede usar el horno para agilizar este proceso cuidando que el material no se seque demasiado, en caso de que esto ocurra será necesario repetir el ensayo.

#### **Determinación de humedad superficial (Condición SSS).**

- Utilizar un recipiente metálico con forma de cono truncado colocado sobre una superficie lisa no absorbente.

- Colocar la muestra dentro del recipiente hasta que se desborde, sostenerlo con firmeza y compactar el agregado proporcionando 25 golpes ligeros con ayuda de un compactador desde una altura aproximada de 5 mm sobre la superficie de la muestra.
- Limpiar los excesos alrededor del molde y alzarlo de manera vertical sin causar vibraciones o movimientos bruscos. Si la muestra se desploma de manera leve habrá llegado a la condición SSS, caso contrario, si conserva en su totalidad la forma del molde se deberá secar un poco más el agregado.

#### **Determinación de densidades.**

- En el picnómetro llenar con agua a  $23.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta la marca de aforo, registrar su masa y temperatura.
- Obtener una cantidad de masa de 500 gr de la muestra en condición SSS, colocar el material dentro del picnómetro ayudándose de un embudo y adicionar agua hasta un 90% de su capacidad.
- Mediante la agitación manual o con la ayuda de una bomba que aplica vacío eliminar las burbujas de aire presentes en la muestra.
- Luego de la eliminación de burbujas se procede a la colocación de agua hasta llegar a la marca de aforo del picnómetro, evitando introducir aire.
- Registrar la masa del picnómetro con la muestra, obtener el valor de masa de un recipiente adicional, vaciar la muestra en el mismo y secarla en el horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Finalmente, al cabo de 24 horas registrar la masa del agregado fino.



**Figura 23.** Parte del proceso de densidad relativa y absorción del agregado fino

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

Para el tratamiento de los datos se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SH) = \frac{A}{B + S - C} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SSS) = \frac{S}{B + S - C} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (SSS)} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

- A= Masa del material seco [gr]
- B= Masa del picnómetro + agua [gr]
- C= Masa del picnómetro + agua + material [gr]
- S= Masa del material en S.S.S [gr]

#### 3.2.2.2.3. Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente del agregado fino se debe seguir los parámetros señalados en el apartado 3.2.2.1.3.



**Figura 24.** Enrasado del agregado fino para la densidad suelta

Fuente: Amaguaña y Guamán

#### 3.2.2.2.4. Contenido Orgánico

Los agregados finos al ser provenientes de la naturaleza poseen componentes orgánicos que en exceso pueden perjudicar a la composición del concreto y a sus

propiedades mecánicas, por lo que es necesario un ensayo para determinar si el contenido orgánico está dentro de los parámetros señalados en la norma.

El contenido orgánico se determina mediante el procedimiento descrito en la Norma NTE INEN 855:2010 *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*, como se muestra a continuación:

- Obtener una muestra del agregado fino con una masa aproximadamente de 450 gr.
- Colocar el material hasta un nivel equivalente de 130 cm<sup>3</sup> dentro de un frasco o botella de vidrio transparente para facilitar su observación.
- Verter la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de la muestra mezclada de agregado fino con la solución sea de aproximadamente 200 cm<sup>3</sup>.
- Sellar la botella, agitar con fuerza y dejar reposar durante 24 h.

Para la comparación del color es necesario utilizar cinco vidrios de color normalizado, los cuales se muestran en formato de escala como se señala en la Tabla 15.

**Tabla 15**  
*Escala de Gardner para comparación de color normalizado*

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizados de referencia)
14	4
16	5

**Fuente:** (NTE INEN 855, 2010)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

### 3.2.2.2.5. Resultados de la Caracterización de Agregado Fino

En la Tabla 16 se despliegan los resultados finales obtenidos de la caracterización del agregado fino usado para este proyecto.

**Tabla 16***Resumen de caracterización del agregado fino*

<b>Propiedad</b>	<b>Dato</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de Finura [MF]	2.96	-
Densidad Relativa [SH]	2.53	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Relativa [S.S.S.]	2.61	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Relativa Aparente	2.74	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	3.02	%
Densidad Aparente suelta	1.53	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente compactada	1.76	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido orgánico	#0	Escala Gardner

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### **3.3. FIBRA DE ESTOPA DE COCO**

#### **3.3.1. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA FIBRA**

La fibra de estopa de coco se consiguió mediante una distribuidora de sustratos, puesto que por cuestiones de pandemia no fue posible el traslado hacia la Costa ecuatoriana, en donde se produce mayormente este material. Se sabe que el aprovechamiento de la estopa de coco a nivel nacional se ha vuelto más notorio en los últimos años, según datos estadísticos se tiene que en 2019 alrededor de 70.560 kg de fibra de coco (mesocarpo) fue industrializado para las distintas formas de comercialización (Ocampo María, 2019). A diferencia del 2015 donde la valoración de la estopa de coco fue de apenas 6.237,9 kg (García Patricia, 2015).

Una de las distribuidoras que comercializan la estopa de coco es Hidroponía Ecuador - La Huerta Honfleur, ubicada en Luis Felipe Borja E7-631 y Charles Darwin (La Armenia 2) Quito, este sustrato es extraído de la provincia de Esmeraldas, el cual luego de procedimientos previos de limpieza y adecuación para su colocación en la maquina deshebradora, se obtiene mecánicamente fibras con una consistencia de hilos, por lo cual solo se tuvo que limpiar la fibra de elementos demasiado grandes, peinar y cortar a la medida requerida.



**Figura 25.** Fibra comprada en Hidroponía-Ecuador

**Fuente:** Amaguaña y Guamán



**Figura 26.** Proceso de limpieza y corte de la fibra

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

Una vez limpiada la fibra, se procedió a secarla al sol por un día para evitar daños en el material por la presencia de humedad, luego se separó en dos grupos, el primero se mantendrá tal cual de manera natural y el segundo se someterá a un tratamiento químico con el fin de mejorar las propiedades de la fibra y su controlar su degradación.

### **3.3.2. LONGITUD DE LA FIBRA**

En función de varios experimentos relacionados con el concreto y la fibra de estopa de coco, las longitudes con resultados más prometedores para el hormigón con 0.5% y 1% de fibra oscilan entre los 2 y 4 cm (Ali et al., 2012). Asimismo la norma ACI 544.4R-18 (2018) señala que la longitud de fibras naturales recomendable a usarse en el hormigón es de 1.5 in (3.77 cm). Bajo estas recomendaciones se optó por trabajar con cortes de estopa de coco a 4 cm.

### 3.3.3. TRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA

El tratamiento químico usado en este proyecto es la mercerización, el cual consiste en sumergir por 24 horas las fibras de estopa de coco en lejía de Hidróxido de sodio (NaOH) conocida también como sosa cáustica, con una concentración del 4%. Este proceso fue elegido luego de un previo estudio realizado por Rodríguez y Vélez (2022) “*Caracterización de hormigones compuestos con fibra de estopa de coco usando dos tratamientos químicos para disminuir su degradación*”, en donde concluyeron que el tratamiento químico que dio mejores resultados en optimizar sus propiedades mecánicas y físicas fue el que usa NaOH.

La sosa cáustica se la obtuvo mediante una gestión con el departamento de Ingeniería Química de la EPN, la presentación del producto entregado fue en estado sólido con una pureza del 80%, por lo que fue necesario realizar un procedimiento adicional para la preparación de la solución en estado líquido y con la concentración requerida.

Para conseguir esta reacción química se adquirió agua destilada, en la cual se vertió la sosa cáustica en estado sólido, la fórmula química que permitió obtener esta solución es la siguiente:

$$H_2O \text{ lt} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} * \frac{1 \text{ gr soluc.}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{4 \text{ gr NaOH}}{100 \text{ gr soluc.}} * \frac{100 \text{ gr puros NaOH}}{80 \text{ gr impuros NaOH}} \quad \text{Ec. 21}$$

Para la preparación de esta solución fue necesario el uso de herramientas de protección como: guantes, gafas, mascarilla y mandil; ya que esta solución tiende a ser corrosiva.



**Figura 27.** Preparación de la solución de sosa cáustica al 4%

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

El procedimiento que se realizó para la mercerización de la estopa de coco fue el siguiente:

- 1) Con la preparación de la solución de sosa cáustica al 4% lista, se colocó la fibra de estopa de coco previamente limpia y cortada, para esto se usó un palo de madera que ayudó a sumergirla completamente en la solución y evitar la manipulación directa que pueda provocar quemaduras.
- 2) Dejar que la solución actúe en la fibra sumergida y esperar al menos 24 horas.
- 3) Transcurrido el tiempo señalado anteriormente se procedió a lavar la estopa hasta que el indicador de PH del agua esté en el rango de 7 (neutro).
- 4) Finalmente se escurre la fibra y se la deja secar al sol.



**Figura 28.** Estopa sumergida en sosa cáustica con un PH de 14 (Muy alcalino)

**Fuente:** Amaguaña y Guamán



**Figura 29.** Estopa lavada con un PH de 7 (Neutro)

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.4. MÉTODO DE ENSAYOS

#### 3.4.1. ENSAYO DE FIBRA DE ESTOPA DE COCO

Así como los agregados, las fibras también requieren ser caracterizadas, es decir, conocer la tenacidad, elongación a la rotura, densidad lineal y contenido de humedad. Para lo cual se solicitó la colaboración del Centro Textil Politécnico perteneciente al departamento de Ingeniería Química, donde fue necesario entregar un grupo de 50 muestras en estado natural y 50 con tratamiento químico, las cuales se midieron con un calibrador (no menor a 14 cm), se determinó su masa con ayuda de una balanza de alta sensibilidad y se las rotuló para su identificación durante el ensayo.



**Figura 30.** Procedimiento previo a la caracterización de las fibras

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

##### 3.4.1.1. DENSIDAD ABSOLUTA

La densidad de la fibra es un parámetro importante para establecer el potencial de la fibra como material liviano, siempre y cuando se use como refuerzo en un compuesto. La densidad se obtiene utilizando un picnómetro de helio (Bui et al., 2020).

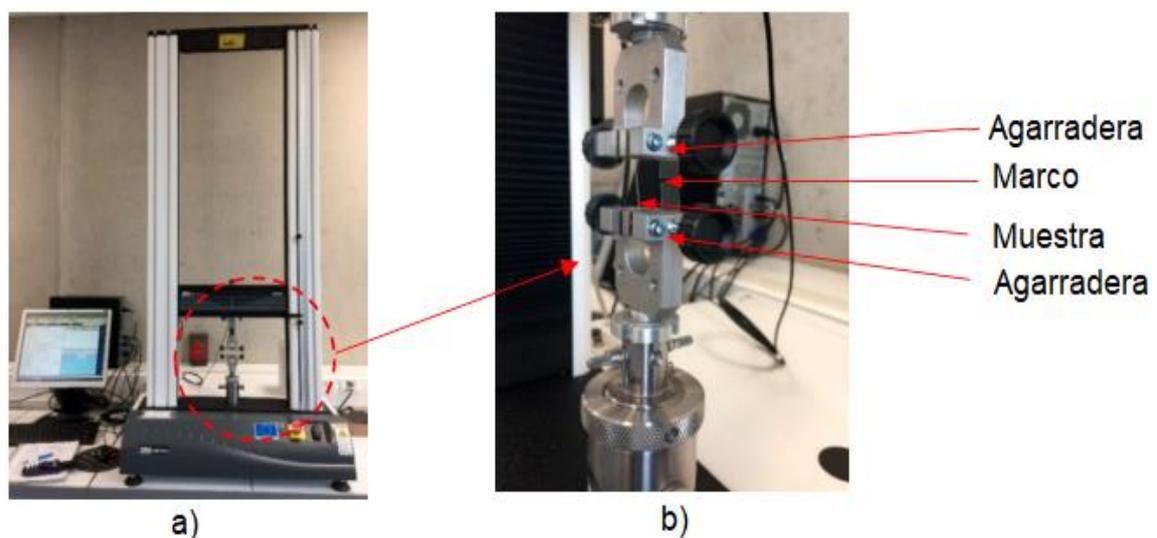
##### 3.4.1.2. ELONGACIÓN

La elongación de las fibras es el alargamiento máximo que soportan hasta antes de llegar a su punto de ruptura, se mide en porcentaje (%) con respecto a la longitud original de las fibras, este dato se obtiene simultáneamente con la realización del ensayo de tracción directa (Bui et al., 2020).

### 3.4.1.3. TRACCIÓN DIRECTA

En el ensayo de tracción se obtiene la fuerza necesaria para que la fibra al estirarse llegue a su punto de rotura, para este ensayo es necesario contar con un equipo de prueba de fibras de tracción como señala la ASTM D2256 (2021), el cual se encargará de ejercer el método de prueba estándar que permita determinar la resistencia a la tracción de fibras únicas tales como: cerámica, vidrio, carbono y otras fibras a temperatura ambiente. Los especímenes deben tener al menos 1,5 veces de la longitud calibrada y tener un diámetro de hasta 0,250 mm (Bui et al., 2020).

Todas las muestras son cargadas a una velocidad constante de desplazamiento de la cruceta hasta que se presenta la fractura. Se contempla la validez del resultado si la falla de la fibra no ocurre en la zona de agarre. Las mordazas que sirven como agarre de la fibra, están diseñadas de tal manera que garantice una alineación axial de la fibra en toda la trayectoria de acción de la máquina, logrando que la muestra a prueba no se vea afectada. La resistencia a la tracción se obtiene a partir de la relación entre la fuerza máxima y el área de la sección transversal de un plano perpendicular al eje de la fibra (Bui et al., 2020).



**Figura 31.** Prueba de tracción ASTM C1557-03 (2017): a) Prueba universal; b) detalles de las mordazas y muestra

**Fuente:** (Bui et al., 2020)

#### 3.4.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

Las fibras de origen natural son materiales hidrófilos que absorben el agua utilizada para la fabricación de elementos o compuestos. El contenido de humedad se establece con la diferencia entre la masa de fibras secas y fibras sumergidas en tiempos diferentes y se calcula usando la siguiente ecuación (Bui et al., 2020).

$$\text{Absorción de agua} = \frac{\text{Masa sumergida} - \text{Masa seca}}{\text{Secado masivo}} * 100\% \quad \text{Ec. 22}$$

#### 3.4.2. ENSAYO DE ULTRASONIDO

Una de las metodologías que se ha venido desarrollando en la actualidad para la medición de fallas y fisuras en el hormigón ha sido el ensayo de ultrasonido como lo señala la ASTM C597-16. Con el objeto de estimar la profundidad de las fisuras que se hayan presentado en las placas de hormigón simple y en las placas con adición de diferentes porcentajes de fibra de estopa de coco se empleó el ensayo de ultrasonido difuso.

De acuerdo a varios estudios se dedujo que es viable valorar la profundidad de las fisuras mediante un análisis de la variación del tiempo que tiene el recorrido de la onda en las regiones que presentan fisuras y en las que no, este método de ensayo puede tener un margen de error de cálculo del 10%, esto debido a que puede ser influenciado por factores como: profundidad de la fisura, calidad del hormigón, saturación del material, espesor del elemento a analizar, entre otros (Silva et al., 2019).



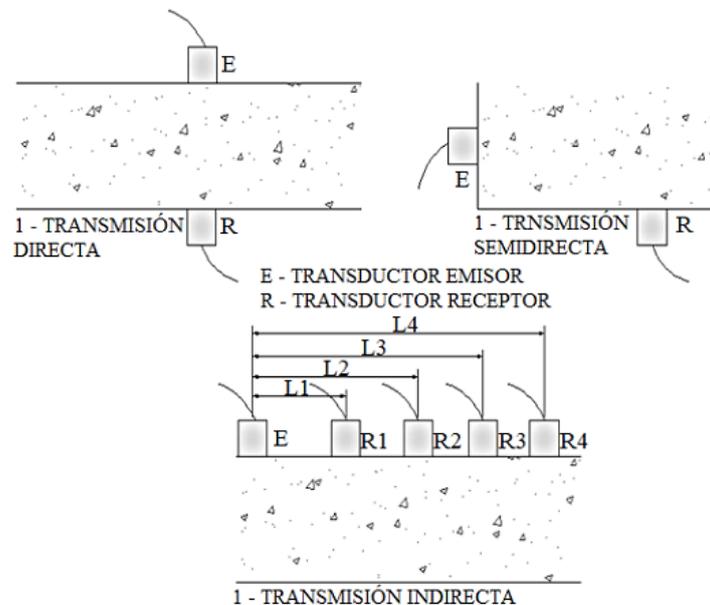
**Figura 32.** Equipo de ultrasonido

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.4.2.1. Procedimiento del Ensayo de Ultrasonido

El ensayo de ultrasonido utiliza un equipo diseñado para generar ondas longitudinales las cuales van de un emisor a un receptor (transductores), dichas ondas no son perceptibles al oído ya que su frecuencia es menor a 20 Hz (ondas infrasónicas), viajan por el concreto lo que significa que el ensayo es de carácter no destructivo y puede aplicarse en cualquier momento, siempre y cuando el concreto se encuentre en estado endurecido.

La forma directa, semidirecta e indirecta son las tres formas en que se da la transmisión de las ondas sobre la superficie del concreto como se muestra en la Figura 33 (Silva et al., 2019).



**Figura 33.** Posicionamiento de los transductores

Fuente: (Silva et al., 2019)

Al tratar con placas de hormigón que presentan fisuras en la superficie, el método óptimo para la determinación de la profundidad de las fisuras es el de Transmisión Indirecta, por lo tanto, los transductores deben instalarse de manera equidistante a la fisura.

### 3.4.3. ENSAYO DE FUERZA

Los siguientes ensayos se llevaron a cabo con probetas de hormigón reforzado con distintas composiciones porcentuales de fibra de estopa de coco, en estado natural

y con tratamiento químico (mercerización). Se consideró un muestreo de 7 tipologías, cada una de estas configuraciones acompañadas de 3 cilindros y 3 vigas, esto con el fin de promediar los resultados obtenidos y tener un campo más amplio de comparación.

Dichas probetas fueron ensayadas a los 28 días de curado, las máquinas empleadas para los ensayos son provenientes del LEMSUR, laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN.

#### 3.4.3.1. Resistencia a la Compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se desarrolló en cilindros de 10x20 cm, previo a ser ensayados pasaron por un proceso de preparación, el cual consiste en secar superficialmente a la probeta, medir y promediar al menos 2 medidas de diámetro para obtener el área de carga, 3 de altura y la masa que permitirá obtener la densidad. Si las caras transversales del cilindro presentan defectos de planicidad y paralelismo, será necesario hacer un procedimiento de refrentado para nivelar las superficies de la probeta, de no hacerlo los resultados del ensayo se verán afectados.

Una vez preparado el espécimen se procede a ubicarlo en la máquina de compresión y colocar la carga axialmente hasta que se fracture y permita archivar el tipo de falla y carga máxima que resiste.

La resistencia del hormigón a la compresión ( $f'_c$ ) se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$f'_c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\left(\frac{\pi}{4} * D^2\right)} * f \quad \text{Ec. 23}$$

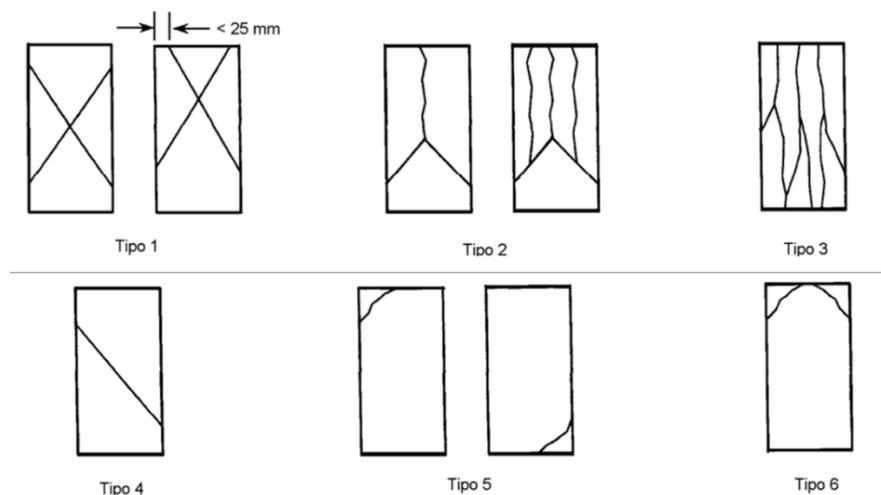
Donde:

- $P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima [kN]
- $A$ = Área de la sección transversal [mm<sup>2</sup>]
- $D^2$ = Diámetro promedio [mm]
- $f$ = factor de conversión igual a 10197.2 para pasar a [kgf/cm<sup>2</sup>]

La densidad se puede calcular dividiendo la masa del espécimen en kg respecto al volumen, es decir, el diámetro y altura promedio en  $m^3$ .

Los tipos de falla se clasifican en 6 tipologías (NTE INEN 1573, 2010), tal como se describe a continuación:

- **Tipo 1:** Formación parcial de Conos en ambos polos, fisuras menores a 25 mm a través de la cabecera.
- **Tipo 2:** Cono bien formado en uno de los polos, fisuras verticales que cruza a través de la cabecera, en el otro polo se presenta un cono no muy definido
- **Tipo 3:** Fisura vertical a través de ambos polos, conos no muy definidos.
- **Tipo 4:** Fractura diagonal sin evidencia de fisuras a través de los bordes; para este caso es necesario golpear con un mazo para distinguirlo del Tipo 1.
- **Tipo 5:** Presenta fracturas a los lados en su polo superior o inferior.
- **Tipo 6:** Parecido al Tipo 5, pero en un polo del cilindro forma una punta.



**Figura 34.** Tipo de fallas en cilindros sometidos a una fuerza de compresión

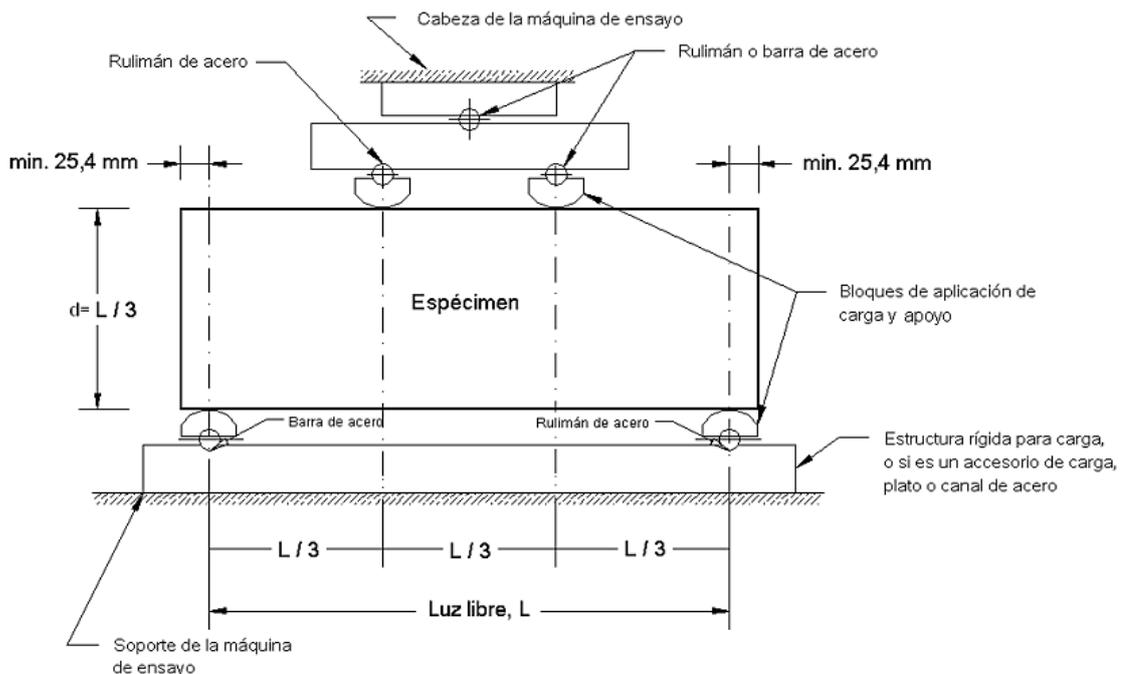
Fuente:(NTE INEN 1573, 2010)

### 3.4.3.2. Resistencia a la Flexión

Los ensayos de resistencia a la flexión en vigas se utilizan para hormigones destinados a la construcción de losas y pavimentos. Por lo tanto, al estudiar secciones de gran área fue necesario considerar vigas de hormigón simple que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM C 42. Los especímenes a

ensayar presentan algunas características, tales como: los lados forman un ángulo recto con la parte superior e inferior, todas sus caras deben estar lisas y sin marcas, desportilladuras y agujeros (NTE INEN 2554, 2011).

Las vigas de 40x10x10 cm fueron apoyadas libremente en sus extremos y cargadas a un tercio de su longitud, sin impacto a velocidad constante, como se muestra en la Figura 35, este procedimiento se lo realiza con ayuda de la máquina de flexión de vigas como se describe en la norma NTE INEN 2554 (2011).



**Figura 35.** Ensayo a flexión, según el método de carga a los tercios de luz libre

**Fuente:** (NTE INEN 2554, 2011)

La velocidad de carga se determina a partir de la siguiente expresión:

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

- $r$ = velocidad de carga [N/min]
- $S$ = Velocidad de incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción [MPa/min]
- $b$ = Promedio del ancho del espécimen [mm]

- $d$ = Promedio de la altura del espécimen [mm]
- $L$ = Luz libre de la viga [mm]

El módulo de rotura se determina en función de la ubicación de la fractura producida en la superficie de tracción como sigue:

- a) Si la fractura se da dentro del tercio medio de luz libre, entonces se aplica la Ecuación 25.

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

- $R$ = Módulo de rotura [MPa]
  - $P$ = Carga máxima aplicada resultante de la máquina de ensayo [N]
  - $L$ = Luz libre [mm]
  - $b$ = Promedio del ancho del espécimen en la fractura [mm]
  - $d$ = Promedio de la altura del espécimen en la fractura [mm]
- b) Si la fractura se presenta fuera del tercio medio de luz libre, pero no más allá del 5%, se aplica la Ecuación 26.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

- $a$ = Distancia entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga [mm]
- c) Si la fractura se da fuera del tercio medio de luz libre, en más allá del 5% será necesario desechar los resultados.

### 3.5. HORMIGÓN CON FIBRA DE COCO

#### 3.5.1. TIPO Y CANTIDAD DE PROBETAS

La Tabla 17 indica la cantidad de probetas a emplear las cuales se caracterizan en 4 tipos, tales como: **placas G** (75x40x2.5 cm), **placas P** (30x30x2.5 cm), **vigas** (40x10x10 cm) y **cilindros** (10x20 cm); mismas que permitirán medir y evidenciar

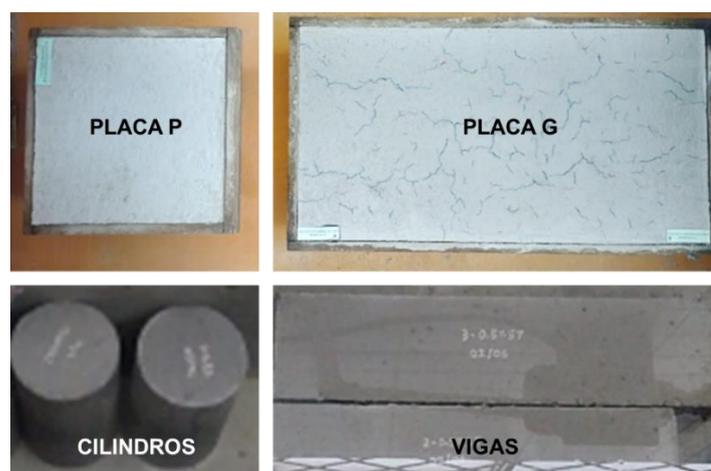
fisuras, la pérdida de humedad, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión respectivamente, así mismo en la Figura 36 se muestran dichas probetas.

Cabe mencionar que los moldes de las placas G y P fueron elaboradas en madera y cubiertas por una capa de impermeabilizante con el fin de evitar que la madera absorbiera el agua de la mezcla de hormigón. Los moldes de acero para la realización de cilindros y vigas fueron facilitados por el laboratorio del LEMSUR.

**Tabla 17**

*Cantidad de probetas contempladas en el proyecto*

Composición porcentual de estopa de coco		Ensayo diario		Ensayo a los 28 días	
		Placas G	Placas P	Vigas	Cilindros
Sin fibras	0.00%	3	3	3	3
Fibras sin tratamiento	0.50%	3	3	3	3
	0.75%	3	3	3	3
	1.00%	3	3	3	3
Fibras con tratamiento	0.50%	3	3	3	3
	0.75%	3	3	3	3
	1.00%	3	3	3	3
<b>Total de Probetas tipo</b>		21	21	21	21
<b>Total de probetas</b>		<b>84</b>			



**Figura 36.** Tipo de probetas usadas en el proyecto

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.5.2. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA MEZCLA

Al ser un trabajo experimental fue necesario implementar distintas alternativas de dosificación que permitan cumplir con los objetivos delimitados inicialmente, así

como también acoplarse y trabajar simultáneamente con las condiciones ambientales impuestas como viento y temperatura.

Para el ensayo de prueba de resistencia a la compresión se diseñó una dosificación y se elaboró probetas sin fibras de estopa de coco, luego de comprobar que cumplió con la resistencia requerida a esta dosificación se le descontó cierto porcentaje del agregado grueso y se lo sustituyó por la fibra según lo contemplado (0.5%, 0.75% y 1%).

### 3.5.2.1. Dosificación inicial

En principio se concibió una dosificación de 210 kgf/cm<sup>2</sup> que incorporaba agregado grueso de ¾" como lo señala la Tabla 18, esto con el fin de aplicarlo en un molde metálico de 6 cm de espesor (equivalente a una losa de 20 cm) para la placa G y placa P. Dicha dosificación se contempló bajo criterios normados del ACI, expresados por unidad de masa (kg) respecto al cemento. Como método de comprobación, se ensayaron tres cilindros con 0% de fibra a los 7 días de curado, los cuales demostraron que la resistencia promedio de los tres superaba la requerida, es decir el 65% de la resistencia de diseño. Sin embargo, esta dosificación no permitió cumplir el objetivo de este proyecto, es decir, obtener fisuración en la placa G, por lo que, se modificó los parámetros en cuanto a cantidad y tipo de agregado grueso.

**Tabla 18**

*Dosificación inicial para  $f'c=210$  kgf/cm<sup>2</sup>, agregado grueso ¾"*

<b>a/c</b>	<b>c/c</b>	<b>Af/c</b>	<b>Ag/c</b>
0.52	1.00	1.95	2.14

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Según el estudio de Chan et al. (2003) cuando el módulo de finura de la arena está por debajo del 2.2 el hormigón tiende a ser más pastoso, a consumir más agua y cemento de la que fue diseñada, lo cual perjudica a la resistencia de diseño y a la aparición de fisuras producto de la contracción por secado, así mismo ocurre cuando se decide trabajar con un agregado grueso con un mayor porcentaje de material fino.

De acuerdo con este criterio se decidió probar varias dosificaciones, las cuales consistían en reducir el tamaño del agregado grueso, así como también el espesor de la placa G como se representa en la Tabla 19, para de esta manera cumplir con el propósito de producir fisuras en la placa G con las condiciones controladas de temperatura y velocidad del viento, para posteriormente ver su cambio con la adición de fibra de estopa de coco.

**Tabla 19**

*Relación entre el tamaño del agregado y espesor de la placa G*

Tamaño de agregado [in]	Espesor de placa G [cm]
3/4	6
	5
1/2	6
	5
	4
1/2 y 3/8	5
	4
	3.5
3/8	3
	2.5

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

### 3.5.2.2. Dosificación Final

Con las condiciones anteriormente expuestas se observó que al reducir el tamaño del agregado grueso y del espesor de la placa se produjo una manifestación progresiva de fisuras, por tal motivo se consideró trabajar con el agregado grueso más pequeño (chispa, agregado de 3/8") y con un espesor de placa de 2.5 cm. El cual resultaría beneficioso para una notable formación de fisuras, pero un poco perjudicial para la resistencia.

La Tabla 20 señala la dosificación con la cual se decidió proceder el ensayo de todas las probetas, a pesar de que cuando se ensayaron tres cilindros de comprobación con 0% de fibra y curados a los 7 días, la resistencia que se obtuvo estaba por debajo del 65% de la resistencia requerida, es decir, que a los 28 días de curado se alcanzaría una resistencia aproximada de 200 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 20***Dosificación final para  $f'c=200$  kgf/cm<sup>2</sup>, agregado grueso 3/8"*

a/c	c/c	Af/c	Ag/c
0.52	1.00	2.09	1.46

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**3.5.2.3. Cantidad de fibra**

Es importante establecer los porcentajes de fibra que forman parte de la composición de la mezcla, los cuales varían en función de la necesidad de la investigación a realizar. Este proyecto tiene como objeto principal la fisuración en placas de hormigón de 2.5 cm, por lo tanto, se probó con porcentajes de fibra entre 0.5%, 0.75% y 1%. Dichos porcentajes deben ser expresados en masa para poder reemplazar esa cantidad de fibra por el agregado grueso mediante el uso de la Ecuación 27 que permite determinar la cantidad de masa de fibra necesaria de estopa de coco.

$$m_{fibra} = W_{T-AG} \times \%_{fibra} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

- $m_{fibra}$ = Masa de las fibras [kg]
- $W_{T-AG}$ = Masa total del agregado grueso [kg]
- $\%_{fibra}$ = Porcentaje de fibras

**3.6. HORMIGONADO EN PLACAS**

Una vez determinada la dosificación para obtener fisuras en el hormigón y una resistencia de  $210 \pm 10$  kgf/cm<sup>2</sup>, se alistó los moldes colocando una capa de aceite para facilitar el desmolde, luego se preparó la mezcla y se la depositó en los moldes de madera de 70x40x2.5 cm y de 30x30x2.5 cm, se compactó con una varilla lisa con el fin de evitar la retención de burbujas de aire, por último se procedió a alisar la superficie de las placas para conseguir una buena visualización de las fisuras y que el registro fotográfico sea óptimo para el análisis.

La placa G se usó para observar el comportamiento superficial del hormigón (aparición de fisuras), mientras que la placa P se ocupó para registrar la variación

de la masa (pérdida de humedad), ambas se encontraban sometidas a condiciones controladas de viento y temperatura.

La mezcla de hormigón se realizó de manera manual controlando las proporciones de los elementos que conforman el hormigón tradicional y de la fibra de estopa de coco, mediante una balanza de laboratorio calibrada.



**Figura 37.** Elaboración de la mezcla de hormigón con fibra

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.7. CONDICIONES AMBIENTALES CONTROLADAS

#### 3.7.1. VELOCIDAD DEL VIENTO

El viento fue inducido mediante el uso de un ventilador que cuenta con tres velocidades, sin embargo, hay que considerar que esta velocidad se vio afectada por la colocación del calefactor ya que al estar en frente del ventilador obstruía el flujo del viento, de esta manera se obtuvieron dos series de velocidades como se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21**

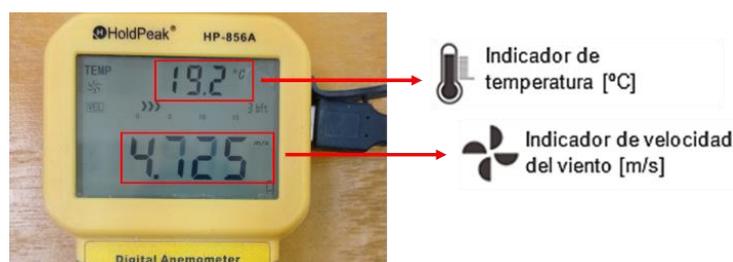
*Velocidades del ventilador*

Niveles	Velocidad máxima solo del ventilador [m/s]	Velocidad máxima obtenida del ventilador con el calefactor [m/s]
1	4.80	0.78
2	5.65	2.01
3	6.82	3.26

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Con cada nivel de velocidad se fue probando y observando el comportamiento de las placas, de esta manera se determinó que el nivel 2 convenía para obtener una temperatura relativamente alta y una velocidad de viento no tan baja, ya que estos parámetros eran necesarios para conseguir un secado rápido del hormigón y generar fisuras para su análisis.

Con ayuda del anemómetro se registró la velocidad del viento a la que se encontraba sometida la placa durante las 6 horas de ensayo, la toma de datos se efectuó en periodos de 15 minutos.



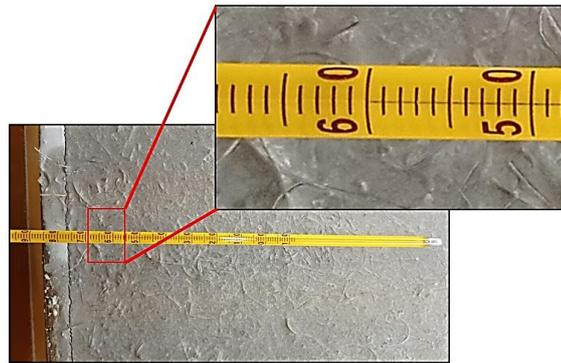
**Figura 38.** Anemómetro para medir velocidad y temperatura del viento

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

### 3.7.2. TEMPERATURA

Para producir ondas de viento caliente se colocó el termostato del calefactor en el nivel más alto y el interruptor en la potencia de 5000 vatios, con estas especificaciones y las del ventilador se alcanzó la temperatura máxima de 60 °C, la cual fue registrada con el anemómetro en periodos de 15 minutos.

Cabe mencionar que durante el ensayo de las placas se observó que el anemómetro tiene la capacidad de registrar un valor máximo de temperatura de 59.9 °C, por lo tanto, al no tener más lecturas por parte de este equipo se optó por emplear un termómetro de mercurio para determinar la temperatura máxima alcanzada siendo esta de 60°C la cual se mantuvo constante durante todo el ensayo.



**Figura 39.** Registro de temperatura máxima en la caja de ensayo

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

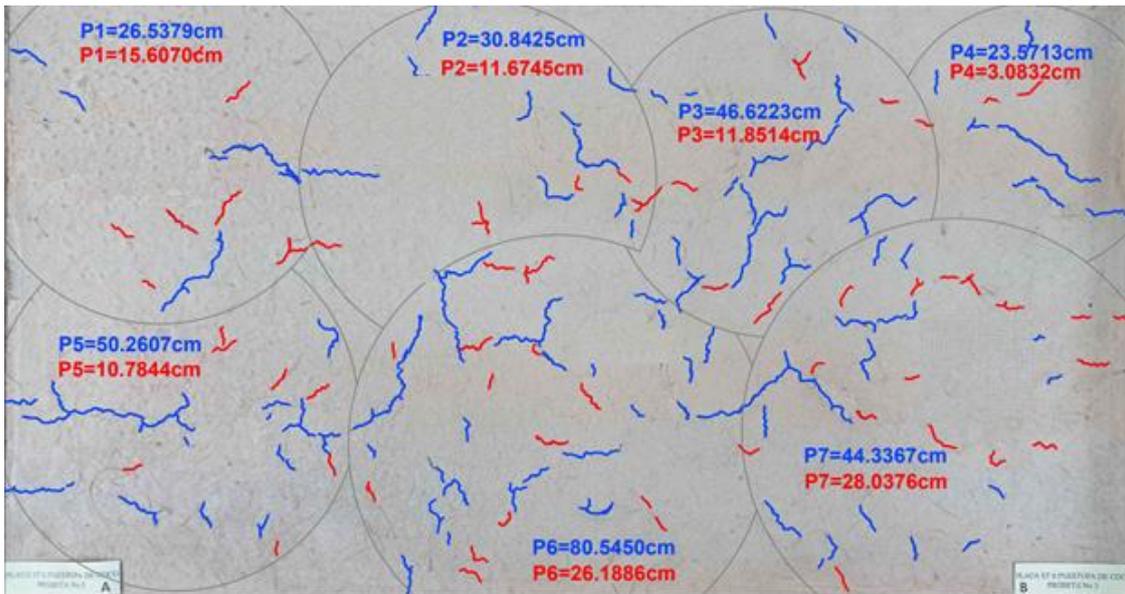
### **3.8. PÉRDIDA DE HUMEDAD**

La pérdida de humedad de la mezcla de hormigón se la obtuvo mediante el registro de variación de masas de la placa P desde su hormigonado hasta pasada las 6 horas dentro de la caja de ensayo en las condiciones de viento y temperatura antes mencionadas, la toma de datos se lo realizó en intervalos de 15 minutos.

### **3.9. MEDICIÓN DE FISURAS**

#### **3.9.1. LONGITUD DE FISURAS**

Para conseguir la longitud de fisuras producidas en la placa G fue necesario pintar con tinta color azul aquellas fisuras que aparecieron durante el periodo de 6 horas de ensayo dentro de la cámara en condiciones controladas de temperatura y velocidad de viento. Por otra parte, se pintaron con tinta color rojo aquellas fisuras que se formaron fuera de la cámara de aire caliente en un rango de 18 horas a condiciones ambientales del laboratorio.



**Figura 40.** Distinción de fisuras en la placa

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

Con el fin de facilitar el proceso de medición se tomó una fotografía de toda la placa, la cual fue escalada en AutoCAD y delimitada mediante áreas como se muestra en la Figura 40 para después trazar polilíneas que permitan obtener la suma total de la longitud de fisuras y así registrar los datos para su respectivo análisis.

### 3.9.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS

El procedimiento de medición para la obtención de la profundidad de las fisuras se da mediante la expansión de la distancia entre los sensores de transmisión y de recepción sobre la fisura, con el cual se determina la posición a partir de la lámpara y el zumbador. A continuación, se describe el modo de uso del equipo.

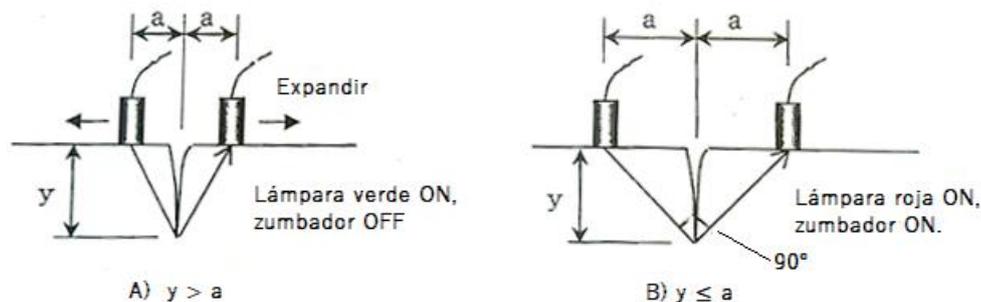


**Figura 41.** Pantalla de comandos del equipo de ultrasonido

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

1. Conectar el sensor y el adaptador al medidor Elsonic.

2. Encender la fuente de alimentación y pulsar la tecla [SELECT] para que una vez encendida la lámpara [CRACK] se proceda a la medición de las fisuras.
3. Colocar ambos sensores a igual distancia de la fisura y comprobar si se enciende la lámpara verde [NEAR].
4. Ampliar o reducir la distancia de los dos sensores con respecto a la fisura, de esta manera cuando la iluminación cambie de la lámpara verde [NEAR] a la lámpara roja [FAR] y el zumbador suene, poner una marca en la posición. Hay que tomar en cuenta las siguientes indicaciones:
  - Si [FAR] se enciende y el zumbador sigue sonando, aunque se amplíe más la distancia de los sensores, la posición marcada corresponde a la profundidad de la fisura.
  - Si [FAR] se apaga y [NEAR] se enciende, la fisura está tocando en la posición marcada por barras de refuerzo, obstrucción, etc.
5. En esta posición se mide la distancia real "a" del sensor a la fisura con ayuda de un flexómetro.
6. La profundidad de la grieta "y" es igual a "a" ( $y=a$ ).

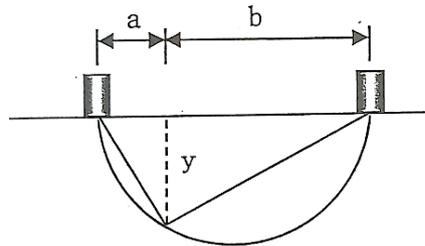


**Figura 42.** Uso de los sensores del equipo de ultrasonido

Fuente: (ELSONIC, 2017)

En caso de que exista la imposibilidad de expandir los sensores a la misma distancia de la fisura cuando la distancia "a" y "b" no son iguales (Figura 43), la profundidad de la fisura viene dada por la Ecuación 28 siempre y cuando la fisura se extienda en ángulo recto contra la superficie.

$$y = \sqrt{(a * b)}$$

**Ec. 28**

**Figura 43.** Representación gráfica de la Ecuación 28

**Fuente:** (ELSONIC, 2017)



**Figura 44.** Proceso de medición de las fisuras en el laboratorio

**Fuente:** Amaguaña y Guamán

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. FIBRA DE ESTOPA DE COCO

##### 4.1.1. TRATAMIENTO QUÍMICO

La cantidad de NaOH en estado sólido necesaria para obtener una solución líquida con concentración de 4% se da con la Ecuación 21. Por consiguiente, se obtuvo que para 30 litros de agua destilada fue necesario adicionar un total de 1500 gr de sosa cáustica sólida con 80% de pureza como se muestra en el siguiente cálculo.

$$30 \text{ lt} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} * \frac{1 \text{ gr soluc.}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{4 \text{ gr NaOH}}{100 \text{ gr soluc.}} * \frac{100 \text{ gr puros NaOH}}{80 \text{ gr impuros NaOH}} = 1500 \text{ gr} = 1.5 \text{ kg}$$

##### 4.1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Con la colaboración del Centro Textil Politécnico de la EPN se logró conocer las propiedades mecánicas de las fibras como se indican en la Tabla 22, las cuales se dividen en dos clases: Fibras sin tratamiento (S.T.) y Fibras con tratamiento químico (C.T.).

**Tabla 22**

*Propiedades de las fibras de estopa de coco*

		Vel. Prueba [mm/min]	Fuerza Rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad Lineal [tex]	Tiempo Break [s]	Tenacidad [N/tex]	Contenido de humedad [%]
Fibra S.T.	Media	30.00	8.83	0.2924	60.88	29.30	0.151	10.30
	Desviación Estándar	0.00	4.92	0.1177	35.26	11.78	0.040	0.10
Fibra C.T.	Media	30.00	6.01	0.2849	41.30	28.50	0.150	11.00
	Desviación Estándar	0.00	3.72	0.1138	22.91	11.40	0.060	0.10

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

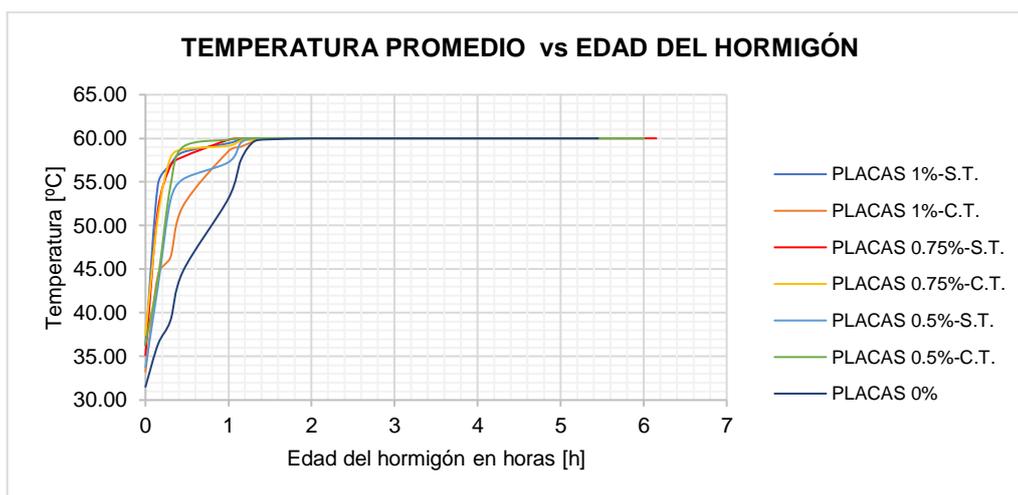
El tratamiento por mercerización en la fibra se realizó en marzo, pero su ensayo se efectuó en el mes de agosto (final del proyecto) con el objeto de conocer sus propiedades mecánicas a largo plazo. Se evidenció que no existió una mejora en

cuanto a las propiedades mecánicas de las fibras tratadas respecto a las fibras en estado natural, solo se tiene un aumento en el contenido de humedad en las fibras tratadas.

#### 4.2. TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE VIENTO

En la cámara de aire caliente con ayuda del anemómetro se registraron datos de temperatura y velocidad de viento para las 21 placas realizadas, cada una sometida a 6 horas de ensayo. Estos datos fueron tabulados según la adición porcentual de fibra de coco (0%, 0.5%, 0.75% y 1%) y del estado de las fibras (S.T. y C.T.). Con el fin de sintetizar el análisis de resultados se obtuvieron promedios de cada variación, es decir, 7 series de datos finales para su representación y comparación.

La Figura 45 indica el comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de aire, donde inicialmente las temperaturas no se mantienen constantes, suben de manera progresiva hasta llegar a una temperatura máxima de 60 °C, la cual se conserva hasta el final del ensayo (6 horas después).

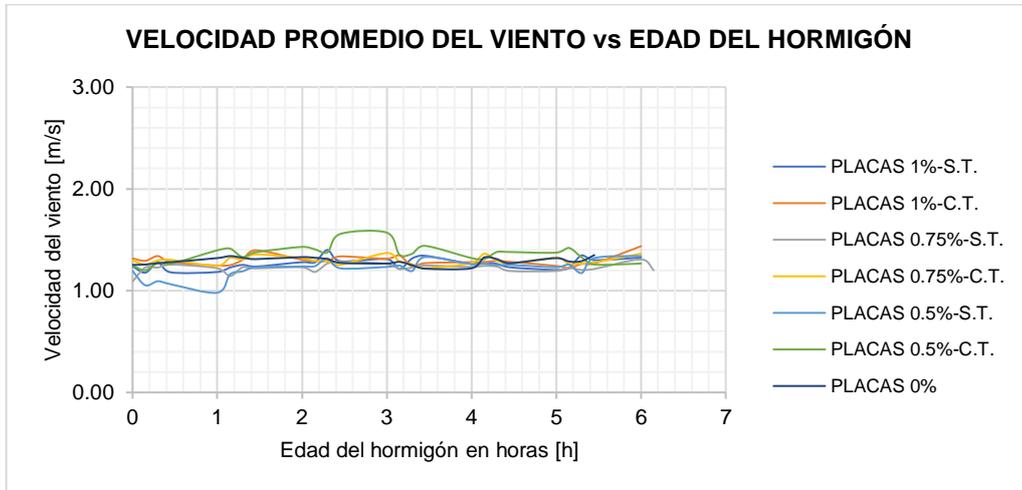


**Figura 45.** Temperatura promedio vs Edad del hormigón

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

En la Figura 46 se evidencia el comportamiento de la velocidad del viento, el cual no es tan uniforme. Si bien se trató de controlar lo mejor posible la velocidad del viento siempre pueden existir variaciones, en este caso se pudo dar por la forma de colocación de la tapa al final de la caja, en consecuencia, se tiene que es

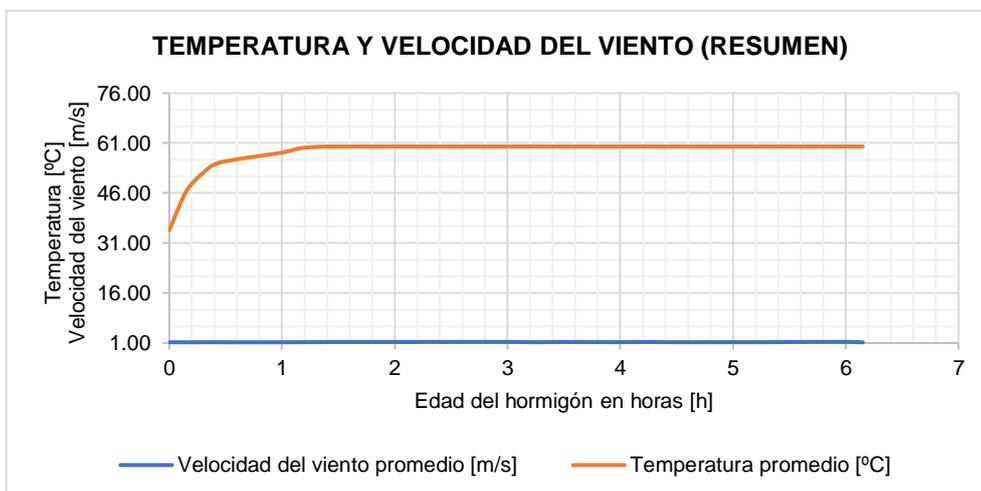
directamente proporcional la abertura, escape y velocidad del viento. Las velocidades promedio se encuentran en el rango de 1.20~1.34 m/s.



**Figura 46.** Velocidad promedio del viento vs Edad del hormigón

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Se evidenció luego de varias pruebas que el equipo de calefacción adquirido por sí solo alcanza mayores temperaturas (70 °C en un área confinada) y proporciona velocidades de viento entre 0~0.5 m/s. Sin embargo, los datos promedio finales de temperatura y velocidad de viento del proyecto se muestran en la Figura 47, donde la interacción de estos parámetros claves para la fisuración de las placas, indican que para llegar a una temperatura de 60 °C la velocidad de viento que se puede aplicar con el ventilador no es muy alta (Nivel 2).



**Figura 47.** Resumen de datos de temperatura y velocidad del viento

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

### 4.3. DOSIFICACIÓN

Se expone la masa de todos los elementos que conforman la dosificación tradicional y la que tiene incorporación de tres porcentajes de estopa de coco (0.5%, 0.75% y 1%). Cabe recalcar que, para efectuar este proceso fue necesario hacer la debida corrección por absorción del agregado (5.45%) y sumergir previamente a la fibra en agua durante 24 h para su aplicación en estado S.S.S, de esta manera se evita cambios en la relación a/c de la dosificación obtenida.

#### 4.3.1. DOSIFICACIÓN EN PLACAS G Y P

Inicialmente se parte con la dosificación tradicional como lo muestra la Tabla 23 y Tabla 24, las cuales cubrirán el volumen de la placa G (visualización de fisuras) y la placa P (control de pérdida de humedad de la mezcla), respectivamente.

**Tabla 23**

*Dosificación para placas G sin fibras*

Dosificación sin adición de fibras		
<b>Agua</b>	2.12	[kg]
<b>Cemento</b>	3.42	[kg]
<b>Arena</b>	7.16	[kg]
<b>Ripio</b>	4.98	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

**Tabla 24**

*Dosificación para placas P sin fibras*

Dosificación sin adición de fibras		
<b>Agua</b>	0.63	[kg]
<b>Cemento</b>	1.03	[kg]
<b>Arena</b>	2.15	[kg]
<b>Ripio</b>	1.49	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Lo mencionado anteriormente también es válido para el proceso de hormigonado con adición de fibras en estado natural y con tratamiento químico, con una consideración extra. Es decir, que la proporción del agregado grueso se vio afectada por la presencia de ciertos porcentajes de fibra expresados en masa, los cuales se sustituyeron de forma equivalente.

**Tabla 25***Dosificación para placas G con 0.5% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.5%</b>		
<b>Agua</b>	2.12	[kg]
<b>Cemento</b>	3.42	[kg]
<b>Arena</b>	7.16	[kg]
<b>Ripio</b>	4.95	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0249	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 26***Dosificación para placas P con 0.5% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.5%</b>		
<b>Agua</b>	0.63	[kg]
<b>Cemento</b>	1.03	[kg]
<b>Arena</b>	2.15	[kg]
<b>Ripio</b>	1.49	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0075	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 27***Dosificación para placas G con 0.75% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.75%</b>		
<b>Agua</b>	2.12	[kg]
<b>Cemento</b>	3.42	[kg]
<b>Arena</b>	7.16	[kg]
<b>Ripio</b>	4.94	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0373	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 28***Dosificación para placas P con 0.75% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.75%</b>		
<b>Agua</b>	0.63	[kg]
<b>Cemento</b>	1.03	[kg]
<b>Arena</b>	2.15	[kg]
<b>Ripio</b>	1.48	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0112	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

**Tabla 29***Dosificación para placas G con 1% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 1%</b>		
<b>Agua</b>	2.12	[kg]
<b>Cemento</b>	3.42	[kg]
<b>Arena</b>	7.16	[kg]
<b>Ripio</b>	4.93	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0498	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 30***Dosificación para placas P con 1% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 1%</b>		
<b>Agua</b>	0.63	[kg]
<b>Cemento</b>	1.03	[kg]
<b>Arena</b>	2.15	[kg]
<b>Ripio</b>	1.48	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0149	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

#### 4.3.2. DOSIFICACIÓN EN CILINDROS Y VIGAS

Para determinar los datos de resistencia a la compresión y a la flexión fue necesario la elaboración de un conjunto de probetas con la dosificación tradicional, las cuales se ensayarán a los 28 días de curado.

Estos valores son válidos para cubrir el volumen necesario para la fabricación de tres cilindros y tres vigas, respectivamente, como se muestra en la Tabla 31 y Tabla 32.

**Tabla 31***Dosificación para cilindros sin fibras*

<b>Dosificación sin adición de fibras</b>		
<b>Agua</b>	1.28	[kg]
<b>Cemento</b>	2.07	[kg]
<b>Arena</b>	4.32	[kg]
<b>Ripio</b>	3.01	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

**Tabla 32***Dosificación para vigas sin fibras*

<b>Dosificación sin adición de fibras</b>		
<b>Agua</b>	3.25	[kg]
<b>Cemento</b>	5.26	[kg]
<b>Arena</b>	11.01	[kg]
<b>Ripio</b>	7.66	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Para las probetas con adición de fibras se considera una sustitución del porcentaje expresado en masa como parte del agregado grueso al igual que en las placas.

**Tabla 33***Dosificación para cilindros con 0.5% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.5%</b>		
<b>Agua</b>	1.28	[kg]
<b>Cemento</b>	2.07	[kg]
<b>Arena</b>	4.32	[kg]
<b>Ripio</b>	2.99	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0150	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 34***Dosificación para vigas con 0.5% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.5%</b>		
<b>Agua</b>	3.25	[kg]
<b>Cemento</b>	5.26	[kg]
<b>Arena</b>	11.01	[kg]
<b>Ripio</b>	7.62	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0383	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 35***Dosificación para cilindros con 0.75% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.75%</b>		
<b>Agua</b>	1.28	[kg]
<b>Cemento</b>	2.07	[kg]
<b>Arena</b>	4.32	[kg]
<b>Ripio</b>	2.98	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0225	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

**Tabla 36***Dosificación para vigas con 0.75% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 0.75%</b>		
<b>Agua</b>	3.25	[kg]
<b>Cemento</b>	5.26	[kg]
<b>Arena</b>	11.01	[kg]
<b>Ripio</b>	7.60	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0574	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 37***Dosificación para cilindros con 1% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 1%</b>		
<b>Agua</b>	1.28	[kg]
<b>Cemento</b>	2.07	[kg]
<b>Arena</b>	4.32	[kg]
<b>Ripio</b>	2.98	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0301	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán**Tabla 38***Dosificación para vigas con 1% de fibra*

<b>Dosificación con fibras al 1%</b>		
<b>Agua</b>	3.25	[kg]
<b>Cemento</b>	5.26	[kg]
<b>Arena</b>	11.01	[kg]
<b>Ripio</b>	7.58	[kg]
<b>Estopa de Coco</b>	0.0766	[kg]

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

## 4.4. MEDICIÓN DE FISURAS

### 4.4.1. LONGITUD DE FISURAS

En la Tabla 39 se presentan las longitudes obtenidas en las placas realizadas con diferentes porcentajes de adición de fibras, tanto en estado natural como con tratamiento químico, estos datos fueron obtenidos luego de un periodo de 6 y 18 horas.

**Tabla 39***Longitud de fisuras de 6 horas y 18 horas*

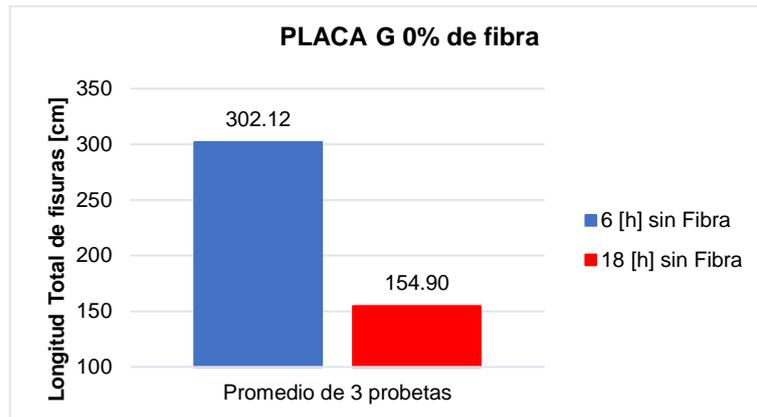
<b>LONGITUD DE FISURAS EN PLACAS</b>			
<b>PLACAS G</b>		<b>6 h dentro de la cámara [cm]</b>	<b>18 h fuera de la cámara [cm]</b>
<b>0% de fibra</b>	1	370.08	252.06
	2	246.22	87.94
	3	290.06	124.69
<b>0.5% de fibra S.T.</b>	1	217.43	66.06
	2	240.7	138.43
	3	302.72	107.23
<b>0.5% de fibra C.T.</b>	1	168.76	125.14
	2	173.26	80.6
	3	174.62	72.55
<b>0.75% de fibra S.T.</b>	1	91.28	80.42
	2	60.21	46.06
	3	82.57	54.57
<b>0.75% de fibra C.T.</b>	1	90.14	112.77
	2	85.36	74.66
	3	93.19	74.86
<b>1% de fibra S.T.</b>	1	8.02	17.26
	2	20.16	18
	3	37.52	18.64
<b>1% de fibra C.T.</b>	1	44.22	39.11
	2	68.98	25.41
	3	39.14	40.99

**Nota:** S.T.= Placas sin tratamiento, C.T.= Placas con tratamiento.

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

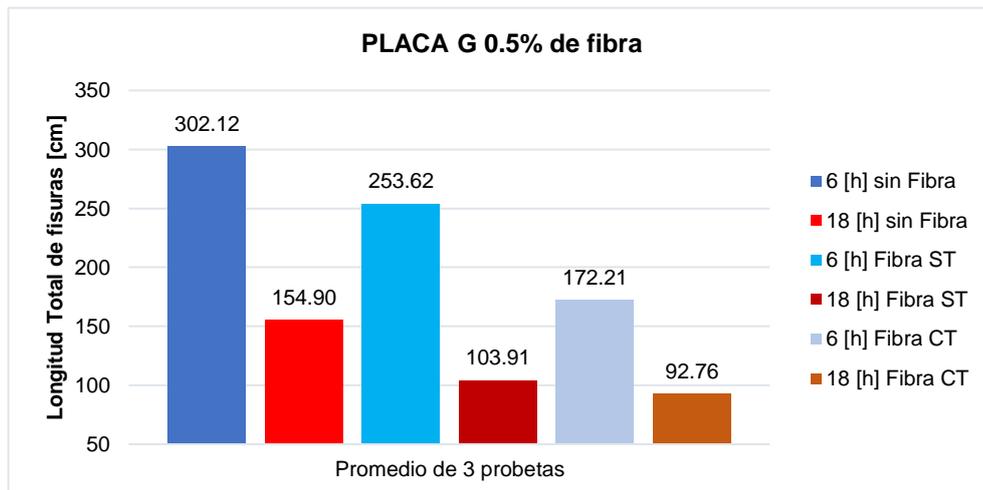
Comparativamente resulta conveniente evidenciar los resultados de forma gráfica tal como se muestra a continuación, puesto que permite tener una percepción más amplia de cómo se fueron fisurando las placas G unas respecto de otras.

En la Figura 48 se contempla que existe mayor aparición de fisuras dentro de las 6 horas de ensayo, también se establece que el hormigón tradicional expuesto a las condiciones controladas de temperatura y velocidad de viento muestra grandes longitudes de fisuras, lo que resulta conveniente para poder analizar y determinar si existe una mejora o no en cuanto a la aplicación de la fibra en diferentes porcentajes.



**Figura 48.** Análisis de fisuración en placas G 0% de fibra de estopa de coco  
**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

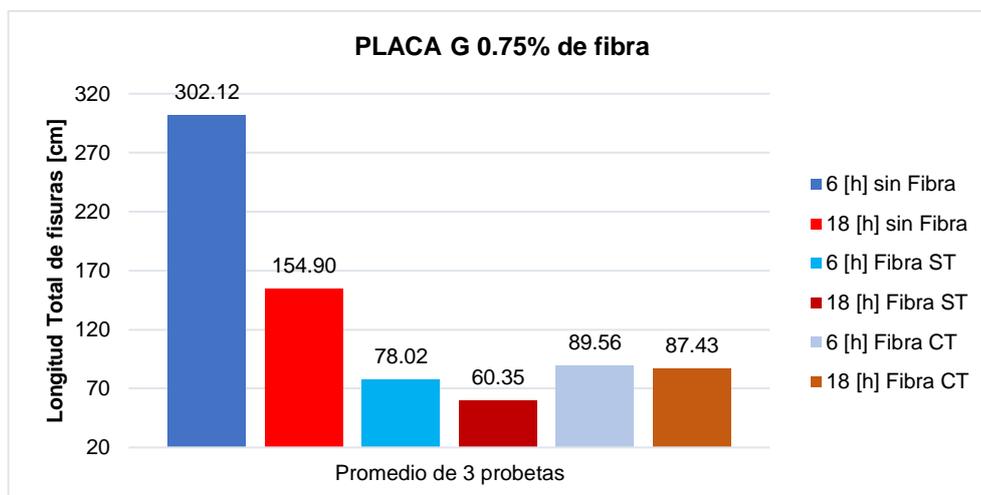
Primeramente, se tiene que las placas con 0.5% de adición de fibra muestran una disminución en el desarrollo de fisuras con respecto a las placas de hormigón tradicional. En la Figura 49 se observa que trabajar con fibras tratadas permite reducir considerablemente la formación de fisuras en comparación del uso de fibras en estado natural en las placas, ya sea para una exposición de ensayo de 6 horas dentro de la cámara de aire caliente o 18 horas a condiciones ambientales del laboratorio.



**Figura 49.** Análisis de fisuración en placas G 0.5% de fibra de estopa de coco  
**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

En la Figura 50 se indica que las placas al 0.75% de fibras sin tratamiento son las que presentan menor formación de fisuras. Cabe mencionar que a medida que se incrementó el porcentaje de fibra si disminuyó la fisuración, sin embargo, en cuando

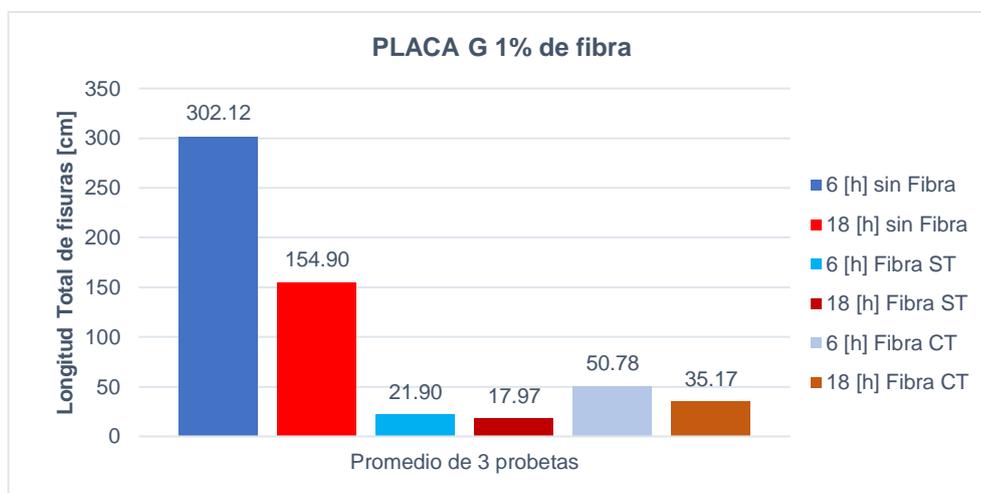
al tratamiento de la fibra se refiere, ocurre un proceso de resultados inverso al obtenido para las placas al 0.5%.



**Figura 50.** Análisis de fisuración en placas G 0.75% de fibra de estopa de coco

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

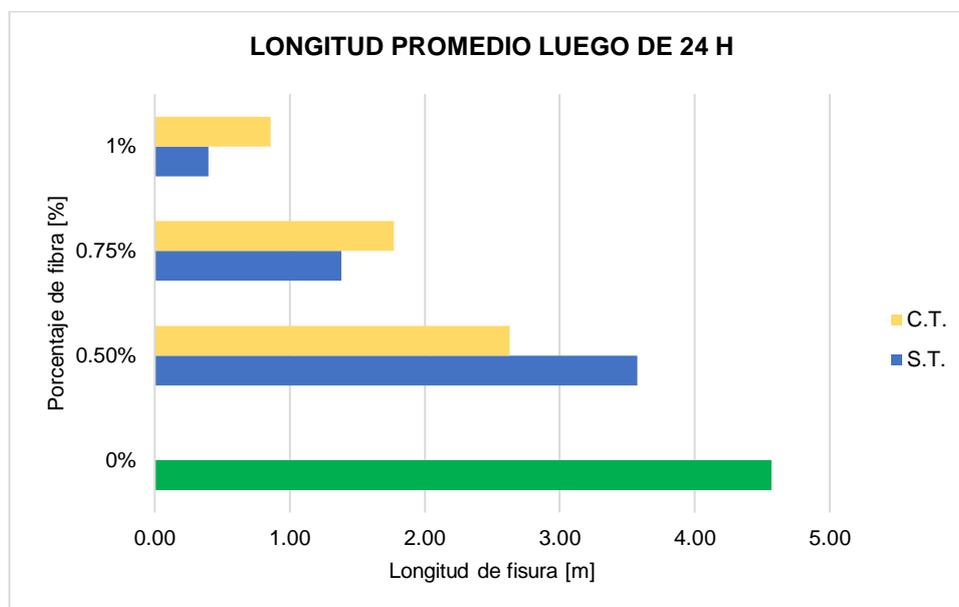
En la Figura 51 se observa que al aumentar el porcentaje de adición de fibra al 1% se tiene una mejoría notable en cuanto a la reducción de fisuras en comparación a las anteriores consideraciones, para este caso se tiene que las fibras sin tratamiento mantienen la condición de ser las mejores en cuanto a disminución de las fisuras.



**Figura 51.** Análisis de fisuración en placas G 1% de fibra de estopa de coco

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

A continuación, se presenta la longitud total de fisuras luego de 24 horas de seguimiento.



**Figura 52.** Longitud total de fisuras dentro de 24 horas en placas G

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

La Figura 52 muestra el resumen total de las fisuras luego de 24 horas, las cuales indican que el desarrollo de las fisuras es inversamente proporcional a la adición de fibras en la placa. Es decir, a mayor porcentaje de fibras menor longitud de fisuras presentes en la superficie del hormigón.

Sin embargo, es necesario puntualizar que en esta investigación no se obtuvo una secuencia de resultados en cuanto al método (S.T. y C.T.) de la fibra, ya que el comportamiento de las placas frente a la adición de fibras al 0.5% señala que las fibras tratadas son la mejor opción, sin embargo, las dos consideraciones posteriores de 0.75% y 1% muestran lo contrario, es decir disminuye aún más la fisuración producto de la aplicación de la fibra sin tratamiento.

#### 4.4.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS

En la Tabla 40 se indican los resultados obtenidos de profundidad de fisuras medidas en las placas G que cumplían con el parámetro de tener profundidades iguales o mayores a 1.5 cm, esto se realizó con el equipo de ultrasonido y se determinó mediante la Ecuación 28.

$$y = \sqrt{(1 \text{ cm} * 2.7 \text{ cm})} = 1.64 \text{ cm}$$

**Tabla 40**

*Profundidad de fisuras medidas con el equipo de ultrasonido*

PROFUNDIDAD DE FISURAS							
Placa	ST 1%	CT 1%	ST 0.75%	CT 0.75%	ST 0.5%	CT 0.5%	0%
F1	1.50	1.51	X	1.55	02.09	1.95	1.90
F2	X	X	1.71	1.65	X	1.87	1.73
F3	X	1.52	1.60	1.85	X	1.64	1.83
F4	X	1.51	1.50	X	1.64	1.61	1.67
F5	X	X	X	1.76	1.57	X	1.81
F6	X	X	1.59	1.50	1.77	1.87	1.97
F7	X	X	X	1.50	2.15	1.64	2.50
F8	X	X	X	X	X	X	1.70
F9	X	X	X	X	X	1.78	2.50
F10	X	X	X	X	X	X	1.50
<b>Prof. máxima</b>	<b>1.50</b>	<b>1.52</b>	<b>1.71</b>	<b>1.85</b>	<b>2.15</b>	<b>1.95</b>	<b>2.50</b>
<b>Prof. mínima</b>	<b>1.50</b>	<b>1.51</b>	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>	<b>1.57</b>	<b>1.61</b>	<b>1.50</b>

**Nota:** la "X" representa las mediciones inferiores al 1.5. por lo cual no se las puede considerar.

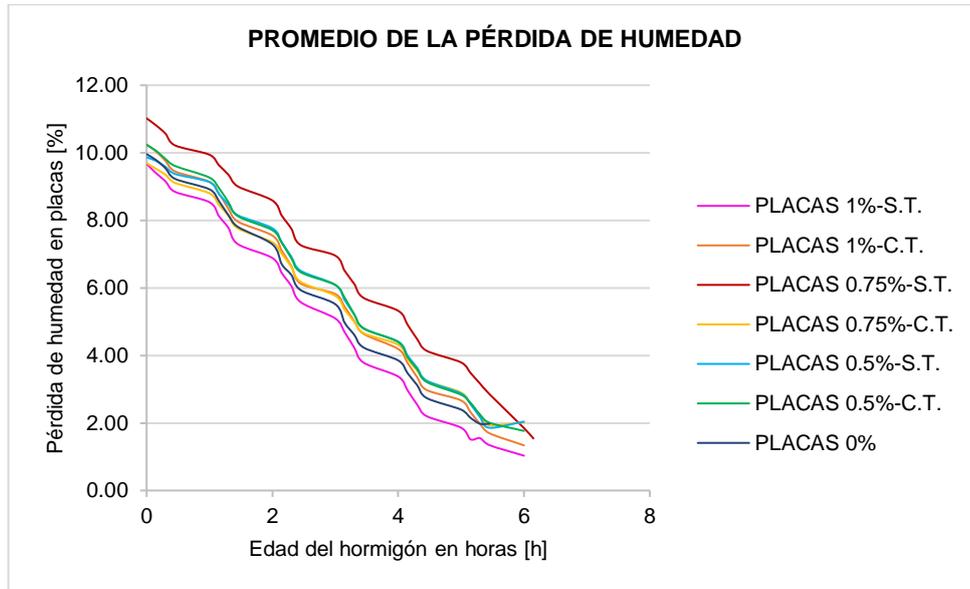
**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

La profundidad máxima alcanzada es de 2.5 cm presente en la placa de 0% y la mínima de 1.50 cm medida en la mayoría de las placas, es necesario mencionar que el equipo de ultrasonido presenta una limitante en cuanto a la profundidad que puede medir, siendo esta de 1.50 cm.

#### 4.5. PÉRDIDA DE HUMEDAD

En la Figura 53 se detalla el promedio de la pérdida de humedad de las 7 tipologías principales en este proyecto, en donde los datos de masa registrados dan como resultado una gráfica decreciente. Producto del paso de las horas de secado, la pérdida de humedad en las placas P disminuye quedando al final el hormigón en estado endurecido y visiblemente seco, se observó una reducción de masa en la primera hora de aproximadamente 0.01 kg hasta que se estabilizó la temperatura, luego de este periodo la disminución de masa fue de 0.02 a 0.025 kg cada 15 minutos.

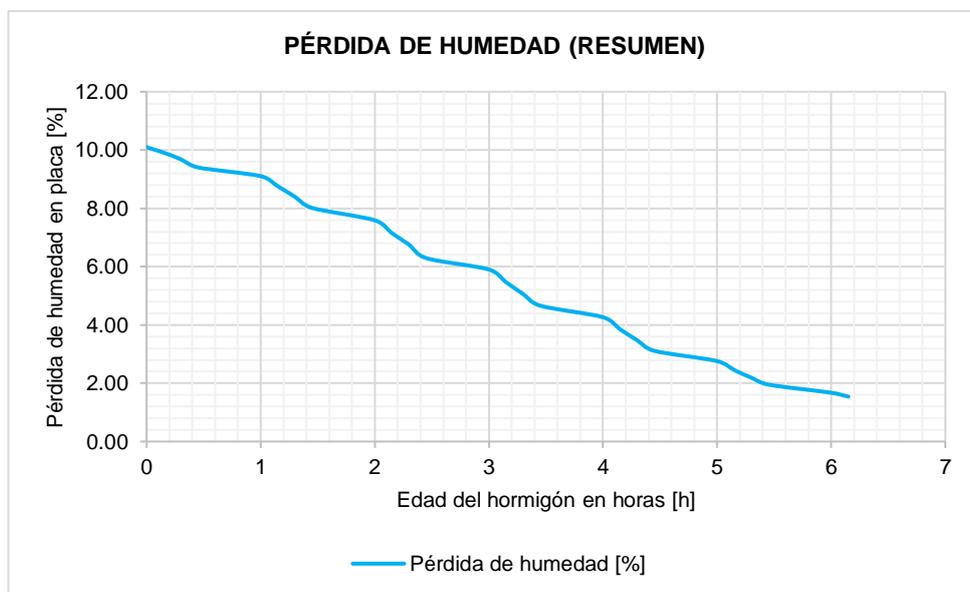
La pérdida de humedad máxima obtenida llegó a ser de 11.02% registrada en las primeras horas del ensayo y la mínima de 1.03% al cabo de 18 horas.



**Figura 53.** Promedio de la pérdida de humedad por variable

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

El promedio general de la pérdida de humedad generada en las placas da como resultado un valor máximo de 10.10% y un mínimo de 1.54% como se grafica en la Figura 54.



**Figura 54.** Pérdida de humedad general

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

## 4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.6.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los datos obtenidos fueron tabulados con el fin de conseguir los parámetros requeridos inicialmente del ensayo a compresión de cilindros: Densidad y Resistencia a la compresión.



**Figura 55.** Cilindro ensayado a compresión

Fuente: Amaguaña y Guamán

#### 4.6.1.1. Densidad

La densidad media producto de cada variación de porcentaje de fibra y de tratamiento se indica a continuación en la Tabla 41.

**Tabla 41**

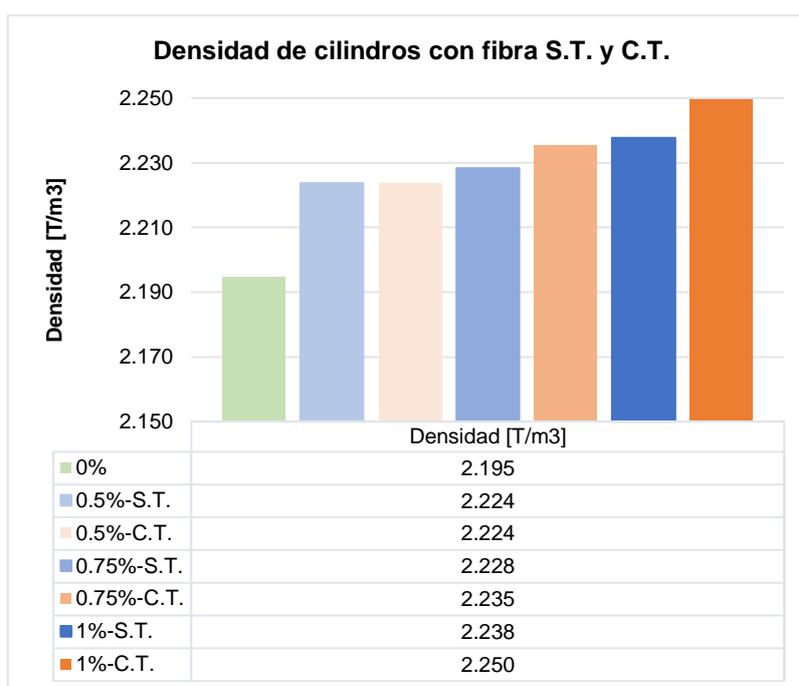
*Densidad de cilindros [T/m<sup>3</sup>]*

Especificación	Código	Densidad [T/m <sup>3</sup> ]	
		Media	Desviación estándar
SIN FIBRA	0%	2.195	0.022
FIBRA SIN TRATAMIENTO	0.5%-S.T.	2.224	0.052
	0.75%-S.T.	2.228	0.010
	1%-S.T.	2.238	0.016
FIBRA CON TRATAMIENTO	0.5%-C.T.	2.224	0.052
	0.75%-C.T.	2.235	0.045
	1%-C.T.	2.250	0.021

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

La densidad de los cilindros presenta una tendencia creciente como se expone en la Figura 56, en donde se muestra un aumento de 2.9%, 3.4% y 4.3% en los cilindros con adición de fibra en estado natural al 0.5%, 0.75% y 1% respectivamente, con respecto a la densidad obtenida en los cilindros sin fibra (0%).

Del mismo modo se evidencia el aumento de densidad producto de la adición de fibras tratadas por mercerización respecto a la densidad de cilindros al 0% de fibra, tal incremento se da entre 2.9%, 4.1% y 5.5% para los cilindros al 0.5%, 0.75% y 1% respectivamente.



**Figura 56.** Densidad de cilindros-S.T. y C.T.

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que las fibras con tratamiento proporcionan un ligero aumento en la densidad respecto a las fibras en estado natural.

#### **4.6.1.2. Resistencia a la compresión**

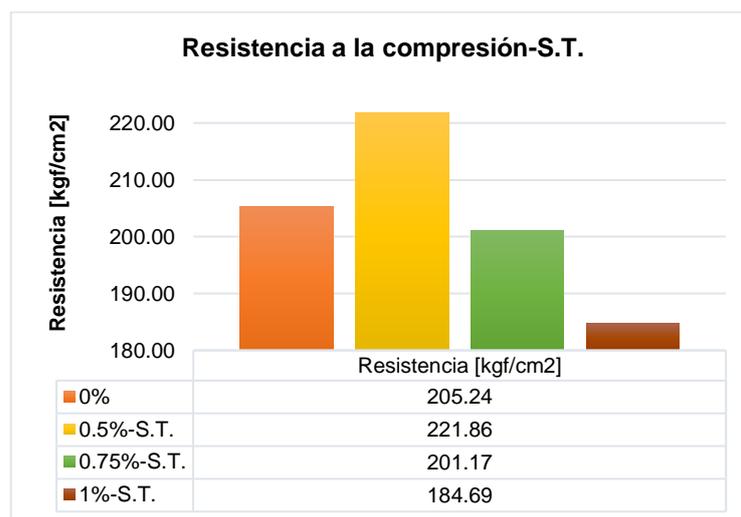
En la Tabla 42 se detalla la resistencia media obtenida para cada variante realizada en este proyecto, además del tiempo de curado y asentamiento observado en los ensayos.

**Tabla 42**  
*Resistencia de cilindros [kgf/cm<sup>2</sup>]*

Especificación	Código	Resistencia esperada [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Tiempo de curado [días]	Asentamiento [cm]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]	
					Media	Desviación estándar
SIN FIBRA	0%	210	28	5.5	205.24	2.97
FIBRA SIN TRATAMIENTO	0.5%-S.T.			3	221.86	6.04
	0.75%-S.T.	210	28	1.5	201.17	5.07
	1%-S.T.			0	184.69	6.96
FIBRA CON TRATAMIENTO	0.5%-C.T.			3	221.39	11.80
	0.75%-C.T.	210	28	1.5	210.03	4.30
	1%-C.T.			0	185.49	2.00

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

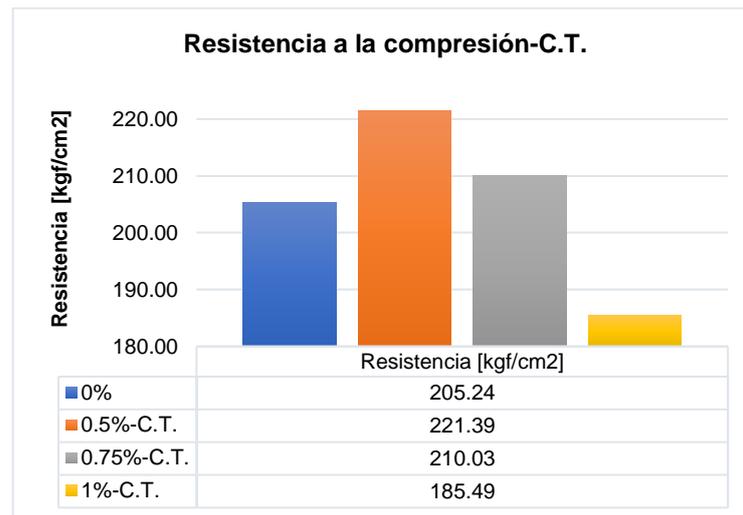
En la Figura 57 se muestra que la resistencia obtenida de los cilindros con un 0.5% de fibra sin tratamiento es mucho mayor a la adquirida por los cilindros sin fibra, en cuanto a las otras consideraciones (0.75% y 1%), sus resistencias disminuyen mientras mayor es la adición de fibra de estopa de coco.



**Figura 57.** Resistencia de cilindros-S.T.

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

La Figura 58 detalla que los cilindros con fibra tratada químicamente dan mejores resultados, ya que tanto los cilindros con 0.5% de fibra como los de 0.75% superan a la resistencia obtenida en cilindros sin adición de fibra (0%), sin embargo, posee el mismo patrón decreciente en la resistencia por el aumento de porcentaje de fibra.



**Figura 58.** Resistencia de cilindros-C.T.

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

Por consiguiente, se observa que el tratamiento químico en las fibras mejora la resistencia a compresión obtenida con respecto a las fibras en estado natural. Sin embargo, no se recomienda aplicar en grandes cantidades (1%) la adición de fibras, puesto que reduce considerablemente la resistencia a la compresión en relación al hormigón simple, además de que afecta su trabajabilidad.

#### 4.6.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los datos obtenidos fueron registrados con el objeto de conseguir los siguientes parámetros: Carga Máxima, Velocidad de aplicación de carga y Módulo de rotura.



**Figura 59.** Vigas ensayadas a flexión

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

#### 4.6.2.1. Carga máxima

En la Tabla 43 se muestra la carga máxima soportada por las vigas ensayadas de acuerdo a sus variaciones.

**Tabla 43**

*Carga máxima soportada en vigas [kN]*

Especificación	Código	Tiempo de curado [días]	Carga máxima [kN]	
			Media	Desviación estándar
SIN FIBRA	0%	28	15.94	1.40
FIBRA SIN TRATAMIENTO	0.5%-S.T.	28	13.92	0.59
	0.75%-S.T.		15.93	0.73
	1%-S.T.		12.72	0.49
FIBRA CON TRATAMIENTO	0.5%-C.T.	28	17.56	1.62
	0.75%-C.T.		15.42	0.59
	1%-C.T.		15.20	0.48

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

La Figura 60 indica que las vigas con adición de fibra de 0.75% sin tratamiento soportan una carga máxima similar al de las vigas sin fibras (0%), al contrario de las otras variaciones de 0.5% y 1% que no presentan una mejora en el soporte de la carga máxima.

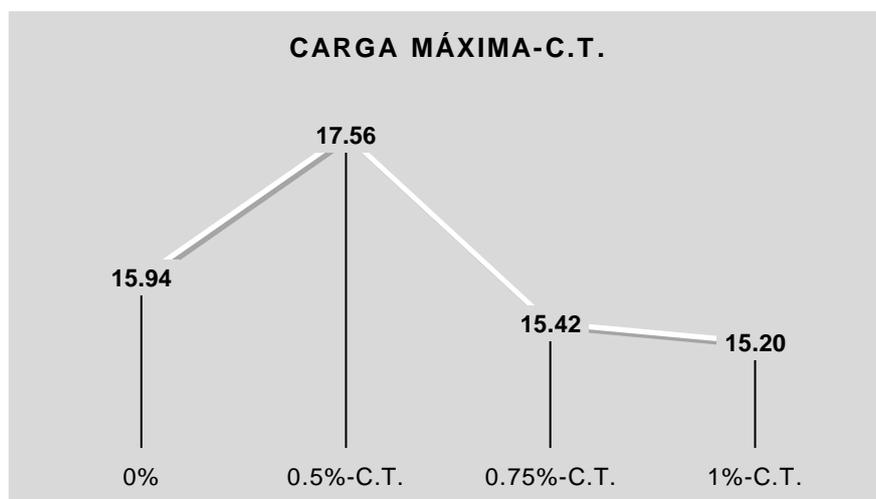


**Figura 60.** Carga Máxima en vigas-S.T.

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

A diferencia de lo que sucede con las fibras sin tratamiento, en la Figura 61 se observa que las vigas con 0.5% de fibra tratada químicamente presentan mayor

capacidad de carga, es decir, posee un incremento de 10.2% respecto a las vigas de hormigón tradicional. Las variantes de 0.75% y 1% tienen una reducción leve de carga con referencia a las vigas sin fibra.



**Figura 61.** Carga Máxima en vigas-C.T.

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

#### 4.6.2.2. Velocidad de aplicación de carga

En la Tabla 44 se detalla la velocidad de aplicación de carga media obtenida para las tipologías consideradas en este proyecto, donde la mayoría presentan una leve reducción en la velocidad con respecto a las vigas sin fibra, esto se puede dar debido a la presencia de la fibra de estopa de coco en estado natural o con tratamiento químico en el hormigón.

**Tabla 44**

*Velocidad de aplicación de carga en vigas [N/seg]*

Especificación	Código	Tiempo de curado [días]	Velocidad de aplicación de carga [N/seg]	
			Media	Desviación estándar
SIN FIBRA	0%	28	20.33	0.07
FIBRA SIN TRATAMIENTO	0.5%-S.T.	28	19.83	0.39
	0.75%-S.T.		20.46	0.59
	1%-S.T.		19.92	0.21
FIBRA CON TRATAMIENTO	0.5%-C.T.	28	19.70	0.11
	0.75%-C.T.		19.62	0.10
	1%-C.T.		19.66	0.31

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

### 4.6.2.3. Módulo de rotura

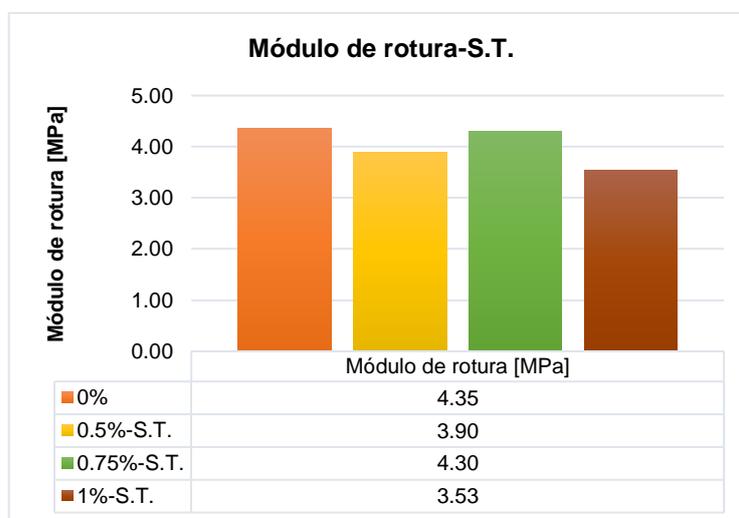
En el ensayo de flexión en vigas se logró obtener datos para determinar el módulo de rotura tal como se detalla en la Tabla 45.

**Tabla 45**  
Módulo de rotura [MPa]

Especificación	Código	Tiempo de curado [días]	Módulo de rotura [MPa]	
			Media	Desviación estándar
SIN FIBRA	0%	28	4.35	0.43
FIBRA SIN TRATAMIENTO	0.5%-S.T.	28	3.90	0.20
	0.75%-S.T.		4.30	0.15
	1%-S.T.		3.53	0.11
FIBRA CON TRATAMIENTO	0.5%-C.T.	28	5.04	0.29
	0.75%-C.T.		4.45	0.15
	1%-C.T.		4.22	0.09

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

La Figura 62 señala que el módulo de rotura (resistencia a la tensión) calculado para las vigas con fibras sin tratamiento son menores al valor obtenido por las vigas sin fibra, es decir baja de 4.35 MPa a 3.53 MPa con la aplicación del 1% de fibra en estado natural. En ninguno de los casos se evidenció una mejoría.

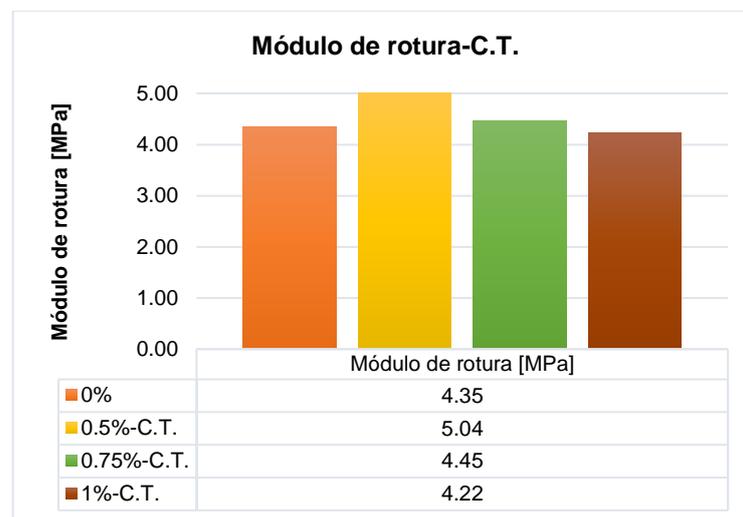


**Figura 62.** Módulo de rotura (S.T.)

Elaborado por: Amaguaña y Guamán

Las vigas con adición de fibras de 0.5% y 0.75% con tratamiento químico, presentan un mejor comportamiento de módulo de rotura con respecto a las vigas sin fibra (0%) tal como se muestra en la Figura 63, ya que suben de 4.35 MPa a valores de 5.04 y 4.45 MPa respectivamente.

Hay que resaltar que con 1% de fibra desarrollan en las vigas menor módulo de rotura respecto a todas las consideraciones anteriores.



**Figura 63.** Módulo de rotura (C.T.)

**Elaborado por:** Amaguaña y Guamán

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La configuración de la cámara de aire caliente es de gran influencia en el proceso de ensayo de las placas, puesto que permite tener una buena transferencia y distribución del viento sobre toda la superficie de las placas y por ende dar paso a la aparición de fisuras, por este motivo fue que se modificó la configuración geométrica inicial de una forma rectangular (Figura 8) a una forma trapezoidal (Figura 9), misma que al tener una sección más pequeña se facilitó el proceso de transferencia del aire caliente de una manera más constante y sin tanto desperdicio en cuanto a material y área de ensayo.
- Mediante varias relaciones experimentales entre la temperatura y velocidad de viento se logró alcanzar las condiciones ambientales de 60 °C y 1.34 m/s como máximos, respectivamente. Las cuales al ser fusionadas permitieron acelerar el proceso de secado (contracción plástica) en la superficie del hormigón de la placa G y provocar fisuras. Para este procedimiento se ubicó el termostato a la mayor potencia (5000 watts) y al ventilador a la media, puesto que de no hacerlo así solo se tendría un viento fuerte pero tibio, tendiendo a frío y sin una temprana aparición de fisuras, por lo que el ensayo no se podría efectuar en 6 horas.
- Inicialmente se trabajó con agregado de  $\frac{3}{4}$ " para la dosificación y al no tener respuesta en cuanto a la formación de fisuras se optó por modificar una de las variables que componen la dosificación, siendo esta el tamaño nominal del agregado grueso, Chan et al. (2003) señalan que mientras más finos existan en la mezcla de hormigón, mayor es la probabilidad de conseguir fisuras en estructuras con grandes áreas. De manera que se fue disminuyendo los tamaños nominales, llegando a obtener fisuras en la superficie del hormigón con el agregado de  $\frac{3}{8}$ ".

- Se obtuvo que las fibras tratadas poseen mayor contenido de humedad siendo este un valor de 11%, respecto a las fibras en estado natural 10.3%, lo que significa que se debe tener mayor cuidado en la aplicación de esta fibra en la mezcla ya que puede modificar la relación agua-cemento.
- Con la dosificación señalada en la Tabla 20 se logró conseguir fisuras en la superficie del hormigón, pero no pudo obtener la resistencia de diseño inicialmente propuesta, a pesar de que esta condición no se cumplió se decidió continuar con la dosificación para 3/8" con una resistencia promedio de 205.24 kgf/cm<sup>2</sup>.
- La resistencia a compresión con mejores resultados como lo muestra la Tabla 42 se presenta en el conjunto de cilindros compuestos con fibras tratadas químicamente (C.T.), los cuales proporcionaron en su mayoría resistencias superiores o iguales a la requerida, el valor más alto fue de 221.39 kgf/cm<sup>2</sup> en los cilindros con 0.5% de fibra tratada.
- La resistencia a la compresión de los cilindros con fibra en estado natural y tratada químicamente fue en decadencia a medida que se incrementó el porcentaje de fibra.
- Las vigas compuestas con 0.5% de fibra tratada por mercerización (C.T.) son las que presentan mayor capacidad de carga y por ende mayor módulo de rotura siendo estas 17.56 kN y 5.04 MPa, respectivamente.
- En el ensayo a flexión se evidenció que la ruptura por efecto de la aplicación de carga fue de manera abrupta para las vigas con 0% de aplicación de fibra, a diferencia de las vigas que tenían un porcentaje de adición, ya que estas presentaron una falla menos violenta mientras mayor porcentaje de fibra tenía, esto debido a que las fibras servían como elementos de unión a pesar de haberse producido una ruptura en el hormigón.
- La humedad en las placas P se fue perdiendo progresivamente a lo largo del tiempo de ensayo, la cual se calculó con el registro de masa de la placa. La pérdida de humedad obtenida está entre los picos máximos y mínimos de 10% y 2%, respectivamente.
- Al partir con una placa fisurada con el 0% de fibra, se logró formar una base de fisuración, la misma que permitió observar de forma significativa la

reducción de las fisuras a medida que se incrementó el porcentaje de adición de fibras en la mezcla.

- Se puede concluir que hay una relación inversamente proporcional de las variables porcentuales de adición de fibra y longitud total de fisuras, es decir, a mayor porcentaje de fibra menor es la longitud total de las fisuras, tal como lo indica la Figura 51, donde se tiene que la longitud de fisuras al 0% es de 457.02 cm mientras que al 1% S.T. es de 39.87 cm. Cabe mencionar que en cuanto al estado de la fibra que permitió reducir notablemente las fisuras es el que se presentó en estado natural.
- Las mediciones de profundidad de fisuras demostraron que mientras menor es el porcentaje de fibra mayor es la longitud de fisuras y por ende mayor es la probabilidad de obtener fisuras profundas. Por lo mismo se tiene que en la placa al 0% se alcanzó una profundidad máxima de 2.50 cm (todo el espesor de la placa) y en la placa del 1% S.T. una profundidad mínima de 1.50 cm.
- Se puede concluir que la alternativa más idónea para reducir las fisuras en la superficie de las placas de hormigón fue el de emplear fibras de estopa de coco al 1% en estado natural (S.T.). Sin embargo, sus propiedades mecánicas y la trabajabilidad se vieron perjudicadas, ya que a mayor porcentaje de fibra se obtuvo menor resistencia a la compresión, a la flexión y dificultad en la trabajabilidad de la mezcla (demasiado apelmazada).
- En función de los resultados obtenidos en este proyecto, se considera que para la elaboración de elementos tipo placa reforzados con fibra de estopa de coco, la mejor opción para reducir fisuras y mejorar las propiedades mecánicas fue trabajar con el hormigón compuesto con 0.75% de fibra mercerizada (C.T.). Esta alternativa fue tomada debido a la variación de resultados de cada apartado.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para evitar cambios en la velocidad del viento es recomendable mantener una sola abertura de salida del viento, puesto que, al tener más salidas, por más mínimas que sean harán que las lecturas varíen unas respecto a otras y que no se trabaje con las condiciones establecidas inicialmente.
- Se recomienda utilizar un sensor de temperatura de mayor alcance, con el fin de verificar que la temperatura se mantenga a la establecida en el diseño.
- Las placas deberían estar sometidas a mayor temperatura y velocidad media de viento para visualizar la formación de fisuras de manera más rápida y con profundidades mayores y de esa manera no se tenga que realizar una dosificación de mezcla con una resistencia más baja a la recomendada.
- Es importante realizar la caracterización de los agregados, cemento y fibras de estopa de coco, puesto que son los elementos que permiten en gran parte desarrollar la investigación.
- Garantizar que los agregados finos y gruesos se encuentren en estado seco, con el fin de no modificar la relación a/c del diseño.
- Para realizar el tratamiento químico de mercerización (NaOH) es indispensable el uso de protección personal para evitar accidentes con la solución de carácter corrosivo.
- Antes de hacer uso de la fibra dentro de la composición de una mezcla es necesario mantenerla remojada por al menos 24 horas (estado S.S.S.), ya que de no hacerlo esta absorberá una parte del agua contenida en la mezcla, lo cual modificará la relación a/c y afectará al proceso de secado y obtención de la resistencia a la compresión.
- Se recomienda desenredar la fibra de estopa de coco ya que sus hilos al ser delgados y en estado húmedo se pegan entre sí.
- Para garantizar la uniformidad de la mezcla con fibra de coco es necesario incorporar la fibra después de haber obtenido el hormigón tradicional, el mismo principio se aplica si el trabajo se realiza en una mezcladora mecánica.

- Para la medición de fisuras es necesario tomar las fotografías en la misma posición y altura, con el fin de poder escalar más fácilmente y así obtener la longitud total de fisuras.
- El buen uso del equipo de ultrasonido es esencial para poder obtener datos verdaderos de las profundidades de las fisuras presentes en las placas, se debe considerar también la limitante el cual no permite medir profundidades menores a 1.5 cm.

## Bibliografía

- ACI 211.1-91. (1991). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal , Heavyweight , and Mass Concrete. *American Concrete Institute*, 1(Reapproved 2009), 1-38.
- ACI 224, P.-01. (2001). *Control of cracking in concrete structures*. American Concrete Institute; American Concrete Institute. [https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=22401&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US\\_AND\\_METRIC](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=22401&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC)
- ACI 318S-08. (2008). REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-08) Y COMENTARIO. *American Concrete Institute*, 1, 1-520.
- ACI 544.4R-18. (2018). Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete. *American Concrete Institute* , 1, 44.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Ali, M., Liu, A., Sou, H. y Chow, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814-825. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.12.068>
- Amaziah, W. O. y Nnodi, D. N. (2017). Mechanical Properties and Fracture Behaviour of Coconut Fibre Reinforced Concrete (CFRC). *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 5(5), 208-216. <https://doi.org/10.12691/ajcea-5-5-5>
- ASTM C128. (2016). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *ASTM INTERNATIONAL*, 04.02, 6. <https://doi.org/10.1520/C0128-15>
- ASTM C1557-03. (2017). Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. *ASTM INTERNATIONAL*, 15.01, 1-10. <https://doi.org/10.1520/C1557-03>

- ASTM C33-07. (2007). Standard Specification for Concrete Aggregates. *ASTM INTERNATIONAL*, C0033-07, 1-11. <https://www.astm.org/c0033-07.html>
- ASTM C494-08. (2008). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *ASTM INTERNATIONAL*, 04, 10. [https://doi.org/10.1520/C0494\\_C0494M-08](https://doi.org/10.1520/C0494_C0494M-08)
- ASTM C597-16. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM INTERNATIONAL*, 1, 1-4. <https://doi.org/10.1520/C0597-16>
- ASTM D2256. (2021). Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method. *ASTM International*, 07.01, 13. [https://doi.org/10.1520/D2256\\_D2256M-21](https://doi.org/10.1520/D2256_D2256M-21)
- Boghossian, E. y Wegner, L. D. (2008). Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 929-937. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2008.09.003>
- Both, A. K., Linderman, J. A., Madireddy, G., Helle, M. A. y Cheung, C. L. (2022). Valorization of coco coir into biocomposite materials through water-based chemistry. *Industrial Crops and Products*, 178, 114563. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2022.114563>
- Bui, H., Sebaibi, N., Boutouil, M. y Levacher, D. (2020). Determination and Review of Physical and Mechanical Properties of Raw and Treated Coconut Fibers for Their Recycling in Construction Materials . *Fibers, MDPI*, 8, 37. <https://doi.org/10.3390/fib8060037>
- Cao, Y., Shibata, S. y Fukumoto, I. (2006). Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3), 423-429. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2005.05.045>
- Chan, J., Solís, R. y Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto . *Ingeniería*, 7(2), 39-46. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770203>
- Djafari Petroudy, S. R. (2017). Physical and mechanical properties of natural fibers.

*Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, 59-83.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00003-0>

ELSONIC. (2017). Ultrasonic Wave Non-destructive Concrete Tester ELSONIC INSTRUCTION MANUAL. *ELSONIC*.

Escudero, A. y Aristizabal, J. (2016). Caracterización Mecánica de Fibras de Coco como Refuerzo de Materiales Compuestos Poliméricos. *Universidad Libre*, 1-77. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10374/tesis\\_coco%28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10374/tesis_coco%28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

EUCLID. (2018). *Reparación de placas y pavimentos*. EUCLID CHEMICAL TOXEMENT. <https://www.toxement.com.co/zona-técnica/especificaciones/repación-de-placas-y-pavimentos/>

García-García, J. A., Reding-Bernal, A. y López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 2(8), 217-224. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7)

García Patricia. (2015). *Estudio de Factibilidad para la Industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa De Oro, Esmeraldas*. 117. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13414/1/UPS-GT001768.pdf>

Geremew, A., De Winne, P., Demissie, T. A. y De Backer, H. (2021). Treatment of Natural Fiber for Application in Concrete Pavement. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6667965>

Ghoddousi, P., Abbasi, A. M., Shahrokhinasab, E. y Abedin, M. (2019). Prediction of Plastic Shrinkage Cracking of Self-Compacting Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1296248>

Goushis, R. y Mini, K. M. (2021). Finite element analysis of polymeric and cementitious materials to secure cracks in concrete. *Materials Today: Proceedings*, 1(July 2021). <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.07.418>

Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

H HOLDPEAK. (2020). *HOLDPEAK HP-856A Digital Auto*. Amazon. [https://www.amazon.com/HOLDPEAK-HP-856A-Anemometer-Thermometer-Temperature/dp/B00XTWEKAW/ref=sr\\_1\\_17?keywords=wind%2Bvelocity%2Bmeter&qid=1642635387&srefix=wind%2Bvelocity%2Caps%2C145&sr=8-17&th=1](https://www.amazon.com/HOLDPEAK-HP-856A-Anemometer-Thermometer-Temperature/dp/B00XTWEKAW/ref=sr_1_17?keywords=wind%2Bvelocity%2Bmeter&qid=1642635387&srefix=wind%2Bvelocity%2Caps%2C145&sr=8-17&th=1)

Hasan, K. M. F., Horváth, P. G., Bak, M. y Alpár, T. (2021). A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. *RSC Advances*, 11(18), 10548-10571. <https://doi.org/10.1039/D1RA00231G>

HOLCIM. (2022). *Cemento Holcim Fuerte*. HOLCIM. <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>

Hwang, C. L., Tran, V. A., Hong, J. W. y Hsieh, Y. C. (2016). Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 127, 984-992. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.09.118>

Jahren, P. y Sui, T. (2018). Early concrete history. *History of Concrete*, 1, 001-056. [https://doi.org/10.1142/9789813145740\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789813145740_0001)

Karthikeyan, A., Balamurugan, K. y Kalpana, A. (2014). The effect of sodium hydroxide treatment and fiber length on the tensile property of coir fiber-reinforced epoxy composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 21(3), 315-321. <https://doi.org/10.1515/SECM-2013-0130/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

Kayondo, M., Combrinck, R. y Boshoff, W. P. (2019). State-of-the-art review on plastic cracking of concrete. *Construction and Building Materials*, 225, 886-899. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.197>

Kim, J. K. y Lee, C. S. (1998). Prediction of differential drying shrinkage in concrete. *Cement and Concrete Research*, 28(7), 985-994. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00077-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00077-5)

Larosche, C. J. (2009). Types and causes of cracking in concrete structures. *Failure*,

*Distress and Repair of Concrete Structures*, 57-83.  
<https://doi.org/10.1533/9781845697037.1.57>

Mishra, L. y Basu, G. (2020). Coconut fibre: its structure, properties and applications. En *Handbook of Natural Fibres: Second Edition* (Vol. 1, pp. 231-255). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00010-4>

Mushtaq, S. M., Siddique, R., Goyal, S. y Kaur, K. (2021). Experimental studies and drying shrinkage prediction model for concrete containing waste foundry sand. *Cleaner Engineering and Technology*, 2(June 2021), 100071. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2021.100071>

NTE INEN 1108. (2020). AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS. *INEN*, 1-14. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/nextcloud/s/SqkiE7MZ2Kp7xBY>

NTE INEN 151. (2021). CEMENTO HIDRÁULICO. TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL CEMENTO HIDRÁULICO. *INEN*, 1-9. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 152. (2012). CEMENTO PORTLAND. REQUESITOS. *INEN*, 1-17. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 156. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD. *INEN*, 1-9. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 1573. (2010). HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. *INEN*, 1, 14. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 2380. (2011). CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS. *INEN*, 1-11. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 2554. (2011). Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Flexión del Hormigón. (Utilizando una Viga Simple con Carga en los Tercios). *INEN*, 1-8/.

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2554.pdf>

NTE INEN 2874. (2015). HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO. *INEN*, 15. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 696. (2011). ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO. En *INEN* (Vol. 1, Número 1). <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 855. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. *INEN*. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 856. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. *INEN*. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 857. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. *INEN*, 14. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 858. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS. *INEN*, 11. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 860. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE LAS PARTÍCULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. *INEN*, 1-10. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

NTE INEN 861. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MAYORES A 19 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. *INEN*, 1, 8. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/861.pdf>

NTE INEN 872. (2011). ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS. *INEN*, 1-19. <https://www.normalizacion.gob.ec/>

Ocampo María. (2019, febrero 25). *Plan de negocios de una empresa de diseño*,

*producción y comercialización con derivados no tradicionales del coco.* 134.  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19068/1/T-UCE-0003-CAD-062-P.pdf>

- Paricaguán, B., Albano, C., Palacios, J., Torres, R., Camacho, N., Infante, J. y Alvarado, M. (2013). Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético). *Revista INGENIERÍA UC*, 20(2), 60-67.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732655008>
- Passuello, A., Moriconi, G. y Shah, S. P. (2009). Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers. *Cement and Concrete Composites*, 31(10), 699-704.  
<https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2009.08.004>
- Pelisser, F., Neto, A. B. D. S. S., Rovere, H. L. La y Pinto, R. C. D. A. (2010). Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2171-2176.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.04.041>
- Puentes, L. H. y Joya, E. (2005, agosto). Reconocimiento de características, obtención y utilización de la estopa de coco. *Artesanías de Colombia S.A.*, 1-68.  
<https://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/bitstream/001/3945/5/INST-D2005.53.1.pdf>
- Puspaningrum, T., Haris, Y. H., Sailah, I., Yani, M. y Indrasti, N. S. (2020). Physical and mechanical properties of binderless medium density fiberboard (MDF) from coconut fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012011>
- Rodríguez, R. y Vélez, J. (2022). *CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES COMPUESTOS CON FIBRA DE ESTOPA DE COCO USANDO DOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA DISMINUIR SU DEGRADACIÓN* [Escuela Politécnica Nacional].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22606>

- Safiuddin, M., Kaish, A. B. M. A., Woon, C. O. y Raman, S. N. (2018). Early-Age Cracking in Concrete: Causes, Consequences, Remedial Measures, and Recommendations. *Applied Sciences*, 8(10), 1730. <https://doi.org/10.3390/APP8101730>
- Sanjuán Barbudo, M. A. y Chinchón Yepes, S. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*. (UNE (ed.)). Universidad d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/45347>
- Saradar, A., Tahmouresi, B., Mohseni, E. y Shadmani, A. (2018). Restrained Shrinkage Cracking of Fiber-Reinforced High-Strength Concrete. *Fibers*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.3390/FIB6010012>
- Shah, I., Jing, L., Fei, Z. M., Yuan, Y. S., Farooq, M. U. y Kanjana, N. (2021). A Review on Chemical Modification by using Sodium Hydroxide (NaOH) to Investigate the Mechanical Properties of Sisal, Coir and Hemp Fiber Reinforced Concrete Composites. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1875359>. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1875359>
- Silva, M. T. A., Rocha, J. H. A., Monteiro<sup>1</sup>, E. C. B., Póvoas<sup>1</sup>, Y. V, Rabbani<sup>1</sup>, E. R. K., Monteiro, E. C. B., Póvoas, Y. V y Rabbani, E. R. K. (2019). Evaluation of the ultrasound test for estimating the depth of cracks in concrete. *Revista ALCONPAT*, 9(1), 79-92. <https://doi.org/10.21041/RA.V9I1.289>
- Soluciones Limitadas. (2012). Propiedades del concreto reforzado con fibra de estopa de coco. *Reforzamiento con fibras*, 1-6. <http://www.imcyc.com/revistacyt/noviembre2012/pdfs/posibilidades.pdf>
- UCA. (2016). DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. *UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSE SIMEON CAÑAS"*, 1-14. [https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad gravedad especifica y absorcion de agregados finos.pdf](https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf)
- Unidad Técnica de Control Externo. (2012). *GUÍA PRÁCTICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUESTRAS*. [http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_chl\\_const.pdf](http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_chl_const.pdf)

- Valencia, N., Yáñez, J. y Castro, D. (2021). EL AGUA DE COCO: NO SOLO UNA BEBIDA REFRESCANTE, SINO UNA BEBIDA CON BENEFICIOS PARA LA SALUD. *Frontera Biotecnológica*, 1(1), 1-4. <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol20/pdf/vol-20-2.pdf>
- Velásquez Restrepo, S. M., Pelaéz Arroyave, G. J. y Giraldo Vásquez, D. H. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. En *Informador Técnico* (Vol. 80, Número 1). Servicio Nacional de Aprendizaje. <https://doi.org/10.23850/22565035.324>
- Villegas, N. y Vélez, R. (2007). *Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1650>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. y Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (G. López & F. Hernández (eds.); Novena, Vol. 1). PEARSON EDUCACIÓN. [https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole\\_8.pdf](https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole_8.pdf)
- Wolf, S., Cleven, S. y Vlasák, O. (2020). Early Age Shrinkage Crack Distribution in Concrete Plates Reinforced with Different Steel Fibre Types. En *RILEM Bookseries* (Vol. 30, Número November 2020, pp. 24-34). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58482-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58482-5_3)
- Wu, Y., Song, W., Zhao, W. y Tan, X. (2018). An Experimental Study on Dynamic Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Concrete under Different Strain Rates. *Applied Sciences* 2018, Vol. 8, Page 1904, 8(10), 1904. <https://doi.org/10.3390/APP8101904>

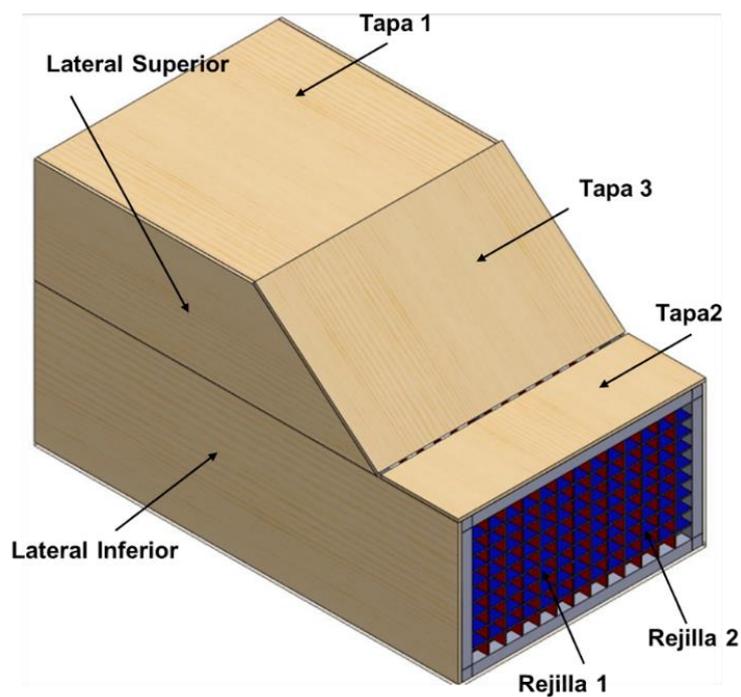
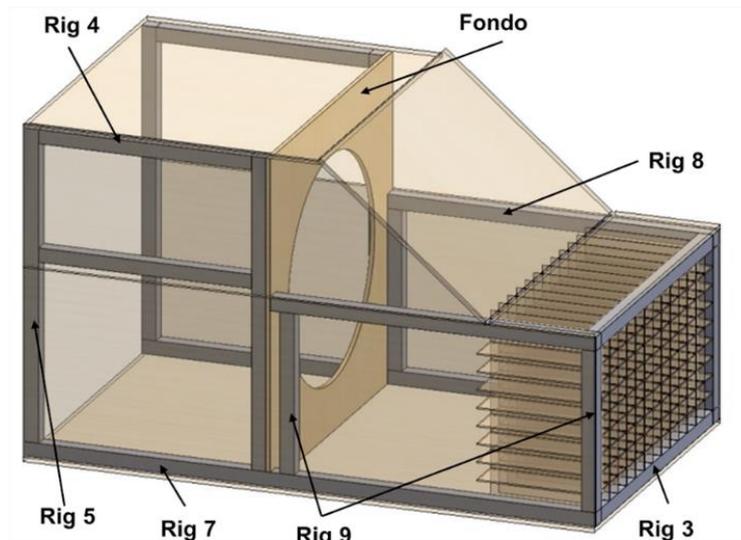
## **ANEXOS**

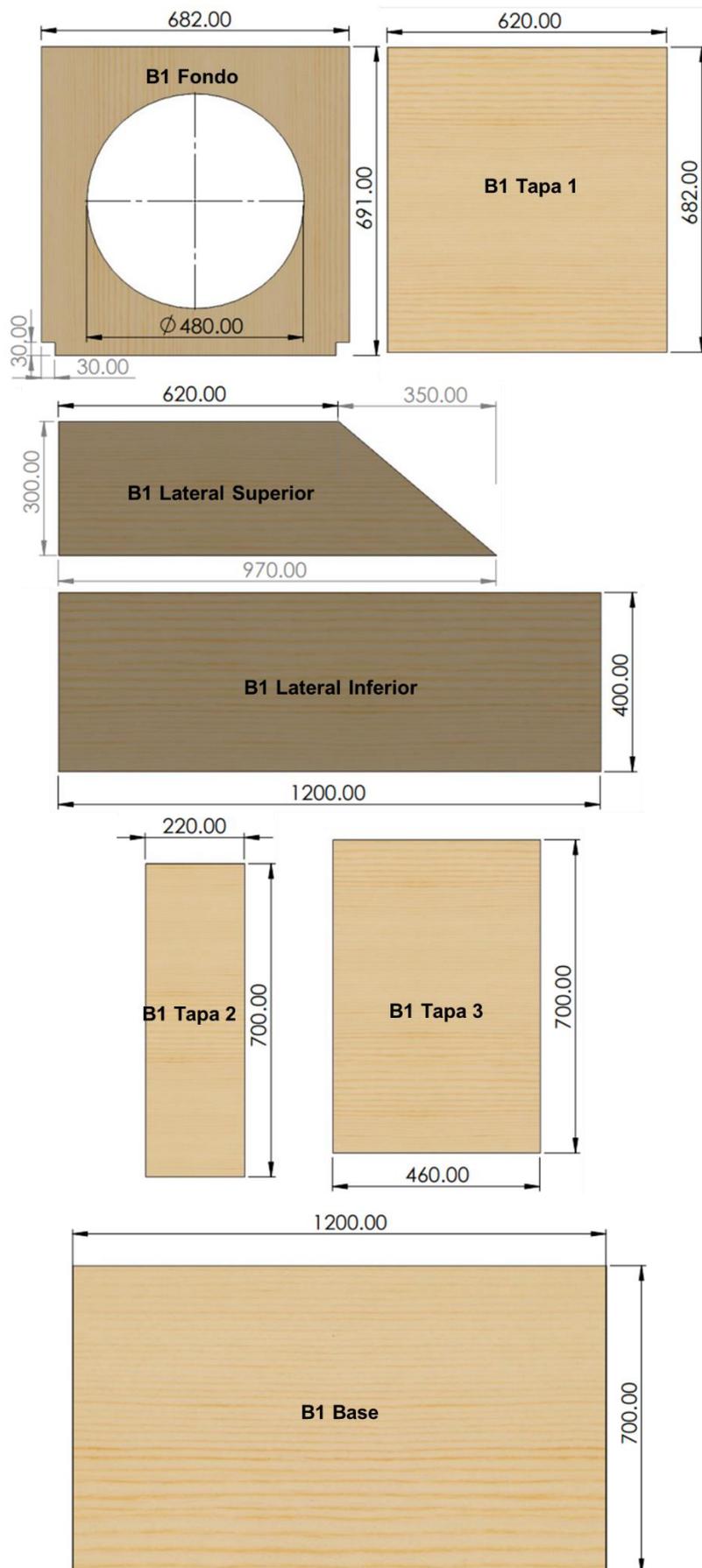
## **ANEXO 1. DISEÑO DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE**

Este modelo se lo desarrolló en el software de SolidWorks debido a su visualización en 3D, los planos obtenidos de cada sección de la caja se presentan a continuación.

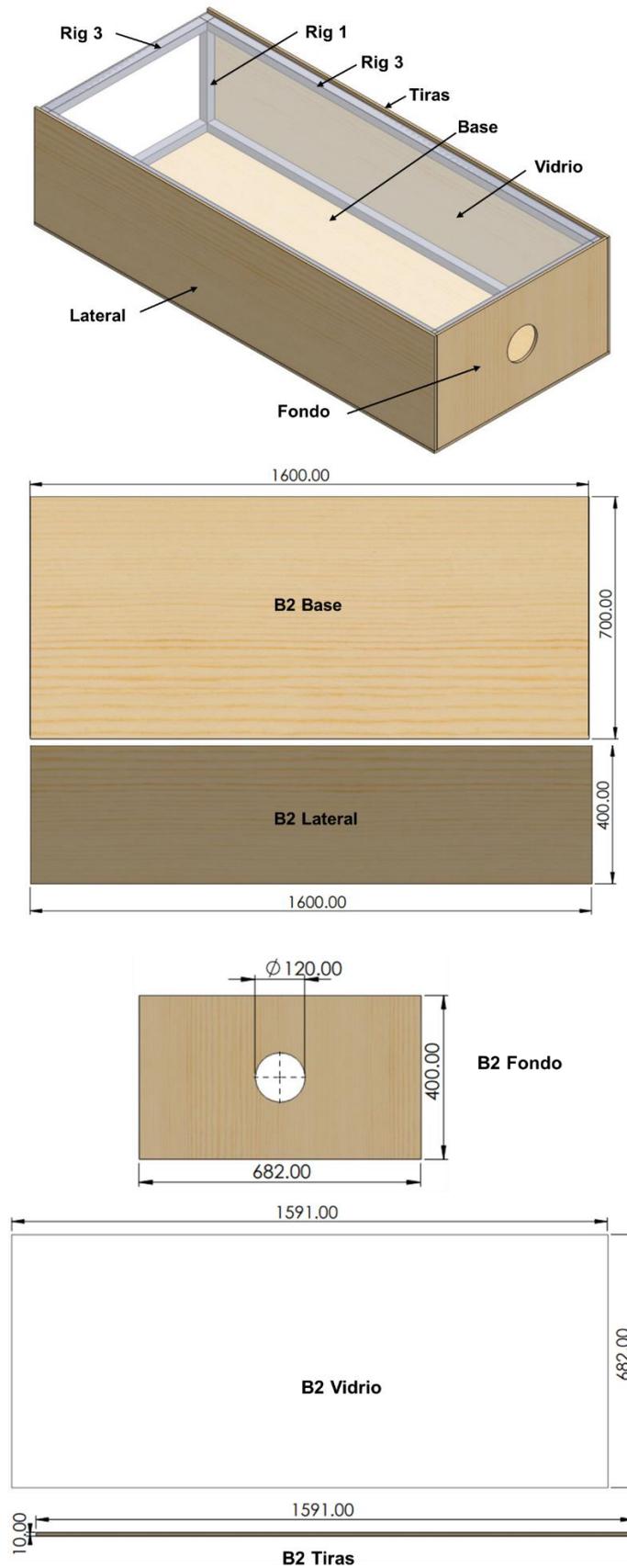
- **Detalle del Bloque 1 de la cámara**

El elemento B1 Fondo (soporte del ventilador) tiene un espesor de 18 mm, mientras que todos los demás elementos tienen un espesor de 9 mm.



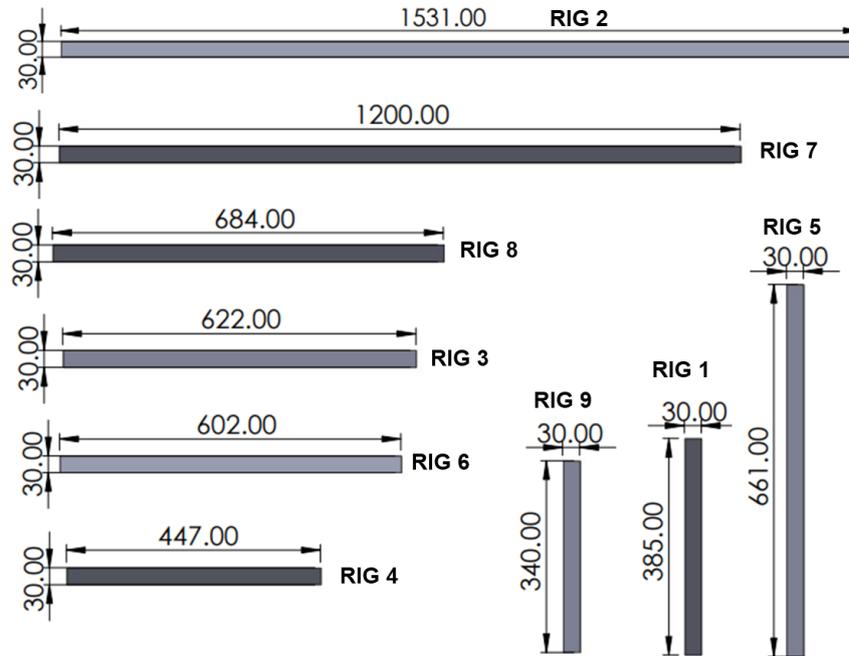


- Detalle Bloque 2 de la cámara



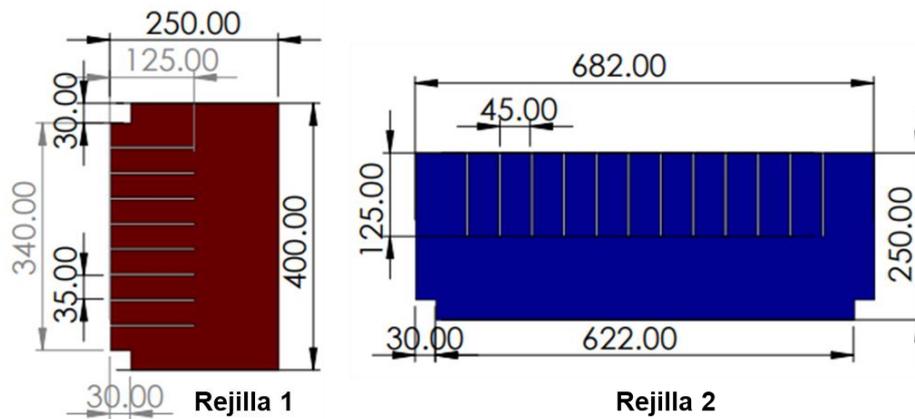
- **Detalle rigidizadores**

Los rigidizadores tienen espesor de 30 mm.



- **Detalle rejilla profunda**

El material usado fue MDF de un espesor de 3 mm.



## **ANEXO 2. FABRICACIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE CALIENTE**

Fabricación de rejilla para regular en forma laminar el flujo del viento y el calor.



Confección de la sección en donde se colocan las placas para su posterior observación.



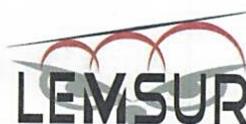
Proceso final de pintura de la cámara de aire con impermeabilizante para evitar la absorción de humedad del ambiente y de las placas.



**ANEXO 3. ENSAYOS DE CEMENTO**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**DENSIDAD REAL DEL CEMENTO**

INF. No. 22 - 0101- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón social: MARY AMAGUÑA PILICITA; LEIDY GUAMÁN MUGMAL  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961338117; 0997398219

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

FECHA DE ENSAYO: 2022-02-16

NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
HOLCIM	GU	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm <sup>3</sup> )	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm <sup>3</sup> )	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,5	326,6	18,9	380,2	0	2,91

OBSERVACIONES: El muestreo y las características de la muestra, son responsabilidad del cliente.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

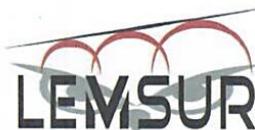
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

**Nota:** Todos los ensayos mostrados a continuación fueron verificados por el laboratorio a cargo (LEMSUR) pero por cuestión de detalles y espacio se optó por colocar las tablas de manera manual.

## **ANEXO 4. ENSAYOS DE AGREGADO GRUESO**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

INF. No. 22-0391-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de julio de 2022

**DATOS DEL CLIENTE**

**Razón social:** MARY ELIZABETH AMAGUAÑA PILICITA; LEIDY JOHANA GUAMÁN MUGMAL  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0961338117; 0997398219

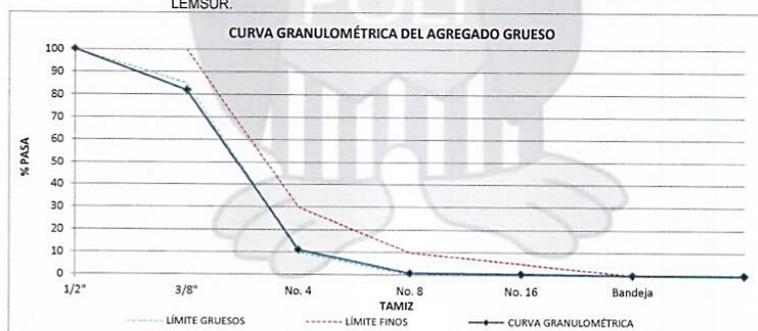
**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN

**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**MUESTRA:** AGREGADO GRUESO  
**PROCEDENCIA:** HOLCIM  
**FECHA DE ENSAYO:** 2022-07-06  
**NORMA:** ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		1000.00	Número de Tamaño		8
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	179.8	18.0	18.0	82.0
No. 4	4.75	708.8	70.9	88.9	11.1
No. 8	2.36	102.9	10.3	99.2	0.8
No. 16	1.18	3.3	0.3	99.5	0.5
Bandeja	-	5.1	0.5	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>999.9</b>	<b>M. FINURA</b>	<b>6.1</b>	

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Tabla de la Norma NTE INEN 872:2011 de donde se toma como referencia para la obtención de los tamices necesarios para la caracterización granulométrica del agregado grueso.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 <sup>A</sup>	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

<sup>A</sup> Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: NTE INEN 872, 2011

Tamaño Máximo Nominal	3/8"
-----------------------	------

## Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

DATOS OBTENIDOS			
Parámetro	Valor	Unidad	
Peso del material SSS	2000.0	gr	<b>B</b>
Peso de la canastilla sumergida	1191.1	gr	
Peso del material SSS sumergido + canastilla	2439.4	gr	
Peso del material SSS sumergido	1248.3	gr	<b>C</b>
Peso del material seco + recipiente	2195.0	gr	
Peso del material seco	1952.5	gr	<b>A</b>
Peso del recipiente	242.5	gr	

RESULTADOS	
<b>Densidad Relativa (gravedad específica) (SH)</b>	
$SH = \frac{A}{B - C}$	<b>SH</b> 2.60
<b>Densidad Relativa (gravedad específica) (SSS)</b>	
$SSS = \frac{B}{B - C}$	<b>SSS</b> 2.66
<b>Densidad Relativa Aparente (gravedad específica) (SSS)</b>	
$SSS = \frac{A}{A - C}$	<b>SSS</b> 2.77
<b>Absorción %</b>	
$Absorción \% = \frac{B - A}{A} * 100$	<b>Absorción %</b> 2.43



### Densidad Aparente

DATOS OBTENIDOS				
Parámetros			Valor	Unidad
<b>Molde para grueso</b>		h=	15.40	cm
		d=	15.20	cm
		V=	2794.46	cm <sup>3</sup>
		peso=	1897.50	gr
<b>Estado</b>	<b>suelto</b>	molde + agregado grueso=	5457.20	gr
	<b>suelto</b>	molde + agregado grueso=	5427.20	gr
	<b>compactado</b>	molde + agregado grueso=	5941.60	gr
	<b>compactado</b>	molde + agregado grueso=	5957.00	gr

RESULTADOS					
Estado	Parámetro	Valor	Unidad	DENSIDAD	DENSIDAD PROMEDIO gr/cm3
SUELTO	molde+agregado grueso=	5457.20	gr	1.27	1.27
	molde+agregado grueso=	5427.20	gr	1.26	
COMPACTADO	molde+agregado grueso=	5941.60	gr	1.45	1.45
	molde+agregado grueso=	5957.00	gr	1.45	

### Abrasión

<b>Tipo de muestra:</b>	Agregado grueso
<b>Tamaño nominal:</b>	3/8"
<b>Procedencia:</b>	HOLCIM
<b>Norma:</b>	ASTM C131/NTE INEN 860:2011

RESULTADOS DE ENSAYO		
Parámetro	Valor	Unidad
Gradación	C	-
Número de esferas	8	-
Peso inicial	5000	gr
Peso retenido en el tamiz #12 luego de 100 revoluciones	4716.1	gr
Peso retenido en el tamiz #12 luego de 500 revoluciones	3865.3	gr
Porcentaje de pérdida 100 rev.	5.68	%
Porcentaje de pérdida 500 rev.	22.69	%
Coeficiente de uniformidad	0.25	-

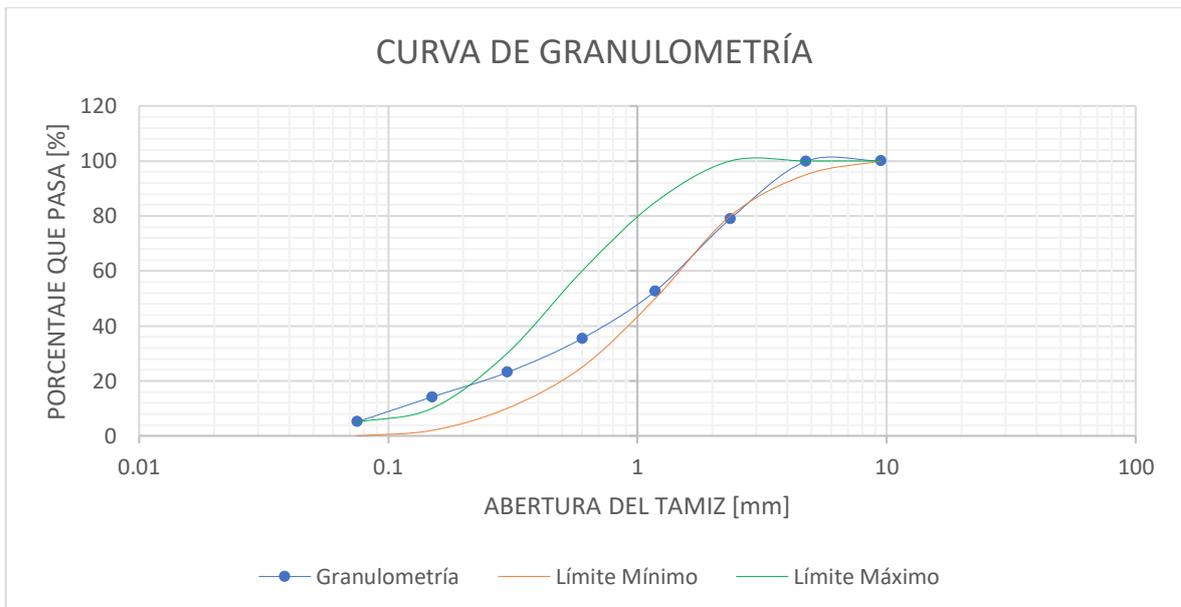


**ANEXO 5. ENSAYOS DE AGREGADO FINO**

## Granulometría

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO					
DATOS			RESULTADOS		
Tamiz No.	Abertura Tamiz [mm]	Peso Retenido [gr]	Porcentaje Retenido [%]	Porcentaje Retenido Acumulado [%]	Porcentaje que pasa [%]
3/8"	9.5	0	0.00	0	100
4	4.750	0.5	0.14	0.14	99.86
8	2.360	72.8	20.87	21.01	78.99
16	1.180	91.8	26.32	47.33	52.67
30	0.600	60.1	17.23	64.56	35.44
50	0.300	43.1	12.36	76.92	23.08
100	0.150	31.1	8.92	85.84	14.16
200	0.075	31.7	9.09	94.93	5.07
Bandeja	-	17.7	5.07	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		348.8	100.00		

MÓDULO DE FINURA	
MF=	2.96



## Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

DATOS OBTENIDOS			
Parámetro	Valor	Unidad	
Peso recipiente	225.2	gr	
Peso del material seco + recipiente	516.4	gr	
Peso del material seco	291.2	gr	<b>A</b>
Peso del picnómetro + agua	662.7	gr	<b>B</b>
Peso del picnómetro + agua + material	847.7	gr	<b>C</b>
Peso del material SSS	300.0	gr	<b>S</b>

RESULTADOS			
<b>Densidad Relativa (gravedad específica) (SH)</b>			
$(SH) = \frac{A}{B + S - C}$	<table border="1"> <tr> <td>SH</td> </tr> <tr> <td>2.53</td> </tr> </table>	SH	2.53
SH			
2.53			
<b>Densidad Relativa (gravedad específica) (SSS)</b>			
$(SSS) = \frac{S}{B + S - C}$	<table border="1"> <tr> <td>SSS</td> </tr> <tr> <td>2.61</td> </tr> </table>	SSS	2.61
SSS			
2.61			
<b>Densidad Relativa Aparente (gravedad específica) (SSS)</b>			
$(SSS) = \frac{A}{B + A - C}$	<table border="1"> <tr> <td>SSS</td> </tr> <tr> <td>2.74</td> </tr> </table>	SSS	2.74
SSS			
2.74			
<b>Absorción %</b>			
$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} * 100$	<table border="1"> <tr> <td>Absorción %</td> </tr> <tr> <td>3.02</td> </tr> </table>	Absorción %	3.02
Absorción %			
3.02			



### Densidad Aparente

DATOS OBTENIDOS				
Parámetros			Valor	Unidad
Molde para fino		h=	15.40	cm
		d=	15.20	cm
		V=	2794.46	cm <sup>3</sup>
		peso=	1897.70	gr
Estado	suelto	molde + agregado fino=	6183.10	gr
	suelto	molde + agregado fino=	6171.30	gr
	compactado	molde + agregado fino=	6830.50	gr
	compactado	molde + agregado fino=	6817.60	gr

RESULTADOS					
Estado	Parámetro	Valor	Unidad	DENSIDAD	DENSIDAD PROMEDIO gr/cm <sup>3</sup>
SUELTO	molde + agregado fino=	6183.10	gr	1.53	1.53
	molde + agregado fino=	6171.30	gr	1.53	
COMPACTADO	molde + agregado fino=	6830.50	gr	1.77	1.76
	molde + agregado fino=	6817.60	gr	1.76	

### Contenido Orgánico

TIPO DE MUESTRA:	Agregado Fino
PROCEDENCIA:	HOLCIM
FECHA DE ENSAYO:	03/02/2022
NORMA:	INEN 855

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	
	<p><b>ESCALA GARDNER</b></p> <p>0 <input type="text" value="X"/></p> <p>1 <input type="text"/></p> <p>2 <input type="text"/></p> <p>3 <input type="text"/></p> <p>4 <input type="text"/></p> <p>5 <input type="text"/></p>

**Nota:** Con el uso de la escala de Gardner se clasifica a la muestra como aceptable ya que su valor de contenido orgánico se encuentra en 0.

## **ANEXO 6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN**

## Dosificación para agregado grueso Ø3/8"

<b>DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS</b>				
<b>Datos preliminares</b>		<b>Cálculos</b>		<b>Corrección por absorción</b> 0.0545
f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )=	210	Factor de cemento (kg/m <sup>3</sup> )=	438.46	
γ <sub>real-cemento</sub> (g/cm <sup>3</sup> )=	2.91	# Sacos de cemento=	8.77	
<b>Resultados de laboratorio</b>		Vol. de cemento (dm <sup>3</sup> )=	150.67	
Mf (fino)=	2.96	Vol. real del agregado grueso (dm <sup>3</sup> )=	239.85	
Absorción (%) ripio=	2.43	Vol. de arena=	351.48	
Absorción (%) arena=	3.02	<b>Tabla de resultados</b>		
Densidad real SSS (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	2.66	<b>Componente</b>	<b>Vol. real (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad real (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
Densidad real SSS (kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	2.61	<b>Agua</b>	228.00	1.00
Densidad aparente compact (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	1.45	<b>Cemento</b>	150.67	2.91
Densidad aparente compact(kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	1.76	<b>Arena</b>	351.48	2.61
Densidad aparente suelta (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	1.27	<b>Ripio</b>	239.85	2.66
Densidad aparente suelta (kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	1.53	<b>Agua</b>	228.00	1.00
Asentamiento (cm)=	7.62	<b>Cemento</b>	150.67	2.91
Tamaño máximo agregado grueso=	3/8"	<b>Arena</b>	351.48	2.61
<b>Datos obtenidos de tablas</b>		<b>Resumen sin corrección</b>		
Agua necesaria (l/m <sup>3</sup> )=	228	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>Ar</b>
Relación a/c (l/kg)=	0.52	0.52	1.00	2.09
Volumen agregado grueso /m <sup>3</sup> hormigón=	0.44	<b>R</b>		1.46
Aire agregado(l/m <sup>3</sup> )=	30			
<b>Con corrección por absorción</b>				
<b>Datos preliminares</b>		<b>Cálculos</b>		<b>Corrección por absorción</b> 0.0545
f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )=	210	Factor de cemento (kg/m <sup>3</sup> )=	521.55	
γ <sub>real-cemento</sub> (g/cm <sup>3</sup> )=	2.91	# Sacos de cemento=	10.43	
<b>Resultados de laboratorio</b>		Volumen de cemento (dm <sup>3</sup> )=	179.23	
Mf (fino)=	2.96	Vol. real del agregado grueso (dm <sup>3</sup> )=	239.85	
Absorción (%) ripio=	2.43	Volumen de arena=	279.72	
Absorción (%) arena=	3.02	<b>Tabla de resultados</b>		
Densidad real SSS (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	2.66	<b>Componente</b>	<b>Volumen real (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad real (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
Densidad real SSS (kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	2.61	<b>Agua</b>	271.21	1.00
Densidad aparente compactada (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	1.45	<b>Cemento</b>	179.23	2.91
Densidad aparente compactada (kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	1.76	<b>Arena</b>	279.72	2.61
Densidad aparente suelta (kg/dm <sup>3</sup> ) ripio=	1.24	<b>Ripio</b>	239.85	2.66
Densidad aparente suelta (kg/dm <sup>3</sup> ) arena=	1.53	<b>Agua</b>	271.21	1.00
Asentamiento (cm)=	7.62	<b>Cemento</b>	179.23	2.91
Tamaño máximo agregado grueso=	3/8"	<b>Arena</b>	279.72	2.61
<b>Datos obtenidos de tablas</b>		<b>Resumen</b>		
Agua necesaria para mezcla final (l/m <sup>3</sup> )=	271.21	<b>A</b>		
Relación a/c (l/kg)=	0.52	0.61854		
Volumen agregado grueso /m <sup>3</sup> hormigón=	0.44	<b>DOSIFICACIÓN FINAL</b>		
Aire agregado(l/m <sup>3</sup> )=	30	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>Ar</b>
		0.62	1.00	2.09
		<b>R</b>		1.46

### Obtención de cantidades para la realización de placas

Medidas	Vigas	Placa G	Placa P	Cilindros
Largo [m]	0.40	0.75	0.30	0.10
Ancho [m]	0.10	0.40	0.30	0.20
espesor [m]	0.10	0.026	0.026	
<b>Volumen</b> [m3]	0.00400	0.00780	0.00234	0.00157
# probetas	0.0	1	1	0.0
<b>Vol. Total</b> [m3]	0.00000	0.00780	0.00234	0.00000
	<b>0.01014</b>			

Componente	Cant. en peso (kg)	Cant. en peso total (kg)	TOTAL (kg)
<b>Agua</b>	271.21	<b>2.75</b>	2.75
<b>Cemento</b>	438.46	<b>4.45</b>	4.45
<b>Arena</b>	917.35	<b>9.30</b>	9.30
<b>Ripio</b>	638.00	<b>6.47</b>	6.44
<b>Estopa Coco</b>	0.0323	<b>0.0323</b>	0.0323

**ANEXO 7. ENSAYOS DE LAS FIBRAS DE ESTOPA DE COCO**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO**



**INFORME No. CTP-ITI-2022-08-02**

**Página 1 de 5**

**DEPARTAMENTO SOLICITANTE**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DICA

Ing. Nicolay Yanchapanta

Colaborador del Proyecto de Investigación PII-DI-2021-01.

**MATERIAL QUE ENTREGA**

Dos grupos de muestras de fibra de coco: sin tratamiento y con tratamiento

**TRABAJO SOLICITADO:**

Determinar resistencia a la tracción y Contenido de humedad.

**FECHA DE RECEPCION ORDEN DE TRABAJO:** 2022 / 08/ 05

**FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME:** 2022 / 08/ 15

**NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO:** DQ-OTI0007-2022

**Responsable del Centro Textil**



Firmado digitalmente por  
**HILDA LUCIA  
TRUJILLO  
AREVALO**

**Ing. Hilda Trujillo A.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO**



**INFORME No. CTP-ITI-2022-08-02**

**Página 2 de 5**

**FIBRAS DE COCO SIN TRATAMIENTO  
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN A LA ROTURA (ASTM D 2256)**

Probeta	Vel. prue [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	5,05	0,0658	70,08	6,58	0,072
2	30	8,02	0,3141	41,33	31,40	0,194
3	30	2,55	0,1665	17,35	16,60	0,147
4	30	5,36	0,1259	53,50	12,60	0,100
5	30	10,00	0,3252	43,81	32,50	0,229
6	30	1,66	0,1983	13,50	19,80	0,123
7	30	4,88	0,1682	45,20	16,80	0,108
8	30	11,80	0,1880	105,41	18,80	0,112
9	30	7,24	0,3161	39,92	31,70	0,181
10	30	10,50	0,3668	62,63	36,70	0,168
11	30	3,49	0,0795	43,11	7,95	0,081
12	30	8,45	0,4339	39,10	43,40	0,216
13	30	16,90	0,3043	136,28	30,40	0,124
14	30	9,68	0,2883	68,88	28,90	0,141
15	30	3,58	0,2041	30,67	20,40	0,117
16	30	2,54	0,2000	21,62	20,00	0,117
17	30	21,30	0,5262	117,28	52,60	0,181
18	30	9,30	0,4383	49,93	43,80	0,186
19	30	7,82	0,3375	69,93	33,80	0,112
20	30	13,00	0,3348	92,99	33,60	0,140
21	30	11,40	0,3999	52,21	40,00	0,218
22	30	21,00	0,4525	128,32	45,20	0,163
23	30	10,10	0,4049	52,74	40,60	0,192
24	30	17,60	0,1534	160,06	15,30	0,110
25	30	4,49	0,2695	25,14	26,90	0,179
26	30	4,43	0,3298	25,46	33,00	0,174
27	30	11,50	0,3445	82,69	34,80	0,139
28	30	10,40	0,3788	57,37	37,90	0,180
29	30	7,25	0,3945	37,13	39,50	0,195
30	30	7,37	0,3552	46,24	35,50	0,159
31	30	8,46	0,3674	45,21	36,70	0,187
32	30,0	8,34	0,3271	59,29	32,8	0,141
33	30,0	6,22	0,0888	74,65	8,88	0,083
Media	30,0	8,83	0,2924	60,88	29,3	0,151
Desviación estándar	0,00	4,92	0,1177	35,26	11,78	0,040

Los resultados de este informe conciernen exclusivamente a las muestras, productos o materiales entregados al Centro Textil Politécnico y no puede extenderse a lotes de producción o comprados. La reproducción de este informe solo se autoriza si se hace en su totalidad.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO**



**INFORME No. CTP-ITI-2022-08-02**

**Página 4 de 5**

**FIBRAS DE COCO CON TRATAMIENTO  
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN A LA ROTURA (ASTM D 2256)**

Probeta	Vel. prue [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	1,76	0,0571	28,65	5,73	0,062
2	30	6,38	0,3688	46,09	36,90	0,138
3	30	6,58	0,3758	33,96	37,60	0,194
4	30	7,10	0,2085	77,77	20,90	0,091
5	30	4,88	0,1505	29,92	15,10	0,163
6	30	17,90	0,2966	91,62	29,70	0,195
7	30	2,10	0,1278	40,10	12,80	0,052
8	30	2,64	0,3324	14,60	33,20	0,181
9	30	2,96	0,1224	50,74	12,20	0,058
10	30	3,36	0,1773	22,62	17,70	0,149
11	30	4,23	0,4110	21,13	41,10	0,200
12	30	12,70	0,3498	106,34	35,20	0,119
13	30	7,43	0,3445	23,08	34,40	0,322
14	30	7,11	0,2300	38,81	23,20	0,183
15	30	5,69	0,3661	40,46	36,90	0,141
16	30	2,52	0,1095	34,91	10,90	0,072
17	30	1,80	0,2108	12,07	21,10	0,149
18	30	9,10	0,4144	51,96	41,60	0,175
19	30	7,65	0,4396	41,64	44,20	0,184
20	30	3,66	0,2393	29,76	24,00	0,123
21	30	1,20	0,1659	13,27	16,60	0,091
22	30	3,50	0,1166	37,47	11,70	0,093
23	30	9,38	0,3075	85,62	30,80	0,110
24	30	2,74	0,1897	15,28	19,00	0,179
25	30	13,70	0,4310	57,72	43,10	0,238
26	30	4,28	0,2431	27,55	24,30	0,155
27	30	7,75	0,3325	50,00	33,20	0,155
28	30	4,63	0,2948	30,99	29,50	0,149
29	30	6,01	0,4224	28,76	42,20	0,209
30	30	3,54	0,3986	22,31	39,90	0,159
31	30	7,39	0,4141	44,07	41,40	0,168
32	30	7,38	0,4175	46,53	41,80	0,159
33	30	9,19	0,3346	67,07	33,50	0,137
Media	30	6,01	0,2849	41,30	28,50	0,150
Desviación estándar	0	3,72	0,1138	22,91	11,40	0,060

Los resultados de este informe conciernen exclusivamente a las muestras, productos o materiales entregados al Centro Textil Politécnico y no puede extenderse a lotes de producción o comprados. La reproducción de este informe solo se autoriza si se hace en su totalidad.

Dirección: Andalucía N22-441 y Veintimilla Teléfonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07  
E-mail: [omar.bonilla@epn.edu.ec](mailto:omar.bonilla@epn.edu.ec); [hilda.trujillo@epn.edu.ec](mailto:hilda.trujillo@epn.edu.ec)

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO</b>			
	<b>INFORME No. CTP-ITI-2022-08-02</b>			<b>Página 3 de 5</b>
<b>FIBRAS DE COCO SIN TRATAMIENTO</b>				
<b><u>PROPIEDADES DETERMINADAS</u></b>			<b><u>NORMA</u></b>	<b><u>RESULTADOS</u></b>
Contenido de humedad (%)			ASTM D4442-20	10,3 <sup>+</sup> /- 0,1
<b>Responsable del Centro Textil</b>				
				
<small>Firmado digitalmente por:</small> <b>HILDA LUCIA TRUJILLO AREVALO</b> <b>Ing. Hilda Trujillo A.</b>				

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO</b>			
	<b>INFORME No. CTP-ITI-2022-08-02</b>			<b>Página 5 de 5</b>
<b>FIBRAS DE COCO CON TRATAMIENTO</b>				
<b><u>PROPIEDADES DETERMINADAS</u></b>			<b><u>NORMA</u></b>	<b><u>RESULTADOS</u></b>
Contenido de humedad (%)			ASTM D4442-20	11,0 +/- 0,1
<b>Responsable del Centro Textil</b>				
				
<small>Firmado digitalmente por:</small> <b>HILDA LUCIA TRUJILLO AREVALO</b> <b>Ing. Hilda Trujillo A.</b>				

**ANEXO 8. REGISTROS DE TEMPERATURA, VELOCIDAD DE  
VIENTO Y PÉRDIDA DE HUMEDAD**



3.15	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
3.3	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
3.45	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
4	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
4.15	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
4.3	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
4.45	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
5	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
5.15	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
5.3	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
5.45	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
6	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00		60.00
6.15			60.00					60.00

**Promedio de los datos registrados de velocidad del viento.**

Edad del concreto	PROMEDIO VELOCIDAD DE VIENTO [m/s]							MEDIA GENERAL
	horas	1% ST	1% CT	0.75% ST	0.75% CT	0.5% ST	0.5% CT	
0	1.24	1.32	1.09	1.30	1.19	1.25	1.25	1.23
0.15	1.18	1.29	1.23	1.26	1.05	1.20	1.26	1.21
0.3	1.28	1.34	1.23	1.30	1.09	1.27	1.27	1.25
0.45	1.18	1.28	1.26	1.30	1.06	1.26	1.28	1.23
1	1.18	1.25	1.22	1.24	0.98	1.40	1.32	1.23
1.15	1.23	1.25	1.14	1.32	1.16	1.41	1.34	1.27
1.3	1.25	1.30	1.23	1.31	1.19	1.33	1.32	1.28
1.45	1.24	1.40	1.22	1.36	1.23	1.38	1.31	1.30
2	1.28	1.30	1.23	1.32	1.24	1.43	1.33	1.30
2.15	1.28	1.29	1.18	1.29	1.24	1.41	1.32	1.29
2.3	1.40	1.29	1.27	1.29	1.32	1.38	1.31	1.32
2.45	1.29	1.34	1.28	1.25	1.22	1.56	1.27	1.32
3	1.31	1.31	1.26	1.37	1.23	1.57	1.27	1.33
3.15	1.21	1.35	1.21	1.29	1.25	1.35	1.28	1.28
3.3	1.32	1.24	1.23	1.26	1.19	1.36	1.25	1.26
3.45	1.34	1.27	1.25	1.22	1.33	1.44	1.22	1.30
4	1.26	1.28	1.23	1.27	1.26	1.32	1.22	1.26
4.15	1.28	1.28	1.24	1.36	1.26	1.31	1.33	1.30
4.3	1.26	1.29	1.24	1.30	1.25	1.38	1.31	1.29
4.45	1.23	1.28	1.19	1.27	1.25	1.38	1.27	1.27
5	1.20	1.24	1.19	1.32	1.23	1.37	1.32	1.27
5.15	1.22	1.22	1.22	1.26	1.26	1.42	1.29	1.27
5.3	1.35	1.26	1.20	1.27	1.17	1.33	1.29	1.27
5.45	1.30	1.27	1.21	1.28	1.32	1.26	1.35	1.28
6	1.33	1.44	1.31	1.36	1.34	1.27		1.34
6.15			1.20					1.20

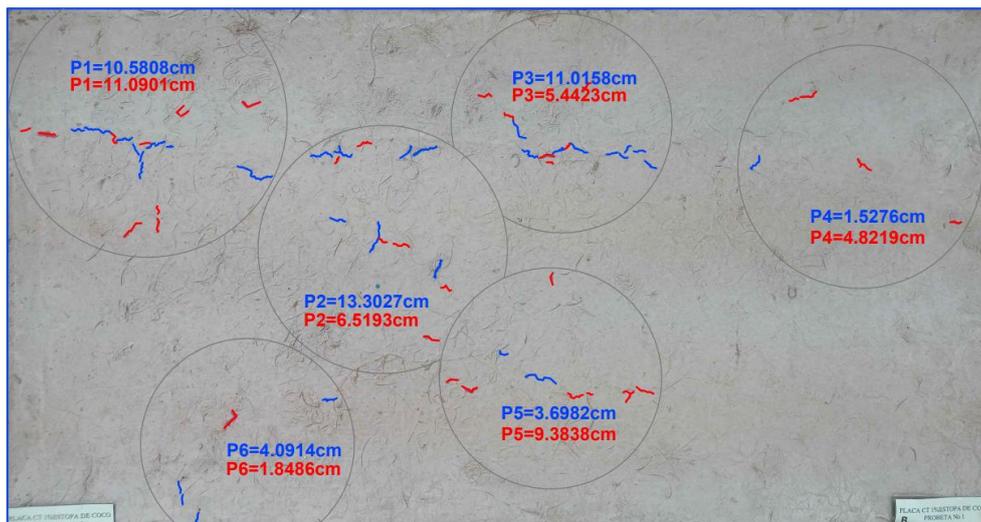
**Promedio de datos de la pérdida de humedad.**

Edad del concreto	PROMEDIO PÉRDIDA DE HUMEDAD [%]							MEDIA GENERAL
	horas	1% ST	1% CT	0.75% ST	0.75% CT	0.5% ST	0.5% CT	
0	9.67	10.25	11.02	9.70	9.86	10.23	9.96	10.10
0.15	9.40	10.04	10.81	9.52	9.76	10.06	9.78	9.91
0.3	9.15	9.76	10.57	9.35	9.58	9.82	9.54	9.68
0.45	8.84	9.45	10.22	9.11	9.37	9.61	9.23	9.41
1	8.53	9.14	9.94	8.80	9.13	9.26	8.92	9.10
1.15	8.12	8.79	9.63	8.45	8.78	8.95	8.57	8.76
1.3	7.78	8.34	9.35	8.14	8.46	8.54	8.15	8.40
1.45	7.30	7.96	9.00	7.76	8.15	8.12	7.81	8.02
2	6.88	7.55	8.59	7.35	7.77	7.71	7.29	7.59
2.15	6.44	7.10	8.14	7.01	7.35	7.33	6.70	7.15
2.3	6.06	6.65	7.75	6.63	6.93	6.88	6.38	6.75
2.45	5.58	6.13	7.27	6.18	6.51	6.46	5.93	6.29
3	5.09	5.82	6.95	5.76	6.09	6.08	5.52	5.90
3.15	4.68	5.44	6.50	5.35	5.63	5.70	4.96	5.47
3.3	4.23	5.02	6.12	5.00	5.21	5.22	4.61	5.06
3.45	3.79	4.64	5.70	4.66	4.79	4.81	4.23	4.66
4	3.37	4.19	5.32	4.31	4.41	4.39	3.85	4.26
4.15	2.96	3.77	4.90	3.90	3.99	3.94	3.47	3.85
4.3	2.55	3.36	4.49	3.56	3.64	3.60	3.12	3.47
4.45	2.20	2.98	4.14	3.24	3.26	3.22	2.74	3.11
5	1.86	2.67	3.79	2.90	2.87	2.84	2.39	2.76
5.15	1.51	2.32	3.48	2.55	2.56	2.59	2.15	2.45
5.3	1.55	1.97	3.17	2.24	2.17	2.25	1.98	2.19
5.45	1.34	1.70	2.85	1.93	1.86	2.01	1.98	1.95
6	1.03	1.34	1.85	2.02	2.04	1.76		1.67
6.15			1.54					1.54

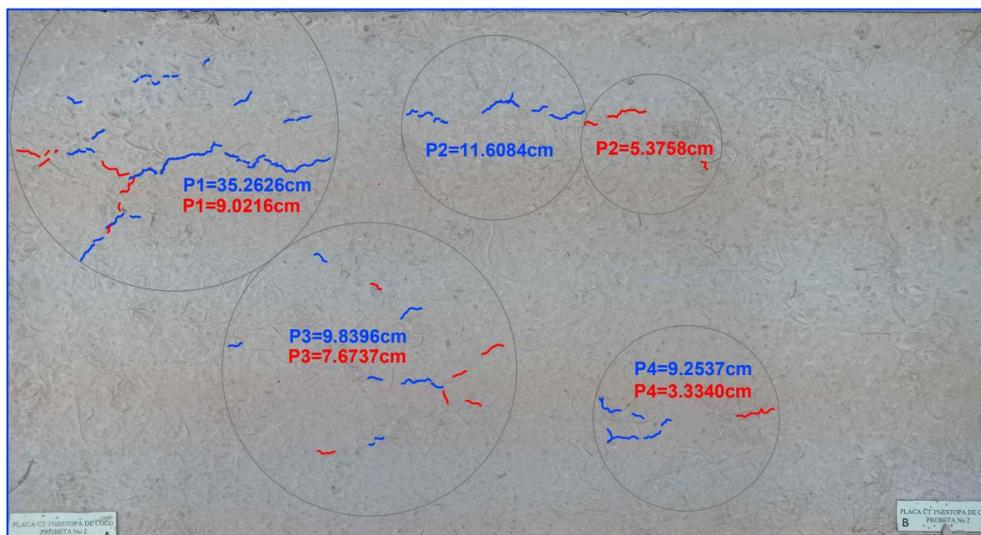
## **ANEXO 9. MEDICIÓN DE FISURAS**

## Identificación y medición de fisuras (longitud y profundidad)

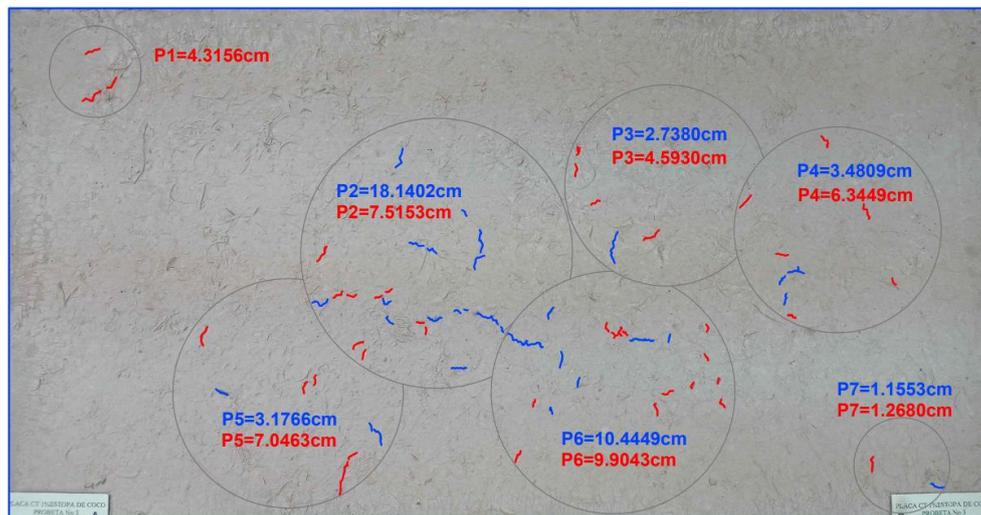
### 1) Placa 1 - 1% con tratamiento



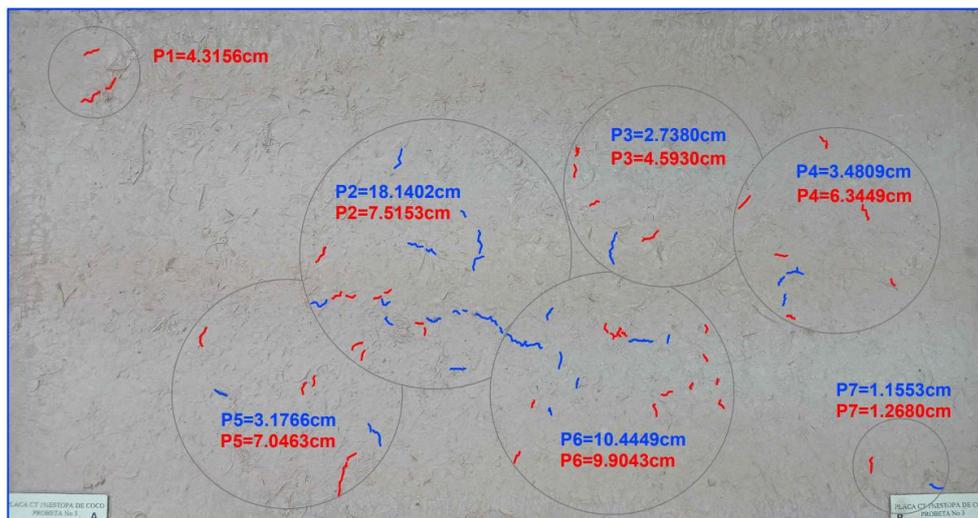
### 2) Placa 2 - 1% con tratamiento



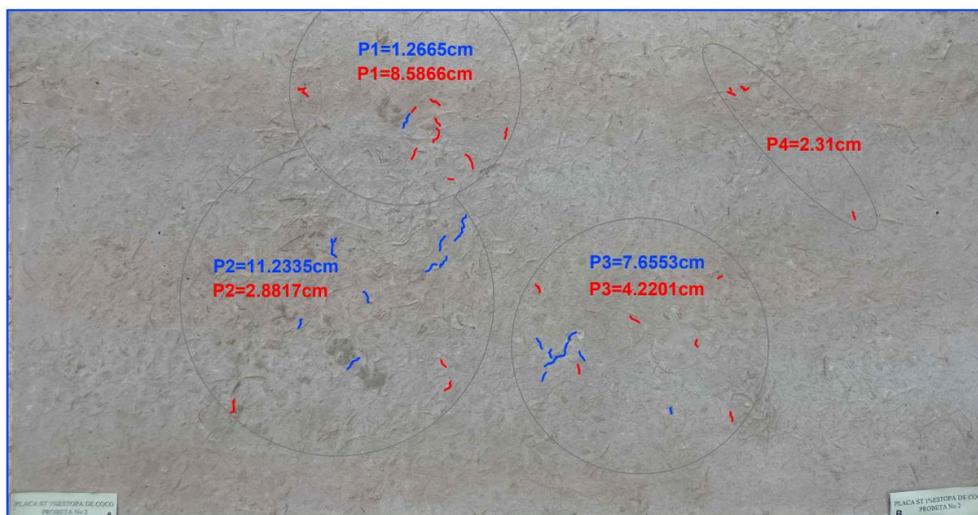
### 3) Placa 3 - 1% con tratamiento



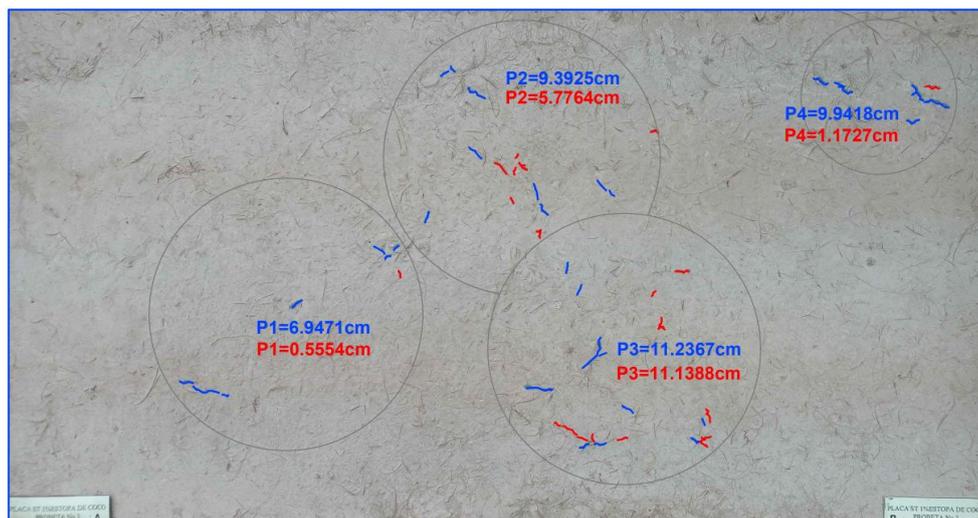
## 4) Placa 1 - 1% sin tratamiento



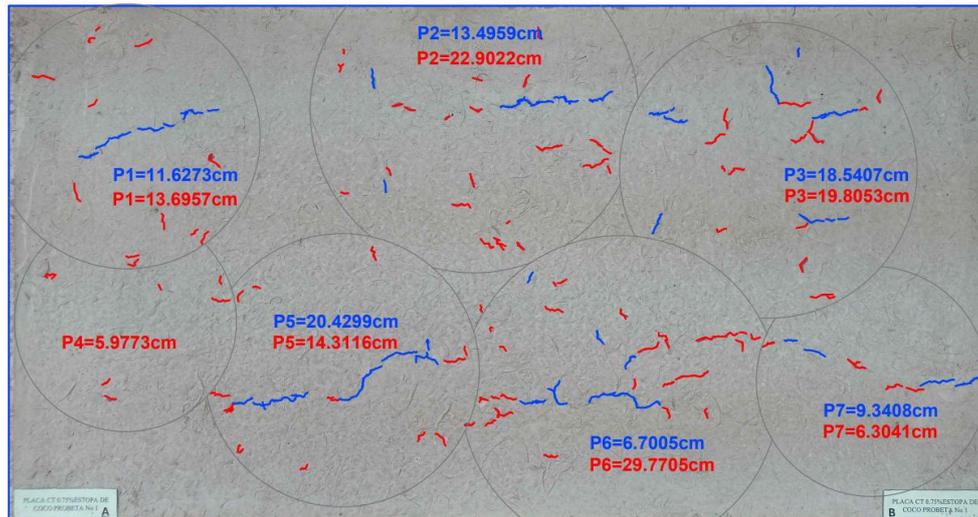
## 5) Placa 2 - 1% sin tratamiento



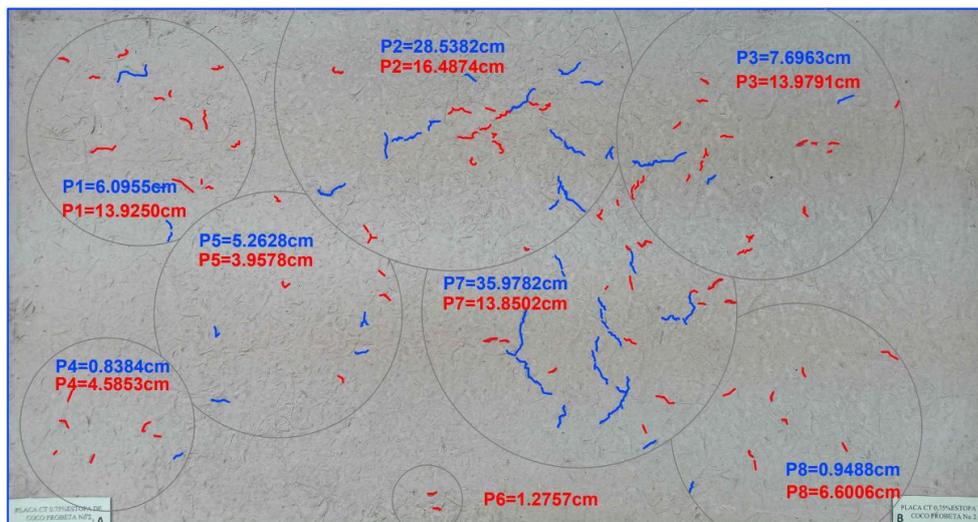
## 6) Placa 3 - 1% sin tratamiento



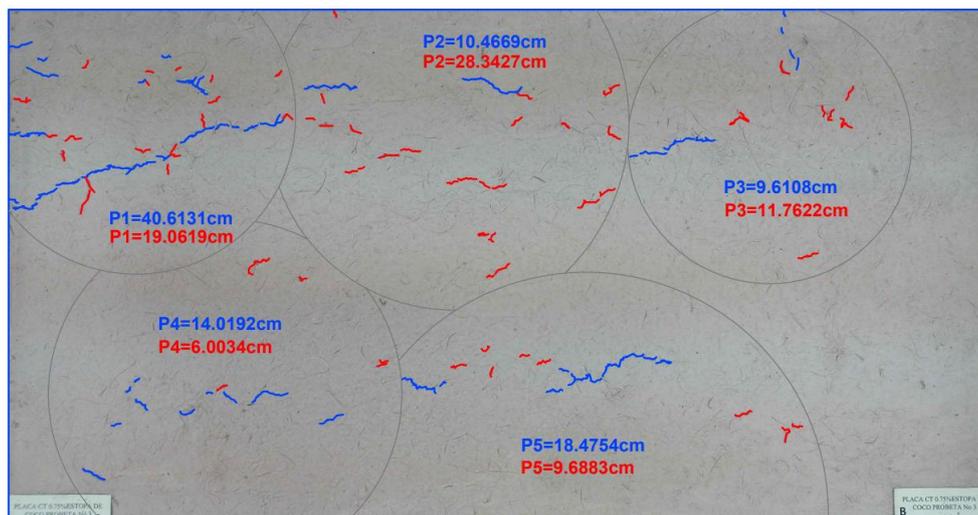
## 7) Placa 1 - 0.75% con tratamiento



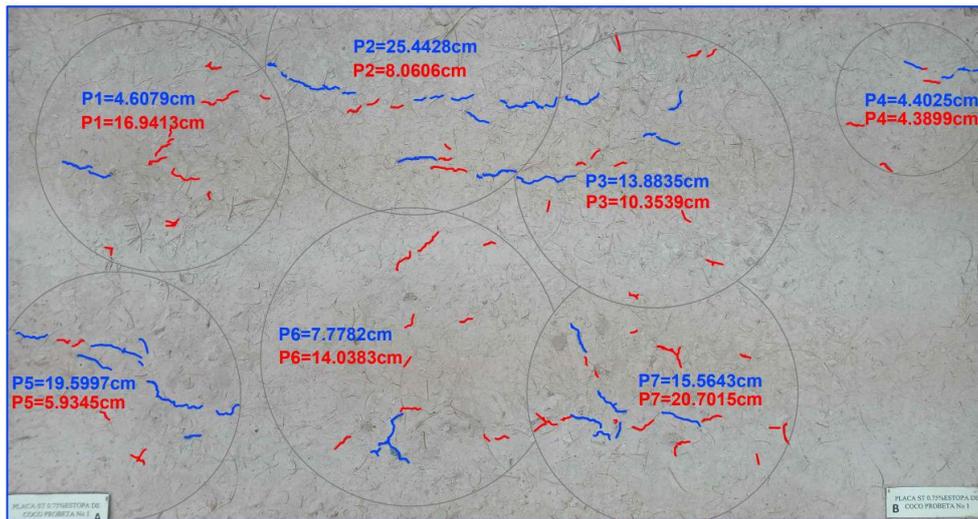
## 8) Placa 2 - 0.75% con tratamiento



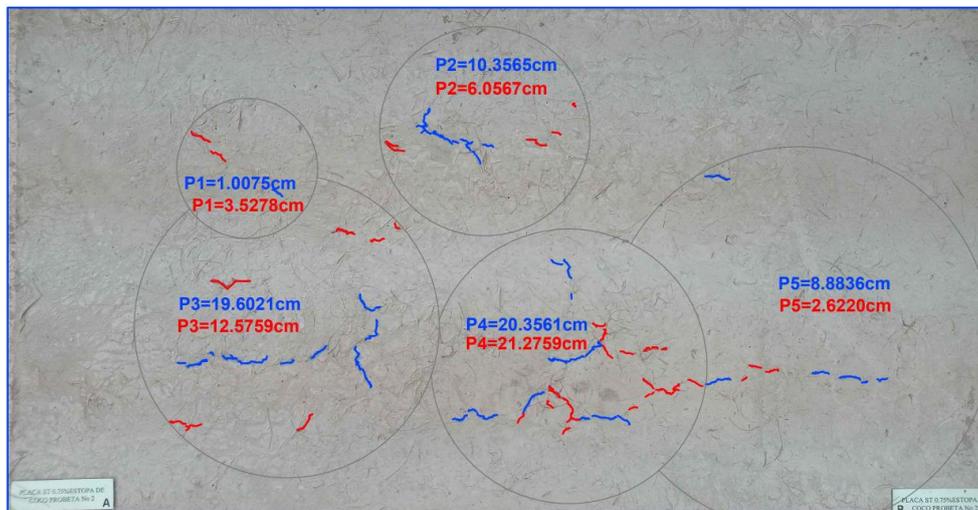
## 9) Placa 3 - 0.75% con tratamiento



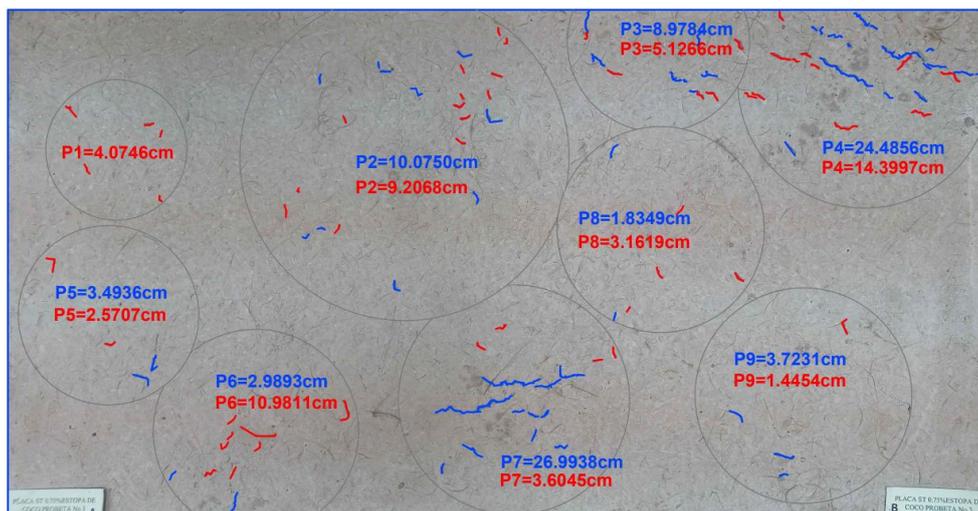
## 10) Placa 1 - 0.75% sin tratamiento



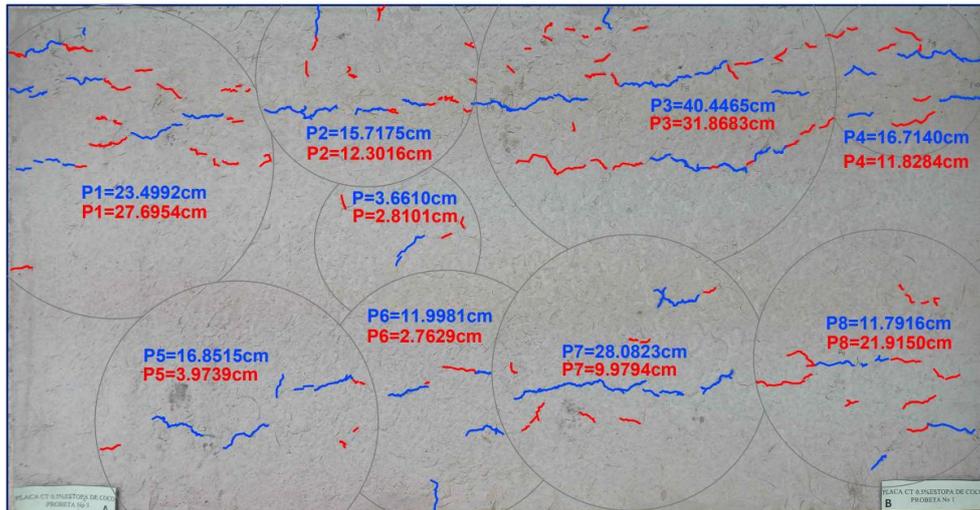
## 11) Placa 2 - 0.75% sin tratamiento



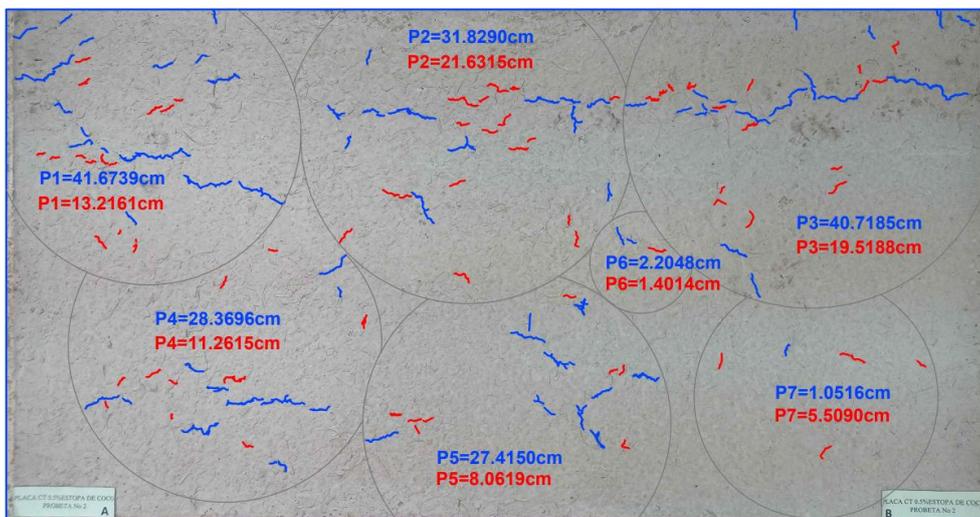
## 12) Placa 3 - 0.75% sin tratamiento



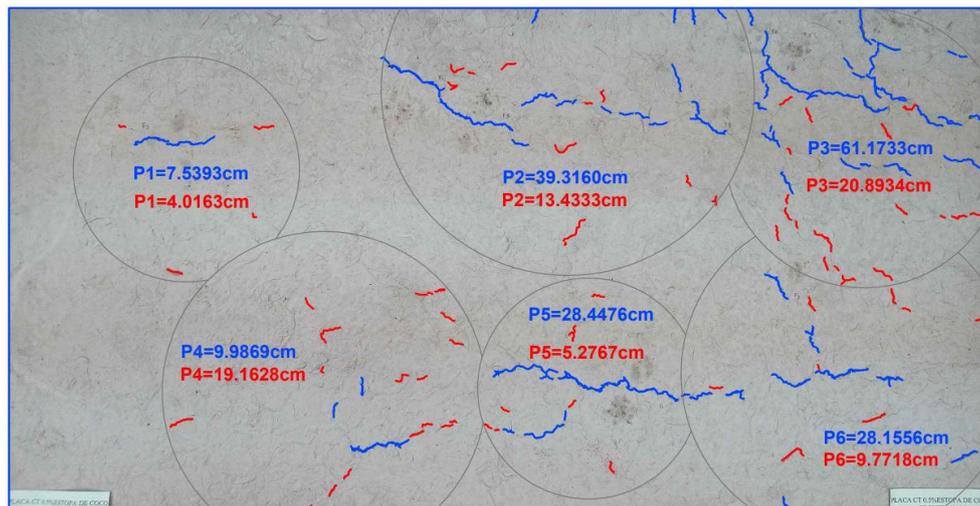
## 13) Placa 1 - 0.5% con tratamiento



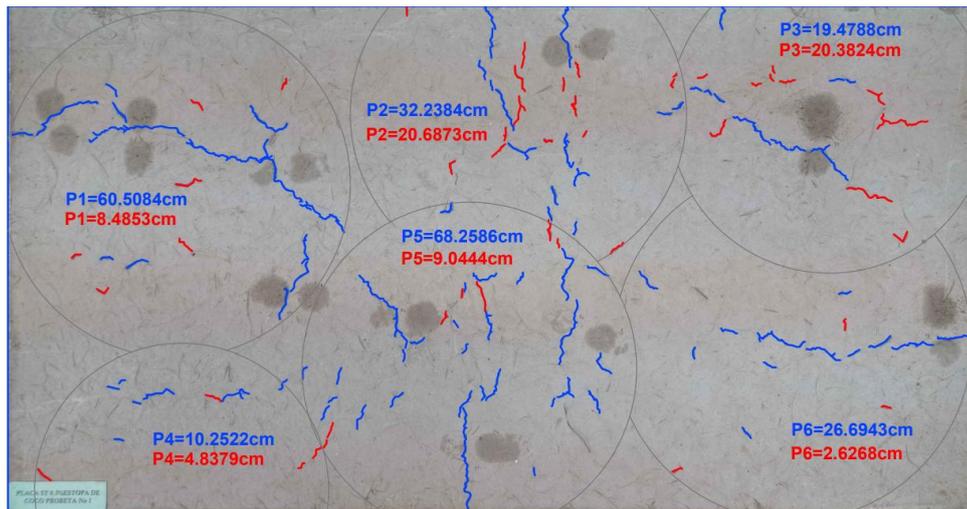
## 14) Placa 2 - 0.5% con tratamiento



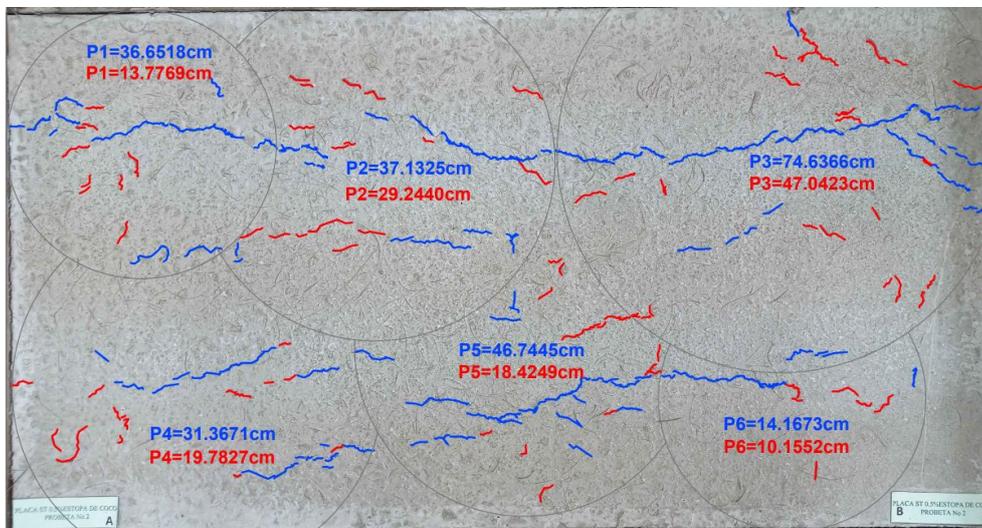
## 15) Placa 3 - 0.5% con tratamiento



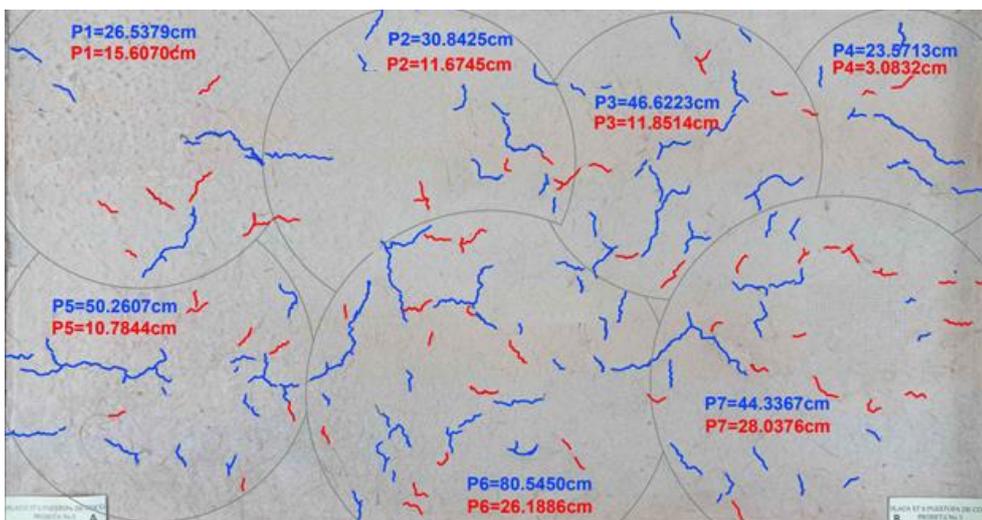
16) Placa 1 - 0.5% sin tratamiento



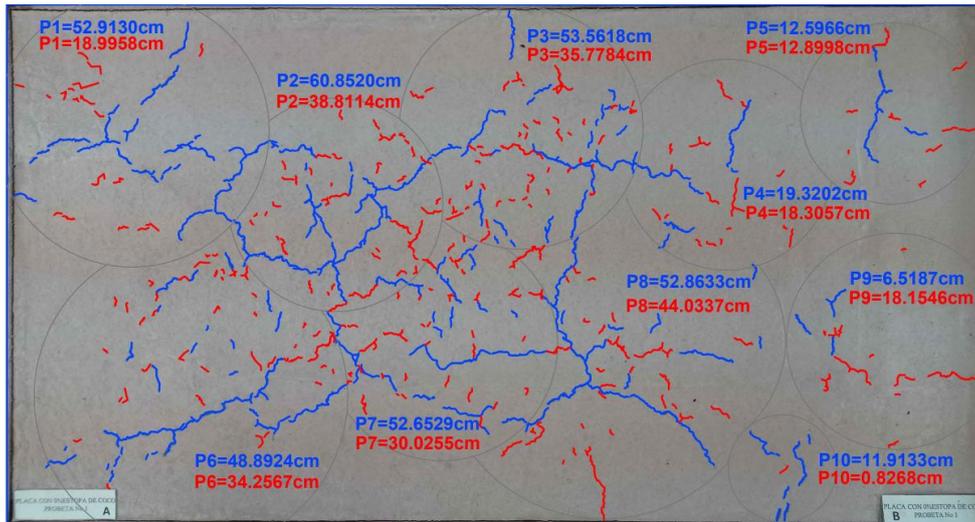
17) Placa 2 - 0.5% sin tratamiento



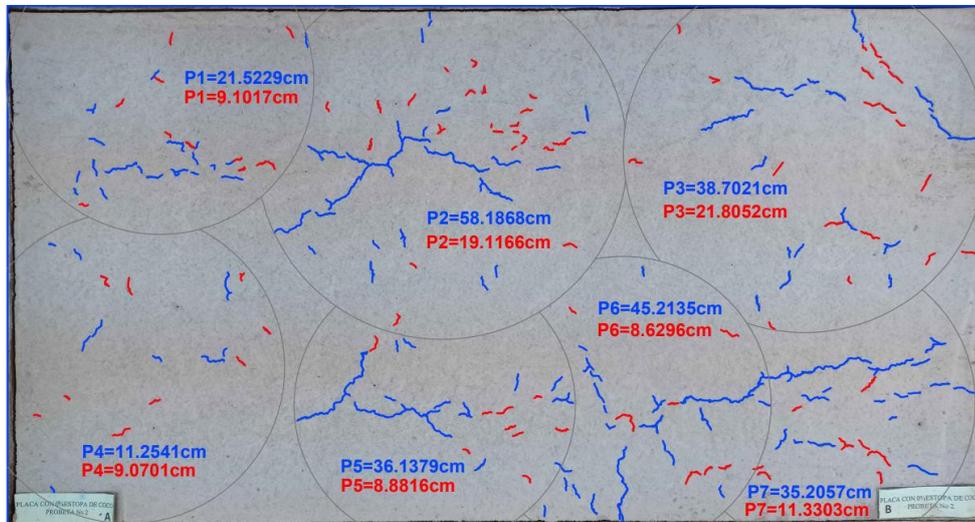
18) Placa 3 - 0.5% sin tratamiento



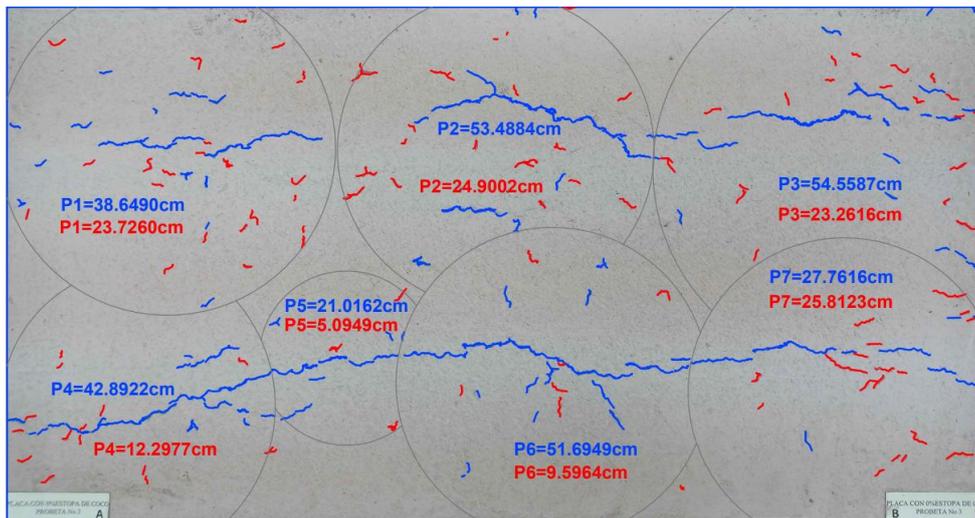
19) Placa 1 – 0%



20) Placa 2 – 0%

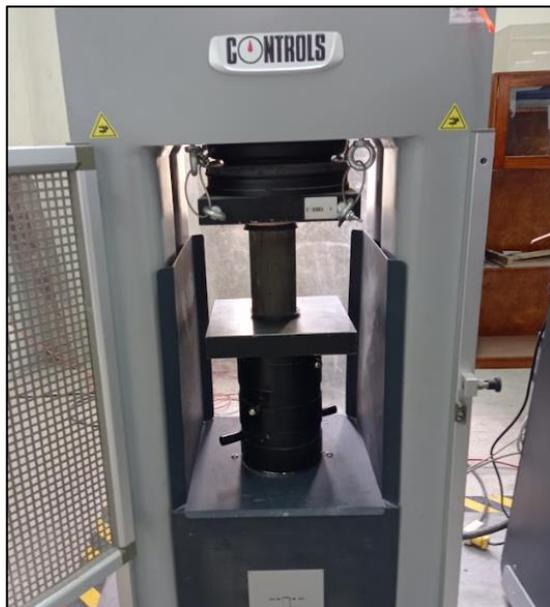


21) Placa 3 – 0%



**ANEXO 10. ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN**

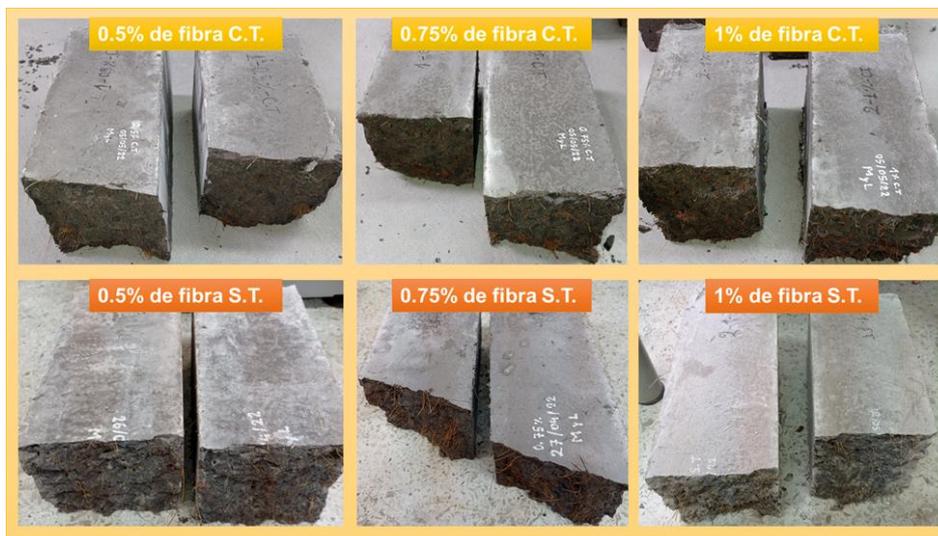
## Ensayo de compresión de cilindros



COMPRESIÓN DE CILINDROS											
Descripción		Fecha [dd-mm-aa]		Perpendicularidad / Planitud					Registro diámetro [D1-D2]<2%		
Ítem	Código	Fabrica	Rotura	PE	PL	PU	RE	NE	D1 [mm]	D2 [mm]	<2%
1	1-0%	25/04/22	24/05/22	/	X		/		101.80	100.27	OK
2	2-0%	25/04/22	24/05/22	/	X		/		101.16	100.98	OK
3	3-0%	25/04/22	24/05/22	/	X		/		101.31	101.26	OK
4	1-0.5% ST	06/02/22	30/06/22	/	X			/	103.37	102.32	OK
5	2-0.5% ST	06/02/22	30/06/22	/	X			/	102.28	101.93	OK
6	3-0.5% ST	06/02/22	30/06/22	/	X			/	103.00	101.15	OK
7	1-0.5% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.32	100.39	OK
8	2-0.5% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.81	100.79	OK
9	3-0.5% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.88	101.78	OK
10	1-0.75% ST	27/04/22	25/05/22	/	X		/		100.26	100.18	OK
11	2-0.75% ST	27/04/22	25/05/22	/	X		/		101.76	101.27	OK
12	3-0.75% ST	27/04/22	25/05/22	/	X		/		101.49	100.99	OK
13	1-0.75% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		102.11	101.42	OK
14	2-0.75% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.96	101.48	OK
15	3-0.75% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.87	101.10	OK
16	1-1% ST	05/12/22	06/09/22	/	X		/		101.83	101.53	OK
17	2-1% ST	05/12/22	06/09/22	/	X		/		101.89	101.41	OK
18	3-1% ST	05/12/22	06/09/22	/	X		/		101.35	101.20	OK
19	1-1% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.60	101.35	OK
20	2-1% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		101.75	101.02	OK
21	3-1% CT	05/05/22	06/02/22	/	X		/		102.03	101.28	OK

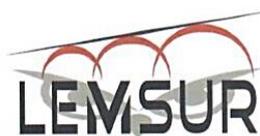
<b>COMPRESIÓN DE CILINDROS</b>									
<b>Código</b>	<b>Registro altura H al 1 mm</b>			<b>Volumen [lt]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Carga [kN]</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Defecto</b>	<b>f'c [kgf/cm2] 28 días</b>
	<b>H1 [mm]</b>	<b>H2 [mm]</b>	<b>H3 [mm]</b>						
<b>1-0%</b>	202.0	202.0	202.0	1.620	3591.4	163.1	1	C	207.44
<b>2-0%</b>	201.0	202.0	203.0	1.621	3552.8	162.4	4	C	206.41
<b>3-0%</b>	201.0	201.0	202.0	1.622	3526.6	159.5	2	C	201.87
<b>1-0.5% ST</b>	200.0	200.0	201.0	1.664	3688.7	184.9	2	C	226.97
<b>2-0.5% ST</b>	200.0	200.0	200.0	1.638	3656.2	179.4	2	C	223.42
<b>3-0.5% ST</b>	198.0	198.0	199.0	1.623	3629.2	172.7	2	C	215.20
<b>1-0.5% CT</b>	200.0	200.0	201.0	1.600	3660.3	184.1	2	A	234.99
<b>2-0.5% CT</b>	200.0	201.0	202.0	1.620	3570.1	169.0	1	A	213.83
<b>3-0.5% CT</b>	201.0	201.0	201.0	1.637	3626.4	172.0	2	A	215.36
<b>1-0.75% ST</b>	201.0	202.0	202.0	1.591	3631.0	160.0	2	C	206.82
<b>2-0.75% ST</b>	200.0	201.0	201.0	1.624	3546.6	156.4	2	C	197.05
<b>3-0.75% ST</b>	200.0	200.0	201.0	1.613	3556.4	157.6	1	C	199.64
<b>1-0.75% CT</b>	201.0	202.0	202.0	1.640	3598.9	164.7	1	A	206.48
<b>2-0.75% CT</b>	201.0	201.0	201.5	1.635	3585.6	166.4	1	A	208.80
<b>3-0.75% CT</b>	202.5	202.5	203.0	1.639	3744.3	170.4	1	A	214.81
<b>1-1% ST</b>	201.0	201.0	201.0	1.632	3662.1	146.4	2	A	183.85
<b>2-1% ST</b>	200.5	201.0	201.0	1.630	3666.7	141.8	2	A	178.18
<b>3-1% ST</b>	200.5	200.5	201.0	1.616	3587.9	151.7	2	A	192.03
<b>1-1% CT</b>	200.0	200.0	201.0	1.620	3682.4	148.0	2	A	186.61
<b>2-1% CT</b>	201.0	201.0	201.5	1.624	3622.8	147.8	2	A	186.69
<b>3-1% CT</b>	201.0	201.0	201.5	1.633	3665.3	145.8	1	A	183.19

## Ensayo de flexión en vigas





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0396 - I

Quito, 14 de julio de 2022

Hoja 02 de 02

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MARY ELIZABETH AMAGUAÑA PILICITA; LEIDY JOHANA GUAMÁN MUGMAL

**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA

**Teléfono:** 0961338117; 0997398219

#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**ELEMENTO:** VIGA HORMIGÓN SIMPLE

**NORMA:** NTE INEN 2554:2011

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN	FECHA	EDAD	ALTO	ANCHO	LUZ LIBRE	CARGA	MÓDULO DE ROTURA
	FÁBRICA		ROTURA	(días)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(MPa)
1	2022-04-27	1-0.75% ST	2022-05-25	28	103	108	300	15779	4.15
2	2022-04-27	2-0.75% ST	2022-05-25	28	104	106	300	16718	4.35
3	2022-04-27	3-0.75% ST	2022-05-25	28	102	102	300	15291	4.30
4	2022-05-05	1-0.75% CT	2022-06-02	28	101	101	300	16049	4.65
5	2022-05-05	2-0.75% CT	2022-06-02	28	101	100	300	14874	4.35
6	2022-05-05	3-0.75% CT	2022-06-02	28	102	101	300	15322	4.35
7	2022-05-12	1-1% ST	2022-06-09	28	102	104	300	12797	3.55
8	2022-05-12	2-1% ST	2022-06-09	28	103	102	300	13166	3.65
9	2022-05-12	3-1% ST	2022-06-09	28	103	102	300	12204	3.40
10	2022-05-05	1-1% CT	2022-08-02	28	103	102	300	15056	4.15
11	2022-05-05	2-1% CT	2022-06-02	28	103	99	300	14815	4.25
12	2022-05-05	3-1% CT	2022-06-02	28	104	102	300	15738	4.30

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

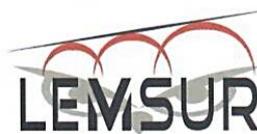
  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0396 - I

Quito, 14 de julio de 2022

Hoja 01 de 02

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MARY ELIZABETH AMAGUAÑA PILICITA; LEIDY JOHANA GUAMÁN MUGMAL

**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA

**Teléfono:** 0961338117; 0997398219

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**ELEMENTO:** VIGA HORMIGÓN SIMPLE

**NORMA:** NTE INEN 2554:2011

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN	FECHA	EDAD	ALTO	ANCHO	LUZ LIBRE	CARGA	MÓDULO DE ROTURA
	FÁBRICA		ROTURA	(días)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(MPa)
1	2022-04-25	1-0%	2022-05-24	29	104	104	300	14513	3.85
2	2022-04-25	2-0%	2022-05-24	29	101	104	300	16000	4.50
3	2022-04-25	3-0%	2022-05-24	29	103	105	300	17302	4.65
4	2022-06-02	1-0.5% ST	30/6/2022	28	101	101	300	13275	3.85
5	2022-06-02	2-0.5% ST	30/6/2022	28	101	101	300	14073	4.10
6	2022-06-02	3-0.5% ST	30/6/2022	28	106	104	300	14420	3.70
7	2022-05-05	1-0.5% CT	2022-06-02	28	104	101	300	19431	5.35
8	2022-05-05	2-0.5% CT	2022-06-02	28	102	101	300	16675	4.75
9	2022-05-05	3-0.5% CT	2022-06-02	28	98	102	300	16572	5.10

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609