

# **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  
PALMA AFRICANA 0.5% BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO/A CIVIL**

**ISABEL ALEXANDER CHANGO PILLO**

**isabel.chango@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ**

**nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2023**

## CERTIFICACIONES

Yo, Isael Alexander Chango Pillo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



**ISAEAL ALEXANDER CHANGO PILLO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Isael Alexander Chango Pillo, bajo mi supervisión.



**ING.NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA  
GÓMEZ**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ISABEL ALEXANDER CHANGO PILLO

ING.NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ

# DEDICATORIA

A mis padres, quienes siempre han creído en mí.

Gracias por su amor, por su sacrificio y por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida.

Este logro es también suyo.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, les agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos

A la Universidad Escuela Politécnica Nacional por ser la sede de todo el conocimiento adquirido a lo largo de mi carrera.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 MARCO TEÓRICO .....	2
1.4.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN .....	2
1.4.2. RAQUIS DE PALMA AFRICANA .....	3
1.4.3. COMPOSICIÓN DEL RAQUIS DE PALMA .....	4
1.4.4. TRATAMIENTO QUIMICO.....	5
1.4.5. HORMIGÓN SIMPLE.....	6
1.4.5.1. AGREGADOS .....	7
1.4.5.1.1. GRUESOS .....	7
1.4.5.1.2. FINO.....	7
1.4.5.2. CEMENTO .....	8
1.4.5.3. AGUA .....	9
1.4.6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	10
1.4.6.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA [ $f'_{cr}$ ] .....	10
1.4.6.2. SELECCIÓN DE ASENTAMIENTO.....	10
1.4.6.3. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO .....	11
1.4.6.4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE .....	12
1.4.6.5. RELACIÓN AGUA-CEMENTO [A/C] .....	12
1.4.6.5. FACTOR Y VOLUMEN DEL CEMENTO .....	13
1.4.6.6. PORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO .....	13
1.4.6.7. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS DE AGREGADOS.....	14

1.4.6.8. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO .....	14
1.4.7. HORMIGÓN CON FIBRA .....	15
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. EQUIPO.....	17
2.1.1. CÁMARA DE AIRE.....	17
2.1.2. EQUIPO DE LA CAMARA DE AIRE .....	18
2.1.2.1. ANEMÓMETRO .....	18
2.1.2.2. CALEFACTOR .....	19
2.1.2.3. VENTILADOR .....	19
2.2. MATERIALES HORMIGÓN SIMPLE.....	20
2.2.1. CEMENTO .....	20
2.2.1.1. DENSIDAD REAL .....	20
2.2.2. ENSAYO DE AGREGADOS .....	22
2.2.2.1. AGREGADO GRUESO.....	22
2.2.2.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	22
2.2.2.1.2. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN .....	23
2.2.2.1.3. DENSIDAD APARENTE .....	25
2.2.2.1.4. ABRASIÓN .....	26
2.2.2.2. AGREGADO FINO .....	28
2.2.2.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	28
2.2.2.2.2. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN .....	29
2.2.2.2.3. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN .....	31
2.2.2.2.4. DENSIDAD APARENTE.....	33
2.2.2.2.5. CONTENIDO ORGÁNICO .....	33
2.3. FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA.....	34
2.3.2. OBTENCIÓN DE LAS FIBRAS .....	35
2.3.2. TRATAMIENTO QUÍMICO.....	36
2.3.3. LONGITUD DE LA FIBRA .....	39
2.4. ENSAYOS A LA FIBRA .....	39
2.4.1. ENSAYO DE TRACCIÓN DE FIBRA .....	39
2.4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD .....	40
2.5. HORMIGÓN CON FIBRA DE PALMA AFRICANA .....	41
2.6. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA MEZCLA .....	41
2.6.1. DOSIFICACIÓN INICIAL .....	41
2.6.2. DOSIFICACIÓN FINAL .....	42
2.6.3. CANTIDAD DE FIBRA .....	42

2.7.	HORMIGONADO EN PLACAS.....	43
2.7.1.	ENSAYOS DE PLACAS DE HORMIGÓN .....	44
2.7.1.1.	VELOCIDAD DEL VIENTO Y TEMPERATURA .....	44
2.8.	MEDICIÓN DE FISURAS .....	45
2.8.1.	LONGITUD DE FISURAS .....	45
2.8.2.	PROFUNDIDAD DE FISURAS .....	45
3.	PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
3.1.	PRUEBAS.....	47
3.2.	RESULTADOS .....	47
3.2.1.	TRATAMIENTO QUÍMICO.....	47
3.2.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE PALMA AFRICANA.....	48
3.2.3.	DOSIFICACIÓN .....	48
3.2.3.1.	DOSIFICACIÓN EN PLACAS .....	48
3.2.3.2.	DOSIFICACIÓN EN CILINDROS .....	49
3.2.3.3.	DOSIFICACIÓN EN VIGAS.....	50
3.2.4.	MEDICIÓN DE FISURAS .....	50
3.2.4.1.	LONGITUD DE FISURAS .....	50
3.2.4.2.	PROFUNDIDAD DE FISURAS .....	52
3.2.5.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	53
3.2.5.2.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	53
3.2.5.3.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	55
3.2.5.3.1.	Carga máxima .....	56
3.2.5.3.2.	Módulo de rotura .....	57
<b>3.3</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>3.4.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
5.	ANEXOS .....	63



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Raquis de palma africana en la extractora La Joya (fuente del autor) .....	4
Figura 2.	Resistencia a la tracción de la fibra de palma africana sometido a tratamiento químico con NaOH a diferentes porcentajes de concentración .....	6
Figura 3.	Cámara de aire .....	17
Figura 4.	Modelo de la cámara de aire.....	18
Figura 5.	Anemómetro .....	19
Figura 6.	Calefactor.....	19
Figura 7.	Ventilador.....	20
Figura 8.	Cemento Holcim Fuerte Tipo GU .....	20
Figura 9.	Ensayo densidad real del cemento .....	21
Figura 10.	Densidad S.S.S. del agregado grueso.....	24
Figura 11.	Máquina de los Ángeles.....	28
Figura 12.	Peso específico del agregado fino .....	30
Figura 13.	Densidad relativa .....	32
Figura 14.	Ensayo de colorimetría .....	34
Figura 15.	Planta Río Manso .....	34
Figura 16.	Raquis de palma africana en la extractora.....	35
Figura 17.	Fibra cortada .....	39
Figura 18.	Medida de largo y masa de las fibras de palma africana .....	40
Figura 19.	Contenido de humedad para fibra de palma africana.....	40
Figura 20.	Mezcla de hormigón con fibra de palma africana tratada .....	44
Figura 21.	Anemómetro para medir velocidad y temperatura del viento .....	44
Figura 22.	Placa de hormigón con fibra.....	45
Figura 23.	Equipo ultrasonido .....	45
Figura 24.	Tipo de medición de grietas por ultrasonido .....	46
Figura 25.	Representación de la ecuación 21 .....	47
Figura 26.	Proceso de medición de fisuras.....	47
Figura 27.	Análisis de placas con fibra al 0%.....	51
Figura 28.	Longitud de fisuras en placas con fibra de palma africana tratada.....	52
Figura 29.	Promedio de longitudes para placas con fibra de palma africana tratada vs placas sin fibra.....	52
Figura 30.	Preparando cilindro para ser ensayado .....	53
Figura 31.	Resistencia de cilindros sin fibra (S.F.) vs cilindros con fibra de palma africana tratada (C.F.T.) .....	54
Figura 32.	Resistencia media de cilindros sin fibra (S.F.) vs cilindros con fibra de palma africana tratada (C.F.T.) .....	55

Figura 33. Ensayo de resistencia a la flexión en vigas.....	55
Figura 34. Carga máxima de vigas sin fibra (S.F.) vs vigas con fibra de palma africana tratada (V.F.T.) .....	56
Figura 35. Módulo de rotura de vigas sin fibra (S.F.) vs vigas con fibra de palma africana tratada (V.F.T.) .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Historia del hormigón .....	3
Tabla 2.	Composición del Raquis de Palma .....	5
Tabla 3.	Composición química del Raquis de Palma.....	5
Tabla 4.	Normativas de agregados gruesos.....	7
Tabla 5.	Normativas de agregado fino .....	8
Tabla 6.	Tipos de cemento Portland.....	8
Tabla 7.	Clasificación de acuerdo con sus propiedades específicas .....	9
Tabla 8.	Ensayos del cemento .....	9
Tabla 9.	Tabla resumen de ensayo .....	10
Tabla 10.	Resistencia promedio requerida a compresión ( $f'_{cr}$ ).....	10
Tabla 11.	Asentamientos sugeridos para varios tipos de construcción.....	11
Tabla 12.	Tamaño máximo del agregado grueso en función del tipo de construcción .....	11
Tabla 13.	Cantidad aproximada de agua y contenido de aire .....	12
Tabla 14.	Relación agua/cemento vs $f'_{c}$ a los 28 días.....	13
Tabla 15.	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón .....	14
Tabla 16.	Factores que afectan las propiedades de las fibras naturales como refuerzo .....	16
Tabla 17.	Cantidad necesaria de muestra de agregado grueso.....	23
Tabla 18.	Gradación de las muestras de ensayo para abrasión.....	27
Tabla 19.	Especificación para la carga .....	27
Tabla 20.	Tamices para la granulometría del fino .....	29
Tabla 21.	Tabla para comparar los colores.....	33
Tabla 22.	Desfibrado de raquis de palma africana .....	35
Tabla 23.	Tratamiento químico .....	37
Tabla 24.	Cantidad de probetas contempladas en el proyecto .....	41
Tabla 25.	Dosificación inicial para $f'_{c}=210$ [kgf/cm <sup>2</sup> ].....	42
Tabla 26.	Dosificación final para $f'_{c}=210$ [kgf/cm <sup>2</sup> ].....	42
Tabla 27.	Velocidades del ventilador .....	44
Tabla 28.	Propiedades de las fibras de palma africana .....	48
Tabla 29.	Dosificación de placas sin fibras de palma africana .....	48
Tabla 30.	Dosificación de placas con fibras de palma africana tratada químicamente .....	49
Tabla 31.	Dosificación de cilindros sin fibras de palma africana .....	49
Tabla 32.	Dosificación de cilindros con fibras de palma africana tratada químicamente.....	49
Tabla 33.	Dosificación de vigas sin fibras de palma africana .....	50
Tabla 34.	Dosificación de vigas con fibras de palma africana tratada químicamente .....	50

Tabla 35.	Longitud de fisuras en placas.....	50
Tabla 36.	Profundidad de fisuras .....	53
Tabla 37.	Resistencia de cilindros [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ].....	54
Tabla 38.	Carga máxima en vigas [kN].....	56
Tabla 39.	Módulo de rotura [MPa].....	57

# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Factor cemento .....	13
Ecuación 2.	Volumen cemento .....	13
Ecuación 3.	Volumen real del ripio .....	14
Ecuación 4.	Volumen absoluto de la arena .....	14
Ecuación 5.	Contenido de humedad del agregado .....	15
Ecuación 6.	Corrección por humedad para el agregado .....	15
Ecuación 7.	Densidad real del cemento .....	22
Ecuación 8.	Módulo de finura del agregado grueso .....	23
Ecuación 9.	Densidad relativa del agregado grueso.....	25
Ecuación 10.	Densidad relativa S.S.S.....	25
Ecuación 11.	Densidad relativa aparente del agregado grueso .....	25
Ecuación 12.	Abrasión del agregado grueso .....	25
Ecuación 13.	Densidad del agregado grueso (suelta o compactada) .....	26
Ecuación 14.	Abrasión del agregado grueso .....	28
Ecuación 15.	Coefficiente de uniformidad del agregado grueso.....	28
Ecuación 16.	Densidad Relativa S.S.S. de agregado fino .....	30
Ecuación 17.	Abrasión de agregado fino.....	30
Ecuación 18.	Densidad relativa (gravedad específica) (SH).....	32
Ecuación 19.	Densidad relativa (gravedad específica) (S.S.S).....	32
Ecuación 20.	Densidad relativa aparente (S.S.S.) .....	32
Ecuación 21.	Absorción del agregado grueso .....	32
Ecuación 22.	Fórmula para conseguir Hidróxido de sodio al 4%.....	36
Ecuación 23.	Absorción de agua de fibra .....	40
Ecuación 24.	Porcentaje de fibra .....	43
Ecuación 25.	Profundidad de fisura .....	46
Ecuación 26.	Cantidad de Hidróxido de sodio en la solución.....	47

## RESUMEN

En este trabajo de integración curricular se busca disminuir las grietas en placas de hormigón reforzadas con fibra de palma africana tratada con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 4%. Este fenómeno es llamado contracción plástica, el mismo es producido por el secado de las placas de hormigón aceleradamente. Para todas las placas se tuvo condiciones controladas impuestas. Se confeccionaron placas con de fibra de palma africana (0.5% y 0.75%) remplazando al agregado grueso con porcentaje en masa.

Este trabajo en lo que respecta a las fibras fue guiado en el ACI 544 1R (2002) donde se puede encontrar varias recomendaciones para el hormigón reforzado con fibra tanto natural como sintética.

Se realizó el tratamiento químico con NaOH al 4%. La fibra se dejó por 24 horas con el químico para que la misma complete su tratamiento químico completo. Se realizaron placas, cilindros y vigas al 0.5%.

Las placas se ensayaron alrededor de 7 horas bajo condiciones controladas en el túnel de viento, los cilindros y placas fueron ensayados a los 28 días respectivamente. En los cilindros se tuvo resistencias superiores a  $210 \text{ kgf/cm}^2$ .

Posterior a esto se midieron las profundidades de las grietas que se produjeron en las placas de hormigón reforzadas con palma africana. Estas tenían un rango de 1.5 a 2 [cm], también se pudo ver grietas que atravesaban la placa.

Finalmente se pudo concluir que la fibra ayudaba a disminuir el agrietamiento, todo el procedimiento se detalla en el siguiente documento.

## **ABSTRACT**

This curricular integration work seeks to reduce cracks in concrete slabs reinforced with African palm fiber treated with 4% Sodium Hydroxide (NaOH). This phenomenon is called plastic shrinkage, it is produced by the accelerated drying of the concrete slabs. Controlled conditions were imposed for all plates. Plates were made with African palm fiber (0.5% and 0.75%), replacing the coarse aggregate with percentage by mass.

This work in regard to fibers was guided in ACI 544 1R (2002) where several recommendations for both natural and synthetic fiber reinforced concrete can be found.

Chemical treatment with 4% NaOH was performed. The fiber was left for 24 hours with the chemical so that it completes its complete chemical treatment. Plates, cylinders and beams were made at 0.5%.

The plates were tested for around 7 hours under controlled conditions in the wind tunnel, the cylinders and plates were tested at 28 days respectively. The cylinders had resistances greater than  $210 \text{ kgf/cm}^2$ .

After this, the deep cracks that occurred in the concrete plates reinforced with African palm were measured. These had a range of 1.5 to 2 [cm], it was also possible to see cracks that crossed the plate.

Finally, it was possible to conclude that the fiber helped to reduce cracking, the entire procedure is detailed in the following document.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Se busca una disminución de las grietas en las placas de hormigón reforzadas con fibra de raquis de palma africana, para esto se hizo un tratamiento de las fibras con Hidróxido de sodio (NaOH) al 4% de concentración se debe llegar a una resistencia de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , para lograr esto se tuvieron que realizar modificaciones en la dosificación.

Se realizaron varias pruebas para encontrar la dosificación con la que tiene una placa agrietada, esta placa no tiene ningún tipo de refuerzo. Con esta placa base de hormigón simple se realizarán comparaciones con las placas con refuerzo, de fibras naturales en la mezcla y así llegar a las conclusiones que posteriormente se indicarán.

Las placas tienen una medida de 60 x 40 [cm] las cuales fueron introducidas al túnel de viento, en esta máquina se exponen a condiciones desfavorables para el hormigón, con esto se genera el agrietamiento por retracción plástica del hormigón. Para esto tiene un sistema controlado tanto de temperatura, como de viento.

Al pasar 24 horas se procedió a marcarlas grietas en las placas, con resaltador y fotografiadas para conocer la longitud de las grietas. Seguido de esto, se procedió a conocer la profundidad de las grietas. Se pudo ver en varias placas que las grietas traspasaban el espesor de 2.5 [cm], esto se evidenciaba más en las placas sin refuerzo, en comparación con las placas con refuerzo.

Una vez la placa ya fue fotografiada se pasó al programa AutoCAD donde fueron escaladas y membretadas para que, las grietas fueron medidas sus longitudes en cada placa de hormigón reforzada con fibra y las que no fueron reforzadas.

Adicional a las placas se realizaron cilindros y vigas, estos fueron curadas y ensayados a los 28 días. Al inicio se realizaron cilindros de prueba donde se llegó a la resistencia del orden de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  de los cilindros, esto con el objetivo de tener una dosificación modelo para el trabajo.

Del trabajo realizado se presenta las conclusiones en el literal 3.3 de este documento, al igual los resultados se muestran en el literal 3.2.

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el fisuramiento por contracción plástica generada mediante una corriente de aire inducido que produce un secado acelerado en placas de hormigón reforzadas con fibra de palma africana tratada con Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%.



## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar y analizar los resultados obtenidos entre placas sin fibra de palma africana y placas con fibra tratada de Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%.

Comparar los resultados de tracción y absorción de agua en fibras tratadas con NaOH al 4% y fibras en su estado natural.

Determinar el tamaño en que fue afectada en la resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de palma africana a los 28 días.

## 1.3 ALCANCE

El proyecto corresponde en la fabricación de placas de hormigón reforzado con fibra de palma africana con una resistencia de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ . Se procederá a colocar el 0.5% de fibra de palma africana en base a la masa del agregado grueso con tratamiento químico del Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%.

Al introducir las placas en el túnel de viento, con velocidades de viento y temperaturas controladas, se revisará el avance de grietas en el hormigón en tiempo de 6 a 8 horas por espécimen.

Se realizaron 3 muestras de placas sin fibra natural, posteriormente se realizaron 3 placas con fibra natural con tratamiento químico en la fibra de palma africana.

Se realizaron 3 cilindros sin fibra natural, 3 cilindros con fibra natural tratada con Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%, 3 vigas sin fibra natural, 3 vigas con fibra natural tratada con Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%. Todos estos especímenes serán ensayados a los 28 días de curado.

Se llevarán registros de todo el proceso y los resultados obtenidos, con los cuales se realizarán comparaciones entre los mismos.

De acuerdo con la norma ASTM-C39 y la NTE INEN 1855-2 nos indica que como mínimo para ensayos a compresión deben ser tres especímenes nos acogemos a estas normativas.

## 1.4 MARCO TEÓRICO

### 1.4.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN

El historiador y geógrafo Estrabón (alrededor del 64/63 A.C. - aprox. 19/24 D.C), mucho antes de la llegada de los romanos a la Península Ibérica, las primeras civilizaciones conocían el uso de materiales adhesivos. La yesería era, por tanto, una práctica común, como lo demuestra la cantidad de restos encontrados. (Romea, 2014)

Las calizas tienen una propiedad única, durante la cocción prolongada a altas temperaturas, se secan por completo, formando un nuevo material, y después de convertirse en polvo, otorgan nuevas propiedades. Esta sustancia purulenta de color blanco, comúnmente conocida como yeso, se obtiene a partir del sulfato de calcio  $CaSO_4$ . Tras una preparación con agua, se obtiene sulfato de calcio semihidratado  $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ . Este agregado tiene la capacidad de endurecerse con el tiempo y actuar como aglomerante para agregados, grava y arena, y debido a que es amorfo, se le puede dar la forma deseada, lo que permite su uso generalizado en la construcción. (Romea, 2014)

Tabla 1. Historia del hormigón

<b>1830:</b>	La cal y el cemento hidráulico se producen por primera vez en Canadá.
<b>1849:</b>	El hormigón armado fue inventado por Joseph Monier.
<b>1854:</b>	El primer hogar construido usando concreto reforzado fue construido en Inglaterra por William Wilkinson.
<b>1889:</b>	El primer puente construido con concreto reforzado.
<b>1891:</b>	George Bartholomew utilizó concreto para una vía que actualmente existe.
<b>1902:</b>	August Perret diseñó y construyó un edificio de apartamentos usando acero y hormigón armado.
<b>1904:</b>	El primer rascacielos.
<b>1930:</b>	Se desarrollaron agentes de arrastre de aire que aumentaron en gran medida la resistencia del hormigón, la congelación y aumentando su trabajabilidad.
<b>1936:</b>	Las primeras grandes presas construidas la de Hoover y Grand Coulee.
<b>1967:</b>	El salón de actos fue a primera estructura deportiva con cúpula de hormigón.
<b>1970:</b>	Concreto reforzado con fibras fue introducido.

Fuente: (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.2. RAQUIS DE PALMA AFRICANA

El cultivo de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en nuestro país se lo hace en grandes cantidades. En Santo Domingo existen cerca de 10 extractoras, las mismas que sustraen el aceite de la planta. Dichas extractoras expulsan residuos por toneladas, dichos residuos serían los aprovechados para realizar el desfibramiento del raquis de palma africana. (Leyva Ricardo, Rodríguez Veiguela, Mendoza Rodríguez, & Cadena Sarmiento, 2019)

El raquis de palma África viene a ser el fruto de la planta el cual queda como residuo después de haber sacado el aceite. El mismo después de ser procesado pierde

aproximadamente la mitad de su masa y se puede ver la fibra en su interior. (Leyva Ricardo, Rodríguez Veiguela, Mendoza Rodríguez, & Cadena Sarmiento, 2019)

Actualmente la extractora La Fabril S.A. quien proporcionó el raquis de la palma, indica que existe un proceso donde estos residuos los usan como combustible para sus hornos y de esta forma procesar el aceite.



Figura 1. Raquis de palma africana en la extractora La Joya (fuente del autor)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.3. COMPOSICIÓN DEL RAQUIS DE PALMA

Es muy heterogénea la composición química del raquis de palma africana, el cual consta de tres materiales principales:

- Celulosa
- Hemicelulosa
- Lignina

Estas tres constituyen el 95% al 98% de la pared celular, el resto contiene un peso molecular bajo. (Páliz Hidalgo, 2014)

Tabla 2. Composición del Raquis de Palma

<b>Composición del Raquis de Palma</b>		
<b>Celulosa</b>	<b>Hemicelulosa</b>	<b>Lignina</b>
Base estructural de las células vegetales, es la sustancia natural más importante, tanto por su abundancia como por su aprovechamiento tecnológico.	Se engloban dentro de esta denominación el resto de los polisacáridos que se encuentran en los lignocelulósicos además de la celulosa.	Su función es asegurar protección contra la humedad y los agentes atmosféricos además de actuar como elemento aglomerante de las fibras.

Fuente: (Páliz Hidalgo, 2014)

Elaborado por: Chango Isael

Para la Tabla 3 se presentará la composición química de palma africana donde se muestra el Magnesio, Potasio, Nitrógeno entre otros. (Páliz Hidalgo, 2014)

Tabla 3. Composición química del Raquis de Palma

<b>ELEMENTO</b>	<b>NITRÓGENO</b>	<b>FOSFORO</b>	<b>POTASIO</b>	<b>MAGNESIO</b>	<b>MOLIBDENO</b>	<b>OTROS</b>
%	0.5	0.04	5.68	0.8	50	42.98

Fuente: (Páliz Hidalgo, 2014)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.4. TRATAMIENTO QUIMICO

El tratamiento de NaOH al 4% tiene como objetivo eliminar las impurezas de la fibra de palma africana, con este tratamiento también se mejora la durabilidad de la fibra y mejorar estructuralmente en la composición celular. (Caizaguano Guevara & Terán Tandazo, 2020)

El tratamiento de alcalinización el cual se modificará su estructura celulosa con NaOH (hidróxido de sodio) es un tratamiento que dura alrededor de 24 horas, es uno de los más extensos, pero a su vez uno de los más efectivos con un bajo costo en comparación de otros tratamientos químicos.

Se ha podido observar que en diferentes fibras hay un mejor resultado al momento de realizar ensayos mecánicos, estas mejoras se ven reflejadas en la elongación a la ruptura como en la resistencia de la fibra a tensión. (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022)

Una de las desventajas al utilizar NaOH llega al momento de aumentar su concentración ya que estas tienden a dañar la fibra, adicionalmente reducen la resistencia a la tracción, el tiempo que se sumerge y la temperatura tenderán a modificar la eficacia del tratamiento químico. (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

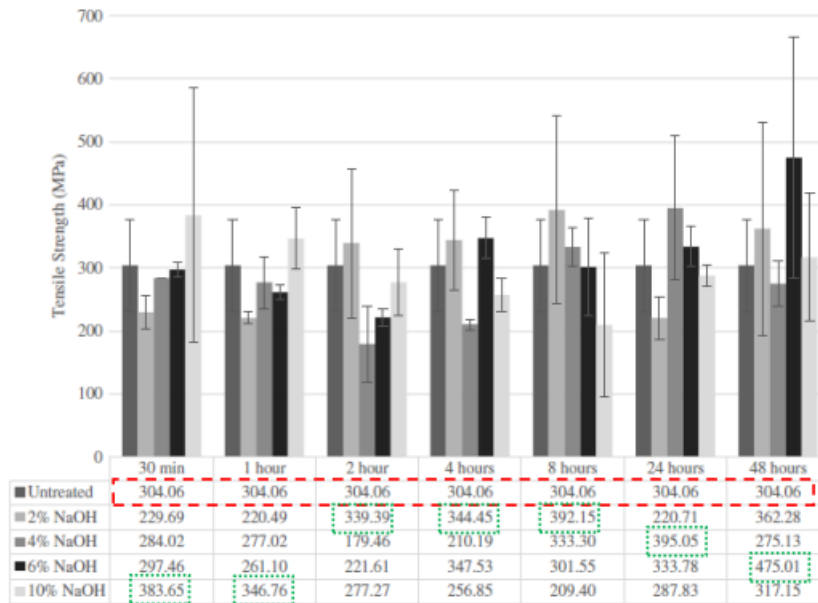


Figura 2. Resistencia a la tracción de la fibra de palma africana sometido a tratamiento químico con NaOH a diferentes porcentajes de concentración.

Elaborado por: (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

En la ilustración hace referencia a un experimento donde varias fibras fueron tratadas con NaOH, las mismas fueron ensayadas a distintas horas y con diferentes concentraciones donde se puede ver que a las 24 horas una concentración del 4% sería la más acertada. (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

Para el caso de este trabajo se utilizó Hidróxido de sodio (NaOH) al 4%.

#### 1.4.5. HORMIGÓN SIMPLE

El hormigón es usado en el campo de la ingeniería, este se logra mezclando áridos, agua y una sustancia cementante hidráulica, estos son los principales componentes para realizar un hormigón simple. Al unir estos materiales logramos una mezcla trabajable y plástica que se puede moldear a conveniencia. Es conocido por su resistencia a compresión, esta resistencia dependerá de la hidratación del cemento con agua. (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022)

#### 1.4.5.1. AGREGADOS

Estos agregados deben ser tanto finos como gruesos, los cuales forman parte de la mezcla, estos son minados de la naturaleza, su explotación se lo hace mediante canteras. Estos 2 materiales componen del 65% al 85% de la composición final del hormigón. Se clasifican por el tamaño de sus partículas. ( Luna Hermosa, 2014)

##### 1.4.5.1.1. GRUESOS

La roca procesada, triturada, que supere el tamaño de 4.75 [mm] puede ser considerada agregado grueso, se recomienda no elegir como agregado grueso al canto rodado y piedra bola ya que tienen poca adherencia en la mezcla final. ( Luna Hermosa, 2014)

Para encontrar el tamaño máximo nominal se debe retener del 5% al 15% dependiendo su tamaño. ( ACI 116, 2019)

Se deben cumplir varias normas para que el agregado grueso sea aceptado tales como:

Tabla 4. Normativas de agregados gruesos

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico	NTE INEN 696
Peso específico y absorción	NTE INEN 857
Densidad aparente suelta y compactada	NTE INEN 857
Contenido de humedad	NTE INEN 862

Fuente: (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

Elaborado por: Chango Isael

##### 1.4.5.1.2. FINO

El agregado fino tiene una medida que va en el rango de 60  $\mu$ m al 4.75 mm, se la conoce con el nombre de arena, este se usa como relleno ya que el agregado grueso deja muchos espacios vacíos. Este material favorece a la trabajabilidad de la mezcla final, en caso de que este material no estuviera presente da como resultado un hormigón muy áspero el cual no es trabajable ni moldeable. ( Luna Hermosa, 2014)

Este agregado debe cumplir con varios requisitos los cuales serán expuestos en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5. Normativas de agregado fino

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico y módulo de finura de áridos	NTE INEN 696
Determinación del contenido orgánico en el agregado fino	NTE INEN 855
Densidad aparente	NTE INEN 858
Densidad relativa y absorción	NTE INEN 857

Fuente: (Chiquito Tenorio & Eras Valladolid, enero 2022)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.5.2. CEMENTO

El cemento hidráulico o cemento Portland está compuesto principalmente por silicatos hidráulicos. Y es un material que se adhiere a sus granos minerales y forma un material de construcción denso y fuerte. Dado que los procesos industriales requieren un control de calidad adecuado y una protección del rendimiento en todas las etapas, se deben considerar el tiempo de almacenamiento y las condiciones ambientales para evitar demoras e incluso pérdidas de eficiencia. ( Luna Hermosa, 2014)

El objetivo de este material es adherirse con todos materiales para formar hormigón. El cemento fue considerado por primera vez por la industria del cemento y la ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) en 1930, pero con diferentes necesidades de propiedades específicas como: resistencia a los sulfatos, hidratación a baja o alta temperatura, incl. Otras cosas, por lo tanto, en 1940, ASTM propuso cinco tipos de cemento. ( Luna Hermosa, 2014)

Tabla 6. Tipos de cemento Portland

CEMENTOS PUROS	
TIPO	USO
I	Es un cemento de uso en condiciones normales y no se requiere características especiales.
II	Generalmente en construcciones de hormigón expuestos a la acción moderada de sulfatos y una ligera disminución de calor de hidratación
III	Cuando se requiere una elevada resistencia inicial.
IV	Cuando se requiere muy poco calor de hidratación
V	Cuando se requiere una alta resistencia a los sulfatos.
Los cementos con inclusión de aire son: tipo IA; IIA y IIIA a los cuales se les adiciona un aditivo introductor de aire; cementos puzolánicos, etc.	

Fuente: (Caizaguano Guevara & Terán Tandazo, 2020)

Elaborado por: Chango Isael

El cemento hidráulico mejora su comportamiento bajo el agua porque sus compuestos son insolubles en agua y conservan su resistencia e incluso dureza en contacto directo con el agua, por lo que es ideal para su uso en climas húmedos. ( Luna Hermosa, 2014)

La (NTE INEN 2380, 2011) y (ASTM C 1157, 2013) tienen requisitos para el desempeño definidos para esto las cuales tienen una clasificación adecuada de acuerdo con sus características específicas, sin importar limitaciones.

Tabla 7. Clasificación de acuerdo con sus propiedades específicas

<b>CEMENTOS – SEGÚN SU DESEMPEÑO</b>	
<b>TIPO</b>	<b>USO</b>
<b>GU</b>	Uso general, cuando no se requiere uno o más de los cementos de tipo especial.
<b>HE</b>	Alta resistencia temprana
<b>MS</b>	Moderada resistencia a los sulfatos.
<b>HS</b>	Alta resistencia a los sulfatos
<b>MH</b>	Moderado calor de hidratación
<b>LH</b>	Bajo calor de hidratación

Fuente: (Luna Hermosa, 2014)

Elaborado por: Chango Isael

Cemento tipo I según (ACI 544 1R, 2002). El cemento debe cumplir con varios requisitos, tales como:

Tabla 8. Ensayos del cemento

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Densidad	NTE INEN 156
Densidad aparente (suelta y compactada)	NTE INEN 858
Consistencia normal (método de Vicat)	NTE INEN 157

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.5.3. AGUA

Según el (ACI 544 1R, 2002) agua debe ser potable. Como se sabe, esta es un disolvente universal. El agua forma una mezcla trabajable al humedecer el cemento. Cabe señalar que en la cámara de curado también se utilizó un ambiente húmedo para endurecer los cilindros y vigas. ( Luna Hermosa, 2014)



### 1.4.6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El propósito primordial de una dosificar hormigón viene a ser determinar la proporción adecuada de componentes para el hormigón, cemento, agua, árido fino, árido grueso y aditivo para asegurar buenas propiedades de buen trabajo, resistencia, durabilidad y evitando gastos innecesarios. ( Luna Hermosa, 2014)

Al dosificar, las proporciones se determinan mediante pruebas de agregado y cemento.

Tabla 9. Tabla resumen de ensayo

<b>Agregado grueso (ripio) y fino (arena)</b>	Densidad suelta y compactada
	Densidad real en estado superficie saturada seca
	Porcentaje de absorción
	Módulo de finura
	Tamaño Nominal Máximo (grueso)
	Contenido de humedad natural
<b>Cemento</b>	Tipo de cemento
	Densidad real

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA [ f'cr]

Para la determinación de la resistencia requerida se usará la Tabla 10, esta guiará para su determinación, ya que es necesario utilizar los parámetros especificados en (ACI 318S - 08, 2008).

Tabla 10. Resistencia promedio requerida a compresión (f'cr)

<b>Resistencia Específica (f'c) [MPa]</b>	<b>Resistencia Promedio Requerida (f'cr) [MPa]</b>
$f' c < 20$	$f' cr = f' c + 7.0$
$20 \leq f' c \leq 35$	$f' cr = f' c + 8.5$
$f' c > 35$	$f' cr = 1.10f' c + 5.0$

Fuente: (ACI 318S-08, 2008)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.2. SELECCIÓN DE ASENTAMIENTO

Para escoger el asentamiento depende mucho de la aplicación de la Tabla 11 que, indica diferentes rangos dependiendo de que si la mezcla es vibrada y lo suficientemente firme para una colocación efectiva.

Tabla 11. 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, 2009)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.3. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

Es importante tener en cuenta que las dimensiones del relleno no deben exceder 1/3 de la medida de profundidad de la losa, no deben exceder 3/4 de la distancia mínima entre barras y no deben exceder 1/5 de la dimensión más estrecha entre barras y encofrado. Cabe señalar que estas consideraciones se ignoran cuando se coloca mezcla en estructuras que no requieren refuerzo porque no permiten un buen fraccionamiento y agregados sobre dimensionados. (ACI 211.1-91, 2009)

Se cambió el tamaño máximo nominal del árido, así reducido se pudo conseguir altas resistencias porque evitan la formación de grandes vacíos en la mezcla.

Tabla 12. 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 1.6./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, 2009)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE

El asentamiento de la mezcla preseleccionada depende de varios aspectos, como: clasificación del agregado, tamaño nominal máximo, volumen de aire incorporado, temperatura de la mezcla, distribución de partículas del agregado, presencia o ausencia de químicos. aditivos etc. (ACI 211.1-91, 2009)

Tabla 13. 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>								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (ACI 211.1-91, 2009)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.5. RELACIÓN AGUA-CEMENTO [A/C]

Los factores como la resistencia requerida para las placas son dependientes de la relación agua-cemento (a/c), ya que estas se pueden lograr distintas resistencias con la misma relación a/c usando diferentes cementos, agregados y aditivos. (ACI 211.1-91, 2009)

Tabla 14. 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, 2009)

Elaborado por: Chango Isael

Cuando se utilizan materiales típicos para una mezcla, las relaciones a/c especificadas deben ser suficientes para obtener la resistencia especificada después de haber tenido un curando de 28 días en el laboratorio.

#### 1.4.6.5. FACTOR Y VOLUMEN DEL CEMENTO

Se divide la unidad de volumen de agua sobre la relación a/c (agua-cemento) para obtener la relación factor cemento.

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

Ecuación 1. Factor cemento

Se divide la proporción de cemento y la densidad real del cemento para obtener el volumen del cemento.

$$\text{Volumen cemento} = \frac{\text{Factor cemento}}{\gamma_{\text{real-cemento}}}$$

Ecuación 2. Volumen cemento

#### 1.4.6.6. PORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Para obtener la cantidad requerida de árido grueso en la mezcla de hormigón se muestra los valores en la Tabla 15, asegura una buena trabajabilidad y compensación de partículas al momento de escoger el módulo de finura y tamaño nominal máximo de la arena (árido fino).

Tabla 15. 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)	0.73	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, 2009)

Elaborado por: Chango Isael

#### 1.4.6.7. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS DE AGREGADOS

Se divide la masa aparente de la piedra triturada compactada por la densidad real con esto se obtiene el volumen real de ripio (árido grueso), en condiciones de superficie saturada seca y se multiplica por el volumen aparente.

$$V_{\text{real agregado grueso}} = V_{\text{aparente}} * \frac{\text{Densidad aparente compactado}}{\text{Densidad real (SSS)}}$$

Ecuación 3. Volumen real del ripio

De la diferencia entre los volúmenes absolutos conocidos y el volumen unitario de hormigón se obtiene el volumen absoluto de arena (árido fino).

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

Ecuación 4. Volumen absoluto de la arena

#### 1.4.6.8. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

La unidad cúbica de hormigón debe ser corregida por la presencia de humedad en la composición del árido, ya que la dosificación de exposición tiene en cuenta la condición del material sobre superficie seca saturada (SSS) y por tanto no debe cambiar la relación agua/cemento.

$$W\% = \frac{W_o - W_f}{W_f} * 100$$

Ecuación 5. Contenido de humedad del agregado

$$\Delta_{\text{agua mezcla final}} = V_{\text{agua inicial}} - ((W\% - \text{Abs}\%) * W_{\text{agregado}})$$

Ecuación 6. Corrección por humedad para el agregado

Donde:

W= Contenido de humedad del agregado [%]

W<sub>o</sub> = Contenido inicial de masa [gr]

W<sub>f</sub> = Contenido final de masa [gr]

Δ<sub>agua mezcla final</sub> = Variación de agua para la dosificación final [l/m<sup>3</sup>]

V<sub>agua inicial</sub> = Agua inicial calculada en la dosificación [l/m<sup>3</sup>]

W<sub>agregado</sub> = Cantidad inicial en masa del agregado

Abs%= Absorción [%]

#### 1.4.7. HORMIGÓN CON FIBRA

El hormigón reforzado con fibra tanto vegetales (palma africana) como artificiales (acero, vidrio y polímeros orgánicos) están compuestas principalmente de cementos, agregados gruesos, finos, agua y fibras de refuerzo. (ACI 544 1R, 2002)

Las fibras utilizadas para hormigón reforzado no deben exceder las 3 pulgadas (76 mm) de longitud y las 0,04 pulgadas (1 mm) de diámetro respectivamente. (ACI 544 1R, 2002)

Se propone mejorar las propiedades mecánicas y con ello controlar las micro y macro fisuras que se da en el concreto debido a la poca ductilidad.

Tabla 16. Factores que afectan las propiedades de las fibras naturales como refuerzo

<b>Factor</b>	<b>Variable</b>
<b>Tipo de fibra</b>	Coco, sisal, bagazo de caña de azúcar, bambú, yute, madera, vegetales, etc.
<b>Geometría de fibra</b>	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y extremos enganchados.
<b>Forma de fibra</b>	Monofilamento, hebras, engarzado y con un solo nudo
<b>Superficie de la fibra</b>	Suavidad, presencia de revestimiento.
<b>Propiedades de la matriz</b>	Tipo de cemento, tipo de árido y clasificación de tipos de aditivos.
<b>Dosificación de la mezcla</b>	Contenido de agua, contenido de fibra, trabajabilidad.
<b>Método de mezcla</b>	Tipo de mezclador, secuencia de adición de componentes (método de adición de fibras), duración y velocidad de mezclado.
<b>Método de colocación</b>	Vibración convencional, deshidratación por vacío para el miembro pulverizado, deshidratación por prensado al vacío para el miembro deshidratado por lodos, extrusión y hormigón proyectado
<b>Técnica de colado</b>	Presión de colado
<b>Método de curado</b>	Convencional, métodos especiales.

Fuente: (ACI 544 1R, 2002)

Elaborado por: Chango Isael

En el (ACI 544 1R, 2002) da la idea de algunas variables que se puede tener en el hormigón reforzado con fibra. Existen estudios con diferentes tipos de fibra en el (ACI 544 1R, 2002) tanto vegetales como sintéticas.

Los materiales compuestos que contienen fibras naturales tienen varias ventajas; La combinación de alta rigidez con un bajo peso y biodegradabilidad, los convierte atractivamente una nueva opción para la producción de materiales de construcción nuevos. A continuación, se enumeran ventajas del hormigón reforzado, incluidas las fibras naturales. (Ramli & Thanoon Dawood, 2010)

- Actúa como un mecanismo para inhibir y controlar el agrietamiento.

- Un hormigón con menor densidad.
- Mejor energía absorbida debido a la su tenacidad y a su vez mayor ductilidad.

(Ramli & Thanoon Dawood, 2010)

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se va a describir la ejecución experimental del trabajo de integración curricular. Con la ayuda de la cámara de aire fueron ensayadas alrededor de 6 placas de hormigón reforzado con diferentes parámetros. Al igual se confeccionaron cilindros y vigas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN (Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas). Esto se realizó para alcanzar los objetivos planteados en este TIC.

### 2.1. EQUIPO

A continuación, se detalla los diferentes equipos que fueron usados para la ejecución experimental del trabajo de integración curricular.

#### 2.1.1. CÁMARA DE AIRE

La cámara de aire utilizada fue modelada en SolidWorks, esta fue utilizada en la tesis de Análisis de fisuración con corriente de aire inducido en placas de hormigón reforzado con fibras de estopa de coco, realizada por Mary Elizabeth Amaguaña Pilicita y Leidy Johana Guamán Mugmal. (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022).



Figura 3. Cámara de aire

Elaborado por: Chango

La cámara de aire se encuentra compuesta de las siguientes materiales y equipos como:

- Planchas de triplex de espesor 9mm.
- Plancha de MDF de espesor 3mm
- Sección de vidrio de espesor 4mm
- Lámparas fluorescentes



- Tablón de madera
- Pegamento industrial

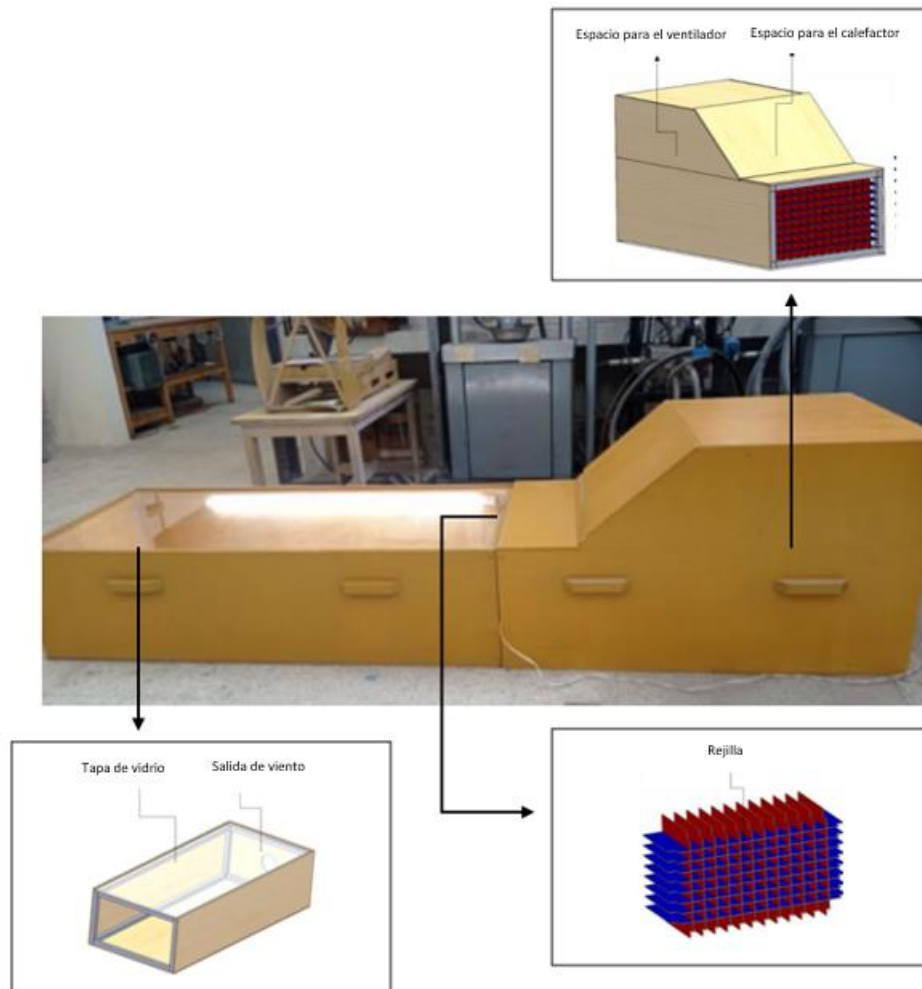


Figura 4. Modelo de la cámara de aire

Elaborado por: Chango

## 2.1.2. EQUIPO DE LA CAMARA DE AIRE

El siguiente equipo se utiliza para operar la cámara de aire:

### 2.1.2.1. ANEMÓMETRO

Se utilizó un anemómetro para medir y registrar la temperatura al igual que la velocidad del viento generada en una cámara de aire (caliente), mientras las placas de concreto se secan.

Un ventilador que mide el aire en su flujo, una palanca con un sensor incorporado es el que determina la temperatura por medio de una pantalla que recibe información del sensor.



Figura 5. Anemómetro

Elaborado por: Chango

#### 2.1.2.2. CALEFACTOR

Para crear aire caliente, se tiene un calefactor de circulación industriales con una capacidad de calentamiento de 3000/4000/5000 vatios. Este equipo consta de protección contra sobrecalentamiento del aparato, termostato ajustable y cuenta con rejillas ajustables.



Figura 6. Calefactor

Elaborado por: Chango

#### 2.1.2.3. VENTILADOR

El ventilador dirige el aire caliente hacia la placa, este inicia desde el calefactor hacia la placa creando una capa laminar de aire caliente. Para esto se tiene un ventilador de tres velocidades.



Figura 7. Ventilador

Elaborado por: Chango

## 2.2. MATERIALES HORMIGÓN SIMPLE

### 2.2.1. CEMENTO

Se Utiliza el cemento de la marca Holcim Fuerte (cemento para la construcción en general), (Tipo GU), el mismo que cumple con la normativa ecuatoriana (NTE INEN 2380, 2011).

Estas muestras deben repetirse al menos tres veces para obtener valores representativos.



Figura 8. Cemento Holcim Fuerte Tipo GU

Elaborado por: Chango

#### 2.2.1.1. DENSIDAD REAL

La densidad debe determinarse mediante pruebas puesto que el cemento es un ingrediente pesado, ya que esta densidad puede verse afectada por la adición al cemento con materias extrañas o a su vez por condiciones de almacenamiento inadecuadas o deplorables. ( Luna Hermosa, 2014)

Los procedimientos descritos en esta norma se llevan a cabo utilizando un matraz Le Chatelier de la siguiente manera:

- Preparar las condiciones ambientales necesarias, la temperatura en la sala de prueba es de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  y la humedad es del 65%.
- En un bowl se deben agregar 64 [g] de cemento
- En el matraz Le Chatelier se agregar el reactivo hasta alcanzar de 0 a  $1\text{ cm}^3$  en la parte inferior. Sumerja el matraz en el agua en condiciones ambientales y tome las lecturas iniciales de volumen y peso.
- Usando una espátula de metal y un embudo de aluminio, coloque uniformemente 64 gramos de cemento para evitar que el cemento se pegue a la pared, luego de este paso coloque un tapón en la botella.
- Retire las burbujas de aire con mucho cuidado con un movimiento circular.
- leer el volumen y la masa finales, vuelva a colocarlo en el recipiente a condiciones ambientales.



Figura 9. Ensayo densidad real del cemento

Elaborado por: Chango

El cálculo para determinar la densidad:

$$\gamma_{real\ del\ cemento} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

## Ecuación 7. Densidad real del cemento

Donde:

$\gamma_{real\ del\ cemento}$ : Densidad real del cemento [ $gr/cm^3$ ].

$M_1$ : Reactivo + Masa del frasco [gr].

$M_2$ : Reactivo + cemento + Masa del frasco [g].

$V_1$ : Volumen en el cuello inferior [ $cm^3$ ].

$V_2$ : Volumen en el cuello superior [ $cm^3$ ].

### 2.2.2. ENSAYO DE AGREGADOS

El árido fino y el árido grueso se obtienen de la cantera de HOLCIM. Las pruebas de laboratorio de los agregados ayudan a caracterizarlos para que puedan ser utilizados en las dosis adecuadas y con esto determinar el volumen de probetas. Se debe realizar 3 veces para poder así tener un promedio representativo

#### 2.2.2.1. AGREGADO GRUESO

##### 2.2.2.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se utilizó la normativa (NTE INEN 696, 2011) para realizar el análisis granulométrico en el laboratorio. Análisis de tamaño de partículas de agregados finos y gruesos.

Los pasos son:

- En el caso del tamaño nominal máximo, considere la muestra al bajo peso especificado en (NTE INEN 696, 2011),
- Se deja la muestra a  $110 \pm 5$  ° C durante  $24 \pm 4$  horas en el horno.
- Ordenando los tamices en orden descendente, la Tabla 17 muestra el orden.

Tabla 17. Cantidad necesaria de muestra de agregado grueso

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, (pulgadas)	máximo, en mm	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9.5		1
12.5		2
19		5
25		10
37.5		15
50		20
63		35
75		60
90		100
100		150
125		300

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

Elaborado por: Chango Isael

- Ponga la masa de prueba encima y se cubre. Introducir la muestra a la tamizadora durante 4 minutos.
- Se debe pesar la masa lo que no logro pasar en cada superficie del tamiz.

Determinar el módulo de finura según se define en la normativa vigente como la (NTE INEN 696, 2011).

Módulo de finura se calcula sumando el porcentaje total de material mayor tamaño que cada uno de estos tamices (porcentaje retenido acumulado) sobre la suma por 100, como se muestra en esta Ecuación 9:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos Acumulados de la serie de tamices}}{100}$$

Ecuación 8. Módulo de finura del agregado grueso

Como control de calidad, se debe determinar la validez de la prueba, y si la pérdida es mayor al 0,3% del total de la muestra, se debe descartar y repetir.

#### 2.2.2.1.2. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN

La correlación entre el volumen y la masa se denomina densidad relativa que ocupan los áridos.

Para la dosificación, absorción y densidad relativa sobre superficie seca y saturada (condición S.S.S.), definida como el nexo entre la masa del agregado completamente saturado y el volumen total en agua, excluyendo el agua. La capacidad para llenar su espacio vacío con agregado se lo denomina absorción

Se siguió el método señalado en la normativa (NTE INEN 696, 2011) , para la determinación de densidad relativa y absorción de agregado grueso o método de prueba estándar (ASTM C128, 2016).

El procedimiento por seguir es:

- Usando el tamaño máximo nominal según la normativa (NTE INEN 857, 2010) se deben cuartear y lavar la muestra hasta que el agua no sea de un color obscuro, se debe alcanzar la saturación durante  $24 \pm 4$  horas en agua.
- Retirar la muestra y coloque sobre un paño absorbente para eliminar la humedad de la superficie del agregado hasta que alcance el S.S.S. condición hasta que el relleno pierda su brillo debido a la humedad de la superficie.
- En modo S.S.S. se pesa la masa de la muestra sumergida en agua a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Secar la muestra en el horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante  $24 \pm 4$  horas, pesar la muestra.



Figura 10. Densidad S.S.S. del agregado grueso

Elaborado por: Chango

Se usa la siguiente Ecuación 10, 11, 12 y 13:

$$Densidad\ relativa = \frac{997.5 * F}{(G - H)}$$

Ecuación 9. Densidad relativa del agregado grueso

$$\text{Densidad relativa S.S.S.} = \frac{997.5 * G}{(G - H)}$$

Ecuación 10. Densidad relativa S.S.S.

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{997.5 * F}{(F - H)}$$

Ecuación 11. Densidad relativa aparente del agregado grueso

$$\text{Absorción} = \frac{(G - F)}{F} * 100$$

Ecuación 12. Abrasión del agregado grueso

Donde:

F= Masa seca del material [gr]

G= Masa en superficie saturada seca del material (S.S.S) [gr]

H= Masa sumergida en agua con material [gr]

### 2.2.2.1.3. DENSIDAD APARENTE

La relación entre la masa y el volumen de un material es la densidad aparente la cual hay que incluir los vacíos existentes.

Se divide en dos casos como el compactado y suelto, no hay necesidad de apisonamiento en la densidad suelta.

La (NTE INEN 858, 2010) muestra como determinar la densidad aparente de los agregados gruesos.

El procedimiento por seguir:

- Secar en un horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , 4/3 a 6/3 de muestra del volumen total del recipiente durante  $24 \pm 4$  horas.
- Determina la masa y el volumen del recipiente.

#### A.- Densidad suelta

- El proceso se realiza con pala y nunca se coloca el árido a más de 50 mm, evitando así la compactación de la muestra.
- Alise el exceso con una regla para que los rellenos que sobresalen compensen los vacíos en parte superior.



- Medir la masa total con agregado + recipiente.

### **B.- Densidad compactada**

- Llenar los moldes con tres capas de igual volumen y varillar 25 veces.
- Al terminar después de las barras, use una regla para cortar y equilibrar el borde.
- Medir la masa del agregado + recipiente.

$$\text{Densidad (Suelta o Compactada)} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

Ecuación 13. Densidad del agregado grueso (suelta o compactada)

Donde:

Densidad (Suelta o Compactada) [kg/cm<sup>3</sup>].

$W_2$ : Masa del recipiente + masa de agregado [kg]

$W_1$ : Masa vacía del recipiente [kg]

V: Volumen del recipiente [m<sup>3</sup>].

#### **2.2.2.1.4. ABRASIÓN**

Se determina utilizando la máquina de Los Ángeles, la resistencia y la dureza del agregado grueso se conoce con dicha máquina que consta de un tambor de acero giratorio, debido al impacto y desgaste de las bolas de acero contra el agregado ayudando a controlar la calidad de los áridos utilizados

Las normativas (NTE INEN 860, 2011) y (NTE INEN 861, 2011) para agregados son las bases para este ensayo. Se Determinó del valor de descomposición total gruesa de tamaños de partículas mayores a 19 mm y menores a 37.5 mm.

El procedimiento por seguir:

- Usando la Tabla 18, seleccione el nivel basado en la calidad de la reserva (como referencia) hasta que se complete la calidad requerida de la prueba; Secar en el horno 110 ° C ± 5 ° C y quitar el polvo para eliminar el polvo.

Tabla 18. Gradación de las muestras de ensayo para abrasión

		<b>Masa por tamaños indicada [g]</b>			
<b>Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)</b>		<b>Gradación</b>			
<b>Pasante de</b>	<b>Retenido en</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
37.5	25.0	1250±25	-	-	-
25.0	19.0	1250±25	-	-	-
19.0	12.5	1250±10	2500±10	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	2500±10	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-
6.3	4.8	-	-	-	-
4.8	2.4	-	-	-	5000±10
	<b>TOTAL</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

Elaborado por: Chango Isael

Según los resultados de la clasificación, se selecciona la carga de abrasión que se encuentra especificada en la Tabla 19.

Tabla 19. Especificación para la carga

<b>Gradación</b>	<b>Número de esferas</b>	<b>Masa de la carga (g)</b>
A	12	5000±10
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

Elaborado por: Chango Isael

- Ponga la masa abrasiva correspondiente en la máquina.
- El cilindro o tanque de la máquina da de 30 a 33 revoluciones por minuto hasta hacer 100 hasta 500 revoluciones para obtener una relación uniforme.
- Registre el valor la muestra en el tamiz #12 y repita los anteriores pasos.
- Dar 400 revoluciones con ayuda de la máquina.

- Registre el valor la muestra en el tamiz #12 nuevamente.



Figura 11. Ensayo en la máquina de los Ángeles

Elaborado por: Chango

$$\text{Abrasión (Desgaste)} = \frac{P_o - P_{500}}{M_o}$$

Ecuación 14. Abrasión del agregado grueso

$$CU = \frac{P_o - P_{100}}{P_o - P_{500}}$$

Ecuación 15. Coeficiente de uniformidad del agregado grueso

Donde:

Abrasión de agregado grueso [%]

$P_o$ : Masa inicial del agregado grueso [g]

$P_{100}$ : Masa de agregado grueso a las 100 revoluciones [g]

$P_{500}$ : Masa de agregado grueso a las 500 revoluciones [g]

#### 2.2.2.2. AGREGADO FINO

##### 2.2.2.2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se basa en los mismos códigos y procedimientos descritos en 2.2.2.1.1. Análisis del tamaño de partícula de áridos gruesos y cálculo del módulo de finura. Los tamices a utilizar son.

Tabla 20. Tamices para la granulometría del fino

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>
3/8"	9.50
#4	4.75
#8	2.36
#16	1.18
#30	0.60
#50	0.30
#100	0.15
#200	0.075
Bandeja	

Elaborado por: Chango

#### 2.2.2.2.2. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN

Según la normativa (NTE INEN 856, 2010) se deben seguir los siguientes pasos para densidad relativa.

El ensayo de absorción de agregados nos regimos a la norma (ASTM C128, 2016).

El procedimiento por seguir:

- Una cuarta parte de la muestra tiene una masa aprox. 1 kg, se sumerge en agua durante  $24 \pm 4$  horas para lograr la saturación.
- Retire el agua sin perder las partículas finas y coloque la muestra de agregado sobre una superficie no absorbente expuesta a aire suavemente calentado, revolviendo continuamente.
- Cuando el agua se evapora, la presencia de humedad está determinada por:
- Con un cono no higroscópico con una abertura mínima en la parte superior, se llena con arena y por encima del límite, se utiliza un varillado de 25 golpes desde una elevación de 5 mm máximo y se deja caer por gravedad.
- Limpiar el área sin mover el cono y levante el cono en posición vertical. La arena debe mantenerse húmeda sin colapsar, pero tiene un ligero desbordamiento, debe tener una condición S.S.S., y si el cono de arena se desmorona por completo, está demasiado seco. (NTE INEN 856, 2010)
- Coloque aprox. 100 gramos de material sobre una superficie plana oscura para arena fisurable, no higroscópica, limpia y seca.

- De 1 a 2 segundos retire la muestra, las impresiones deben desaparecer para que se consideren superficies secas saturadas. (NTE INEN 856, 2010)
- Coloque aprox.  $500 \pm 10$  g de muestra sobre una superficie seca y saturada.
- Hasta cubrir la muestra llenar con agua a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , agitar con la mano
- Llenar la marca de calibración del picnómetro y retire todo el aire posible.
- Poner en un horno a  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  la muestra del picnómetro, enfriarla y pesarla.
- Colocar en la balanza el picnómetro vacío y cuando está lleno de agua a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , esta misma debe de estar línea de calibración.



Figura 12. Ensayo de peso específico del agregado fino

Elaborado por: Chango

$$\text{Densidad Relativa S. S. S.} = \frac{997.5 * M}{(V + M - N)}$$

Ecuación 16. Densidad Relativa S.S.S. de agregado fino

$$\text{Absorción} = \frac{(M - X)}{X} * 100$$

Ecuación 17. Abrasión de agregado fino

Donde:

Densidad Relativa S.S.S. de agregado fino [kg/m<sup>3</sup>]

Absorción de agregado fino [%]

X: Muestra totalmente seca [g]

V: Agua + masa del picnómetro [g]

N: Agua+ agregado+ masa del picnómetro [g]

M: Masa de la muestra de agregado fino en Superficie Saturada Seca (S.S.S) [g]

#### 2.2.2.2.3. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN

La determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de los agregados finos indica el procedimiento para realizar los siguientes ensayos. (NTE INEN 856, 2010)

- Secar 1,5 kg de árido fino a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el horno al menos 24 horas.
- Sumerja esta muestra en agua durante al menos 24 horas para saturarla.

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

- Al final del tiempo de saturación, se elimina el exceso de agua para evitar la pérdida de partículas de muestra y se coloca en un recipiente seco no higroscópico.
- Seque la muestra uniformemente hasta que desaparezca la capa de brillo sobre el relleno, evitando que sus partículas se peguen entre sí de manera muy notoria. Para acelerar el proceso se puede utilizar un horno si esto ocurre para que el material no se seque y haya que repetir la prueba.

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

- Use un recipiente de metal acortado colocado sobre una superficie lisa y no absorbente.
- Vierta la muestra en el recipiente hasta que rebose, sujétela firmemente y compacte el árido golpeándolo 25 veces con el compactador desde una altura de aprox. 5 mm por encima de la superficie de la muestra.
- Limpie todo el exceso alrededor del molde y levántelo verticalmente sin causar vibraciones o movimientos bruscos. Si la muestra colapsa ligeramente, se ha alcanzado el estado SSS; de lo contrario, el relleno debería secarse un poco más si mantiene su forma.

#### **C.- Determinación de densidades.**

- Llene el picnómetro hasta la marca con agua a  $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , anote su masa y temperatura.
- Tomar una muestra con una masa de 500 g en condiciones SSS, colocar el material en el picnómetro mediante un embudo y agregar agua al 90% de su volumen.

- Elimine las burbujas de aire en la muestra agitando manualmente o usando una bomba de vacío.
- Después de eliminar las burbujas de aire, aplicar agua hasta la marca de medida del picnómetro, evitando la entrada de aire.
- Registrar la masa del picnómetro y de la muestra, tomar otro recipiente para obtener el valor de la masa, verter en él la muestra y secar en estufa a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Finalmente, se registró la masa del agregado fino a las 24 horas.



Figura 13. Densidad relativa

Elaborado por: Chango

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

Ecuación 18. Densidad relativa (gravedad específica) (SH)

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

Ecuación 19. Densidad relativa (gravedad específica) (S.S.S)

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

Ecuación 20. Densidad relativa aparente (S.S.S.)

$$\text{Absorción} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

Ecuación 21. Absorción del agregado grueso

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]

#### 2.2.2.2.4. DENSIDAD APARENTE

Para determinar la densidad aparente del material mineral fino, se debe seguir (2.2.2.1.3.) los parámetros especificados en la sección.

#### 2.2.2.2.5. CONTENIDO ORGÁNICO

El ensayo se realizó de acuerdo con la norma (NTE INEN 855, 2010) para agregados. Determinación de impurezas orgánicas en agregados finos de concreto o método para la determinación de impurezas orgánicas en agregados finos de concreto.

El procedimiento por seguir:

- El árido fino a ensayar se vierte en un recipiente de vidrio graduado de aprox. 130 cm<sup>3</sup>.
- Agregue solución de hidróxido de sodio (Na(OH)) hasta la marca de 130 cc, luego complete hasta 200 cc.
- Tapar el recipiente de vidrio, agitar enérgicamente varias veces y dejar actuar 24 horas.
- Para determinar el color, utilice la escala de Gardner, que tiene vidrios coloreados normalizados, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Tabla para comparar los colores

<b>Color normalizado escala de Gardner No.</b>	<b>Número de orden en el comparador</b>
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	5
16	6

Fuente: (NTE INEN 855, 2010)

Elaborado por: Chango





Figura 14. Ensayo de colorimetría

Elaborado por: Chango

### 2.3. FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA

Los raquis de palma africana se obtienen de la empresa de palma africana “Planta Río Manso, Patricia Pilar - Extractora Agrícola Río Manso EXA S.A.”, ubicada Km 41 vía Santo Domingo - Quevedo, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas; fueron donados para la realización de este proyecto.



Figura 15. Planta Río Manso

Elaborado por: Chango

Los raquis de palma africana son recolectados en el área abandonada, luego de lo cual son transportados a la universidad.






Figura 16. Raquis de palma africana en la extractora

Elaborado por: Chango

### 2.3.2. OBTENCIÓN DE LAS FIBRAS

Tabla 22. Desfibrado de raquis de palma africana

FOTOS	DESCRIPCIÓN
	<p>Raquis de palma africana después de salir de la planta.</p>
	<p>Se cortan las puntas como se muestra en la imagen.</p>
	<p>Se puede ver el centro del raquis donde se puede aprovechar gran parte de fibra con buen tamaño y con buen grosor.</p>

	<p>Con agua se procede a desenredar.</p>
	<p>Una vez desenredada la fibra se la ordena de acuerdo con sus diferentes longitudes.</p>

Elaborado por: Chango

### 2.3.2. TRATAMIENTO QUÍMICO

El tratamiento químico utilizado en este proyecto es la mercerización, que consiste en remojar la fibra palma africana en hidróxido de sodio (NaOH) al 4% también conocida como sosa cáustica durante 24 horas. El tratamiento químico da mejores resultados al optimizar sus propiedades mecánicas y físicas utilizando NaOH.

La sosa cáustica se obtiene del Departamento de Ingeniería Química de la EPN, el producto se entrega en estado sólido con una pureza del 80%, el cual se somete a un procedimiento adicional para la preparación de una solución, en estado líquido y con la necesaria concentración.

Para realizar esta reacción química se utiliza agua destilada, se vierte sosa cáustica en estado sólido, y la fórmula química de esta solución es la siguiente:

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

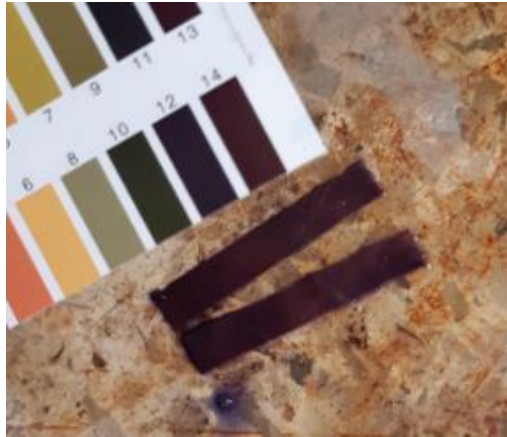
Ecuación 22. Fórmula para conseguir Hidróxido de sodio al 4%

Se debe usar equipo de protección como guantes, gafas protectoras, mascarilla y mandil para preparar esta solución, ya que esta solución es corrosiva.

Tabla 23. Tratamiento químico

FOTOS	DESCRIPCIÓN
	<p>Los materiales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NaOH</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Bowl</li> <li>• Balde</li> </ul>
	<p>Se mezcla lentamente la sosa caustica con el agua agregando en porciones pequeñas y mezclándola.</p>
	<p>Después de haber preparado la solución de sosa cáustica al 4%, se coloca la fibra lavada y cortada anteriormente. Se utiliza un palo de madera para sumergirla completamente en la solución, evitando el contacto directo que puede causar quemaduras.</p>





Deje que la solución actúe sobre las fibras sumergidas mínimo 24 horas. La misma tendrá un PH de 13 o 14.



La fibra se lava hasta que el indicador de pH del agua esté dentro del valor: 7 (neutro).



Elaborado por: Chango

### 2.3.3. LONGITUD DE LA FIBRA

Según varios experimentos con fibras de tracción de fibra de palma africana y hormigón, el rango de longitud más prometedor para hormigón con 0,5 % y 1 % de fibras es de 2 a 4 cm. Además (ACI 544.4R-18, 2018) especifica una longitud recomendada de 3,77 cm (1,5 pulgadas) para las fibras naturales utilizadas en el hormigón. En base a estas recomendaciones, se decidió utilizar fibras con 4 cm de largo.



Figura 17. Fibra cortada

Elaborado por: Chango

## 2.4. ENSAYOS A LA FIBRA

### 2.4.1. ENSAYO DE TRACCIÓN DE FIBRA

Al igual que los agregados, las fibras requieren caracterización, es decir, comprensión de la rigidez, el alargamiento, y el contenido de humedad. Para ello se requiere la

colaboración del Centro Politécnico y Textil del Departamento de Ingeniería Química, se utiliza un conjunto de 50 muestras en estado natural y 50 muestras después del tratamiento químico, medidas con un pie de rey (al menos 14 cm). Se mide su masa con una balanza altamente sensible, las muestras deben ser identificadas para posteriormente ser ensayadas.



Figura 18. Medida de largo y masa de las fibras de palma africana

Elaborado por: Chango

#### 2.4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Las fibras naturales son materiales hidrofílicos que absorben agua, utilizados para formar elementos o compuestos. El contenido de humedad se determinó a partir de la diferencia entre las fibras secas sumergidas en diferentes tiempos y la masa de fibra se calculó mediante la siguiente Ecuación 24. (Araújo Silva, Aquino Rocha, Barreto Monteiro, Póvoas, & Kohlman Rabbani, 2019)

$$\text{Absorción de agua} = \frac{M_{\text{sumergida}} - M_{\text{seca}}}{\text{Secado masivo}} * 100$$

Ecuación 23. Absorción de agua de fibra



Figura 19. Contenido de humedad para fibra de palma africana

Elaborado por: Chango

## 2.5. HORMIGÓN CON FIBRA DE PALMA AFRICANA

En la tabla 22 se muestra el número de especímenes utilizados, caracterizados por 2 tipos, tales como: placa (60x40x2,5 cm), viga (40x10x10 cm) y cilindro (10x20 cm). Una vez más, esto permitirá medir y mostrar respectivamente el agrietamiento, la pérdida de humedad, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión respectivamente.

Cabe mencionar que los moldes para las losas fueron hechos de madera y recubiertos con un material impermeable para que la madera no absorba la humedad de la mezcla de concreto. Los moldes de acero utilizados para fabricar los cilindros y vigas fueron suministrados por el laboratorio LEMSUR.

Tabla 24. Cantidad de probetas contempladas en el proyecto

Composición porcentual de fibra de palma africana		Ensayo diario	Ensayo a los 28 días	
		Placas	Vigas	Cilindros
Sin fibras	0%	3	3	3
Fibras con tratamiento	0.5%	3	3	3

Elaborado por: Chango

## 2.6. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA MEZCLA

### 2.6.1. DOSIFICACIÓN INICIAL

En principio se proporciona una dosificación de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , incluyendo árido grueso de 3/8", La dosificación dadas están clasificadas de acuerdo con la norma ACI y están expresadas en unidad de masa (kg) en relación con el cemento.

Se probaron 3 cilindros sin fibra después del curado durante 7 días y los resultados mostraron que la resistencia promedio de los tres cilindros superó el requisito del 60 % de la resistencia para la cual fue diseñada.

A pesar de que la dosificación cumplió a los ensayos de compresión, esta no cumplió con el objetivo del proyecto de lograr el agrietamiento en placas, por lo que se modificó la dosificación.



Tabla 25. Dosificación inicial para  $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$

<b>Componente</b>	<b>Cantidad relativa en peso</b>
Agua	0.53
Cemento	1
Arena	2.12
Ripio	1.55

Elaborado por: Chango

### 2.6.2. DOSIFICACIÓN FINAL

Bajo los requisitos expuestos anteriormente, se observó que a medida que se reducía el diámetro del agregado grueso y el espesor de las placas, se desarrollaba un agrietamiento progresivo, por lo que el agregado grueso utilizado corresponde a 3/8" (chispa), con un espesor de 2.5 cm para la placas, este se consideró el adecuado. Este contribuyo significativamente al agrietamiento en las placas, pero ligeramente perjudicial para la resistencia a compresión.

En la Tabla 26 se muestra la dosificación final a las que se decidió ensayar todos los especímenes, a pesar de que, cuando se ensayaron tres cilindros sin fibra y se curaron a los 7 días, la resistencia alcanzada fue de al menos el 65% de la resistencia a compresión requerida. Para los 28 días de curado, se esperaba que la resistencia a compresión sea de aproximadamente  $210 \text{ kgf/cm}^2$ .

Tabla 26. Dosificación final para  $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$

<b>Componente</b>	<b>Cantidad relativa en peso</b>
Agua	0.52
Cemento	1
Arena	2.14
Ripio	1.39

Elaborado por: Chango

### 2.6.3. CANTIDAD DE FIBRA

La fibra en la mezcla depende de las necesidades del estudio que se esté realizando. El objetivo principal del proyecto era controlar el agrietamiento de las losas de hormigón en 2,5 cm, por lo que los porcentajes de fibra ensayados fueron el 0,5 %, y 0,75 %.

Los porcentajes deben expresarse en masa para que esta cantidad de fibra pueda ser sustituida por el agregado grueso utilizando la Ecuación 25, esta determinará la cantidad de fibra requerida.

$$m_{fibra} = W_{T-AG} * \%_{FIBRA}$$

Ecuación 24. Porcentaje de fibra

Donde:

$m_{fibra}$  = Masa de fibras de palma africana [kg]

$W_{T-AG}$  = Masa de agregado grueso total [kg]

$\%_{FIBRA}$  = Porcentaje de fibras a ser adicionada [%]

## 2.7. HORMIGONADO EN PLACAS

Cuando el hormigón tiene una cantidad específica para ser utilizada para fisuración y una resistencia de  $210 \pm 10 \text{ kgf/cm}^2$ , se forma el molde aplicando aditivo desmoldante (aceite quemado) para facilitar el retiro de este.

Se prepara la mezcla y se coloca en encofrados de madera  $60 \times 40 \times 2,5 \text{ cm}$ . Se compactaron con una varilla lisa para evitar burbujas de aire atrapadas y finalmente se alisó la superficie de la placa para visualizar bien las grietas. La documentación fotográfica es esencial para el análisis posterior del agrietamiento en las muestras.

Bajo condiciones de viento y temperatura controladas se ve el comportamiento de la superficie de las placas (fisuración) de hormigón.

Se realizó manualmente la mezcla, utilizando balanzas para controlar las proporciones, estas están calibradas por el laboratorio.



Figura 20. Mezcla de hormigón con fibra de palma africana tratada

Elaborado por: Chango

### 2.7.1. ENSAYOS DE PLACAS DE HORMIGÓN

#### 2.7.1.1. VELOCIDAD DEL VIENTO Y TEMPERATURA

El viento se induce utilizando un ventilador, cabe señalar que dicha velocidad se ve estropeada por la ubicación del calentador, ya que el flujo de viento se bloquea frente al ventilador, por lo que se obtienen tres series de velocidades como en la Tabla 27.

Tabla 27. 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: Chango

Se probó para cada nivel de velocidad el comportamiento de los paneles, de tal forma que se determinó que el nivel 1 es el adecuado para alcanzar temperaturas relativamente altas, en lugar de bajas velocidades de viento, esto es necesario para creación de grietas mediante un rápido secado del concreto.

Se fijó en el nivel más alto para crear ondas de calor, el termostato se fijó en 5000 vatios. Se logró una temperatura de 60 °C, el mismo que se midió con un anemómetro.

Se mantuvo constante la temperatura durante el ensayo, con un valor máximo de temperatura de 59.9 °C.

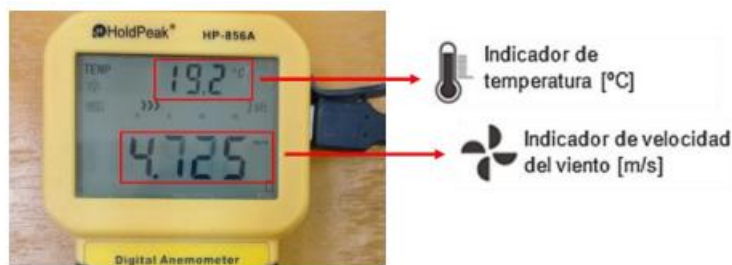


Figura 21. Anemómetro para medir velocidad y temperatura del viento

Elaborado por: (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022)

## 2.8. MEDICIÓN DE FISURAS

### 2.8.1. LONGITUD DE FISURAS

Las grietas formadas en las 24 horas fueron señaladas como se ve en la Figura 22 esto ayudará a obtener las longitudes de las grietas formadas en las placas.

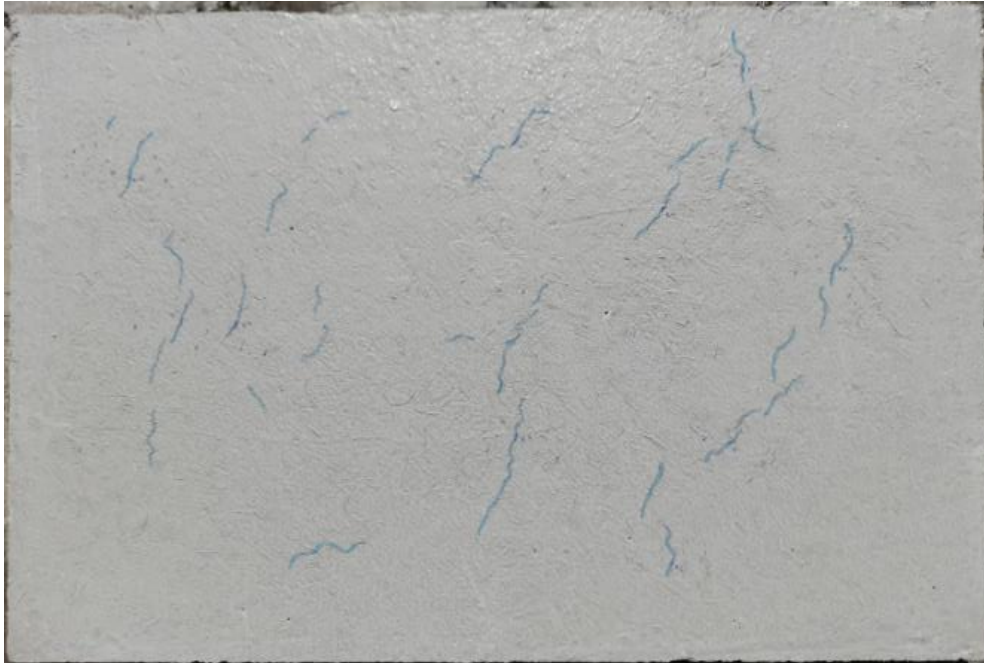


Figura 22. Placa de hormigón con fibra

Elaborado por: Chango

Para facilitar el proceso de medición, se tomaron fotografías de todas las placas, se escalaron en AutoCAD, luego se dibujan polilíneas para obtener la suma de longitudes de grietas. Así, se registran los datos de los análisis relevantes.

### 2.8.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS

Para la profundidad de fisuras la distancia entre los sensores de recepción y la transmisión en la grieta, se proporciona un procedimiento de medición para obtener la profundidad de la grieta, que se utiliza para determinar la posición de la señal de luz y sonido.



Figura 23. Equipo ultrasonido

Elaborado por: Chango

1. Adaptar al medidor Elsonic y conectar el sensor.
2. Encienda la alimentación, presione la tecla [SELECT] y el indicador [CRACK] se encenderá para medir la grieta.
3. Coloque ambos sensores equidistantes de la grieta y vea si la luz verde [NEAR] está encendida.
4. Mueva los dos sensores más cerca o más cerca del espacio hasta que cambie la luz de color verde [NEAR] a rojo [FAR] y suene el zumbador, se debe realizar una marca en posición. Las condiciones son:
  - Si [FAR] está activado y el zumbador continúa sonando, la posición de la marca corresponde a la profundidad de la grieta, incluso si la distancia desde el sensor aumenta aún más.
  - Cuando [FAR] está desactivado y [NEAR] está activado, las grietas tocan áreas marcadas por barras de refuerzo, obstáculos, etc.
5. La distancia real "a" con presión debe ser medida.
6. Si "y" es igual a "a" ( $y=a$ ) esta será la profundidad de la fisura.

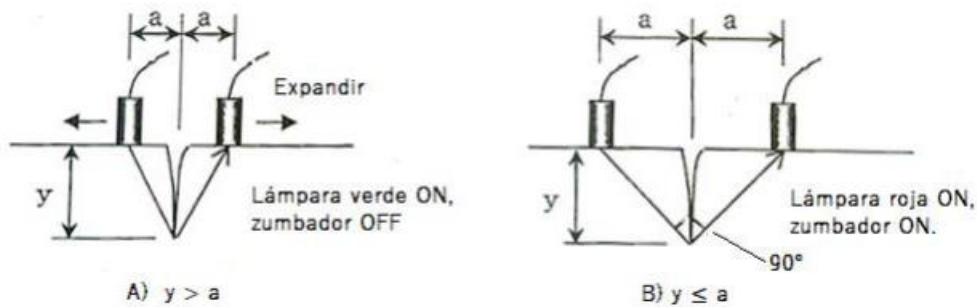


Figura 24. Tipo de medición de grietas por ultrasonido

Elaborado por: Chango

Cuando las distancias "a" y "b" no son iguales por que no es posible mover el sensor igual que el otro, la profundidad de la grieta viene dada por la Ecuación 26.

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

Ecuación 25. Profundidad de fisura

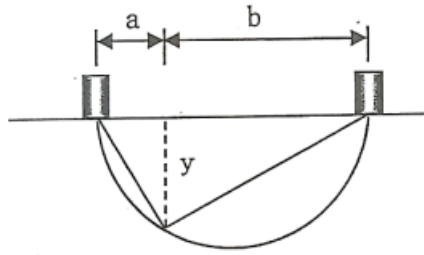


Figura 25. Representación de la ecuación 21

Elaborado por: Chango



Figura 26. Proceso de medición de fisuras

Elaborado por: Chango

### 3. PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. PRUEBAS

Las siguientes secciones describen el ingreso de datos y los resultados obtenidos en laboratorio para el presente trabajo.

#### 3.2. RESULTADOS

##### 3.2.1. TRATAMIENTO QUÍMICO

La Ecuación 27 muestra la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) en estado sólido necesaria para hacer una solución líquida al 4% de concentración. De ello se deduce que a 7.57 lt de agua destilada se deben adicionar un total de 378.5 gramos de soda cáustica con un grado fijo de pureza del 80%, como se muestra en el siguiente cálculo.

$$7.57 \text{ Lt} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ Lt}} * \frac{1 \text{ gr solu.}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{4 \text{ gr NaOH}}{100 \text{ gr solu.}} * \frac{100 \text{ gr puros NaOH}}{80 \text{ gr impuros NaOH}} = 378.5 \text{ gr}$$

Ecuación 26. Cantidad de Hidróxido de sodio en la solución.

### 3.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE PALMA AFRICANA

En cooperación con el Centro Politécnico Textil de la EPN, se logró conocer las propiedades mecánicas de las fibras que se muestran en la Tabla 28, divididas en dos categorías: fibras sin tratamiento (S.T.) y fibras tratadas químicamente (C.T.).

Tabla 28. Propiedades de las fibras de palma africana

		Vel. Prueba [mm/min]	Fuerza Rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad Lineal [tex]	Tiempo Break [s]	Tenacidad [N/tex]	Contenido de humedad [%]
F. S. T.	Media	30	8.85	0.0931	90.63	19.2	0.098	8.5 +/- 0.2
	Desviación Estándar		1.76	0.0300	11.23	6.2	0.020	
F.C. T.	Media	30	6.15	0.15120	63.1	30.50	0.102	10.7 +/- 2.1
	Desviación Estándar		3.39	0.04	27	8.97	0.04	

Elaborado por: Chango Isael

### 3.2.3. DOSIFICACIÓN

Se exhibe la masa de todos los componentes para la dosificación con 0% de palma africana y la dosificación que contiene 0,5% de fibra de palma africana. Cabe señalar que este procedimiento requiere una corrección adecuada de la absorción de áridos (8.09 %) y un remojo previo de las fibras en agua durante 24 horas antes de su uso con S.S.S.

#### 3.2.3.1. DOSIFICACIÓN EN PLACAS

Se inicia de las dosificaciones convencionales mostradas en las Tablas 29 y 30 cubriendo el volumen de placa (visualización de grietas).

Tabla 29. Dosificación de placas sin fibras de palma africana

Dosificación sin fibra		
Agua	1.7480	kg
Cemento	2.8610	kg
Agregado fino	5.4862	kg
Agregado grueso	3.7939	kg

Elaborado por: Chango Isael

Se adiciona fibras de palma africana con tratamiento químico al concreto. La masa de árido grueso se ve afectada por un determinado porcentaje en masa, que se repone de forma adecuada y equivalente.

Tabla 30. Dosificación de placas con fibras de palma africana tratada químicamente

<b>Dosificación sin fibra</b>		
Agua	1.7480	kg
Cemento	2.8610	kg
Agregado fino	5.4862	kg
Agregado grueso	3.7750	kg
Fibra	18.9	gr

Elaborado por: Chango Isael

### 3.2.3.2. DOSIFICACIÓN EN CILINDROS

Para medir los datos de compresión, se debe preparar probetas con dosificaciones tradicionales sin fibra al igual que probetas con fibra de palma africana y ensayarlas después de 28 días de curado.

Tabla 31. Dosificación de cilindros sin fibras de palma africana

<b>Dosificación sin fibra</b>		
Agua	0.3817	kg
Cemento	0.7202	kg
Agregado fino	1.3810	kg
Agregado grueso	0.9550	kg

Elaborado por: Chango Isael

Tabla 32. Dosificación de cilindros con fibras de palma africana tratada químicamente

<b>Dosificación sin fibra</b>		
Agua	0.3817	kg
Cemento	0.7202	kg
Agregado fino	1.3810	kg
Agregado grueso	0.9550	kg
Fibra	4.8000	gr

Elaborado por: Chango Isael



### 3.2.3.3. DOSIFICACIÓN EN VIGAS

Para medir los datos de flexión, se debe preparar un total de 3 de vigas con dosificaciones tradicionales sin fibra de palma africana al igual que probetas con fibra de palma africana y ensayarlas después de 28 días de curado.

Tabla 33. Dosificación de vigas sin fibras de palma africana

<b>Dosificación sin fibra</b>		
Agua	1.1205	kg
Cemento	1.8340	kg
Agregado fino	3.5168	kg
Agregado grueso	2.4320	kg

Elaborado por: Chango Isael

Tabla 34. Dosificación de vigas con fibras de palma africana tratada químicamente

<b>Dosificación sin fibra</b>		
Agua	1.1205	kg
Cemento	1.8340	kg
Agregado fino	3.5168	kg
Agregado grueso	2.4320	kg
Fibra	12.2	gr

Elaborado por: Chango Isael

### 3.2.4. MEDICIÓN DE FISURAS

#### 3.2.4.1. LONGITUD DE FISURAS

La Tabla 35 muestra las longitudes de fisuras para las placas fabricadas con fibra de palma africana con tratamiento químico y placas sin fibra de palma africana. Estos datos se obtuvieron después de 6 horas.

Tabla 35. Longitud de fisuras en placas

<b>Longitud de fisuras en placas</b>		
<b>PLACAS</b>		<b>6 h al interior de la cámara [cm]</b>
Placas sin fibra	1	197.75
	2	242.00
	3	106.91
Placas con 0.5% de fibra de palma africana con tratamiento químico	1	119.04
	2	107.19
	3	76.92

Elaborado por: Chango Isael

Es más conveniente mostrar los resultados gráficamente como se muestra a continuación, ya que esto brinda una mejor comprensión de cómo las placas se agrietan entre sí.

Se esperan grietas más grandes dentro de las 6 horas posteriores a la prueba, y también se encuentra que el concreto convencional expuesto restricciones como la temperatura y velocidad del viento desarrolla grietas largas, lo que facilita el análisis y justifica el uso de fibra para una mejora.

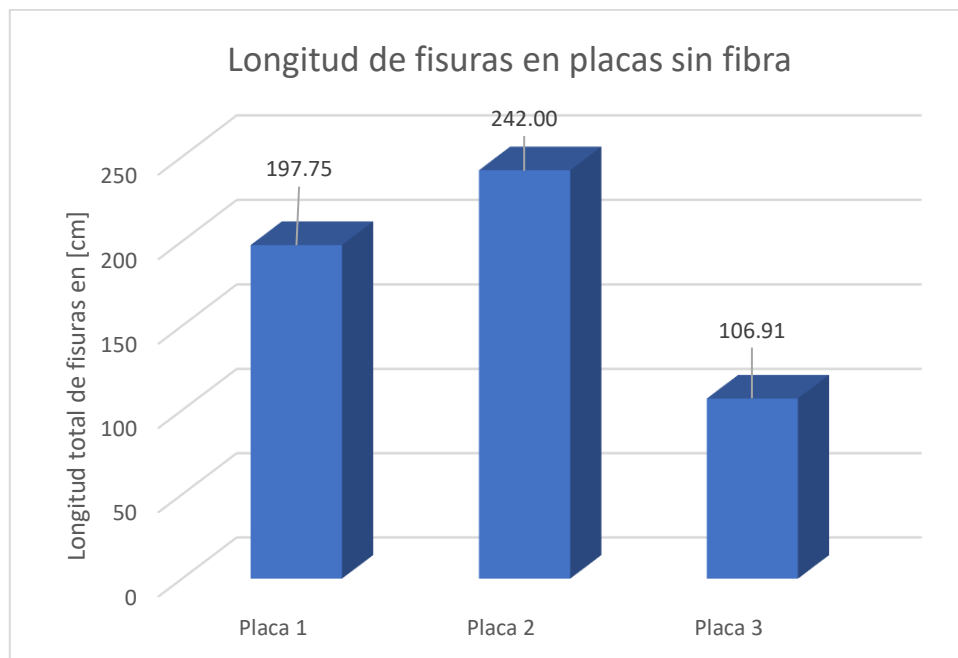


Figura 27. Análisis de placas con fibra al 0%

Elaborado por: Chango

Las placas con un 0,5% de adición de fibra mostraron una reducción en el desarrollo de grietas en comparación con las placas de hormigón convencionales (sin fibra). La Figura 28 muestra que el uso de fibras tratadas reduce significativamente el agrietamiento en comparación con las placas sin fibra para una exposición de prueba de 6 horas en una cámara de aire con condiciones controladas.

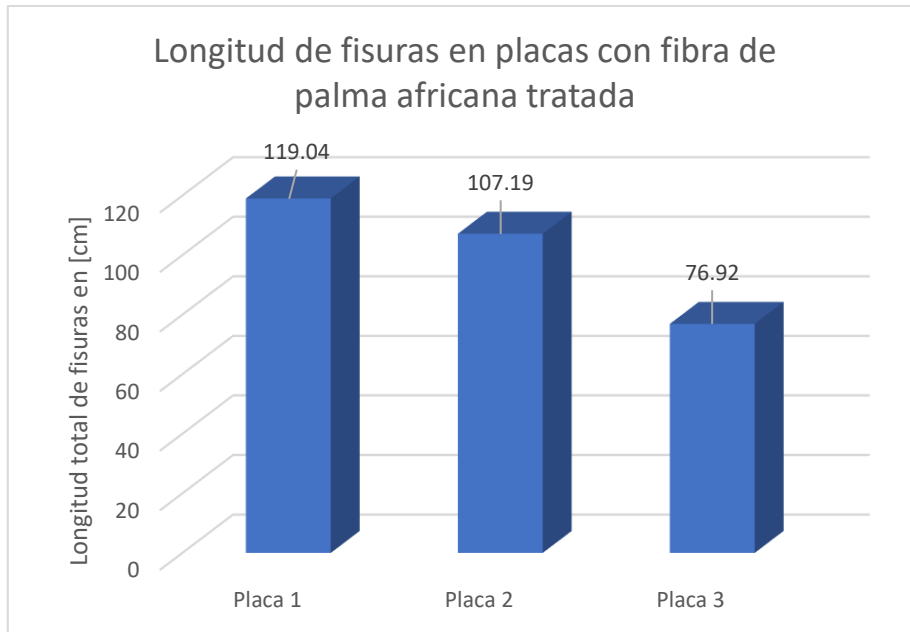


Figura 28. Longitud de fisuras en placas con fibra de palma africana tratada

Elaborado por: Chango

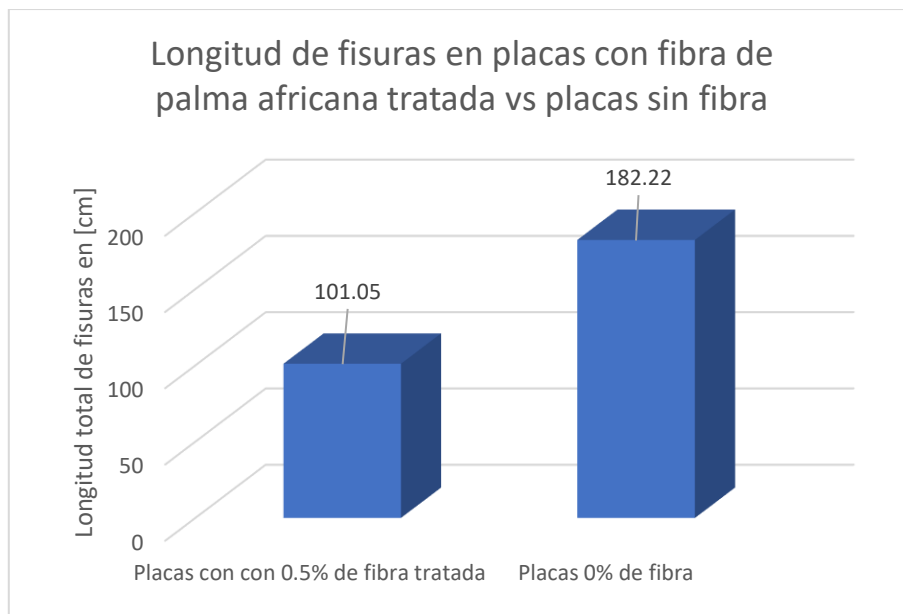


Figura 29. Promedio de longitudes para placas con fibra de palma africana tratada vs placas sin fibra

Elaborado por: Chango

### 3.2.4.2. PROFUNDIDAD DE FISURAS

La Tabla 36 se muestran las profundidades obtenidas para las medidas de fisura en placas correspondientes a un parámetro de profundidad igual o superior a 1,5 cm. Se hace con una máquina de ultrasonido y se determina usando la Ecuación 26.

Tabla 36. Profundidad de fisuras

Profundidad de fisuras						
N° de grieta	0% de fibra			0.5% de fibra tratada		
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	2.49	2.32	2.50	1.73	1.87	1.60
2	2.50	1.73	2.50	1.73	1.65	2.14
3	1.65	1.94	2.50	1.84	1.69	1.97
4	2.29	1.55	2.50	1.73	2.06	1.90
5	1.86	2.01	1.82	2.01	2.26	2.12
6	2.09	2.22	1.73	2.29	1.88	2.50
7	1.82	1.82	1.73	2.50	2.09	2.50
8	1.94	1.60	1.50	2.50	1.90	2.50
9	2.01	2.01	2.45	2.50	1.94	2.50
10	1.50	1.73	1.50	2.50	2.45	2.50
<b>Promedio</b>	2.01	1.89	2.07	2.13	1.98	2.22
<b>Prof. máxima</b>	2.50	2.32	2.50	2.50	2.45	2.50
<b>Prof. mínima</b>	1.50	1.55	1.50	1.73	1.65	1.60

Elaborado por: Chango Isael

La máxima grieta alcanzada en las placas 0% fue de 2,5 cm, y el mínimo medido en la mayoría de las placas fue de 1,50 cm. Cabe mencionar que el ecógrafo tiene un límite de 1,50 cm.

### 3.2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 3.2.5.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los datos obtenidos se recogen en una Tabla 42 para obtener los parámetros inicialmente necesarios para el ensayo de compresión del cilindro: resistencia a la compresión.



Figura 30. Preparando cilindro para ser ensayado

Elaborado por: Chango Isael

La Tabla 37 muestra la resistencia promedio alcanzada para cada variante realizada en este proyecto, así como los tiempos de curado y fraguado observados en las pruebas.

Tabla 37. Resistencia de cilindros [ $kgf/cm^2$ ]

Tipo		Resistencia esperada [ $kgf/cm^2$ ]	Tiempo de curado [días]	Asentamiento [cm]	Resistencia a la compresión [ $kgf/cm^2$ ]
Cilindro con 0% fibra	1	210	29	9.2	250.85
	2	210	29		243.71
	3	210	29		240.65
Cilindro con 0.5% de fibra tratada	1	210	28	4.4	230.45
	2	210	28		227.39
	3	210	28		230.45

Elaborado por: Chango Isael

La Figura 31 describe que los cilindros con fibras tratadas químicamente disminuyen su resistencia en comparación a los 0 % de fibras.

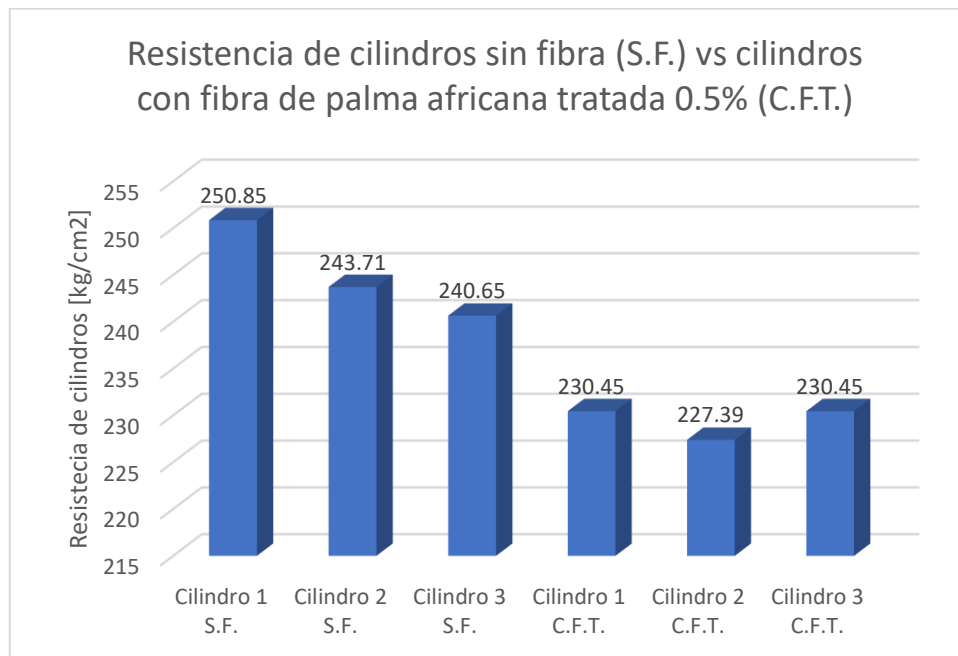


Figura 31. Resistencia de cilindros sin fibra (S.F.) vs cilindros con fibra de palma africana tratada (C.F.T.)

Elaborado por: Chango

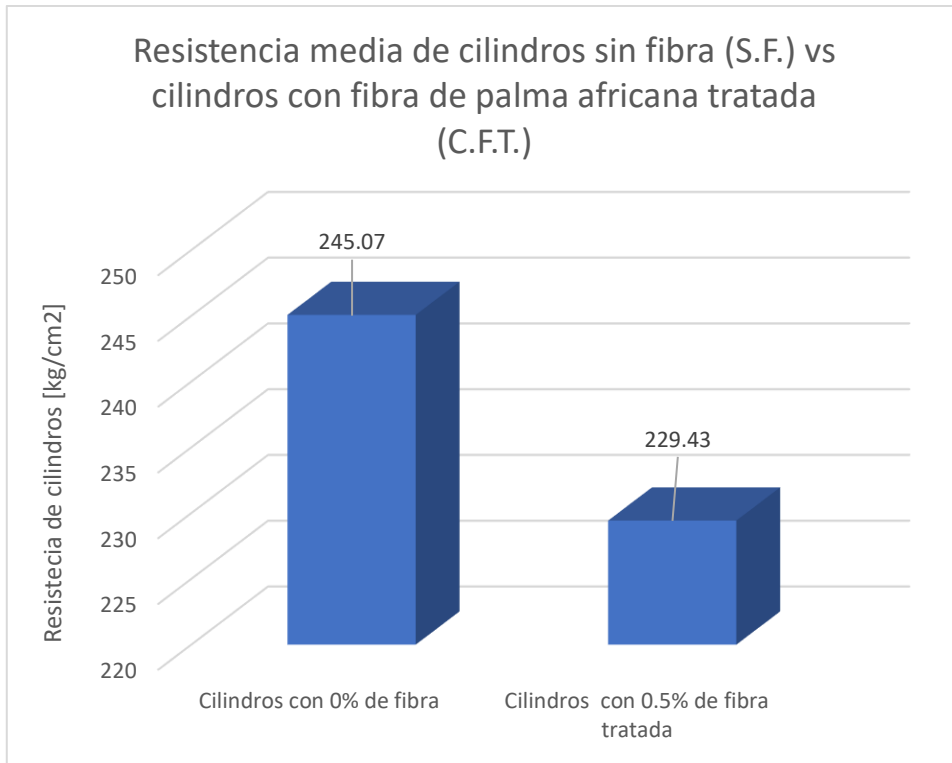


Figura 32. Resistencia media de cilindros sin fibra (S.F.) vs cilindros con fibra de palma africana tratada (C.F.T.)

Elaborado por: Chango

Por lo tanto, se ha observado que el tratamiento químico de las fibras disminuye la resistencia a la compresión en comparación a los cilindros sin fibra. Sin embargo, no se recomienda una alta adición de fibras ya que afecta su trabajabilidad y como en este caso a la resistencia.

### 3.2.5.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se registraron para los siguientes parámetros: carga máxima y módulo de ruptura.



Figura 33. Ensayo de resistencia a la flexión en vigas

Elaborado por: Chango

### 3.2.5.3.1. Carga máxima

La Tabla 38 muestra las cargas máximas soportadas por las vigas ensayadas.

Tabla 38. Carga máxima en vigas [kN]

Tipo		Tiempo de curado [días]	Carga máxima [kN]	Carga máxima media [kN]
Viga con 0% fibra	1	28	13.35	14.67
	2	28	14.73	
	3	28	15.95	
Viga con 0.5% de fibra tratada	1	28	12.67	13.38
	2	28	13.06	
	3	28	14.41	

Elaborado por: Chango Isael

La Figura 34 muestra que las vigas con un 0,5% de fibras tratadas químicamente tienen una menor capacidad, es decir, disminuyen en un 8.79% con respecto a las vigas de hormigón sin fibra esto tomando en cuenta la carga máxima media.

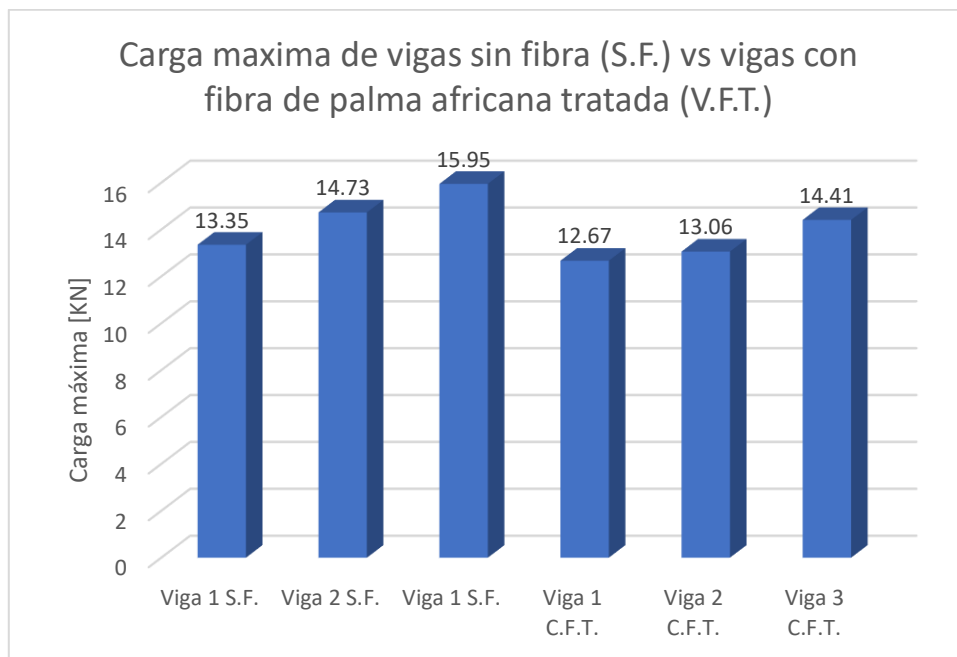


Figura 34. Carga máxima de vigas sin fibra (S.F.) vs vigas con fibra de palma africana tratada (V.F.T.)

Elaborado por: Chango Isael

### 3.2.5.3.2. Módulo de rotura

En las pruebas de flexión de vigas, hay datos disponibles para determinar el módulo de falla como se describe en la Tabla 39.

Tabla 39. Módulo de rotura [MPa]

Tipo		Tiempo de curado [días]	Módulo de rotura [MPa]	Módulo de rotura media [MPa]
Viga con 0% fibra	1	28	3.85	4.21
	2	28	4.10	
	3	28	4.70	
Viga con 0.5% de fibra tratada	1	28	3.75	3.81
	2	28	3.75	
	3	28	3.95	

Elaborado por: Chango Isael

En la Figura 35, las vigas con 0,5% con fibras tratadas químicamente muestran un peor módulo de ruptura en comparación con las vigas sin fibras (0%), pasando de 3.81 MPa a 4.21 MPa.

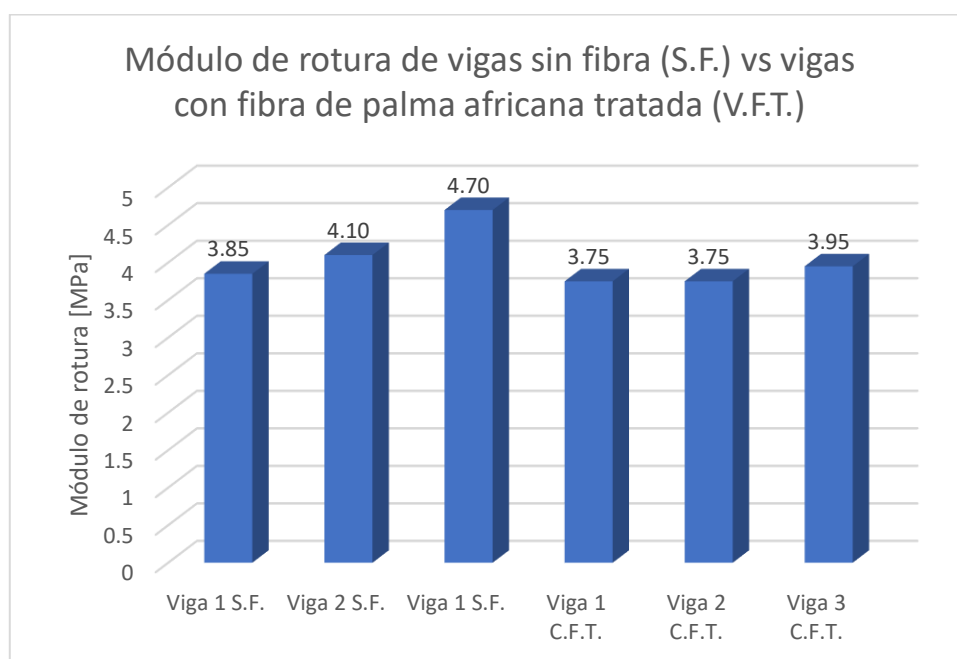


Figura 35. Módulo de rotura de vigas sin fibra (S.F.) vs vigas con fibra de palma africana tratada (V.F.T.)

Elaborado por: Chango Isael



### 3.3 CONCLUSIONES

La ubicación de los componentes en la cámara de aire tiene un gran dominio en el proceso de ensayo de las placas, ya que asegura una correcta permeabilidad al viento y distribución en toda la superficie de las placas, dando lugar a fisuras.

Se pueden lograr condiciones ambientales que no superen los 60 °C y 2 m/s, respectivamente, utilizando varias relaciones experimentales entre la temperatura y la velocidad del viento. El proceso de secado (contracción plástica) de la superficie de las placas de hormigón reforzado provoca grietas. Para esto se puso el termostato en la máxima potencia (5000 watts) y el ventilador en velocidad media, de lo contrario solo habría un viento fuerte pero tibio y sin fisuras o a su vez un aire lento, pero con una temperatura mayor a los 60°C.

( Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003) indicó que cuanto más fina sea la mezcla de concreto, más probable es que se presenten grietas en estructuras grandes. Se redujo el tamaño de agregado grueso a 3/8 de pulgada (chispa).

Los resultados mostraron que el contenido de humedad de la fibra tratada es superior con 10.7%, en comparación con 8.5% en el estado natural de la fibra, lo que significa que se debe tener más cuidado al usar esta fibra en mezclas porque puede cambiar la proporción de a/c.

En la Tabla 37 se muestra la resistencia media de cilindros sin fibra (S.F.) con 245.07  $kgf/cm^2$  la cual es mayor a los cilindros con fibra de palma africana tratada (C.F.T.) con 229.43  $kgf/cm^2$ .

Las vigas compuestas de 0.5% fibra tratada químicamente son las que presentan menor capacidad de carga con un promedio de 13.38[kN] en comparación de las vigas sin fibra que tienen un promedio de 14.67[kN].

Las mediciones de la profundidad de las grietas mostraron que no existen una mayor diferencia entre la placa sin fibra con una profundidad máxima de 2.5 cm y con una profundidad mínima de 1.5 cm, por otro lado, las placas reforzadas de palma africana con tratamiento químico consiguieron profundidades máximas de 2.5 cm y una mínima de 1.60 cm.

Se concluye que la reducción de fisuras en la superficie de las placas de concreto con el uso de fibras de palma africana al 0.5% tratada químicamente con una longitud promedio de 101.05 cm a comparación de las placas sin fibra con 182.22 cm como se

muestra en la figura 29. En caso de que se quiera aumentar la proporción de fibra sus propiedades mecánicas y trabajabilidad se ven afectadas.

Las primeras grietas fueron apareciendo a la primera hora en el caso de las placas sin fibra mientras que para las placas con 0.5% de fibra tratada químicamente aparecieron cerca de la hora y media.

### **3.4. RECOMENDACIONES**

Para evitar fluctuaciones en la velocidad del viento, se recomienda mantener una salida de viento fija, ya que múltiples salidas, sin importar cuán pequeñas sean, causarán fluctuaciones.

Las placas deben ser expuestas a temperaturas y velocidades de viento controladas para observar un agrietamiento en las primeras horas, por lo que no es necesario dosificar para resistencias menores.

La caracterización de agregados, cemento y fibra es importante ya que estos son elementos primordiales para el trabajo.

Mantener secos los agregados finos y gruesos para no alterar la relación agua-cemento calculada.

El tratamiento químico con (NaOH) requiere el uso de equipo de protección personal para evitar accidentes.

Antes de usar la fibra en la mezcla, es necesario dejarla en remojo durante al menos 24 horas (condición S.S.S.), de lo contrario absorberá parte de la humedad de la mezcla lo que cambiará la relación A/C.

Se recomienda desenredar la fibra de palma africana, ya que son delgadas, húmedas y tienden a pegarse.

Para garantizar la homogeneidad de la mezcla con el reforzamiento con fibra, estas deben agregarse después de la producción de hormigón común.

Para las mediciones de grietas, se deben tomar imágenes en la misma ubicación y altura para que se pueda escalar más fácilmente para obtener la longitud total de la grieta.

El uso correcto del equipo de ultrasonidos es fundamental para obtener datos veraces de la profundidad de las fisuras en las placas, y también se debe tener en cuenta la limitación de no medir a una profundidad inferior a 1,5 cm.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 116. (2019). Terminología del cemento y el hormigón. American Concrete. 73.
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las. *Artículo de Divulgación*, 39-46.
- Luna Hermosa, G. (2014). Estudio del Hormigón. 79.
- ACI 211.1-91. (2009). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal , Heavyweight , and Mass Concrete. *American Concrete Institute*, 1-38.
- ACI 224, P.-01. (2001). Control of cracking in concrete structures. American Concrete Institute. *American Concrete Institute*.
- ACI 318S-08. (2008). REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-08) Y COMENTARIO. *American Concrete Institute*, 1-520.
- ACI 544 1R. (2002). Informe sobre Hormigón Reforzado con Fibras. *ACI 544.1R-96*, 57-66.
- ACI 544.4R-18. (2018). Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete. *American Concrete Institute*, 1-44.
- Aguilar-Barojas. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en. *Salud en Tabasco*.
- Amaguaña Pilicita, M. E., & Guamán Mugmal, L. J. (2022). ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO. *TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE*.
- Araújo Silva, M. T., Aquino Rocha, J. H., Barreto Monteiro, E. C., Póvoas, Y., & Kohlman Rabbani, E. (2019). Evaluation of the ultrasound test for estimating the depth of cracks in concrete. *Revista ALCONPAT*, 79-92.
- ASTM C128. (2016). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *ASTM INTERNATIONAL*, 6.
- ASTM C1557-03. (2017). Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. *ASTM INTERNATIONAL*, 1-10.
- ASTM C33-07. (2007). Standard Specification for Concrete Aggregates. *ASTM INTERNATIONAL*, 1-11.
- ASTM C494-08. (2008). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *ASTM INTERNATIONAL*, 10.
- ASTM C597-16. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM INTERNATIONAL*, 1-4.
- ASTM D2256. (2021). Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method. *ASTM International*, 13.
- Caizaguano Guevara, O. P., & Terán Tandazo, G. E. (2020). "CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE Y LA ESTOPA DEL COCO. *PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERO CIVIL* .

- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Chiquito Tenorio, J. D., & Eras Valladolid, G. E. (enero 2022). ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICAS. *TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE*, 14-59.
- Leyva Ricardo, S. E., Rodríguez Veiguela, Y., Mendoza Rodríguez, T., & Cadena Sarmiento, J. (2019). MANEJO DEL RAQUIS GENERADO EN LAS EXTRACTORAS DE PALMA ACEITERA PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST. *ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN*, 3.
- NTE INEN 1108. (2020). AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS. *INEN*, 1-14.
- NTE INEN 151. (2021). CEMENTO HIDRÁULICO. TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL CEMENTO HIDRÁULICO. *INEN*, 1-9.
- NTE INEN 152. (2012). CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS. *INEN*, 1-17.
- NTE INEN 152. (2012). CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS. *INEN*, 1-17.
- NTE INEN 156. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD. *INEN*, 1-9.
- 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.
- NTE INEN 2380. (2011). CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS. *INEN*, 1-11.
- NTE INEN 2554. (2011). Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Flexión del Hormigón. *INEN*, 1-8.
- NTE INEN 2874. (2015). HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO. *INEN*, 15.
- NTE INEN 696. (2011). ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO. *INEN*, VOL 1.
- NTE INEN 855. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. *INEN*.
- NTE INEN 856. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. *INEN*.
- NTE INEN 857. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. *INEN*, 14.
- NTE INEN 858. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS. *INEN*, 11.
- NTE INEN 860. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DEL PARTÍCULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. *INEN*, 1-10.

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.

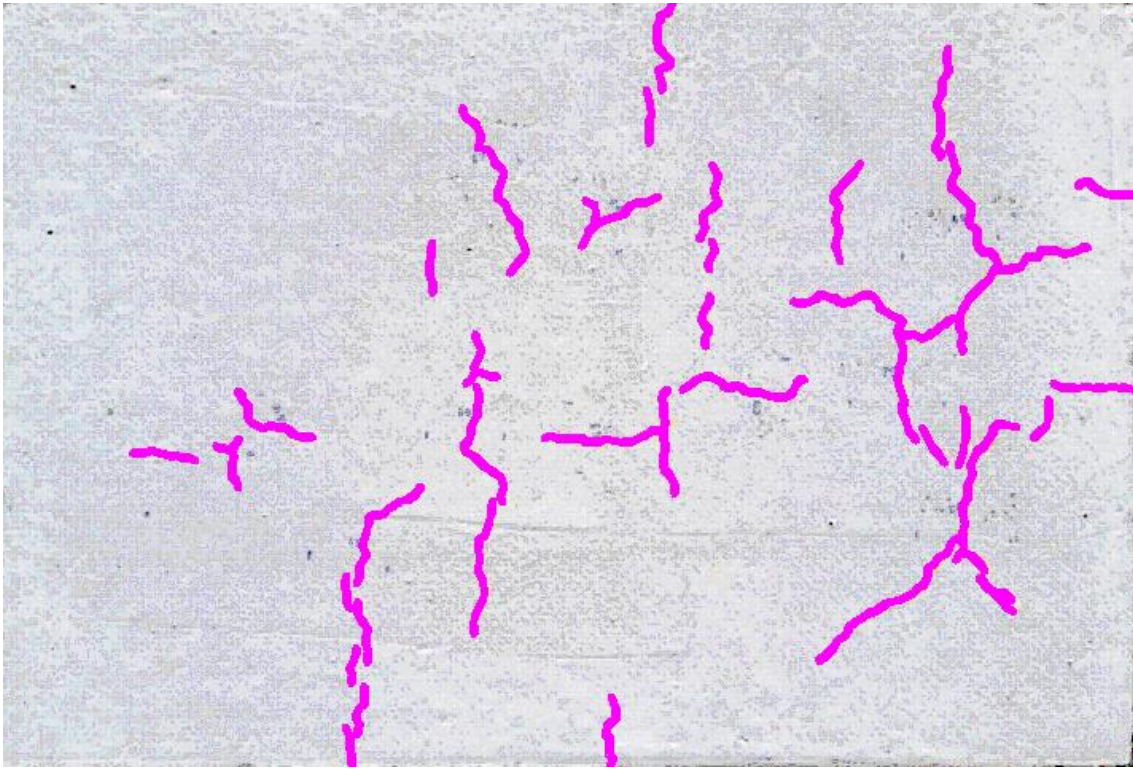
NTE INEN 872. (2011). ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS. *INEN*, 1-19.

Páliz Hidalgo, D. C. (2014). FACTIBILIDAD DEL USO DEL RAQUIS DE PALMA AFRICANA EN MEZCLA CON AGREGADOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS. *TESIS DE GRADO*, 10.

Ramli, M., & Thanoon Dawood, E. (2010). Effects of Palm Fiber on the Mechanical Properties of Lightweight Concrete Crushed Brick. *Department of Building Technology, University Sains Malaysia*, 5.

Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario. *Omnia Publisher*, 5.

## 5. ANEXOS



Anexo 1: Fotografía de placa 1 sin fibra.

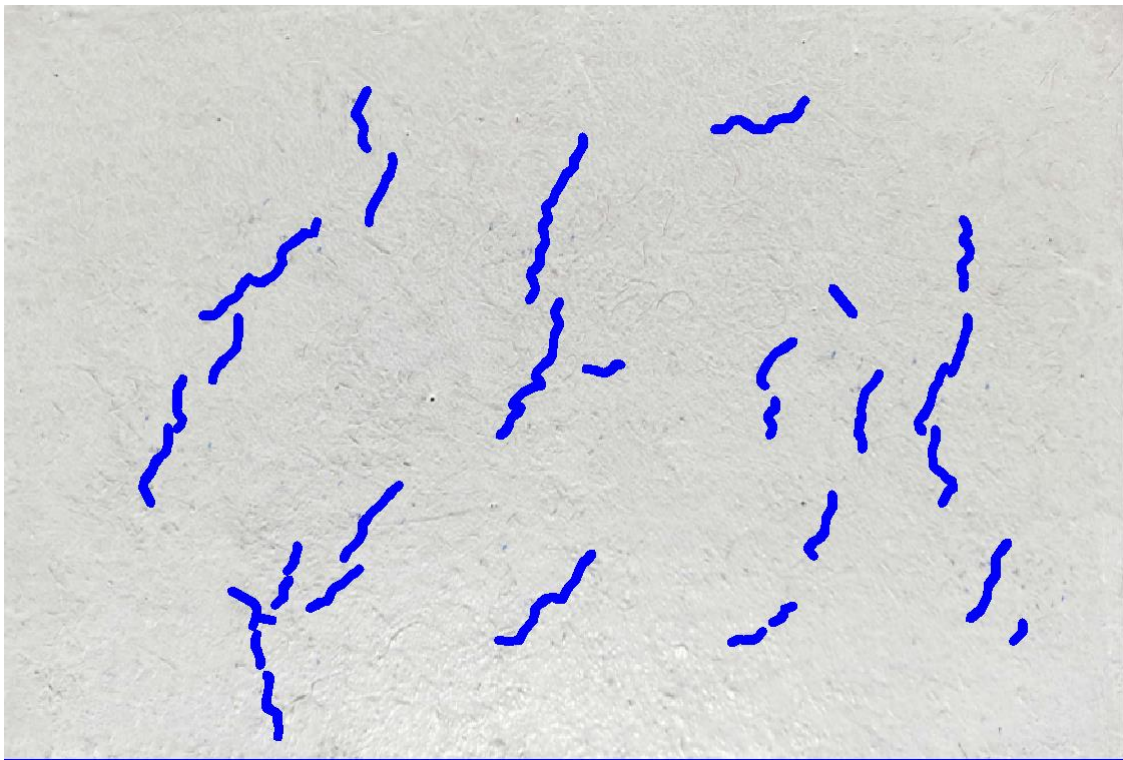


Anexo 2: Fotografía de placa 2 sin fibra.

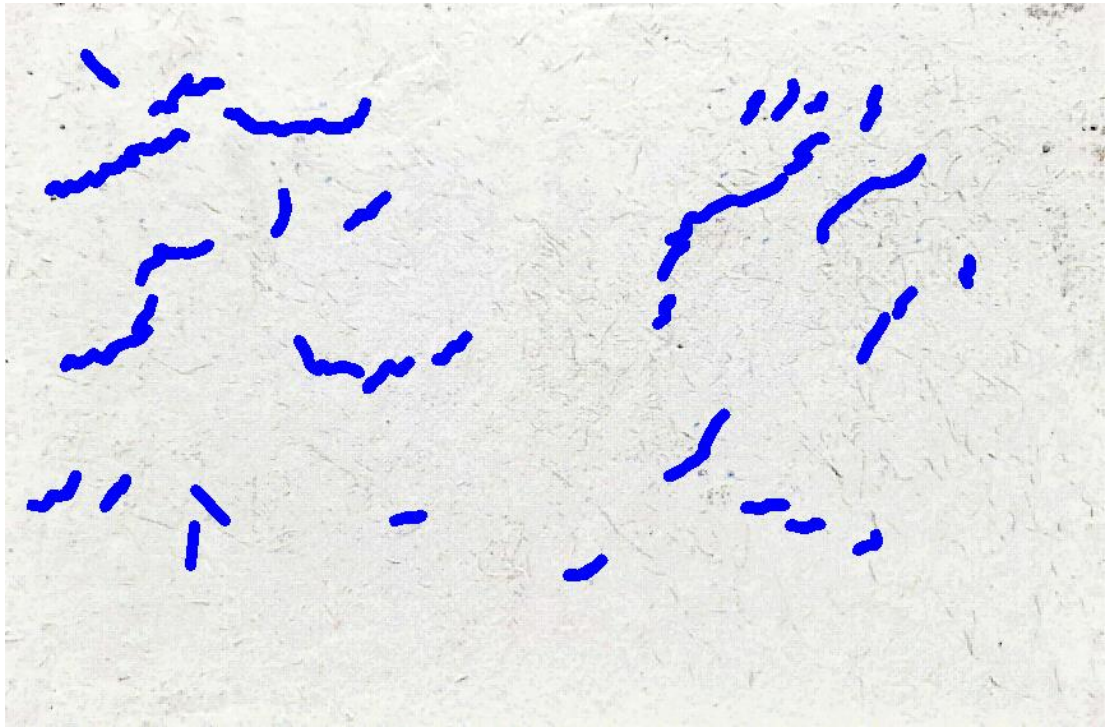




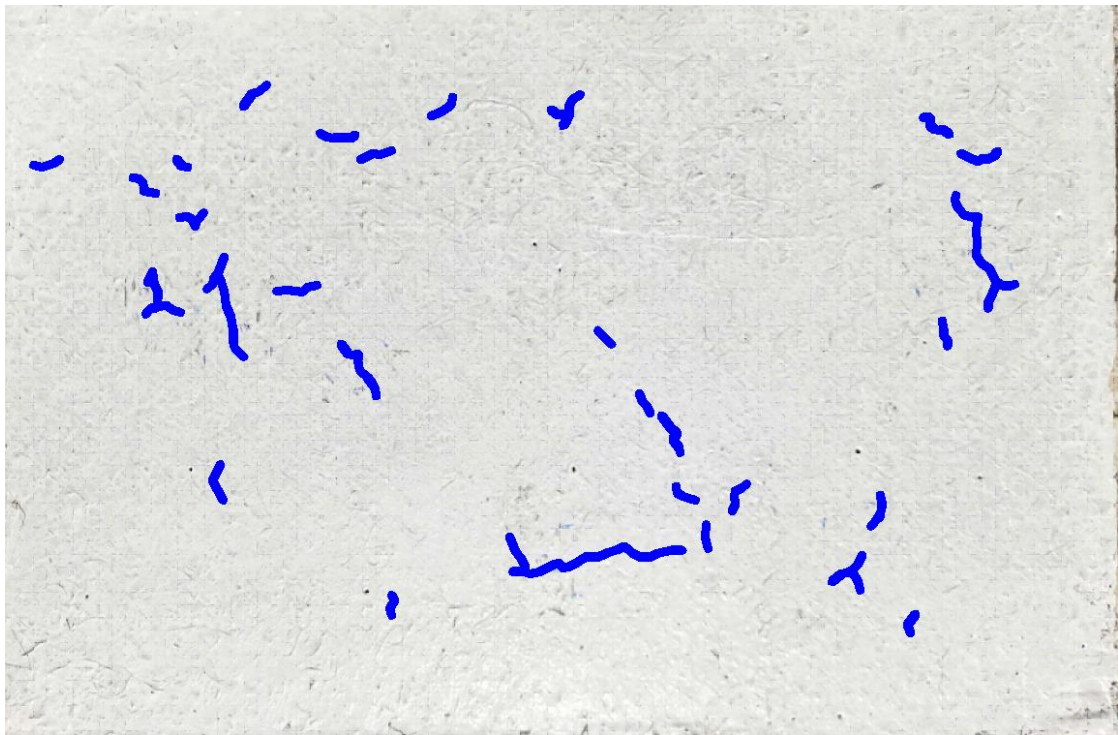
Anexo 3: Fotografía de placa 3 sin fibra.



Anexo 4: Fotografía de placa 1 con fibra de palma africana tratada.



Anexo 5: Fotografía de placa 2 con fibra de palma africana tratada.



Anexo 6: Fotografía de placa 3 con fibra de palma africana tratada.





### ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-0432-1  
Hoja 01 de 01

Guilo, 29 de agosto de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: ISRAEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772180

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO  
PROCEDENCIA: HOLGIM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26  
NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO	
MUESTRA:	AGREGADO GRUESO
GRADACIÓN:	C
NUMERO DE ESFERAS:	8
PESO INICIAL (g):	5009,7
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g):	4830,80
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (g):	4069,70
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%)	3,57
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%)	18,76
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,19

**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.  
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo ABR22-008-1  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



ABR22-009-1

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0429-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

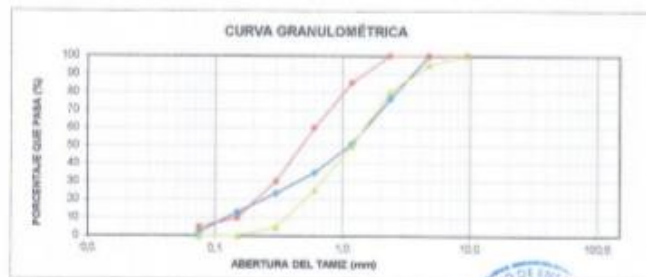
Razón social: ISAIEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0988772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contralista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: AGREGADO FINO  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-25  
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.750	3.1	0.2	0.2	99.8
No. 8	2.360	118.6	23.7	24.0	76.0
No. 16	1.180	124.7	25.0	49.0	51.1
No. 30	0.600	80.4	16.1	65.0	35.0
No. 50	0.300	58.3	11.7	76.7	23.3
No. 100	0.150	50.6	10.1	86.8	13.2
No. 200	0.075	53.0	10.7	97.6	2.4
BANDEJA	-	12.2	2.4	100.0	0.0
TOTAL		499.4			

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 del Laboratorio.  
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo GR-F-22-023-I  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976-300  
Ext.: 1609



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

INF. No. 22-026-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

**DATOS DEL CUENTE**

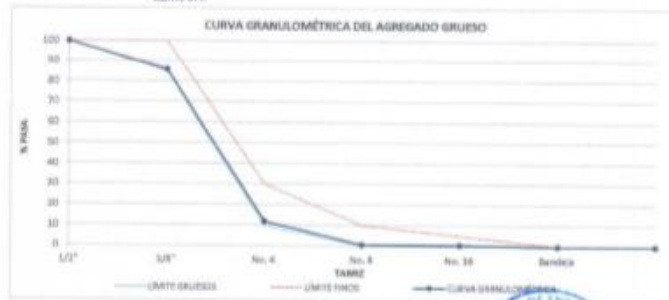
Razón social: ISRAEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0996772180

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: AGREGADO GRUESO  
PROCEDENCIA: HOLCM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-25  
NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		1000,00	Número de Tamaño		
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	QUE PASA (%)
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,50	141,8	14,2	14,2	85,8
No. 4	4,75	736,0	73,6	88,1	11,9
No. 6	2,36	111,7	11,2	99,3	0,7
No. 10	1,58	1,1	0,1	99,4	0,6
Bandaja	-	0,7	0,0	100,0	0,0
TOTAL		969,3	M. FINURA	0,0	

**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 arrojados bajo las condiciones en las que se recibieron.  
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo GR-Q-22-008-I.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



*[Firma]*  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Anexo 9: Ensayo de análisis granulométrico de agregado grueso.



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0441-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 14 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ISAIEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0986772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.6 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE MUESTRA: Agregado fino  
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-30  
NORMA: INEN 855



**OBSERVACIÓN:** La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items 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



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0445-1  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: ISABEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA, 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2022-09-13  
NORMA: ASTM C188

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

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	Peso inicial (g)	Volumen final (cm <sup>3</sup> )	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.4	321.3	19.8	377.3	0	2.89
2	0.5	321.6	18.6	373.4	0	2.86
PROMEDIO						2.87

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, marca, tipo de cemento y fecha de fabricación, 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 VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mecánica / Ofic. 1415 - Email: lemsur@epn.edu.ec

Anexo 11: Ensayo de densidad de cemento.





DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0448 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ISRAEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE CEMENTO: GU

FECHA DE ENSAYO: 2022-09-13

NORMA: \*\*\*

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm <sup>3</sup>	DENSIDAD COMPACTADA g/cm <sup>3</sup>
023-I-1	1	0.967	1.188

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de cemento, marca y descripción, 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



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



DENSIDAD APARENTE

INF, No. 22 - 0438-1  
Hoja 01 de 01

Quito, 2 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ISABEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE MUESTRA: INDICADO

FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
Muestra 1	Agregado fino	1670	35	1773	31
Muestra 2	Agregado grueso	1443	43	1519	40

**OBSERVACIÓN:** La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de 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



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0436-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 30 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ISRAEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772190

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE MUESTRA: INDICADO  
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26  
NORMA: ASTM C128-15 / ASTM C127-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
Muestra 1	Agregado fino	2.57	2.63	2.74	2.36
Muestra 2	Agregado grueso	2.54	2.61	2.73	2.65

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

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Anexo 14: Ensayo de abrasión y gravedad específica de agregados finos y gruesos.





COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

NP. No. 22 - 0483 /  
Página 01 de 01

**DATOS DEL CLIENTE**  
Razón social: ISABEL ALEXANDER CHANGO PILLO  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0998772180

Fecha: 19 de diciembre de 2022

**DATOS DEL PROYECTO**  
Propósito: ANÁLISIS DE FIBRACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INYECTADO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 2.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.  
Cuestión: ---  
Característica: ---  
Fluorescencia: ---  
ELEMENTO: LOSA  
NORMA: ASTM C39

Nº	IDENTIFICACIÓN	FECHA FUNDICIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (DÍAS)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (cm²)	FLECHA EXPEDICION (mm)	CARGA MÁX. (kg)	TPO DE FALLA	DEFECTOR	RESISTENCIA	
											(MPa)	(N/CM²)
1	871	2022-11-07	2022-12-06	28	100.76	7973	2040	160.1	1902.0	A	24.0	0.00
2	872	2022-11-07	2022-12-06	28	100.76	7973	2040	160.0	1902.0	A	23.8	0.00
3	873	2022-11-07	2022-12-06	28	101.95	8191	2270	161.9	1902.0	A	23.6	0.00
4	0781	2022-11-14	2022-12-14	28	101.90	8091	2110	162.3	1902.0	A	22.8	0.00
5	0782	2022-11-14	2022-12-14	28	101.90	8091	2080	158.2	1902.0	A	20.5	0.00
6	0784	2022-11-14	2022-12-14	28	101.76	8181	2180	163.0	1902.0	A	22.8	0.00

**TPO DE FALLA**

**Tipo 1:** Se ven en ambos extremos del cilindro. Se ven en los extremos del cilindro. Se ven en los extremos del cilindro.  
**Tipo 2:** Como una borra que cubre una parte del cilindro. Se ven en los extremos del cilindro.  
**Tipo 3:** Falta total o parcial de adherencia entre las fibras y el hormigón.  
**Tipo 4:** Falta de integridad en forma de fisura de corte, que puede ser de tipo diagonal o horizontal.  
**Tipo 5:** Falta de integridad en forma de fisura de tracción que puede ser de tipo longitudinal o transversal.  
**Tipo 6:** Falta de integridad en forma de fisura de tracción que puede ser de tipo longitudinal o transversal.

**DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS:** A = NINGUNO; B = SEGREGACIÓN; C = POROSIDAD; D = FIBRAS PREEXISTENTES; E = OTRA  
**OBSERVACIONES:** Todos los datos del Acta de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que nosotros no asumimos responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a las condiciones de ensayo en las condiciones en que se realizaron. Si existe falla y defectos corresponden a las especificaciones de la norma ASTM C39. Si el cliente del presente informe no puede reproducir la prueba de compresión en la escuela de LEMSUR.

*[Signature]*  
ING. JONATHAN VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 15: Ensayo de compresión de cilindros a los 28 días.



### FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXVIG-23-002-I  
Fecha de Informe: 2023-01-10

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Izael Alexander Chango Piro  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 0998772180

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis de flexión con corchete de arena inducido en placas de hormigón reforzado y fibras de palma africana 0.5 bajo tratamiento químico.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: Viga de hormigón simple  
NORMA DE REFERENCIA: INEN 2554

No.	Fecha de fábrica	Descripción	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección de rotura		Luz libre (mm)	Carga máxima (N)	Módulo de rotura (MPa)
					Ancho (mm)	Alto (mm)			
1	2022-11-22	SF-1	2022-12-20	28	104	100	300	13350	3,85
2	2022-11-22	SF-2	2022-12-20	28	102	103	300	14730	4,10
3	2022-11-22	SF-3	2022-12-20	28	102	100	300	15950	4,70
4	2022-11-22	CFT0.5-1	2022-12-20	28	97	102	300	12670	3,75
5	2022-11-22	CFT0.5-2	2022-12-20	28	103	101	300	13060	3,75
6	2022-11-22	CFT0.5-3	2022-12-20	28	105	102	300	14410	3,95

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente: tal como, siemprevé, fecha de fábrica y descripción, 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 total ni parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Anexo 16: Ensayo de flexión en vigas a los 28 días.



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



**INFORME No. CTP-ITI-2022-08-03**

**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 palma africana: sin tratamiento y con tratamiento


**TRABAJO SOLICITADO:**  
Determinar resistencia a la tracción y contenido de humedad.

**FECHA DE RECEPCION ORDEN DE TRABAJO:** 2022 / 10/ 05

**FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME:** 2022 / 10/ 17

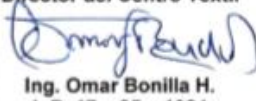
**NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO:** DQ-OT10012-2022

**Responsable del Centro Textil**

  
Ing. Hilda Trujillo A.



**Director del Centro Textil**

  
Ing. Omar Bonilla H.  
L.P. 17 - 05 - 1024

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@cpn.edu.ec](mailto:omar.bonilla@cpn.edu.ec); [hilda.trujillo@cpn.edu.ec](mailto:hilda.trujillo@cpn.edu.ec)

Anexo 17: Ensayo de palma africana tratada y sin tratar.



FIBRAS DE PALMA AFRICANA 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]	TiempoalBreak [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	9,24	0,0792	91,09	16,1	0,101
2	30	10,60	0,1555	88,48	31,6	0,122
3	30	8,56	0,1170	75,52	24,2	0,113
4	30	8,64	0,1543	77,31	31,6	0,112
5	30	6,36	0,0594	90,16	12,3	0,071
6	30	6,02	0,1008	76,22	21,4	0,079
7	30	7,93	0,1390	77,49	29,6	0,102
8	30	6,29	0,0506	76,81	10,6	0,082
9	30	9,08	0,1055	85,68	22,5	0,106
10	30	7,70	0,1113	72,97	23,4	0,105
11	30	7,69	0,1017	82,18	21,3	0,094
12	30	8,07	0,1250	96,76	25,6	0,083
13	30	6,97	0,0760	87,26	15,5	0,080
14	30	8,32	0,1236	83,07	25,4	0,100
15	30	10,40	0,0589	104,23	11,9	0,099
16	30	8,55	0,1142	87,92	23,1	0,097
17	30	9,13	0,0931	90,44	19,2	0,101
18	30	8,54	0,0699	110,24	14,5	0,077
19	30	11,20	0,1202	89,43	25,0	0,125
20	30	9,18	0,0646	106,27	13,3	0,086
21	30	7,30	0,0667	93,63	11,7	0,078
22	30	9,12	0,0537	96,33	10,8	0,095
23	30	6,47	0,0664	75,81	13,8	0,085
24	30	9,19	0,0895	93,90	18,4	0,098
25	30	7,51	0,0673	96,47	13,9	0,078
26	30	10,30	0,1081	87,34	22,1	0,118
27	30	7,31	0,0633	106,30	12,9	0,069
28	30	11,90	0,0832	96,08	17,0	0,124
29	30	9,77	0,1025	95,14	20,9	0,103
30	30	14,20	0,0993	101,70	20,3	0,140
31	30	9,99	0,0852	112,81	17,8	0,089
32	30	10,20	0,1278	77,36	26,3	0,132
33	30	10,10	0,0502	108,30	10,2	0,093
Media	30	8,85	0,0931	90,63	19,2	0,098
Desviación estándar	0	1,76	0,0300	11,23	6,2	0,020



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, Cádiz, España. Teléfonos: 2976 300 – 2938 780 Ext. 4305-4306-43-07  
E-mail: [omar.bonilla@cpn.edu.ec](mailto:omar.bonilla@cpn.edu.ec); [hilda.trujillo@cpn.edu.ec](mailto:hilda.trujillo@cpn.edu.ec)


Anexo 17: Ensayo de palma africana tratada y sin tratar.



FIBRAS DE PALMA AFRICANA SIN TRATAMIENTO

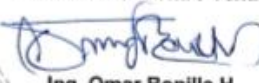
PROPIEDADES DETERMINADAS	NORMA	RESULTADOS
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	8,5 +/- 0,2

Responsable del Centro Textil

  
Ing. Hilda Trujillo A.



Director del Centro Textil

  
Ing. Omar Bonilla H.  
L.P. 17 - 05 - 1024

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 - 3918 780 Ext. 4305-4306-43-07  
E-mail: omar\_bonilla@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec

Anexo 17: Ensayo de palma africana tratada y sin tratar.





FIBRAS DE PALMA AFRICANA 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]	TiempoalBreak [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	10,10	0,17536	103,7	35,50	0,097
2	30	4,66	0,14434	35,6	29,00	0,131
3	30	11,50	0,16683	128,3	38,00	0,090
4	30	7,67	0,14820	100,0	29,90	0,079
5	30	7,79	0,20292	77,4	41,20	0,101
6	30	20,70	0,23177	117,1	46,70	0,177
7	30	8,44	0,10752	105,8	21,70	0,080
8	30	3,81	0,08290	50,1	16,90	0,076
9	30	9,79	0,19118	95,2	39,00	0,103
10	30	10,20	0,12049	106,8	24,30	0,095
11	30	3,82	0,16797	38,8	37,80	0,099
12	30	3,62	0,07971	56,4	16,10	0,064
13	30	4,83	0,17377	24,8	34,90	0,195
14	30	5,06	0,16163	66,8	32,70	0,076
15	30	5,12	0,09716	34,7	19,70	0,148
16	30	6,09	0,13564	67,7	27,40	0,090
17	30	6,50	0,19039	59,8	38,80	0,109
18	30	5,36	0,16990	45,8	34,50	0,117
19	30	4,28	0,11490	61,1	23,00	0,070
20	30	4,05	0,07915	61,5	16,00	0,066
21	30	4,17	0,14358	45,8	28,90	0,091
22	30	5,77	0,16001	62,4	32,20	0,092
23	30	3,39	0,14911	54,9	29,80	0,062
24	30	4,11	0,13841	49,2	27,70	0,084
25	30	4,56	0,17706	20,8	35,40	0,219
26	30	3,72	0,03704	43,5	7,45	0,085
27	30	5,31	0,16668	40,2	33,50	0,132
28	30	4,65	0,15232	59,6	31,20	0,078
29	30	5,36	0,23414	56,8	46,90	0,094
30	30	4,62	0,15784	52,3	31,80	0,088
31	30	3,95	0,13253	59,9	26,60	0,066
32	30	5,42	0,20397	43,2	41,10	0,125
33	30	4,42	0,15514	54,9	31,30	0,080
Media	30	6,15	0,15120	63,1	30,50	0,102
Desviación estándar	0	3,39	0,04000	27,0	8,97	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.

Dirección: Andalucía N22-441 y Yumbilla • Telefonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07  
E-mail: osmar.hortelano@cpqn.edu.ec; hildia.trujillo@cpqn.edu.ec

Anexo 17: Ensayo de palma africana tratada y sin tratar.



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



**INFORME No. CTP-ITI-2022-10-03**

**Página 5 de 5**

**FIBRAS DE PALMA AFRICANA CON TRATAMIENTO**

<b>PROPIEDADES DETERMINADAS</b>	<b>NORMA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	10,7 +/- 2,1

**Responsable del Centro Textil**

*Hilda Trujillo A.*  
**Ing. Hilda Trujillo A.**



**Director del Centro Textil**

*Omar Bonilla H.*  
**Ing. Omar Bonilla H.  
L.P. 17 - 05 - 1024**

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@cpn.edu.ec](mailto:omar.bonilla@cpn.edu.ec); [hilda.trujillo@cpn.edu.ec](mailto:hilda.trujillo@cpn.edu.ec)

Anexo 17: Ensayo de palma africana tratada y sin tratar.