

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% Y 075% CON Y SIN TRATAMIENTO
QUÍMICO**

**HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS NATURALES 0.75% SIN
TRATAMIENTO QUÍMICO**

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

JOHNNY ALEXANDER MACIAS MOLINA

joh972010@hotmail.com

DIRECTOR: ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ, MSc.

nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, JOHNNY ALEXANDER MACIAS MOLINA 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.



JOHNNY ALEXANDER MACIAS MOLINA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JOHNNY ALEXANDER MACIAS MOLINA, bajo mi supervisión.



ING. NICOLAY YANCHAPANTA, MSc.
DIRECTOR

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.

JOHNNY ALEXANDER MACIAS MOLINA

ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ, MSc.

DEDICATORIA

No tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud a mis padres por todo lo que han hecho por mí a lo largo de los años. Su amor, apoyo y dedicación han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito académico.

Este trabajo no habría sido posible sin su aliento constante y su fe inquebrantable en mí. Gracias por creer en mis sueños y ayudarme a alcanzarlos. Siempre estaré agradecido por su amor incondicional y su sacrificio.

Dedicaré este trabajo a ustedes, en reconocimiento a todo lo que han hecho por mí. Espero que esta sea una pequeña muestra de mi gratitud por todo lo que han hecho por mí. Los amo mucho y les agradezco por ser los mejores padres del mundo.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, les agradezco por su amor y apoyo incondicional. Ustedes siempre han sido mi roca y mi fuente de fortaleza en momentos de dificultad. Gracias por inculcarme valores sólidos y por enseñarme la importancia del trabajo duro y la perseverancia.

A mis profesores, les agradezco por compartir sus conocimientos y habilidades conmigo, y por inspirarme a desafiarme a mí mismo. Gracias por su dedicación a la educación y por creer en mí incluso cuando yo mismo no lo hacía.

A mi tutor Ing. Nicolay Yanchapanta por haberme guiado durante la realización de este trabajo.

A todos ustedes, les agradezco por ser parte de mi viaje y por ayudarme a llegar hasta aquí. Este trabajo no habría sido posible sin su influencia y apoyo. Espero que esta sea una pequeña muestra de mi gratitud hacia ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Hormigón simple.....	3
1.4.2 Agrietamiento en el hormigón	7
1.4.3 Fibras naturales.....	9
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Caracterización de materiales pétreos	14
2.1.1 Cemento.....	14
2.1.2 Agregado grueso	17
2.1.3 Agregado Fino	28
2.2 Fibra de raquis de palma africana	33
2.2.1 Adquisición del raquis de palma	33
2.2.2 Extracción de fibras	34
2.2.3 Corte de fibras	35
2.2.4 Ensayos a las fibras de palma africana.....	35
2.3 Tipología y numero de probetas.....	37
2.4 Dosificaciones de hormigón	38
2.4.1 Hormigón patrón.....	38
2.4.2 Hormigón con fibra de palma africana	43
2.5 Elaboración de especímenes	44

2.5.1	Placas.....	45
2.5.2	Cilindros	45
2.5.3	Vigas	46
2.5.4	Desencofrado y curado de probetas	47
2.6	Ensayo de especímenes	47
2.6.1	Ensayos de compresión en cilindros.....	47
2.6.2	Ensayos de flexo tracción en vigas.....	48
2.7	Ensayos en placas	51
2.7.1	Condiciones controladas del túnel	52
2.7.2	Medición de fisuras.....	53
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
3.1	Resultados.....	56
3.1.1	Fibra de raquis de palma africana.....	56
3.1.2	Dosificación	56
3.1.3	Medición de fisuras.....	58
3.1.4	Ensayo de resistencia a la compresión.....	60
3.1.5	Ensayo de resistencia a la flexión.....	62
3.2	Conclusiones	63
3.3	Recomendaciones	64
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
5	ANEXOS	67
	ANEXO I	67
	ANEXO II	68
	ANEXO III	69
	ANEXO IV.....	70
	ANEXO V.....	71
	ANEXO VI.....	72
	ANEXO VII.....	73
	ANEXO VIII.....	74
	ANEXO IX.....	75
	ANEXO X.....	78
	ANEXO XI.....	81
	ANEXO XII.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos principales del cemento portland.....	4
Tabla 2. Tamaño muestral para el ensayo del agregado grueso	18
Tabla 3. Requisitos de gradación para árido grueso	19
Tabla 4. Cantidad mínima de agregado para el ensayo.....	22
Tabla 5. Capacidades de los moldes para ensayo	23
Tabla 6. Gradación de las muestras de ensayo	25
Tabla 7. Carga abrasiva en función de la gradación de la muestra.....	26
Tabla 8. Escala para comparación de color normalizado.....	33
Tabla 9. Cantidad y tipología de probetas a ensayar.....	38
Tabla 10. Características agregados grueso y fino.....	38
Tabla 11. Características cemento GU.....	38
Tabla 12. Agua inicial de mezclado.....	39
Tabla 13. Relación agua-cemento.....	40
Tabla 14. Volumen aparente de agregado grueso.....	40
Tabla 15. Resumen de dosificación provisional	42
Tabla 16. Dosificación final de hormigón patrón.....	43
Tabla 17. Velocidades en el túnel.....	52
Tabla 18. Propiedades de la fibra de palma africana.....	56
Tabla 19. Dosificación para placas sin fibra	56
Tabla 20. Dosificación para las placas con adición de 0.75% de fibra.....	57
Tabla 21. Dosificación para cilindros sin fibras.....	57
Tabla 22. Dosificación para vigas sin fibra	57
Tabla 23. Dosificación para cilindros con 0.75% de fibra.....	58
Tabla 24. Dosificación para vigas con 0.75% de fibra	58
Tabla 25. Longitud de fisuras	58
Tabla 26. Profundidad de fisuras medidas con ultrasonido	60
Tabla 27. Peso específico.....	60
Tabla 28. Resistencia de cilindros	61
Tabla 29. Resistencia de cilindros	61
Tabla 30. Carga máxima soportada en vigas	62
Tabla 31. Módulo de rotura en vigas.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grietas de contracción plástica en hormigón fresco.	7
Figura 2. Grietas térmicas en losa gruesa.	8
Figura 3. Clasificación de fibras naturales.	10
Figura 4. Composición química de los componentes de palma de aceite.....	11
Figura 5. Fibras de palma africana.	12
Figura 6. Máquina de ensayo universal, MTS BIONIX, con muestra de prueba.	12
Figura 7. Cemento Holcim Tipo GU.....	14
Figura 8. Frasco de Le Chatelier con muestra de cemento.....	15
Figura 9. Agregado grueso adquirido.....	17
Figura 10. Ensayo de abrasión en laboratorio LEMSUR.....	27
Figura 11. Agregado fino adquirido.....	28
Figura 12. Secuencia de tamices para ensayo.....	28
Figura 13. Proceso para la obtención de la densidad relativa en agregado fino.....	30
Figura 14. Realización del ensayo químico.....	32
Figura 15. Extractora "Rio Manso".....	33
Figura 16. Recolección de racimos de palma.....	34
Figura 17. Extracción manual de las fibras.....	34
Figura 18. Corte de fibras de palma.....	35
Figura 19. Preparación de las fibras para su caracterización.....	36
Figura 20. Fibra sumergida en agua.....	44
Figura 21. Mezcla de hormigón con fibras.....	44
Figura 22. Placa de hormigón en molde de madera.....	45
Figura 23. Probetas cilíndricas.....	46
Figura 24. Elaboración de vigas.....	46
Figura 25. Probetas en tanque de curado.....	47
Figura 26. Equipo para compresión de cilindros.....	48
Figura 27. Equipo para flexión de vigas.....	49
Figura 28. Esquema de equipo para flexión de vigas.....	49
Figura 29. Detalle de tunel de viento.....	51
Figura 30. Fisuración generada en la placa.....	53
Figura 31. Equipo de ultrasonido.....	54
Figura 32. Esquema de medición.....	55
Figura 33. Esquema de medición para distancias variables.....	55
Figura 34. Comparativa entre placas.....	59
Figura 35. Longitudes promedio de fisuras por placa.....	59
Figura 36. Cilindros de hormigón con fibra posterior al ensayo.....	62
Figura 37. Vigas con fibra ensayadas a flexión.....	62

RESUMEN

Esta investigación examina cómo la contracción plástica que se produce en placas de hormigón debido al secado acelerado afecta su fisuración. Se utilizan placas con diferentes niveles de fibra de raquis de palma africana (0% y 0.75%) en su estado natural para evaluar su impacto. La inclusión de esta fibra es una estrategia potencial para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, pero es necesario evaluar su efecto sobre la fisuración en condiciones de secado acelerado.

La adquisición de las fibras se realizó a una empresa dedicada a la extracción de aceite de palma, fue necesario limpiarlas superficialmente y cortarlas según la norma ACI 544.4R18 (2018), que especifica que la longitud ideal de las fibras de origen natural es de aproximadamente 4 cm. Todas las etapas del proceso se desarrollaron en el laboratorio de hormigones de la FICA, para poder evaluar la fisuración se ensayó una muestra de 2 tipos de placas, para cada una de estas dosificaciones se elaboraron 3 vigas y 3 cilindros que fueron probadas después de 28 días de curado para determinar el comportamiento a flexión y compresión de cada una de las mezclas.

Con el fin de crear un ambiente simulado que favorezca la formación temprana de grietas y recolectar datos de temperatura, velocidad del viento y registro fotográfico, se realizó el ensayo de la placa en una cámara de viento que acelere aire caliente a una velocidad determinada con la ayuda de un calefactor y un ventilador. Usando un equipo de ultrasonido, se calculó la profundidad de las grietas, así como la longitud total de las grietas, que se determinó midiendo el proceso de agrietamiento empleando el registro fotográfico.

La adición de 0,75% de fibras de raquis de palma africana ha demostrado tener un efecto limitado en la mejora de las propiedades mecánicas, pero ser efectiva en reducir la formación de fisuras en la capa superficial del hormigón. En las pruebas realizadas, se observó una significativa disminución de las fisuras en las placas, pasando de un total de 5,57 m en las placas sin fibras a 1,71 m con la adición de 0,75% de fibras.

PALABRAS CLAVE: fisuración, fibra de raquis de palma africana, propiedades mecánicas, hormigón, secado acelerado, placas.

ABSTRACT

This research examines how plastic shrinkage caused by accelerated drying of concrete plates affects their cracking. Plates with different levels of African palm rachis fiber (0% and 0.75%) in their natural state are used to assess their impact. The inclusion of this fiber is a potential strategy to improve the mechanical properties of concrete, but its effect on cracking under accelerated drying conditions needs to be evaluated.

The acquisition of the fibers was made from a palm oil extraction company, it was necessary to clean them superficially and cut them according to the ACI 544.4R18 (2018) standard, which specifies that the ideal length of fibers of natural origin is approximately 4 cm. The whole process was carried out in the concrete laboratory of the FICA, in order to evaluate the cracking, a sample of 2 types of plates was tested, for each of these dosages 3 beams and 3 cylinders were elaborated that were tested after 28 days of curing to determine the bending and compression behavior of each of the mixtures.

In order to create a simulated environment that favors the early formation of cracks and collect temperature data, wind speed and photographic record, the plate was tested in a wind chamber that accelerates hot air to a certain speed with the help of a heater and a fan. Using ultrasound equipment, the depth of the cracks was calculated, as well as the total length of the cracks, which was determined by measuring the cracking process using the photographic record.

The addition of 0.75% African palm rachis fibers has been shown to have a limited effect on improving mechanical properties but been effective in reducing cracking on the concrete surface. In the tests carried out, a significant decrease in the cracks in the plates was observed, going from a total of 5.57 m in the plates without fibers to 1.71 m with the addition of 0.75% of fibers.

KEY WORDS: cracking, African palm rachis fiber, mechanical properties, concrete, accelerated drying, plates.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Debido a su naturaleza rígida, la estructura de hormigón es extremadamente resistente y capaz de soportar cargas pesadas, pero también es frágil. Los cambios volumétrico en el hormigón pueden resultar en el desarrollo de grietas debido a una serie de factores, que incluyen la contracción, la exposición a sustancias químicas y las tensiones térmicas durante las fases subsiguientes.

Por esta razón, el objetivo es disminuir las grietas que por lo general aparecen a una edad temprana, son visibles al día siguiente del vertido o al menos al finalizar la primera semana, y generalmente permanecen ocultas hasta que la superficie húmeda comienza a secarse. Dado que permiten el paso libre de sustancias peligrosas que pueden provocar un deterioro prematuro y una reducción de la vida útil de la estructura, las grietas en la superficie del hormigón pueden suponer una grave amenaza para la durabilidad.

Este estudio se centra en analizar la retracción por secado, la cual ocurre cuando la pasta cementicia pierde humedad y se contrae en un porcentaje que puede llegar hasta el 1% (según el ACI 224, 2001). La superficie expuesta de las estructuras de hormigón experimenta esfuerzos de tracción como resultado de este tipo de contracción diferencial por secado, lo que puede provocar la aparición de grietas.

Durante los últimos años, el uso de fibras para reforzar el hormigón ha ganado importancia en la construcción de infraestructuras de ingeniería civil. En este contexto, se está considerando la posibilidad de utilizar fibra natural de palma africana para reducir la formación de fisuras en secciones con grandes áreas, debido a que la elección de fibras adecuadas es un factor determinante en el desarrollo de estas.

Como consta en múltiples investigaciones que el uso de aditivos para la reducción de la contracción (SRA) y fibras sintéticas son efectivos para reducir el peligro de agrietamiento durante la contracción por secado y aumentar la resistencia a la tracción que producen agrietamiento. No obstante, el costo de las fibras sintéticas puede ser elevado, por lo que el empleo de fibras naturales se considera una opción más económica y con propiedades beneficiosas, lo cual ha sido demostrado en investigaciones previas.

Se requiere que las placas cumplan con las especificaciones de granulometría para alcanzar una resistencia mínima de 210 kgf/cm² con su correspondiente complemento de fibra natural. Se requiere un mínimo de tres muestras para cada supuesto con el fin de visualizar los resultados.

1.1 Objetivo general

Evaluar la fisuración resultante por retracción plástica en placas de hormigón reforzadas con fibras del raquis de palma africana sometidas a corrientes de aire inducido.

1.2 Objetivos específicos

1. Generar placas de hormigón con dosificación cementicia en la que se incluya el 0,75% en masa de fibra del raquis de palma africana, las cuales se someterán a corrientes de aire a altas temperaturas.
2. Determinar las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de palma africana a través de la fabricación de cilindros y vigas, mediante ensayos a compresión y flexión a los 28 días respectivamente.
3. Analizar y comparar el agrietamiento generado en las placas de hormigón con fibras naturales, con la finalidad de obtener resultados que evidencien la efectividad de la adición de fibras de palma africana.

1.3 Alcance

Con este trabajo de integración curricular se pretende evaluar la reducción del agrietamiento causado por retracción plástica en losas de hormigón incorporando fibras de palma africana en la mezcla cementicia.

Se generarán diseños de dosificaciones que cumplan con resistencias de 210 kgf/cm², con las cuales se elaborarán probetas tipo losa, cilíndricas y prismáticas, las cuales serán ensayadas, obteniendo así las propiedades mecánicas de cada una. Las placas de hormigón serán sometidas a aire inducido para generar una rápida exudación del agua presente en la mezcla y así lograr generar agrietamiento en las diferentes tipologías, como son placas de hormigón patrón sin fibra y placas con adición de fibra al 0.75% en masa del agregado grueso.

Del trabajo de titulación de Amaguaña y Guamán, 2022, "ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO" se empleará la metodología aplicada, en donde se detallan los parámetros para realizar los ensayos de inducción de aire en las placas de hormigón y lograr generar su agrietamiento.

1.4 Marco teórico

En la presente sección se ampliarán los conceptos claves para el desarrollo de este trabajo, mediante la recopilación bibliográfica de los mismos.

1.4.1 Hormigón simple

El hormigón simple está conformado por varios componentes ya sea en una fábrica o en el sitio a partir de: cemento hidráulico, agua, varios materiales granulares como arena, grava y también se pueden incluir aditivos diseñados para modificar sus propiedades en condiciones frescas de la mezcla (aditivos retardantes, acelerantes, plastificantes, etc.) o aditivos diseñados para modificar propiedades en su estado curado (inclusor de aire, etc.). Las propiedades aportadas a este material varían dependiendo de los requerimientos de las diferentes obras y elementos en los que se emplea. Una correcta dosificación consiste en encontrar los componentes y proporciones que cumplan con ciertos requisitos. Todo ello debe hacerse teniendo en cuenta que el hormigón es un material muy utilizado, precautelando que su costo no sea muy elevado y considerando que se instala en condiciones ambientales cambiantes. [1]

1.4.1.1 Cemento

El cemento Portland es un polvo de tonalidad verdosa que tiene una textura muy fina. Al ser combinado con agua, se convierte en una masa maleable y plástica, que fraguado y endurecido, adquiere una gran durabilidad y resistencia. [2]

El cemento hidráulico endurece y fragua al reaccionar químicamente con el agua. En un proceso de reacción llamado hidratación, el cemento en combinación con agua forma una sustancia llamada pasta. Si a esta pasta se le añaden áridos u otros materiales granulares, la pasta actúa como aglutinante y une los áridos en el hormigón. Este es uno de los materiales de construcción más resistente y usado en el mundo. [3]

1.4.1.1.1 Clasificación y tipos de cementos

En concordancia con lo estipulado en la NTE INEN 152:2012 Cemento Portland. Requisitos., el cemento portland tiene la siguiente clasificación:

Tipo I: Cemento Portland Común, para uso general cuando no se requieren propiedades especiales.

Tipo II: Para uso general y para resistir moderadamente a la acción de los sulfatos.

Tipo III: Cemento Portland de Alta Resistencia Temprana, para estructuras con cargas tempranas o cuando se necesita resistencias iniciales elevadas.

Tipo IV: Cemento Portland de Bajo Calor de Hidratación, para estructuras de secciones gruesas o cuando se requiere un control estricto del calor generado durante el fraguado.

Tipo V: Para estructuras expuestas a la acción de sulfatos y para aplicaciones marítimas.

Además, la NTE INEN 2380:2011 determina una clasificación definida por el desempeño de los diferentes tipos de cementos que son:

Tipo GU. Se utiliza en construcciones que no requieren la utilización de tipos de cementos especiales.

Tipo HE. Cemento que proporciona resistencias iniciales altas.

Tipo MS. Tipo de cemento que presenta resistencia a los sulfatos en grado moderado.

Tipo HS. Formulado con una combinación de componentes específicos que lo hacen altamente resistente a los sulfatos.

Tipo MH. Diseñado para controlar la liberación de calor y minimizar efectos no deseados.

Tipo LH. Reducción significativa en la generación de calor durante el proceso de fraguado y endurecimiento del cemento.

1.4.1.1.2 Composición química del cemento

Las diferentes propiedades y características del cemento están determinadas por su composición química, durante su fabricación los principales componentes como son el óxido de hierro, el óxido de aluminio, la cal y la sílice interactúan en grandes hornos formando compuestos químicos complejos. [4]

Tabla 1. Compuestos principales del cemento portland.

Compuesto	Fórmula química	Fórmula común	Rango usual en peso (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	45-60
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15-30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	6-12
Aluminoferrita tetracálcica	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	6-8

La industria cementera suele utilizar una notación abreviada para las fórmulas químicas: C = óxido de calcio, S = dióxido de silicio, A = óxido de aluminio y F = óxido de hierro.

Fuente: Mamlouk y Zaniewski (2009)

Elaborado por: Macias Johnny

1.4.1.2 Agregados

La influencia de los agregados en las propiedades del hormigón afecta significativamente no solo el acabado y propiedades finales del hormigón, también se ve comprometida la trabajabilidad y consistencia en estado plástico, así como la durabilidad, propiedades de plasticidad y resistencia al calor, además de variaciones de volumen y peso unitario del hormigón en estado endurecido. [2]

No se puede subestimar lo importante que es utilizar el tipo y la calidad correcta de agregados. Los áridos finos y gruesos constituyen aproximadamente del 60 a 75 por ciento por volumen (70 a 85 por ciento por masa) de hormigón y tiene un efecto importante en sus propiedades tanto en estado fresco como en su fase endurecida, en la dosificación de la mezcla y economía del hormigón. [3]

Los áridos de tipo silíceo (grava y arena de río o de cantera) y los producidos por trituración de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o calizas duras y densas deben preferirse en ambientes agresivos. Las rocas sedimentarias comunes (calizas, dolomitas, etc.) y las rocas volcánicas sueltas (piedra pómez, toba, etc.) deben ser examinadas previamente. [5]

Para un mejor uso en ingeniería, los agregados deben cumplir con una lista de requisitos, los cuales abarcan, estar libres de partículas finas, recubrimientos de arcilla, químicos adsorbidos y otros materiales que puedan tener un impacto en la hidratación y la adhesión de la pasta de cemento. [3]

Los granos de diferentes materiales granulares involucrados en la composición del hormigón tienen formas muy diferentes. Algunos son esféricos, como los humos de sílice, algunos son angulares, como el agregado triturado, y algunos son redondos, como las partículas de agregado redondas formadas a partir de depósitos aluviales. Las características del hormigón están muy influenciadas por la forma de los granos, particularmente la compacidad de la mezcla granular y la fluidez del hormigón cuando aún está fresco. [1]

1.4.1.2.1 Agregado fino

Aproximadamente el 40% de las mezclas de hormigón contiene agregados finos los cuales les da a la mezcla trabajabilidad, textura e influye en la cantidad de aire; se compone de polvo de piedra (producto triturado obtenido durante el proceso de extracción de piedra en canteras) o arena natural; las partículas menores a 0.3 mm las cuales atraviesan las ránulas del tamiz N° 50, son las que influyen directamente en las propiedades de la mezcla. [6]

Dentro de los agregados finos se encuentran las arenas sobre las cuales se deben tomar en cuenta dos factores: primero, el módulo de finura (MF), y segundo, la continuidad en los tamaños teniendo esto en cuenta se pueden tener módulos de finura aceptables (entre 2.2 y 3.1). Si se considera solo el módulo de finura, surgen dos inconvenientes: se da el caso de que el módulo de finura sea superior a 3,1 (arena gruesa), lo que puede provocar que la mezcla tenga poca trabajabilidad, falta de cohesión y se necesite un mayor contenido de cemento para mejorarla; otro caso es cuando el módulo de finura es inferior a 2,2 (arena fina), en este caso el hormigón puede tener aspecto desmenuzable y para una resistencia requerirse un mayor consumo de agua y cemento, en este tipo de mezclas se presenta con mayor regularidad agrietamientos por contracción plástica. [7]

1.4.1.2.2 Agregado grueso

Estos son productos de rocas clasificadas por su origen como: metamórficas, sedimentarias o ígneas, y los procesos de obtención incluyen la extracción a través de minas, ríos, lagos o lechos marinos; triturando y tamizando el material; suelen ser partículas partir de 9,5mm hasta de 37,5mm. [6]

La economía del hormigón se ve directamente afectada por la selección adecuada de la granulometría del árido grueso; el uso de un árido con un tamaño máximo más pequeño requiere más agua y cemento para lograr un volumen dado que un agregado con un mayor tamaño debido al aumento en el área de superficie total. Sin embargo, al igual que con los hormigones de resistencias altas, se puede conseguir una mayor resistencia reduciendo el máximo tamaño del árido. La elección del material granular también depende de factores como la resistencia de las partículas del árido, la adherencia del cemento y la resistencia relativa de la pasta de cemento. [6]

1.4.1.3 Agua

Para la elaboración del hormigón, cualquier tipo de agua potable se puede emplear. Así como algunas variedades de agua no potable también podrían ser aptas para su uso dentro de una mezcla de hormigón. Se pueden obtener agua cruda de superficie o de pozo por menos dinero que el agua procesada, los proveedores no calificados con frecuencia optarán por usar esta agua ya que les representa más ingresos. El tiempo de fraguado, la resistencia y la durabilidad a largo plazo del hormigón pueden verse afectados por la impureza del agua de la mezcla. Adicionalmente, la presencia de iones de cloruro en el agua utilizada puede propiciar la corrosión de las armaduras de acero. [4] Para Ecuador la Norma NTE INEN 1108:2020, Agua potable. Requisitos, detalla los parámetros que debe cumplir el agua de amasado para obtener resultados óptimos.

1.4.2 Agrietamiento en el hormigón

El agrietamiento en el hormigón es un problema común que puede ocurrir por diferentes razones. Los tipos de agrietamiento pueden variar, así como las causas; desde problemas estructurales hasta factores ambientales. Para comprender las causas del agrietamiento en el hormigón, es importante comprender primero los tipos de agrietamiento que pueden ocurrir.

Un tipo común de agrietamiento es el agrietamiento por contracción plástica. Esto ocurre en el momento que el hormigón todavía está en su estado plástico, antes de que se haya endurecido. Estas grietas son típicamente poco profundas y ocurren en la superficie del hormigón. Son ocasionadas por una pérdida acelerada del agua de la mezcla de hormigón durante el proceso de curado, que puede deberse a altas temperaturas o baja humedad. El agrietamiento por contracción plástica es causado por la rápida evaporación del agua mezclada de la superficie del hormigón recién colocado, lo que lleva a una pequeña reducción en el volumen y un aumento en la tensión superficial. [8]



Figura 1. Grietas de contracción plástica en hormigón fresco.

Fuente: PCA (2018)

Otro tipo de agrietamiento es el agrietamiento por contracción de secado. Esto ocurre después de que el hormigón se ha endurecido, ya que el hormigón se seca y pierde humedad. Estas grietas son típicamente más profundas y pueden ocurrir en toda la estructura de hormigón. Pueden ser causadas por la deficiencia de curado o la falta de juntas de expansión en la estructura de hormigón. El agrietamiento por contracción por secado se debe a la pérdida de humedad del hormigón que conduce a la contracción de la estructura de hormigón. [9]

Un tercer tipo de agrietamiento es el térmico. Esto ocurre cuando el hormigón está expuesto a cambios de temperatura que hacen que se expanda y contraiga. Estas grietas pueden ocurrir tanto en el estado plástico como endurecido del hormigón. Pueden ser causadas por cambios de temperatura debido al clima o al uso de sales de deshielo en superficies de hormigón. El agrietamiento térmico es el agrietamiento causado por los cambios de temperatura y la expansión o contracción resultante del hormigón. [10]



Figura 2. Grietas térmicas en losa gruesa.

Fuente: NRMCA (s.f.)

Finalmente, también hay grietas causadas por cargas externas. Este tipo de agrietamiento ocurre cuando la estructura de hormigón es sometida a cargas que exceden su capacidad. Estas grietas pueden ocurrir tanto en el estado plástico como endurecido del hormigón. Pueden ser causados por cargas excesivas del tráfico o el diseño inadecuado de la estructura de hormigón. El agrietamiento relacionado con la carga es causado por la imposibilidad de las estructuras de hormigón para soportar las cargas que se les imponen. [11]

1.4.2.1 Agrietamiento por contracción plástica

Una de las principales causas del fisuramiento por contracción plástica es la rápida evaporación del agua mezclada de la superficie del hormigón en condición fresca. Esta rápida pérdida de agua conduce a un incremento de la tensión superficial y una disminución del volumen. Según "Properties of Concrete" de A.M. Neville (1995), "la tasa de evaporación es el factor crucial en el desarrollo de grietas plásticas por contracción". Las altas temperaturas y la baja humedad pueden exacerbar este proceso y aumentar la probabilidad de agrietamiento por contracción plástica. [12]

Otra causa del agrietamiento por contracción plástica es el uso de mezclas de hormigón mal proporcionadas. Las mezclas de hormigón que tienen una mayor proporción de agua-cemento tendrán una mayor susceptibilidad al agrietamiento por contracción plástica. Según "Concrete Technology" de A.M. Neville y J.J. Brooks (2016), "una alta proporción de agua-cemento en la mezcla aumentará el riesgo de agrietamiento por contracción plástica". [13]

Para evitar la fisuración por contracción plástica, hay varias medidas que se pueden tomar. Una de las medidas más efectivas es reducir la tasa de evaporación de la superficie del hormigón. Esto se puede hacer aplicando un compuesto de curado, rociando la superficie del hormigón o cubriéndola con una lámina de polietileno. Según "Design and Control of Concrete Mixtures" de PCA, "curar el hormigón inmediatamente después de colocar y terminar reducirá la tasa de evaporación del agua, reduciendo así el potencial de agrietamiento por contracción plástica" (2018). [14]

Otra medida que se puede tomar para evitar el agrietamiento por contracción plástica es proporcionar adecuadamente la mezcla de hormigón. Esto se puede hacer reduciendo la proporción agua-cemento y aumentando la cantidad de agregado fino en la mezcla. Según "Concrete Technology" de A.M. Neville y J.J. Brooks, "una menor relación agua-cemento disminuirá el potencial de agrietamiento por contracción plástica" (2016). [13]

1.4.3 Fibras naturales

Las fibras naturales son fibras derivadas de plantas, animales y minerales que se han utilizado durante años para diversas aplicaciones industriales y domésticas. Estas fibras se han clasificado en varias categorías en función de su origen, propiedades físicas y composición química.

La primera clasificación de las fibras naturales se basa en su origen. La clasificación más común es fibras vegetales, animales y minerales. Las fibras vegetales se obtienen de plantas como el algodón, el lino, el yute y el cáñamo. Las fibras animales se obtienen del pelaje de los animales como la lana y la seda. Las fibras minerales se obtienen de minerales como el amianto y las fibras de vidrio. [15]

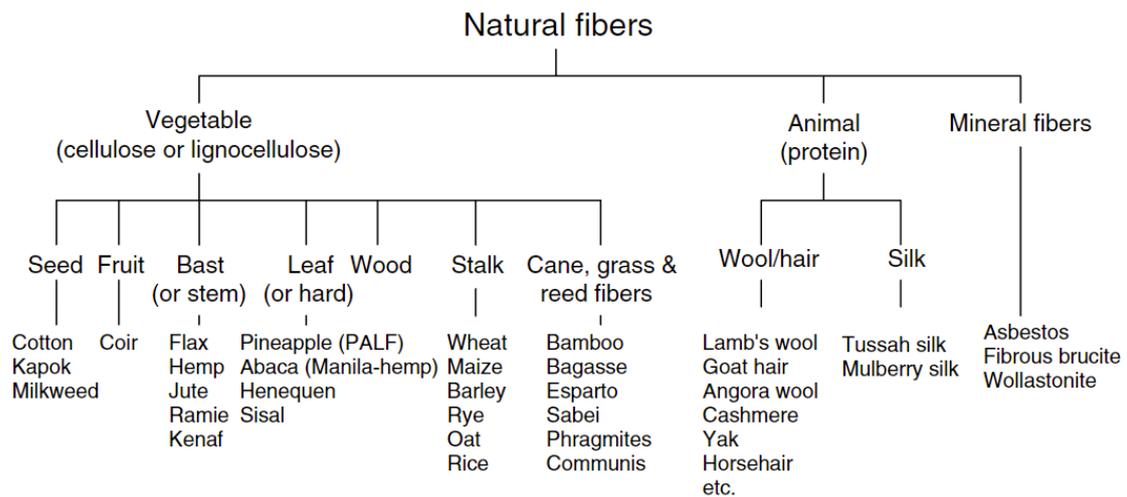


Figura 3. Clasificación de fibras naturales.

Fuente: Mohanty A., et al (2005)

La segunda clasificación de las fibras naturales se basa en sus propiedades físicas. La clasificación más común se basa en la longitud, el diámetro y la flexibilidad de las fibras. Las fibras largas se utilizan normalmente en el hilado de hilados, mientras que las fibras cortas se utilizan en compuestos y productos no tejidos. Las características mecánicas de las fibras dependen en gran medida de su diámetro. Las fibras con un diámetro grande suelen ser más fuertes y rígidas, mientras que las fibras con un diámetro pequeño suelen ser más débiles y flexibles. [16]

La tercera clasificación de las fibras naturales se basa en su composición química. Las fibras naturales están compuestas de celulosa, lignina, hemicelulosas y pectina. La celulosa es el componente más importante de las fibras naturales, y es responsable de la resistencia y el módulo de las fibras. La lignina es responsable de la rigidez y resistencia a la humedad de las fibras. Las hemicelulosas y la pectina son responsables de la flexibilidad y ductilidad de las fibras. [15]

Chemical Composition of Oil Palm Components

Plant Fiber	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Extractives (%)
EFB	47.9	17.1	24.9	3.7
OPF	42.2	26.4	22.3	3.3
Coir	47.3	15.2	31.4	4.2
Flax	73.8	13.7	24.9	1.7
Jute	69.7	12.6	13.8	2.2

Source: From Khalil, H.P.S. and Rozman, H.D., *Polym.-Plast. Technol. Eng.*, 39, 757, 2000. With permission.

Figura 4. Composición química de los componentes de palma de aceite.

Fuente: Mohanty A., et al (2005)

La cuarta clasificación de las fibras naturales se basa en sus características superficiales. Las características superficiales de las fibras naturales son importantes porque afectan la adhesión y la cohesión entre las fibras dentro de la matriz. Las fibras naturales se pueden clasificar como lisas o rugosas en función de sus características superficiales. Las fibras lisas tienen una superficie suave y uniforme, mientras que las fibras rugosas tienen una superficie irregular. [17]

1.4.3.1 Fibras de palma africana

Las fibras de raquis de palma africana, también conocidas como fibras de raquis de palma aceitera, son fibras obtenidas del tallo del árbol de palma aceitera africana (*Elaeis guineensis*). Estas fibras se han utilizado tradicionalmente en la industria de la construcción como material de refuerzo para hormigón y otros materiales de construcción. Sin embargo, la investigación ha demostrado que estas fibras poseen muchos otros usos potenciales, como en la producción de biocompuestos, papel y textiles. [18]



Figura 5. Fibras de palma africana.

Fuente: Apoveda L., et al (2019)

El árbol africano de palma aceitera es un árbol tropical que es nativo de África occidental y central. El tallo del árbol, conocido como raquis, es la fuente de las fibras. Las fibras se extraen del raquis mediante un proceso llamado decorticación, que implica la eliminación de la corteza externa para revelar las fibras internas. [19]

Se ha comprobado que las fibras de raquis de palma africana poseen una serie de propiedades únicas que las hacen ser versátiles y útiles en una gama amplia de aplicaciones. Tienen una resistencia alta a la tracción y módulo de elasticidad, lo que los hace adecuados para su uso como refuerzo en hormigón y otros materiales de construcción. Según " Mechanical characterization of the rachis fiber obtained from the African palm *elaeis guineensis* " de Apoveda *et al* [18] "las fibras tienen una resistencia a la tracción de 110 MPa y un módulo de elasticidad de 960 MPa".



Figura 6. Máquina de ensayo universal, MTS BIONIX, con muestra de prueba.

Fuente: Apoveda L., et al (2019)

Las fibras de raquis de palma africana también tienen una alta relación de aspecto, lo que significa que son largas y delgadas en relación con su diámetro. Esta característica los hace útiles como refuerzo en materiales compuestos, ya que pueden orientarse fácilmente en la dirección de la tensión aplicada. [18]

1.4.3.2 Fibras naturales en el hormigón

Las fibras naturales, como el cáñamo, el yute, el sisal y el lino, se han utilizado como refuerzo en materiales a base de cemento durante muchos años. Estas fibras tienen varias ventajas sobre las fibras sintéticas, incluyendo ser biodegradables, renovables y, por lo general, menos costosas.

Uno de los principales beneficios de utilizar fibras naturales como refuerzo en cemento es que pueden mejorar las propiedades mecánicas del material final. Por ejemplo, la adición de fibras naturales puede aumentar la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión de los elementos a base de cemento, al tiempo que reduce su comportamiento frágil. Esto se debe a la capacidad de las fibras para actuar como supresores de grietas, distribuyendo los esfuerzos a lo largo de la longitud de las fibras. [20]

Otro beneficio de las fibras naturales es que pueden mejorar la durabilidad de los elementos a base de cemento. Las fibras pueden ayudar a prevenir el agrietamiento y el deterioro causado por fuerzas externas como las variaciones de temperatura y los ciclos de congelación y descongelación. Además, las fibras naturales también pueden mejorar la resistencia al fuego de los materiales cementicios. [21]

Las fibras naturales también pueden tener un impacto ambiental positivo cuando se utilizan como refuerzo en el cemento. Dado que son biodegradables y renovables, se consideran una opción más sostenible que las fibras sintéticas. Además, las fibras naturales se pueden cultivar y cosechar con un impacto ambiental mínimo, en comparación con la producción intensiva de fibras sintéticas. [21]

Sin embargo, existen algunas limitaciones para usar fibras naturales como refuerzo en el cemento. Por ejemplo, las fibras pueden verse afectadas por la humedad y la degradación biológica, lo que puede reducir su efectividad con el tiempo. Además, las fibras naturales tienden a tener un módulo de elasticidad más bajo que las fibras sintéticas, lo que puede limitar su capacidad para soportar grandes cargas. [22]

2 METODOLOGÍA

En el presente apartado se detallará la metodología empleada para desarrollar el análisis del agrietamiento generada por inducción de corrientes de aire en placas de hormigón con reforzamiento de 0.75% en masa de fibras del raquis de palma africana sin aplicar tratamientos químicos.

2.1 Caracterización de materiales pétreos

2.1.1 Cemento

Para desarrollar este proyecto se empleó cemento de la marca Holcim Tipo GU el cual es adecuado para el uso general en el sector y además cumple con la normativa ecuatoriana NTE INEN 2380 (2011), el uso de este cemento permitirá cumplir con la elaboración de los especímenes contemplados en el proyecto.



Figura 7. Cemento Holcim Tipo GU

Fuente: Holcim (2023)

2.1.1.1 Densidad Real del Cemento

Para la determinación de esta propiedad del cemento se empleará la norma internacional ASTM C-188 – 17 “Standard test Method For Density Of Hydraulic Cement”

La densidad real del cemento varía dependiendo de la composición y el tipo de cemento, pero en general se encuentra en el rango de 3,000 a 3,500 kilogramos por metro cúbico (kg/m³). Es importante tener en cuenta que la densidad real también puede ser afectada por factores como la humedad y la compacidad de la mezcla de cemento.

A continuación, se detalla el procedimiento con el que se realizó el ensayo del método del frasco de Le Chatelier registrado en la normativa ASTM C-188

1. Colocar una cantidad determinada de líquido (gasolina) en el frasco de Le Chatelier, sin que sobrepase la marca del cuello inferior (entre 0 cm³ y 1 cm³).

2. Introducir el frasco en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y mantenerlo estable. Posteriormente, anotar la masa del frasco con el líquido (P1) y el volumen inicial (V1).
3. Añadir la muestra de cemento con cuidado, utilizando un embudo y una espátula, hasta que el líquido alcance entre 18 y 24 cm^3 cerca del cuello superior. Para esto se precisa aproximadamente 64 gr de cemento.
4. Sellar el frasco y agitarlo suavemente en posición inclinada y en movimientos circulares para extraer el aire incluido en la muestra de cemento.
5. Sumergir el frasco en agua nuevamente para mantener una temperatura constante.
6. Anotar la masa final del frasco y el contenido líquido con la muestra de cemento (P2), así como el volumen final (V2)



Figura 8. Frasco de Le Chatelier con muestra de cemento

Fuente: Castro, Chango y Macias

Para poder calcular la densidad real empleando el método del frasco de Le Chatelier se emplea la siguiente ecuación:

$$\rho_{Real} = \frac{P2 - P1}{V2 - V1} (\text{gr}/\text{cm}^3)$$

Ecuación 1. Densidad real

Donde:

ρ_{Real} = Densidad real del cemento (gr/cm^3)

P1 = Masa del frasco con liquido (gr)

P2 = Masa del frasco con liquido y cemento (gr)

V1 = Volumen inicial del frasco antes de la adición de la muestra de cemento (cm^3)

V2 = Volumen final del frasco despues de la adición de la muestra de cemento (cm^3)

2.1.1.2 Densidad Aparente del cemento

La densidad aparente del cemento es una medida de la masa volumétrica del material, y se refiere a la cantidad de masa que ocupa un volumen determinado en una muestra dada. La densidad aparente se utiliza para evaluar la calidad del cemento, ya que se considera un indicador importante de la compactación de la mezcla y de la capacidad de esta para soportar cargas.

Para la determinación de este parámetro se empleará la norma ASTM C-188 – 17 “Standard test Method For Density Of Hydraulic Cement” y como norma local la INEN 156 – 2009 “Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad”

A continuación, el proceso para la determinación de la densidad aparente compactada y suelta del cemento.

Densidad Suelta

1. Anotar la masa (P1) y las medidas del molde como el diámetro promedio y la altura.
2. Rellenar el molde cilíndrico de modo que sobrepase el límite superior.
3. Con la ayuda de una espátula, nivelar la superficie evitando causar vibraciones.
4. Retirar el exceso de cemento rebosado fuera del contenedor y determinar la masa total del molde con el cemento (P2s).

Densidad Compactada

1. Anotar la masa (P1) las medidas del molde como el diámetro promedio y la altura.
2. Con la ayuda de una pala o cucharón, verter el cemento en la sección inferior del molde, llenando alrededor de un tercio de su capacidad, elevar el molde hasta una altura aproximada de 2 cm y dejar caer 25 veces.
3. Proseguir rellenando el molde hasta que el nivel de material alcance el segundo tercio de la altura. y dejarlo caer 25 veces más.
4. Para el tercio final, rellenar completamente el molde con cemento y dejar caer 25 veces más.
5. Para finalizar, se nivela la superficie, se limpia los excesos y registrar la masa el molde más el cemento compactado (P2c).

Para el cálculo de las densidades aparentes, tanto suelta como compactada se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\gamma_{cs} = \frac{4(P2s - P1)}{\pi\phi^2h} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 2. Densidad suelta

$$\gamma_{cc} = \frac{4(P2c - P1)}{\pi\phi^2h} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 3. Densidad compactada

Donde:

γ_{cs} = Densidad suelta del cemento (gr/cm³)

γ_{cc} = Densidad compactada del cemento (gr/cm³)

P1 = Masa del molde vacío (gr)

P2s = Masa del molde mas cemento en estado suelto (gr)

P2c = Masa del molde mas cemento en estado compactado (gr)

ϕ = Diámetro del molde (cm)

h = Altura del molde (cm)

2.1.2 Agregado grueso

El árido grueso que se empleó también corresponde a la marca Holcim con un máximo tamaño nominal de 3/8 de pulgada (9.5 mm) en presentaciones de 40 kg y al igual que el cemento cumple con las normativas técnicas NTE INEN del Ecuador, empleándose así un material de calidad certificada, no obstante, se requiere llevar a cabo varios ensayos para verificar y confirmar que los requisitos para obtener una buena mezcla de hormigón se cumplan. Se utilizan diversas normas determinadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) como guía.



Figura 9. Agregado grueso adquirido

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.1.2.1 Granulometría

La granulometría de árido grueso se refiere a la disposición de las partículas que conforman el agregado según su tamaño. Se evalúa a través de un análisis de tamizado en el cual se utilizan tamices con malla de diferentes tamaños de abertura para separar las partículas y determinar su porcentaje en la muestra total. La granulometría del árido grueso es importante para la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, ya que influye en la porosidad, que sea resistente y durable el material.

Para llevar a cabo el ensayo se siguieron los lineamientos establecidos en la Norma NTE INEN 696:2011 para el análisis granulométrico de los agregados fino y grueso, así como la norma internacional ASTM C 136 "Standard test Method For Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". A continuación, se describen los pasos necesarios para su realización:

1. De acuerdo con la **Tabla 2** colocar la correspondiente masa de agregado en un horno y secar a una temperatura de entre $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo mínimo de 18 horas y un máximo de 24 horas,

Tabla 2. Tamaño muestral para el ensayo del agregado grueso

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

Fuente: ASTM C 136

2. Recolectar la cantidad necesaria de agregado según lo mencionado anteriormente.
3. Selecciona el correcto orden de los tamices para la estratificación del árido grueso en base a la **Tabla 3**. "Tamaño muestral para el ensayo del agregado grueso ", basada en el tamaño máximo nominal de la muestra.

Tabla 3. Requisitos de gradación para árido grueso

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

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

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y grueso NTE INEN 696:2011)

4. Colocar los tamices en orden decreciente y vacía la masa muestreada en el tamiz superior.
5. Cubrir la serie de tamices y colócalos en el agitador mecánico, asegurándose de que estén ajustados y no haya riesgo de caída.
6. Realizar el agitado de los tamices durante al menos 5 minutos.
7. Evitar sobrecargar en un tamiz en particular, lo que impediría que la totalidad de partículas lleguen a sus tamices correspondientes y causaría deformación de las mallas.

Esto se puede evitar con:

- La adición de un tamiz intermedio adicional.
- La división de la muestra en varias partes.
- Utilizar tamices con un marco más amplio para lograr una mayor superficie de clasificación.

Además, realizar inspecciones visuales puede determinar si el árido es uniforme y contiene partículas del mismo tamaño, por lo que se recomienda trabajar con la cantidad mínima de muestra requerida.

8. Verificar la efectividad del proceso mediante el tamizado manual, sosteniendo individualmente cada tamiz con una bandeja para recolección de las partículas más finas y una tapa, en una posición ligeramente inclinada y golpeándolo fuertemente con la mano. Se debe tratar de alcanzar 150 golpes por minuto y girar el tamiz cada 25 golpes aproximadamente 60 grados. El tamizado debe durar un minuto y el porcentaje de material que pasa no debe ser superior al 2% en masa del material retenido en el tamiz.
9. Anota las masas retenidas en cada tamiz, el proceso es válido si la masa final tiene una pérdida de material inferior al 0.3% con respecto a la masa con la que se inició el ensayo.

Se utiliza el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 696:2011 para determinar el módulo de finura de los áridos gruesos, el cual especifica que el módulo de finura de los árido gruesos se determina a partir de la relación entre la porción de agregado contenido en un tamiz de determinado tamaño y la cantidad total de la muestra, empleando la siguiente ecuación:

$$Mf = \frac{\sum(\% \text{ acumulado})}{100}$$

Ecuación 4. Módulo de finura

Donde:

Mf = Modulo de finura

% acumulado = porcentaje de material acumulado en cada tamis

2.1.2.2 Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

El termino de densidad relativa, denominada también como densidad absoluta o gravedad específica, es una medida de la relación entre la masa de un árido y la masa de agua ocupada por el mismo volumen. Se utiliza en cálculos relacionados con la dosificación y el control de mezcla en la construcción, como por ejemplo para determinar el volumen que ocupa el agregado en el diseño de mezcla utilizando el método del volumen absoluto. [3]

La norma ASTM C127 (2015) establece los requisitos y metodología del ensayo para el cálculo de la densidad relativa de los áridos ligeros, intermedios y pesados utilizados en la construcción. Según esta norma, se deben determinar las siguientes densidades:

1. La densidad (SH): se refiere a la masa del agregado que ha sido secado en un horno, y se mide en términos de unidad volumétrica de las partículas que se acumularon.

2. La densidad (SSS): definida como la masa del agregado que se mantiene seco y saturado superficialmente, también medida por unidad volumétrica.
3. La gravedad específica (Densidad relativa) (SH): se determina como la relación entre la densidad (SH) del árido y la densidad del agua.
4. La gravedad específica (Densidad relativa) (SSS): se precisa como la relación entre la densidad en superficie seca saturada del agregado y la densidad del agua.

Estas densidades son importantes para poder realizar la determinación de las propiedades físicas del agregado y para poder ser usado en las dosificaciones y el control de estas en la construcción.

La norma NTE INEN 857:2010 se encarga de describir el proceso para poder establecer la densidad, la gravedad específica y la capacidad de absorción del agregado grueso. En esta norma se detallan los pasos a seguir para llevar a cabo el ensayo.

Los pasos siguientes deben ser llevados a cabo para realizar el ensayo:

1. La muestra debe ser lavada de tal modo que las partículas de polvo adheridas sean retiradas del agregado.
2. Para saturar la muestra esta debe estar en inmersión por 24 horas \pm 4 horas en agua potable.
3. Para remover el agua superficial del agregado se debe secar con paños de tal manera que se pierda el brillo superficial.
4. Medir la cantidad de material señalado en la **Tabla 4** en condición saturada superficialmente seca (S.S.S).
5. Introducir el recipiente que contiene la muestra en un tanque de agua que se encuentre a temperaturas entre 21°C a 25°C, para retirar las burbujas atrapadas agitar la muestra y posteriormente registrar la masa.
6. Para finalizar, extraer la muestra colocándola en otro contenedor y secarla en el horno por lo menos 24 horas y obtener la masa de la muestra seca final.

Tabla 4. Cantidad mínima de agregado para el ensayo

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

Fuente: NTE INEN 857, 2010

Las ecuaciones empleadas para determinar los diferentes valores de densidades son:

$$\text{Densidad relativa seca} = \frac{A}{B - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 5. Densidad relativa seca

$$\text{Densidad relativa (SSS)} = \frac{B}{B - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 6. Densidad relativa en superficie seca saturada

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{A - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 7. Densidad relativa aparente

$$\text{Absorción de agua \%} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ecuación 8. Porcentaje de absorción de agua

Donde:

A = Masa de material seco (gr)

B = Masa de material en superficie seca saturada (SSS) (gr)

C = Masa muestra en sumersión (gr)

2.1.2.3 Densidad Aparente

La densidad aparente mide la relación entre la masa del material y su volumen, teniendo en cuenta tanto los poros saturados como los no saturados. Esta puede ser determinada

en condiciones secas o húmedas, dependiendo de que tan saturados se encuentren sus poros. La densidad aparente del árido depende de la roca madre y la presencia de poros, y suele variar entre 2.30 gr/cm³ y 2.8 gr/cm³.

Se ha establecido el método de determinación de la densidad aparente del árido grueso en la Norma NTE INEN 858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria y porcentaje de vacíos. Este procedimiento se explica a continuación:

- Para conseguir una muestra adecuada, se requiere una cantidad que supere entre un 125% y 200% de la masa necesaria para llenar el molde, según lo indicado en la **Tabla 5**. La muestra se debe secada previamente empleando un horno que mantenga temperaturas entre 105°C y 115°C durante un mínimo de 24 horas.

Tabla 5. Capacidades de los moldes para ensayo

Tamaño nominal máximo, mm	Capacidad nominal del molde, m ³ (litros)
12.5	0.0028 (2.8)
25.0	0.0093 (9.3)
37.5	0.014 (14)
75	0.028 (28)
100	0.070 (70)
125	0.100 (100)

Fuente: (NTE INEN 858, 2010)

Elaborado por: Macias Johnny

- Después de seleccionar el molde, se debe registrar su diámetro, altura y masa. Luego, se llevan a cabo los ensayos con el agregado, tanto en su forma suelta como en estado compactado en este molde.

Procediendo densidad suelta

1. Dividir el molde en tres partes aproximadamente, ya sea mediante la percepción de quien realiza la prueba o con marcas guía en el molde.
2. Rellenar el primer tercio de la altura del molde con el material utilizando una pala o balde y vertiéndolo desde una altura máxima de 5 cm sin vibraciones ni compactación.
3. Repetir el mismo proceso para las dos capas faltantes sin causar vibraciones más que la del agregado cayendo en el molde.

4. Nivelar la superficie con la ayuda de una varilla lisa, asegurándose que las partículas logren llenar los espacios vacíos.
5. Se debe limpiar el recipiente para que no haya material residual que afecte la lectura de la masa.
6. Medir y registrar la masa del conjunto molde más agregado en las hojas de datos primarios.

Procedimiento densidad compactada

1. Dividir el molde en tres partes, siguiendo las marcas o la apreciación del técnico.
2. Llenar una de las partes con el agregado, utilizando una pala o cucharón.
3. Realizar la compactación de la primera capa de árido con 25 golpes con la varilla, de forma uniforme alrededor de toda la superficie sin llegar a topar el fondo.
4. Replicar el mismo proceso para las capas restantes, se debe evitar la penetración de la varilla en las capas anteriores. La última capa debe rebosar el borde del molde para ser nivelada con la misma varilla en resentido horizontal.
5. De igual manera se debe limpiar los bordes del molde verificando que la superficie del agregado esté nivelada con el borde del contenedor.
6. Registrar la masa los agregados así como del molde, con una aproximación de 0.05 kg en la hoja de datos principal.

La densidad se puede calcular para ambos métodos descritos utilizando la siguiente ecuación.

$$D = \frac{G - W}{V}$$

Ecuación 9. Densidad aparente

Donde:

$D = \text{Densidad aparente del agregado (gr/cm}^3\text{)}$

$G = W_{\text{agregado}} + m_{\text{molde}} = \text{masa del agregado} + \text{masa del molde (gr)}$

$T = W_{\text{molde}} = \text{masa del molde (gr)}$

$V = \text{volumen del molde (cm}^3\text{)}$

2.1.2.4 Abrasión de agregados gruesos

El ensayo de abrasión del agregado grueso es una prueba con la que se evalúa que los materiales de construcción sean resistentes al desgaste para poder ser utilizados en la conformación de hormigón. Esta prueba mide la cantidad de material que se desgasta después de someter el agregado a una carga abrasiva y un número determinado de ciclos de abrasión. Los resultados se comparan con los estándares y se utilizan para determinar la calidad y la aptitud del agregado para su uso en la mezcla de hormigón.

Para el ensayo de abrasión del agregado grueso, se toma como referencia las Normas NTE INEN 860:2011 y NTE INEN 861:2011 de Áridos. La determinación de la degradación de las partículas de agregado grueso, con tamaños entre 37.5 mm y 19 mm, se realizó utilizando la máquina de los Ángeles según lo establecido en dichas normas.

A continuación, el procedimiento para realizar el ensayo:

- Limpiar la muestra hasta eliminar restos orgánicos ni de otro tipo y proceder a secarla a una temperatura entre 105°C y 115°C durante 24 horas.
- Para determinar la cantidad de muestra, consulta la **Tabla 6** según las fracciones indicadas, que dependen del tamaño del agregado.

Tabla 6. Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)		
Pasante de	Retenido en	Gradación		
		1	2	3
75	63	2 500 ± 50	---	---
63	50	2 500 ± 50	---	---
50	37,5	5 000 ± 50	5 000 ± 50	---
37,5	25,0	---	5 000 ± 25	5 000 ± 25
25,0	19,0	---	---	5 000 ± 25
Total		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

Fuente: NTE INEN 861, 2011

1. Se consulta la **Tabla 7.** para poder determinar la cantidad de esferas o también llamada carga abrasiva adecuada para la cantidad de muestra seleccionada.

Tabla 7. Carga abrasiva en función de la gradación de la muestra

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTE INEN 861, 2011

2. La muestra y las cargas abrasivas se colocan en la máquina de los Ángeles y se hace rotar el tambor dependiendo del tamaño máximo del agregado.
 - Para las partículas de árido de tamaño inferior a 37.5 mm, se deben realizar 100 revoluciones iniciales y luego 400 revoluciones más, para realizar en total 500, la velocidad debe estar en un rango comprendido entre 30 y 33 revoluciones por minuto.
 - Para partículas de árido mayores a 19 mm, primero se deben proporcionar 200 revoluciones, luego 800 revoluciones para completar en total 1000 revoluciones, con velocidades entre 30 y 33 revoluciones por minuto.
3. Después de las 100/200 revoluciones iniciales, se descarga la muestra y se realiza una separación a través de los tamices N°8 y N°12. Se anota la masa del material que se retuvo en cada uno de los tamices.
4. El agregado se vuelve a colocar en la máquina de los Ángeles y se hace rotar por las 400/800 revoluciones faltantes.
5. Se extrae el material y se realiza una discretización a través de los tamices N°8 y N°12. Se toma nota de la masa del árido que se ha quedado en cada tamiz.
6. Si es necesario, se lava y se seca el material más fino que pasó por el tamiz N°12 antes de obtener su masa.



Figura 10. Ensayo de abrasión en laboratorio LEMSUR

Fuente: Castro, Chango y Macias

Obtenidos los datos del ensayo se debe calcular el porcentaje de desgaste que sufrió la muestra de agregado con la ecuación siguiente:

$$V(\%) = \frac{A - C}{A} * 100$$

Ecuación 10. Desgaste a la abrasión

Donde:

V = Porcentaje del desgaste a la abrasión

A = Masa inicial de la muestra (gr)

C = Masa de agregado retenido en el tamiz N°12, a las 500 revoluciones (gr)

A - C = Perdida por desgaste abrasivo

Para evaluar la uniformidad de la dureza de un agregado, se debe comparar la cantidad de desgaste sufrido después de las 100/200 revoluciones (sin realizar lavado ni tamizado por el tamiz N°12) con la cantidad de desgaste después de 500/1000 revoluciones en condiciones idénticas. Si la relación es menor a 0.2 (20%), se considera que el material tiene una dureza uniforme.

Esta proporción se calcula usando la siguiente ecuación:

$$CU = \frac{A - B}{A - C}$$

Ecuación 11. Coeficiente de uniformidad

Donde:

B = Masa de agregado retenido en el tamiz N°12, a las 100 revoluciones (gr)

CU = Coeficiente de uniformidad

2.1.3 Agregado Fino

El árido fino empleado al igual que el cemento y el agregado grueso también corresponde a la marca Holcim en presentaciones de 40 kg, de igual manera cumpliendo con las normativas técnicas NTE INEN del Ecuador.



Figura 11. Agregado fino adquirido

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.1.3.1 Granulometría

La granulometría de agregado fino se entiende como la clasificación por tamaño de las partículas de un material, en este caso agregado fino. Esta información es importante para controlar la calidad del material utilizado en la mezcla de hormigón. La granulometría se determina a través de pruebas estandarizadas, como la norma ASTM C136 para agregado fino, y los resultados se representan gráficamente en una curva granulométrica.

Dado que la metodología a emplearse es igual a la descrita en el apartado 2.1.2.1 de este documento, no se profundizará en el procedimiento del ensayo.



Figura 12. Secuencia de tamices para ensayo

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.1.3.2 Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción

El peso específico se refiere a la masa del material granular por unidad volumétrica. Para los agregados finos, se mide su peso específico seco y húmedo, ya que la absorción de agua puede afectar su peso específico que para los agregados finos es de 2.65 gr/cm³.

La absorción de agregado fino se refiere al porcentaje de agua que se adhiere o se absorbe por las partículas del material. Es importante controlar la absorción, ya que puede afectar el comportamiento y la durabilidad del hormigón. La absorción estándar para los agregados finos es de un máximo del 5% de su masa seca.

Estos valores son primordiales para garantizar que los agregados de construcción se desempeñen en concordancia con los requisitos técnicos y de calidad establecidos.

Como referencia para la determinación de estas propiedades se emplea la norma ASTM C128-15 "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate"

- Se selecciona 1.5 kg aproximadamente del agregado fino que previamente se ha secado en un horno a temperaturas entre 105 °C y 115°C durante al menos 24 horas. La selección se mantiene sumergida en agua por un período mínimo de 24 horas para lograr su saturación.

Procedimiento para la determinación de la Superficie Seca Saturada (SSS)

1. Pasadas 24 horas en proceso de saturación, se drena el excedente de agua de la muestra.
2. Para facilitar que la muestra se seque al ambiente y lentamente, se debe extender en una bandeja. Si se quiere acelerar este proceso, se debe ubicar en el horno o exponerla a aire caliente mientras se mueve continuamente con una espátula para un secado uniforme.
3. Continuar hasta que la muestra fluya casi libremente sin que las partículas se adhieran.

Procedimiento para la determinación de la humedad superficial (coeficiente SSS)

1. Ubicar un molde sobre una zona con superficie impermeable y lisa.
2. Se debe llenar el molde de modo que rebose y se agrega más material que será el que ayudara a llenar los espacios mientras se realiza la compactación .

3. Realizar la compactación el agregado con 25 golpes del compactador y ajustar la altura de descenso después de cada golpe.
4. Limpiar el material derramado y levantar el molde para evitar vibraciones, si el agregado se desmorona parcialmente es el indicativo para SSS .
5. Si el material permanece en forma, repetir hasta el punto en que el árido esté en estado SSS.

Procedimiento para la determinar la densidad

1. Llenar con agua el picnómetro hasta la marca de volumen, tomar nota de la masa y su temperatura.
2. Emplear 500 gramos de agregado en estado SSS en el hidrómetro vacío, agregar 90% de su capacidad y para poder eliminar las burbujas contenidas agitar el recipiente.
3. Extraer el aire contenido en la muestra, de ser necesario empleando un bomba de succión para crear un vacío, agregar agua hasta la marca y corregir la temperatura a 100°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) si es necesario.
4. Anotar la masa del picnómetro con agua y agregado, verter las partículas de árido fino en un contenedor al que previamente se tomó su masa.
5. Secar en un horno a 110°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) durante 24 horas y dejar enfriar antes de obtener la masa después de 1 hora.



Figura 13. Proceso para la obtención de la densidad relativa en agregado fino

Fuente: Castro, Chango y Macias

Las ecuaciones empleadas para determinar los diferentes valores de densidades son:

$$\text{Densidad relativa seca} = \frac{A}{B + S - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 12. Densidad relativa seca

$$\text{Densidad relativa (SSS)} = \frac{S}{B + S - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 13. Densidad relativa en superficie seca saturada

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{B + A - C} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ecuación 14. Densidad relativa aparente

$$\text{Absorción de agua \%} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ecuación 15. Porcentaje de absorción de agua

Donde:

A = Masa de material seco (gr)

B = Masa de picnometro + agua (gr)

C = Masa de picnometro + agua + agregado (gr)

S = Masa de material en superficie seca saturada (SSS) (gr)

2.1.3.3 Densidad Aparente

Técnicamente, la determinación de la densidad aparente se realiza mediante un proceso de llenado y pesado de un recipiente cilíndrico con el agregado fino y luego midiendo el volumen ocupado por el material. La densidad aparente se puede calcular con la división de la masa del agregado por su volumen.

Es importante tener en cuenta que la densidad aparente puede ser influenciada por factores como la humedad, la compactación y la porosidad del material, por lo que es necesario controlar y reportar estas variables en el proceso de medición.

La prueba de densidad proporciona información sobre la cantidad de agua que ha sido desalojada por el agregado. Según la norma ASTM C128-15 "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate", existen tres valores de densidad relativa definidos.

El proceso con el cual se determina la densidad aparente se detalló en el apartado **2.1.2.3**

2.1.3.4 Contenido Orgánico

La evaluación del contenido de impurezas orgánicas se aplica a los áridos finos utilizados en la preparación de mezclas de cemento hidráulico para la elaboración de hormigón o mortero. Este proceso permite determinar la calidad de los agregados.

El contenido orgánico en el agregado fino es importante porque puede afectar las características químicas y físicas del material y, por lo tanto, su comportamiento en una aplicación específica.

La norma NTE INEN 855:2010 es una norma que establece los métodos con los que se determina el contenido de impurezas orgánicas presentes en la arena. La norma describe los requisitos para la obtención de una muestra representativa del árido fino, así como los procedimientos para su preparación y ensayo. Esta norma precisa la metodología para la evaluación del contenido de impurezas orgánicas en el árido fino y proporciona pautas para poder interpretar los resultados obtenidos.

El procedimiento seguido para realizar el ensayo es el siguiente:

1. Tomar un muestreo de 500 gr aproximadamente de agregado fino seco.
2. Se coloca la muestra en un frasco o botella de vidrio transparente hasta un nivel equivalente a 130 cm³ para mejorar su observación.
3. Vaciar una solución de hidróxido de sodio hasta un volumen de aproximadamente 200 cm³.
4. Cerrar herméticamente el frasco, agitar la mezcla de forma vigorosa y dejar en reposo por un periodo de 24 horas.
5. Para comparar el color, se deben usar cinco vidrios de color normalizado, mostrados en una escala en la **Tabla 8**.



Figura 14. Realización del ensayo químico

Fuente: Castro, Chango y Macias

Los resultados del ensayo se evalúan empleando la tabla de Gardner que incluye una serie de colores estandarizados que van desde un color blanco puro, que representa cero contenidos orgánicos, hasta un color marrón oscuro, que representa un alto contenido orgánico. Para utilizar la tabla de Gardner, se coloca una pequeña cantidad de la muestra y se compara su color con los colores estandarizados de la tabla. El color más próximo a la muestra se utiliza para determinar una estimación aproximada del contenido orgánico.

Tabla 8. Escala para comparación de color normalizado

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

NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.

Fuente: NTE INEN 855, 2010

2.2 Fibra de raquis de palma africana

2.2.1 Adquisición del raquis de palma

El raquis de palma se obtuvo de la extractora “Rio Manso” de propiedad de la empresa La Fabril S.A. la cual está ubicada en la comunidad Patricia Pilar, provincia de Los Ríos, Km 41 vía Santo Domingo – Quevedo, la donación del material se realizó previo un oficio dirigido a la empresa.



Figura 15. Extractora "Rio Manso"

Fuente: Castro, Chango y Macias

Los racimos desfrutados, incluyendo los raquis, fueron recolectados en el área de residuos escogiendo los que presenten estructuras internas lo suficientemente largas de las cuales se extraen las fibras y luego son transportados a la ciudad de Quito.



Figura 16. Recolección de racimos de palma

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.2.2 Extracción de fibras

Antes de realizar los ensayos en la fibra de raquis de palma africana, se siguieron los siguientes pasos para preparar la muestra:

1. Se lavó la fibra para eliminar cualquier presencia de suciedad y microorganismos, y se secó al aire libre.
2. Mientras la fibra aún presente húmeda, se realizó el desfibrado, de esta manera se facilita el proceso, formando haces de fibras.
3. Se extrajeron los haces hasta obtener la masa necesaria para el estudio, tanto para los ensayos individuales de fibras como para la adición en las mezclas de hormigón correspondiente.
4. Finalmente, se almacenaron las fibras de manera que se preserven sin alteraciones del medio ambiente



Figura 17. Extracción manual de las fibras

Fuente: Macias Johnny

2.2.3 Corte de fibras

Para poder añadir la fibra de raquis de palma en la mezcla de hormigón esta debe tener una longitud adecuada, según lo establecido en la Norma ACI 544-1R-96 esta debe ser de 3.8 cm, además, tomando como referencia otros estudios con fibras naturales, se decidió emplear cortes de fibra de palma africana de 4 cm de largo.



Figura 18. Corte de fibras de palma

Fuente: Macias Johnny

2.2.4 Ensayos a las fibras de palma africana

Las fibras al igual que los áridos, también deben ser sometidas a una evaluación completa de sus propiedades mecánicas y físicas. Esto incluye la medición de su densidad lineal, tenacidad, contenido de humedad y elongación a la rotura.

Con el fin de llevar a cabo estos análisis, se solicitó la colaboración del Centro Textil Politécnico de la Facultad de Ingeniería Química, al cual se proporcionó un muestreo de 50 fibras en su estado natural.

Para la medición de las propiedades físicas de las fibras, se utilizaron herramientas de medición de alta precisión, tales como un calibrador de 15 cm o más para la medición de las dimensiones de la muestra y una balanza de alta sensibilidad para determinar la masa de las fibras. Además, se identificaron cada una de las muestras con etiquetas para llevar a cabo un registro preciso de los datos obtenidos durante el ensayo.

Es importante realizar estas evaluaciones en las fibras para determinar su idoneidad para su uso en aplicaciones específicas. Además, conocer estas características de las fibras es fundamental para el diseño y desarrollo de materiales compuestos.



Figura 19. Preparación de las fibras para su caracterización

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.2.4.1 Resistencia a la tracción y elongación a la rotura

La resistencia a la tracción se refiere a la cantidad de fuerza que un material puede soportar antes de romperse cuando se somete a tensión. La elongación a la rotura, por su parte, se refiere a la cantidad de alargamiento que un material experimenta antes de romperse cuando se somete a tensión.

En el caso de las fibras naturales, la resistencia a la tracción y la elongación a la rotura son propiedades importantes que determinan su eficacia como reforzamiento de materiales compuestos estas dependen de varios factores, como la estructura de la fibra, la humedad, la temperatura y las condiciones químicas.

La norma ASTM D2256 describe los procedimientos de ensayo para medir la resistencia a la tracción y la elongación a la rotura de materiales textiles. Esta norma se aplica a una variedad amplia de materiales textiles, incluidas fibras naturales y sintéticas, telas y productos técnicos.

El procedimiento de ensayos de materiales textiles según la norma ASTM D2256 consiste en los siguientes pasos:

1. Preparar la muestra: la muestra debe ser representativa del material textil que se va a evaluar y deben cumplir con los requisitos específicos de tamaño y forma descritos en la norma.
2. Instalación del equipo de ensayo: se requiere un equipo de ensayo que cumpla con los requisitos técnicos establecidos por la norma, incluyendo una máquina de ensayo de tracción y un dispositivo para medir la elongación.

3. Aplicación de la carga: las muestras se sujetan a una carga de tracción creciente hasta el punto en que se produce la rotura. Durante el ensayo, se miden la fuerza y la elongación de la muestra.
4. Análisis de los resultados: los resultados del ensayo incluyen la fuerza máxima soportada por la muestra antes de romperse y la elongación máxima experimentada antes de romperse.
5. Interpretación de los resultados: los resultados se cotejan con los valores específicos establecidos por la norma para interpretar la calidad y las propiedades mecánicas del material textil evaluado.

Es importante seguir cuidadosamente los procedimientos descritos en la norma ASTM D2256 para garantizar la precisión y la consistencia de los resultados del ensayo. Además, es necesario tener en cuenta que los resultados pueden resultar modificados por una variedad de factores, como la forma en que se preparan las muestras, la condición ambiental y las propiedades específicas del material textil evaluado

2.2.4.2 Contenido de humedad

La humedad contenida en las fibras es importante porque afecta las propiedades mecánicas, físicas y estéticas de los materiales hechos con ellas. Si la humedad es demasiado alta, puede causar deformación y debilitamiento de las fibras, lo que a su vez puede afectar la durabilidad y calidad de los productos finales. Si la humedad es demasiado baja, las fibras pueden ser más propensas a la rotura y al desgaste. Por lo tanto, es importante controlar el contenido de humedad para avalar la calidad de los productos de fibras naturales.

Para lograr determinar el contenido de humedad el departamento de Ingeniería Química emplea la metodología descrita en la norma ASTM D4442-20 Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials.

2.3 Tipología y numero de probetas

La cantidad de probetas a utilizar, están clasificadas en 3 tipos: placas (60x40x2.5 cm), probetas tipo viga (40x10x10 cm) y probetas cilíndricas (10x20 cm) como se indica en la **Tabla 9**. Estas probetas permitirán evaluar fisuras, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, respectivamente. Los moldes de las placas están hechos de madera y recubiertos de una capa de impermeabilizante para evitar la absorción del agua de mezcla. Los moldes para elaborar los cilindros y las vigas son de acero los cuales fueron proporcionados por el laboratorio de hormigones.

Tabla 9. Cantidad y tipología de probetas a ensayar

Probetas con fibra de palma africana		Ensayos diarios	Ensayo a los 28 días	
Tipología	Porcentaje	Placas	Vigas	Cilindros
Sin fibras	0.00%	3	3	3
Fibras sin tratamiento	0.75%	3	3	3
Total de probetas tipo		6	6	6
Probetas totales		18		

Fuente: Macias Johnny

2.4 Dosificaciones de hormigón

Este estudio evaluará el comportamiento de fibras del raquis de palma africana como refuerzo para el control de fisuras en elementos tipo placa. Para evitar que el hormigón receptor afecte los resultados, se utilizó la misma dosificación para fabricar todas las probetas, y la variable más significativa será la cantidad de fibra en la mezcla.

2.4.1 Hormigón patrón

La dosificación del hormigón patrón se determinó mediante el método especificado por el American Concrete Institute (ACI 318S, 2008), que es un método empírico basado en tablas que indican las relaciones entre los componentes. La información reflejada en las **Tablas 10 y 11**, resume las características que presentan los áridos cumpliendo con las normas ecuatorianas para el hormigón.

Tabla 10. Características agregados grueso y fino

Ensayo	Propiedad	Grueso	Fino
Granulometría	Módulo de finura	4,050	3,016
Peso específico y absorción	Peso específico (gr/cm ³)	2,54	2,57
	Densidad S.S.S. (gr/cm ³)	2,61	2,63
	Absorción (%)	2,65	2,39
	Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,77	2,74
Densidad aparente	Densidad suelta (gr/cm ³)	1,44	1,67
	Densidad compactada (gr/cm ³)	1,52	1,77
Abrasión	Coefficiente de uniformidad	0,19	-

Fuente: Castro, Chango y Macias

Tabla 11. Características cemento GU

Ensayo	Propiedades cemento GU	
Densidad real	Densidad real (gr/cm ³)	2,87
Densidad aparente	Densidad compactada (gr/cm ³)	1,188
	Densidad suelta (gr/cm ³)	0,967

Fuente: Castro, Chango y Macias

La resistencia y el asentamiento serán los datos de partida para diseñar la dosificación. Se ha seleccionado una resistencia de $f'c = 20 \text{ MPa}$ (210 kg/cm^2) y un asentamiento dentro del rango de 15,2 a 17,8 cm para facilitar el mezclado manual. Teniendo en cuenta que el máximo tamaño del árido es de 0.95 cm ($3/8''$) y se ha elegido un asentamiento entre 15,2 y 17,8 cm para la mezcla y considerando que se trabaja con hormigón sin inclusión de aire de acuerdo con la **Tabla 12** la cantidad de agua inicial de mezclado es de 243 litros/ m^3 .

Tabla 12. Agua inicial de mezclado

CANTIDAD DE AGUA MEZCLADO EN LITROS/M³, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA									
Asentamiento		Tamaño máximo de agregado grueso							
		0,95	1,27	1,90	2,54	3,81	5,08	7,62	15,24
Min	Max	Hormigón sin inclusión de aire							
2,5	5,1	208	198	183	178	163	153	144	124
7,6	10,2	228	218	203	193	178	168	158	139
15,2	17,8	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado		3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	5,0	3,0	2,0
Min	Max	Hormigón con inclusión de aire							
2,5	5,1	183	178	163	153	144	134	124	109
7,6	10,2	203	193	178	168	158	149	139	119
15,2	17,8	213	203	188	178	168	158	149	129
Porcentaje de aire atrapado		8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

Fuente: ACI 318S, 2008

Después, se debe determinar la proporción adecuada de agua y cemento para crear una mezcla de hormigón óptima. Este cálculo se basa en dos factores principales: el tipo de exposición que tendrá la estructura y la resistencia a la compresión requerida.

En este caso las placas no estarán expuesta a sulfatos por lo que la cantidad de agua que se utilizará en relación al cemento dependerá únicamente de la resistencia a la compresión deseada. Para esto, se puede hacer referencia a la **Tabla 13**, que proporciona las proporciones recomendadas de agua/cemento para distintas resistencias a la compresión del hormigón.

Tabla 13. Relación agua-cemento

RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C) EN LITROS/KG DE CEMENTO, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN			
Relación agua-cemento (a/c) (litros/kg de cemento)	Litros de agua por saco de 50 kg de cemento	Resistencia a la compresión probable a los 28 días	
		Hormigón sin inclusión de aire (kg/cm²)	Hormigón con inclusión de aire (kg/cm²)
0,265	15,0	424	325
0,353	19,0	350	280
0,445	22,5	280	240
0,494	24,8	240	210
0,530	26,5	210	180
0,623	30,0	180	140
0,705	34,0	140	110

Fuente: ACI 318S, 2008

A partir de los datos presentados en la tabla anterior, se define una proporción de agua y cemento de 0,53 para obtener una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 28 días.

La **Tabla 14** muestra los valores apropiados para determinar la cantidad de árido grueso requerido en la mezcla de hormigón, basados solo en el módulo de finura del agregado fino que se obtuvo previamente y el tamaño máximo nominal que se determinó por granulometría, para lograr una trabajabilidad adecuada gracias a la equiparación entre partículas.

Tabla 14. Volumen aparente de agregado grueso

VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN M³, POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN											
Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen en m³, de agregado grueso seco y compactado, por m³ de hormigón									
		Módulo de finura del agregado fino									
cm	pul	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2
1	3/8	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38
1,25	1/2	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,5	0,49	0,48	0,47
1,9	3/4	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,6	0,59	0,58	0,57
2,54	1	0,71	0,7	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
3,81	1 1/2	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7	0,69	0,68
5,08	2	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
7,62	3	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76
15,24	6	0,91	0,9	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82

Fuente: ACI 318S, 2008

Sabiendo que el módulo de finura del árido fino es igual a 3,016 y que se empleará un árido grueso con tamaño nominal 0.95 cm (3/8 de pulgada), la cantidad en volumen de agregado grueso a emplear debe ser 0,4 m³.

Luego de establecer todos los componentes que intervienen en el diseño del hormigón, se procede a realizar los cálculos correspondientes:

$$\text{Factor del cemento} = \frac{\text{Volumen unitario del agua}}{\text{Relación a/c}}$$

Ecuación 16. Factor del cemento

$$\text{Factor del cemento} = \frac{243 \text{ lt/m}^3}{0,53 \text{ lt/kg}}$$

$$\text{Factor del cemento} = 458,49 \text{ kg/m}^3$$

Partiendo de la densidad real del cemento se calcula el volumen real con la ecuación:

$$\text{Volumen real del cemento} = \frac{\text{Factor del cemento}}{\text{Densidad real}}$$

Ecuación 17. Volumen real del cemento

$$\text{Volumen real del cemento} = \frac{458,49 \text{ kg/m}^3}{2,87 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Volumen real del cemento} = 159,75 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

El volumen real del árido grueso en estado de superficie seca saturada se determina utilizando el volumen aparente en estado compactado del agregado grueso en la ecuación:

$$V_{\text{real Agregado (S.S.S.)}} = V_{\text{aparente compact}} * \frac{\text{Densidad compactada}}{\text{Densidad real S.S.S.}}$$

Ecuación 18. Volumen real agregado grueso

$$V_{\text{real Agregado (S.S.S.)}} = 0,4 \text{ m}^3 * \frac{1,52 \text{ gr/cm}^3}{2,61 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_{\text{real Agregado (S.S.S.)}} = 232,95 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

El volumen de arena restante para completar 1 m³ de concreto se puede encontrar conociendo los volúmenes de aire (**Tabla 12**), agua, cemento y ripio a utilizar. Esto se logra a través de una diferencia como se detalla a continuación:

$$Vol_{arena} = 1000dm^3 - (Vol_{agua} + Vol_{aire} + Vol_{ripio} + Vol_{cemento})$$

Ecuación 19. Volumen agregado fino

$$Vol_{arena} = 1000 dm^3 - (243 dm^3 + 30 dm^3 + 232,95 dm^3 + 159,75 dm^3)$$

$$Vol_{arena} = 334,30 dm^3$$

Dado que los componentes de la mezcla se incorporan en función de su masa, estos se determinan utilizando las densidades reales para el cemento y las densidades de superficie saturada seca (SSS) para los agregados. También se calcula la relación de masas con respecto a la masa del cemento.

Tabla 15. Resumen de dosificación provisional

Componente	Cantidad en volumen real (dm ³)	Densidad Real (kg/dm ³)	Cantidad en masa (kg)	Cantidad relativa en masa
Agua	243	1	243,00	0,53
Cemento	159,75	2,87	458,49	1
Arena	334,30	2,63	879,20	1,92
Ripio	232,95	2,61	608,00	1,33

Fuente: Macias Johnny

Generada la primera dosificación provisional es necesario ajustar la proporción de los componentes que conforman una unidad cúbica de hormigón debido a la influencia de la humedad presente en los agregados. La dosificación generada previamente asume que los materiales se encuentran en estado de superficie seca saturada (SSS) para de esta manera preservar la relación agua/cemento, las ecuaciones para realizar el ajuste por humedad son las siguientes.

$$Af (kg) = W_{arena} * \left(\frac{100 + Ab_{arena}}{100 + Wh_{arena}} - 1 \right)$$

Ecuación 20. Masa de agua para corrección de absorción de agregado fino

$$Ag (kg) = W_{ripio} * \left(\frac{100 + Ab_{ripio}}{100 + Wh_{ripio}} - 1 \right)$$

Ecuación 21. Masa de agua para corrección de absorción de agregado grueso

Donde:

Af = Masa de agua en kg para corrección por absorción del agregado fino

Ag = Masa de agua en kg para corrección por absorción del agregado grueso

$W_{arena} = \text{Masa de agregado fino}$

$W_{arena} = \text{Masa de agregado grueso}$

$Ab_{arena} = \text{porcentaje de absorcion del agregado fino}$

$Ab_{ripio} = \text{porcentaje de absorcion del agregado grueso}$

$Wh_{arena} = \text{Masa de agregado fino en estado humedo}$

$Wh_{arena} = \text{Masa de agregado grueso en estado humedo}$

A continuación, se realizan los cálculos para la corrección por humedad tomando en cuenta que los áridos se encuentra completamente secos por los que la masa de estos en su estado húmedo es igual a 0.

$$Af (kg) = W_{arena} * \left(\frac{100 + Ab_{arena}}{100 + Wh_{arena}} - 1 \right)$$

$$Af (kg) = 879,20 * \left(\frac{100 + 2,39}{100 + 0} - 1 \right)$$

$$\mathbf{Af = 21,01 kg}$$

$$Ag (kg) = W_{ripio} * \left(\frac{100 + Ab_{ripio}}{100 + Wh_{ripio}} - 1 \right)$$

$$Ag (kg) = 608 * \left(\frac{100 + 2,65}{100 + 0} - 1 \right)$$

$$\mathbf{Af = 16,11 kg}$$

Tabla 16. Dosificación final de hormigón patrón

Componente	Cantidad en masa (kg)	Cantidad relativa en masa
Agua	280,12	0,611
Cemento	458,49	1
Arena	879,20	1,92
Ripio	608,00	1,33

Fuente: Macias Johnny

2.4.2 Hormigón con fibra de palma africana

Es importante destacar que para llevar a cabo este proceso se requirió corregir adecuadamente el porcentaje de absorción de los agregados y mantener sumergida la fibra en agua por 24 horas antes de su uso en condición S.S.S. De esta forma, se previene cualquier cambio en la relación agua/cemento en la dosificación resultante.



Figura 20. Fibra sumergida en agua

Fuente: Macias Johnny

La adición de fibra se realizó reemplazando en una proporción equivalente de agregado grueso, es decir para añadir 0,75% de fibra que es la intención de este estudio se hizo sobre la masa total de árido grueso.

El hormigón se mezcló manualmente y se controló cuidadosamente la proporción de los componentes que componen la dosificación y la cantidad de fibra de palma africana se la agregó pesando con una báscula de laboratorio adecuadamente calibrada.



Figura 21. Mezcla de hormigón con fibras

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.5 Elaboración de especímenes

El proceso de mezclado se llevó a cabo manualmente y siguiendo las recomendaciones del equipo técnico del laboratorio de hormigones. Se comenzó incorporando la arena y el cemento durante un periodo de 5 minutos hasta lograr una consistencia uniforme. Luego, se adicionó el árido grueso y se continuó mezclando otros 5 minutos más hasta obtener un

conjunto de material seco uniforme. Por último, se añadió el agua gradualmente dividida en dos partes para que todos los elementos se incorporen adecuadamente, todo el proceso de mezclado y obtención de una consistencia adecuada tomó aproximadamente 25 minutos.

A continuación, se describe el proceso que se llevó a cabo para la elaboración de cada uno de los tipos de probetas señaladas en la **Tabla 9**

2.5.1 Placas

En este proceso, se llevó a cabo la determinación de la proporción adecuada de los materiales necesarios para lograr una resistencia del hormigón dentro del rango deseado y, a su vez, generar fisuras. Una vez determinada la proporción, se procedió a la preparación del molde para el vertido del hormigón, lo que se realizó aplicando aceite al molde para facilitar el posterior desmolde.

La mezcla de los materiales se llevó a cabo y se vertió en el molde de madera con dimensiones de 60x40x2.5 cm. Durante este proceso, se tomó en cuenta la necesidad de evitar la formación de burbujas superficiales de aire, lo que se logró compactando la mezcla con una varilla lisa. Finalmente, se llevó a cabo la nivelación de la superficie del molde empleado una llana, para conseguir una visualización adecuada de las fisuras y así poder obtener un registro fotográfico que permita realizar el análisis posterior.



Figura 22. Placa de hormigón en molde de madera

Fuente: Macias Johnny

2.5.2 Cilindros

Para verificar que la dosificación de hormigón cumpla con una resistencia $f'c$ de 21 MPa (aproximadamente 210 kgf/cm²), se hicieron tres cilindros por lote. El moldeo de cilindros se llevó a cabo siguiendo los lineamientos descrito en la norma NTE INEN 1576:2011, que

trata sobre como elaborar y curar los especímenes para el ensayo de hormigón de cemento hidráulico.



Figura 23. Probetas cilíndricas

Fuente: Macias Johnny

2.5.3 Vigas

Para llevar a cabo este procedimiento, se deben ubicar los moldes de tal manera que se encuentren nivelados. Posteriormente, se debe verter la mezcla en el molde, dividiéndola en dos capas iguales. Es importante compactar cada una de las capas, utilizando una varilla y golpear la parte externa de los molde de 10 a 12 veces, esto garantizará una superficie uniforme y lisa.

Una vez completado el proceso de vertido, se deben trasladar a la zona de curado o, si esto no es posible, se deben cubrir en el lugar para evitar que pierdan su humedad. Esto se hace de acuerdo con el estándar ASTM C 31 de 2012. Es importante detallar la fecha en la que fueron fundidas cada viga así como un código identificador.



Figura 24. Elaboración de vigas

Fuente: Macias Johnny

2.5.4 Desencofrado y curado de probetas

El proceso de desencofrado de las probetas cilíndricas y las vigas de hormigón simple, tanto sin fibra como con fibra, se llevó a cabo 24 horas después de su hormigonado, con un margen de ± 8 horas, con el objetivo de lograr un fraguado completo (NEC-SE-HM, 2015). Para el curado de las probetas cilíndricas utilizadas en el estudio, se decidió mantenerlas en las cámaras de curado del LEMSUR durante 28 días. Esto se debió a que un mayor tiempo de retención de humedad mejorará la eficiencia del curado (NEC-SE-HM, 2015). Al prolongar el tiempo de curado de las probetas de hormigón en las cámaras, se podrá determinar de manera más efectiva la durabilidad o degradación de la fibra.

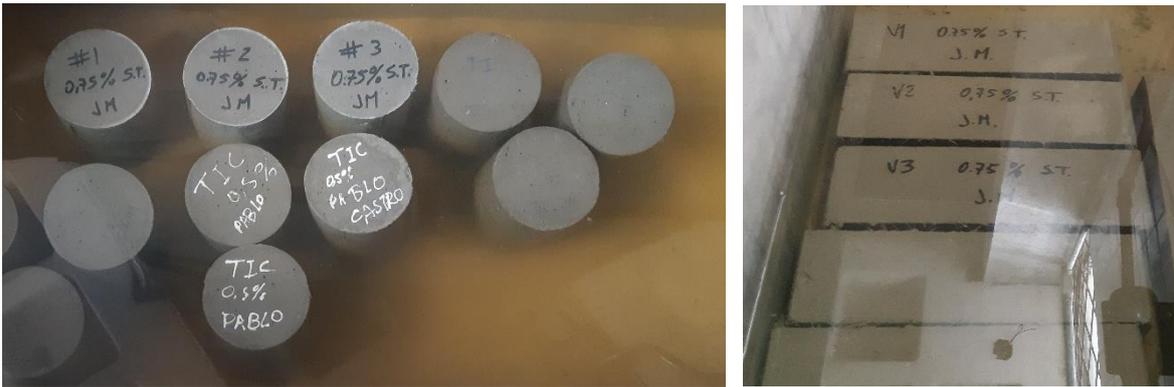


Figura 25. Probetas en tanque de curado

Fuente: Macias Johnny

2.6 Ensayo de especímenes

Para los ensayos en las probetas de hormigón patrón, como las compuesta por reforzamiento de fibra de palma africana. Se muestrearon 2 tipos, cada uno acompañado de 3 cilindros y 3 vigas para obtener un promedio y ampliar el campo de comparación. Las pruebas se realizaron a los 28 días de curado y se utilizaron equipos del LEMSUR.

2.6.1 Ensayos de compresión en cilindros

Los cilindros de 10x20 cm utilizados para los ensayos a compresión se sometieron a un proceso de preparación que incluyó el secado superficial de la probeta, midiendo y promediando el diámetro tomando por lo menos dos medidas, de esta manera determinar el área que recibe la carga, tres medidas de la altura y medidas de su masa para determinar la densidad. En caso de que las caras del cilindro presenten fallas de planitud y paralelismo, se hace necesario rectifican y alisan las caras del cilindro utilizando herramientas especiales ya que esto tendrá un impacto en los resultados de la prueba.



Figura 26. Equipo para compresión de cilindros

Fuente: Macias Johnny

Una vez listas las probetas estas se llevaron al equipo de compresión axial y con ayuda de un técnico del laboratorio de hormigones se aplicó la carga hasta que se llegó a la falla, en la hoja de registro se anota los datos se carga y se selecciona una de las formas de fallo.

La capacidad de la probeta a resistir carga axial se calcula con la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\left(\frac{\pi}{4} * D^2\right)}$$

Ecuación 22. Velocidad de carga

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga maxima (kN)

A = Area de la seccion transversal (mm²)

D = Diametro promedio (mm)

2.6.2 Ensayos de flexo tracción en vigas

Se ensaya a los 28 días y solo se realiza sobre vigas de hormigón. Para ensayar estas probetas se debe registrar sus dimensiones para eso se promedia las medidas del ancho, alto y largo, por otro lado la humedad en la superficie de la probeta puede afectar los resultados del ensayo, por lo que se recomienda que la superficie de la probeta esté completamente seca.



Figura 27. Equipo para flexión de vigas

Fuente: Macias Johnny

Como se muestra en la **Figura 28**, las vigas de 40x10x10 cm se cargaron a través de dos puntos de apoyo, la carga de flexión se aplica en la parte superior de la viga sin causar ningún impacto mientras se desplaza a una velocidad constante. El equipo para flexión de vigas que se muestra en la ilustración se usa para completar este proceso. Así lo describe la norma NTE INEN 2554 (2011)

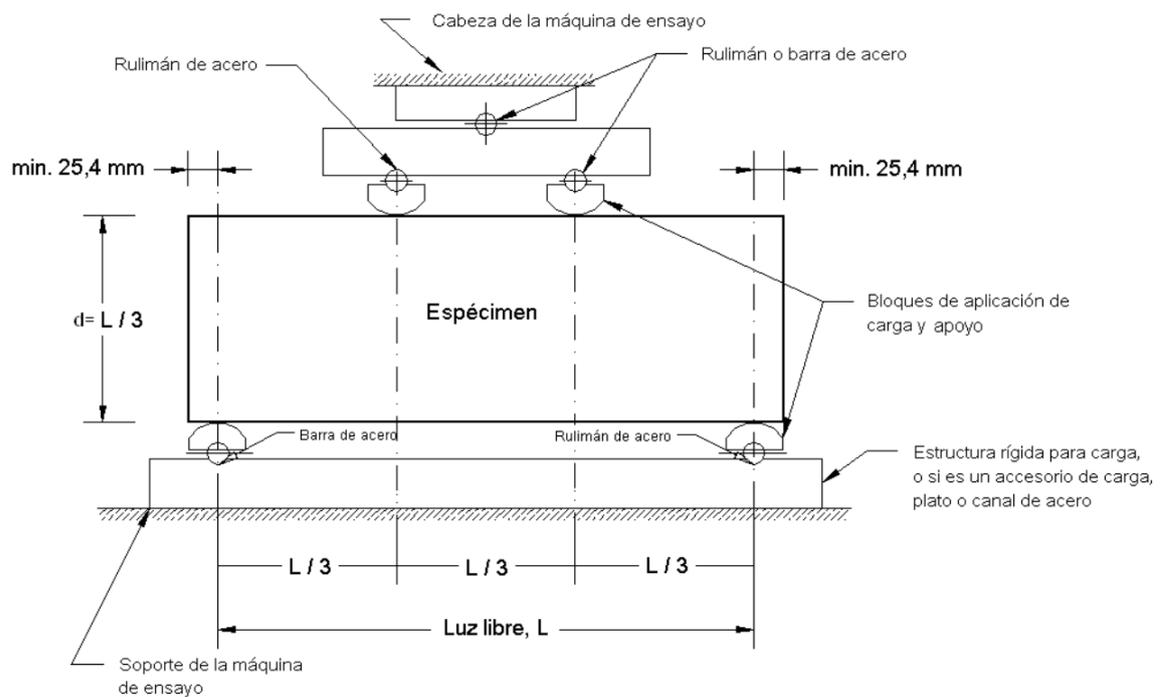


Figura 28. Esquema de equipo para flexión de vigas

Fuente: NTE INEN 2554 (2011)

La velocidad a la que se realiza el ensayo se determina con la ecuación:

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

Ecuación 23. Velocidad de carga

Donde:

r = Velocidad de carga (N/min)

S = Velocidad de incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción (MPa/min)

b = Promedio del ancho del espécimen (mm)

d = Promedio de la altura del espécimen (mm)

L = Luz libre de la viga (mm)

Posterior a la rotura de cada una de las vigas se toma 3 medidas del ancho y alto de la zona de falla para promediarlas, con estos valores se determina el módulo de rotura.

Según la zona en la que se produzca la fractura creada en la superficie de tracción, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

- a. En el caso en que la falla se produzca dentro del segundo tercio de la viga ensayada el módulo de rotura se debe calcular con:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Ecuación 24. Módulo de rotura en centro de la viga

Donde:

R = Módulo de rotura (Mpa)

P = Carga máxima aplicada (N)

L = Luz libre (mm)

b = Ancho promedio del ancho en la zona de la fractura del espécimen (mm)

d = Altura promedio del ancho en la zona de la fractura del espécimen (mm)

- b. Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera en los casos donde la falla se presenta fuera del segundo tercio pero no más allá del 5%.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Ecuación 25. Módulo de rotura en centro de la viga

Donde:

$R = \text{Modulo de rotura (Mpa)}$

$P = \text{Carga maxima aplicada (N)}$

$a = \text{Distancia media entre la linea de fractura y el apoyo mas cercano (mm)}$

$b = \text{Ancho promedio del ancho en la zona de la fractura del espécimen (mm)}$

$d = \text{Altura promedio del ancho en la zona de la fractura del espécimen (mm)}$

- c. Se desechan los resultados de la prueba en los casos en que la falla se genera más allá del 5 % del claro libre, fuera del tercio medio.

2.7 Ensayos en placas

Para la evaluación y generación de fisuración de las placas de hormigón sin adición de fibras y reforzado con fibras de palma africana se empleó un túnel de viento diseñado por Amaguaña y Guamán, 2022, en el cual se utilizó un software de diseño 3D (SolidWorks) para crear la cámara de aire que incluía un ventilador, una rejilla para mantener un régimen laminar en el flujo de aire dentro de la cámara, una zona que permita la transferencia de flujo y una apertura con vidrio templado para poder visualizar el proceso.

Se añadió un calefactor para lograr acelerar el proceso de evaporación del agua de mezcla y así provocar que la superficie de las placas se seque de manera prematura. Se empleó un anemómetro para medir la variación de temperatura y controlar la velocidad del viento dentro de la cámara de aire y un calefactor industrial para producir aire caliente. La **Figura 29** muestra una estructura de dos partes para facilitar la introducción de las placas en su interior, la mezcla se vertió in situ para evitar desplazamientos que puedan provocar perturbaciones en la placa ya hormigonada.



Figura 29. Detalle de tunel de viento

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.7.1 Condiciones controladas del túnel

2.7.1.1 Velocidad del viento

La condición de viento acelerado fue generada utilizando un ventilador con tres niveles de velocidad, pero la colocación del calefactor afectó esta velocidad ya que obstaculizaba el flujo de aire. Como resultado, se evidenció que cada equipo generaba su propia aceleración del aire, según se detalla en la **Tabla 17**.

Se probó cada nivel de velocidad y se observó el comportamiento de las placas, así se determinó que el conjunto ventilador-calefactor en su segundo nivel era el más adecuado para lograr elevar la temperatura y generar una moderada velocidad del aire circulante, necesarias para un rápido secado del hormigón y la generación de agrietamiento para el posterior análisis.

Tabla 17. Velocidades en el túnel

Niveles	Velocidad máxima solo del ventilador (m/s)	Velocidad máxima obtenida del ventilador con el calefactor (m/s)
1	4,85	0.81
2	5.75	2.12
3	6.90	3.34

Fuente: Macias Johnny

El anemómetro se utilizó para registrar la velocidad del aire dentro de la cámara durante las 6 horas que duró la prueba en cada placa.

2.7.1.2 Temperatura

Para generar las corrientes de aire caliente, se ajustó el calefactor al nivel más elevado y el conmutador se posicionó en una potencia de 5000 vatios. Con estos ajustes y las especificaciones de velocidad a las que opera el ventilador, se logró establecer una máxima temperatura de 60°C.

Sin embargo, durante la pruebas en las placas se descubrió que el anemómetro solo podía registrar una temperatura máxima de 59.9°C. Por lo tanto, para determinar la temperatura real, se utilizó un termómetro de mercurio y se encontró que era de 60°C, la cual se mantuvo de manera invariable durante todo el proceso de prueba.

2.7.2 Medición de fisuras

2.7.2.1 Longitud de fisuras

Para poder determinar la longitud de las grietas de las placas, se identificaron y marcaron las fisuras que se formaron durante el ensayo de 6 horas bajo las condiciones de velocidad y temperatura descritas previamente, usando tinta.

Para facilitar la medición, se tomaron fotografías de la placa completa y se escalaron en AutoCAD. Se delimitaron áreas mediante un proceso que se evidencia en la **Figura 30**, y se trazaron polilíneas para de esta manera determinar la longitud individual y total de las grietas. Los datos obtenidos se registraron para su posterior análisis.



Figura 30. Fisuración generada en la placa

Fuente: Macias Johnny

2.7.2.2 Profundidad de fisuras

Un equipo de ultrasonido para medición de grietas es un instrumento utilizado para detectar y medir el tamaño de las grietas en elementos de hormigón, el equipo se compone de un transductor que emite ondas de sonido de alta frecuencia hacia el elemento de hormigón, y un receptor que recibe las ondas de sonido reflejadas por el elemento, también incluye un dispositivo para visualizar y registrar los datos de las mediciones, como un osciloscopio o un ordenador.

El proceso de medición con el equipo de ultrasonido implica colocar el transductor en la superficie de la placa de hormigón y moverlo sobre la superficie para detectar la presencia

de grietas. Cuando una onda de sonido encuentra una grieta, una parte de la onda se refleja hacia el transductor y otra parte continúa a través del hormigón. El tiempo que tarda la onda en viajar de ida y vuelta desde el transductor hasta la grieta y volver al receptor se utiliza para calcular la profundidad de la grieta.



Figura 31. Equipo de ultrasonido

Fuente: Macias Johnny

1. Conectar el transductor y el receptor al equipo de ultrasonido.
2. Encender el equipo y seleccionar la opción de medición de grietas. Se iniciará la medición y se visualizará los datos en el monitor
3. Colocar el transductor y el receptor a la misma distancia de la grieta y verificar si se detecta la presencia de la grieta en la pantalla del equipo.
4. Ajustar la distancia entre transductor-receptor y la grieta hasta que la visualización en la pantalla del equipo cambie y se indique la presencia de una profundidad considerable, en ese punto se debe marcar la posición en la que se encuentran los sensores.
5. En esa posición, medir la distancia entre el transductor y la fisura con el flexómetro que incluye el equipo.
6. La distancia obtenida es igual a la profundidad de dicha grieta .

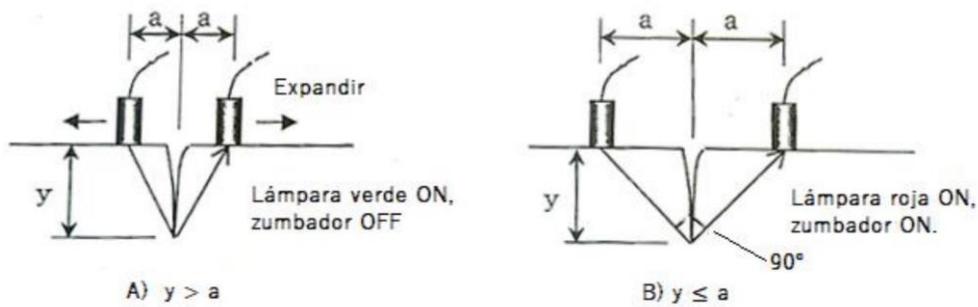


Figura 32. Esquema de medición

Fuente: ELSONIC, 2017

Si no es posible expandir el transductor y el receptor de manera equidistante con la grieta de manera que las distancias "a" y "b" son diferentes, según se muestra en la **Figura 33**, la profundidad de la grieta se determina mediante la **Ecuación 26** siempre que la fisura se encuentre en ángulo recto con respecto a la superficie.

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

Ecuación 26. Profundidad de fisuras

Donde:

$y =$ Profundidad de fisura (cm)

$a, b =$ Distancia entre sensores y fisura (cm)

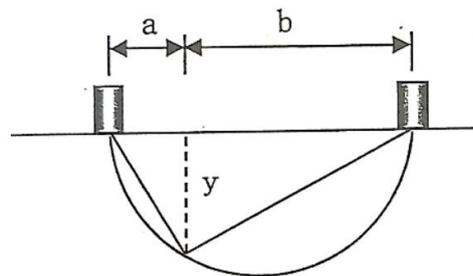


Figura 33. Esquema de medición para distancias variables

Fuente: ELSONIC, 2017

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Fibra de raquis de palma africana

Gracias a la colaboración con el Centro Textil Politécnico de la Facultad de Química, se pudo obtener información de las características mecánicas de la fibra obtenida del raquis de palma africana sin aplicar ningún tratamiento químico, según se indica en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Propiedades de la fibra de palma africana

	Vel. Prueba (mm/min)	Fuerza Rotura (N)	Elongación (mm/min)	Densidad Lineal (tex)	Tiempo al Break (s)	Tenacidad (N/tex)	Contenido de humedad (%)
Media	30	8,85	0,0931	90,63	19,2	0,098	8,5
Desviación Estándar	0	1,76	0,0300	11,23	6,2	0,020	0,2

Fuente: Macias Johnny

3.1.2 Dosificación

En este apartado, se presenta la masa total de los componentes que conforman la dosificación patrón y a la que se incluyó el 0,75% de fibra de palma africana. Es importante destacar que para llevar a cabo este proceso, se tuvo que realizar una corrección adecuada por la absorción que presentan tanto el agregado fino y grueso (5.04% en total) y como se indicó previamente se saturó la porción de fibra para su uso en estado de superficie seca saturada, de esta forma se impide cualquier variación en la relación de agua y cemento de la dosificación resultante.

3.1.2.1 Dosificación en placas

En función de la **Tabla 16** en la que se detalla la dosificación en masa para 1 m³ se determinó la dosificación para la placa de dimensiones 0.60x0.40x0.025 con un volumen de 0.00624 m³ a continuación las tablas resumen para placas sin fibra.

Tabla 19. Dosificación para placas sin fibra

Dosificación placa 0%		
Agua	1,748	kg
Cemento	2,861	kg
Arena	5,486	kg
Ripio	3,794	kg

Fuente: Macias Johnny

La dosificación para placas con fibra consiste en sustituir el porcentaje correspondiente en masa de agregado grueso con el correspondiente de fibra.

Tabla 20. Dosificación para las placas con adición de 0.75% de fibra

Dosificación placa 0.75%		
Agua	1,748	kg
Cemento	2,861	kg
Arena	5,486	kg
Ripio	3,765	kg
Fibra	0,028	kg

Fuente: Macias Johnny

3.1.2.2 Dosificación para cilindros y vigas

Para conocer las características de resistencia ante la compresión y los efectos de flexión, se crearon una serie de muestras con la dosificación patrón y se sometieron a pruebas después de 28 días de curación. Estos datos son suficientes para producir tres probetas cilíndricas y tres probetas tipo viga, como se ilustra en la **Tabla 21** y **Tabla 22**.

Tabla 21. Dosificación para cilindros sin fibras

Dosificación cilindro 0%		
Agua	1,364	kg
Cemento	2,233	kg
Arena	4,281	kg
Ripio	2,961	kg

Fuente: Macias Johnny

Tabla 22. Dosificación para vigas sin fibra

Dosificación viga 0%		
Agua	3,698	kg
Cemento	6,052	kg
Arena	11,605	kg
Ripio	8,026	kg

Fuente: Macias Johnny

Al igual que las placas la adición de fibra se realiza en sustitución de agregado grueso con un porcentaje proporcional como se resume a continuación.

Tabla 23. Dosificación para cilindros con 0.75% de fibra

Dosificación cilindro 0.75%		
Agua	1,364	kg
Cemento	2,233	kg
Arena	4,281	kg
Ripio	2,938	kg
Fibra	0,022	kg

Fuente: Macias Johnny

Tabla 24. Dosificación para vigas con 0.75% de fibra

Dosificación viga 0.75%		
Agua	3,698	kg
Cemento	6,052	kg
Arena	11,605	kg
Ripio	7,965	kg
Fibra	0,060	kg

Fuente: Macias Johnny

3.1.3 Medición de fisuras

3.1.3.1 Longitud de fisuras

En la **Tabla 25** se resume la longitud total de agrietamiento generado en cada una de las placas tanto para las elaboradas con hormigón patrón como a las que le fue adicionado el porcentaje correspondiente de fibra.

Tabla 25. Longitud de fisuras

Longitud de fisuras en placas		
Placa		6 h dentro de la cámara (m)
0% de fibra	1	1,9775
	2	2,4200
	3	1,0691
0.75% de fibra S.T.	1	0,5341
	2	0,5183
	3	0,6588

Fuente: Macias Johnny

Para facilitar la comparación entre las fisuras presentes en las placas sin fibra con las que si se adiciono, la **Figura 34.** presenta las longitudes totales, apreciándose una clara reducción de las fisuras.

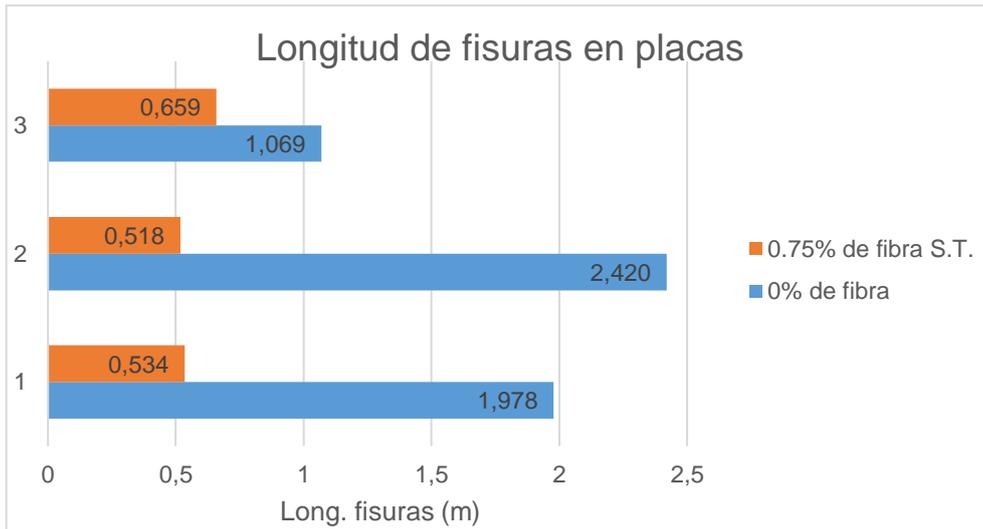


Figura 34. Comparativa entre placas

Fuente: Macias Johnny

La evidente reducción de la fisuración en las placas con adición del 0.75% de fibras de palma africana se aprecia en la **Figura 35** en donde la longitud total reducida se acerca al 70% por lo que la adición de fibra en este porcentaje mejora significativamente la fisuración.

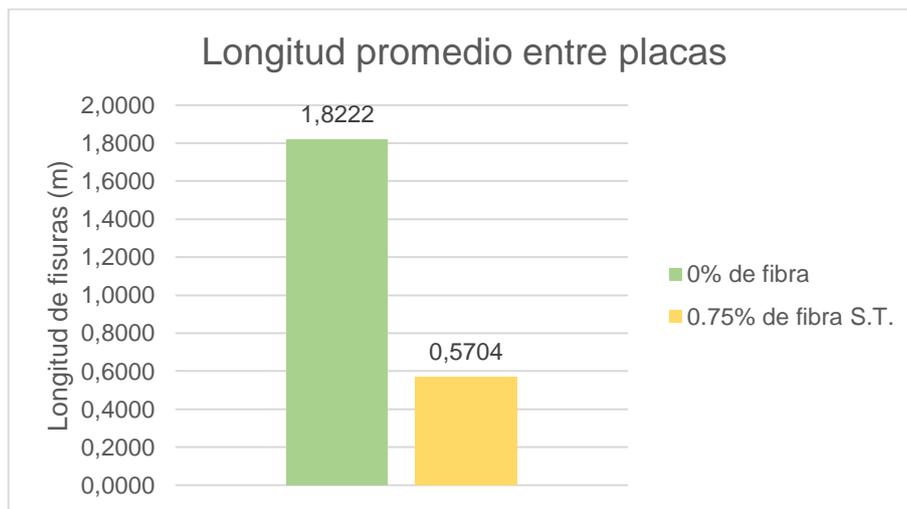


Figura 35. Longitudes promedio de fisuras por placa

Fuente: Macias Johnny

3.1.3.2 Profundidad de fisuras

Los valores de la profundidad de agrietamientos en las placas se encuentran en la **Tabla 26**. Estas placas cumplen con el requisito de tener una profundidad de al menos 1.5 cm. La medición se llevó a cabo utilizando el equipo de ultrasonido descrito previamente y se calculó usando la **Ecuación 26**.

Tabla 26.Profundidad de fisuras medidas con ultrasonido

Profundidad de fisuras						
Placa	P1 0%	P2 0%	P3 0%	P1 0.75%	P2 0.75%	P3 0.75%
F1	2,49	2,32	2,50	1,94	1,73	1,94
F2	2,50	1,73	2,50	1,73	1,60	1,73
F3	1,65	1,94	2,50	1,94	1,69	1,94
F4	2,29	1,55	2,50	2,00	2,50	1,55
F5	1,86	2,01	1,82	2,19	-	1,60
F6	2,09	2,22	1,73	1,94	-	2,08
F7	1,82	1,82	1,73	2,05	-	-
F8	1,94	1,60	1,50	1,94	-	-
F9	2,01	2,01	2,45	1,87	-	-
F10	1,50	1,73	1,50	1,73	-	-
Max	2,50	2,32	2,50	2,19	2,50	2,08
Min	1,50	1,55	1,50	1,73	1,60	1,55

Fuente: Macias Johnny

En la mayoría de las placas se mide una profundidad mínima entre 1,5 y 1,73 cm, con profundidades máximas que varían entre de 2,5 y 2,08 cm presentes en todos los tipos de placa. Es importante señalar que la profundidad que puede medir el equipo de ultrasonido está limitada a 1,50 cm, por lo que fisuras menores a este valor no pudieron ser registradas.

3.1.4 Ensayo de resistencia a la compresión

3.1.4.1 Peso específico

Los datos recopilados en el experimento con hormigones patrón y con adición de fibra se presentan en la tabla de resultados a continuación.

Tabla 27. Peso específico

	Peso específico (gr/cm³)	
	0% de fibra	0.75% de fibra S.T.
Cilindro 1	2,250	2,210
Cilindro 2	2,300	2,180
Cilindro 3	2,270	2,210
Media	2,273	2,200
Desviación estándar	0,025	0,017

Fuente: Macias Johnny

Los resultados obtenidos indican que el hormigón sin fibras naturales es aceptable, ya que el valor adecuado para un hormigón normal de peso específico oscila entre 2.3 y 2.5 gr/cm³. Además, se ha constatado una estrecha relación entre la cantidad de fibra agregada a la

mezcla de hormigón y su peso específico, ya que al aumentar la dosis de fibra natural, el peso específico tiende a disminuir.

3.1.4.2 Resistencia a la compresión

Además de describir los tiempos de curado y asentamiento vistos durante las pruebas, la **Tabla 28** también proporciona la resistencia promedio alcanzada para cada variante utilizada en este proyecto.

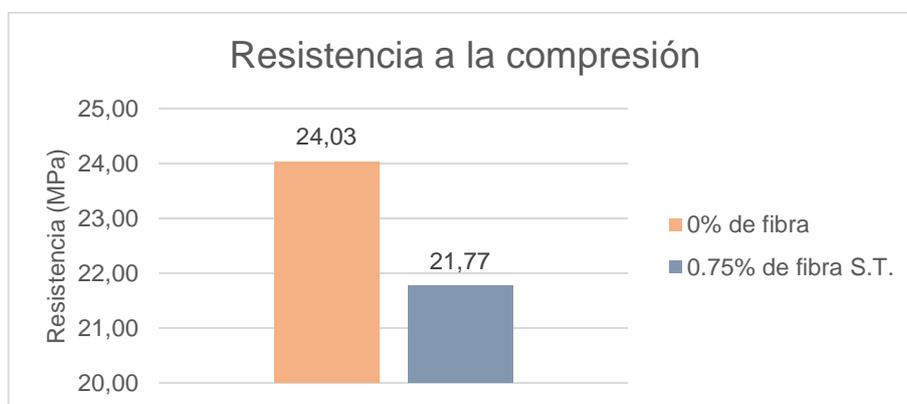
Tabla 28. Resistencia de cilindros

Especificación	Código	Resistencia esperada (Mpa)	Tiempo de curado (días)	Asentamiento (cm)	Resistencia a la compresión (Mpa)
0% de fibra	SF1	21	29	6,5	24,6
	SF2	21	29	6,5	23,9
	SF3	21	29	6,5	23,6
0.75% de fibra S.T.	CF1	21	28	3,2	21,2
	CF2	21	28	3,2	21,9
	CF3	21	28	3,2	22,2

Fuente: Macias Johnny

Se puede observar que a los 28 días de curado la resistencia promedio de los cilindros sin fibra es de 24,03 MPa superando la resistencia de diseño, de igual manera los cilindros con adición del 0,75% de fibra tienen una resistencia promedio de 21,77 MPa por lo que la adición de fibra en este porcentaje disminuye significativamente la resistencia del hormigón.

Tabla 29. Resistencia de cilindros



Fuente: Macias Johnny



Figura 36. Cilindros de hormigón con fibra posterior al ensayo

Fuente: Macias Johnny

3.1.5 Ensayo de resistencia a la flexión

A partir de los datos recopilados de los ensayos de resistencia a la flexión de las vigas, se puede determinar varios parámetros, tales como la carga máxima que soportó la viga antes de sufrir deformación permanente y su módulo de rotura.



Figura 37. Vigas con fibra ensayadas a flexión

Fuente: Macias Johnny

3.1.5.1 Carga máxima

En la **Tabla 30** se resumen las cargas máximas soportadas por cada una de las vigas ensayadas hasta la falla.

Tabla 30. Carga máxima soportada en vigas

Especificación	Código	Tiempo de curado (días)	Carga máxima (N)
0% de fibra	SF-1	28	13350
	SF-2	28	14730
	SF-3	28	15950
0.75% de fibra S.T.	CFSN0.75-1	28	15530
	CFSN0.75-2	28	13060
	CFSN0.75-3	28	15310

Fuente: Macias Johnny

Como se puede apreciar la carga media máxima soportada por las vigas sin fibra es similar a la soportada por las vigas con adición de 0.75% de fibra con una variación de 43,33 N por lo que la adición de fibra reduce la capacidad a flexión pero no significativamente.

3.1.5.2 Módulo de rotura

De los ensayos a flexión se puede determinar también el módulo de rotura (resistencia a la tensión) que presentan cada una de las probetas y así comparar el desempeño de cada una.

Tabla 31. Módulo de rotura en vigas

Especificación	Código	Tiempo de curado (días)	Módulo de rotura (MPa)
0% de fibra	SF-1	28	3,85
	SF-2	28	4,10
	SF-3	28	4,70
0.75% de fibra S.T.	CFSN0.75-1	28	4,15
	CFSN0.75-2	28	3,75
	CFSN0.75-3	28	4,10

Fuente: Macias Johnny

La **Tabla 31.** indica que el módulo de rotura de las vigas con incorporación de fibras es inferior al de las vigas sin presencia de fibras. Específicamente, disminuye de 4.22 MPa a 4.0 MPa cuando se agrega el 0.75% de fibra en su estado natural, por lo que no se observó una mejora.

3.2 Conclusiones

- Se llevaron a cabo diversas pruebas experimentales para determinar la influencia de la velocidad del viento en la temperatura. Se pudo determinar que la temperatura máxima alcanzada fue de 60 °C, mientras que la velocidad del viento osciló entre 1.20 a 1.35 m/s. Al combinar estos dos factores, se pudo acelerar el proceso de secado en las placas de hormigón y provocar contracción plástica, lo cual a su vez generó fisuras en la superficie.
- La adición de 0,75% de fibra en la dosificación patrón reduce la trabajabilidad de la mezcla, el asentamiento se vio reducido en 50%, esta mezcla realizada manualmente presentó dificultades ya que las fibras se entrelazan y no permiten integrar los agregados adecuadamente.
- Mediante ensayos a compresión de cilindros se determinó que la resistencia de la dosificación patrón en promedio fue de 24,03 MPa la cual supera la resistencia de

diseño, sin embargo la adición de 0,75% de fibra de raquis de palma africana redujo la resistencia a compresión de la mezcla a 21,77 MPa, evidenciándose una reducción de 9% en su capacidad.

- El comportamiento de las vigas de hormigón patrón fue frágil produciéndose fallas de tipo violentas, mientras que las vigas con inclusión de fibra de raquis de palma africana modificaron su comportamiento siendo estas más dúctiles, las fibras generan enlaces que mantienen unida la zona de falla de la probeta.
- La capacidad a flexión de las vigas ensayadas resultó afectada por la adición de fibras en la mezcla ya que el módulo de rotura varía en 6% con las vigas patrón, sin embargo la carga máxima soportada presenta una disminución de 43,33 N que equivale al 1%.
- Empleando la cámara de viento se logró generar fisuración en las placas patrón de manera consistente pudiéndose así realizar comparaciones con las placas conformadas con fibra, en las cuales se evidenció una clara reducción del agrietamiento.
- Los datos que se recopilaron durante la medición de la profundidad de grietas muestran que a medida que disminuye el porcentaje de fibra, aumenta la longitud de las grietas y, por lo tanto, es más probable que se produzcan fisuras de gran profundidad. Esto se refleja en la profundidad máxima alcanzada en la placa sin fibra, que fue de 2.5 cm, lo que equivale al espesor total de la placa, en comparación con la profundidad de 1.50 cm registrada en la placa que contenía 0.75% de fibra.
- En conclusión la mejor opción para disminuir las grietas en la superficie de las placas de hormigón según este estudio es el uso de fibras de raquis de palma africana, en una proporción del 0,75%. No obstante, al aumentar el porcentaje de fibra, las propiedades mecánicas de la mezcla, como la resistencia a la compresión y a la flexión, se vieron afectadas negativamente. Además, la trabajabilidad de la mezcla también se vio afectada, lo que hizo más difícil su manipulación.

3.3 Recomendaciones

- La adición de las fibras se debe realizar de manera uniforme y en pequeñas cantidades a la vez, de esta manera no se generan bultos dentro de la mezcla que impiden una correcta mezcla.
- Se debe mantener las condiciones de la cámara controladas para evitar variaciones muy bruscas de velocidad del viento y temperatura que perjudiquen los parámetros establecidos.

- Las fibras deben ser adicionadas en condiciones de superficie saturada seca de este modo el agua que reacciona con el cemento no sea absorbida por la fibra.
- Se debe realizar pruebas a largo plazo para determinar la degradación de la fibra dentro de la matriz cementicia ya que los ensayos se realizaron a corto plazo (28 días) sin embargo no se ha determinado sus efectos a largo plazo al ser aplicado en condiciones normales.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.-P. Ollivier, J.-Michel. Torrenti, y Myriam. Carcassés, *Physical properties of concrete and concrete constituents*. ISTE/Wiley, 2012.
- [2] A. Torre C., “CURSO BÁSICO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO”, Lima, Peru, 2004.
- [3] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, y J. Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association, 2004.
- [4] M. S. Mamlouk y J. P. Zaniewski, *Materiales para ingeniería civil*, Segunda edición. 2009.
- [5] Á. García, F. Morán, y J. C. Arroyo, *Hormigón armado*. 2009.
- [6] A. Andrade y J. Sono, “APLICACIÓN DEL ENSAYO DE CURADO ACELERADO EN CILINDROS DE HORMIGÓN SOMETIDOS A COMPRESIÓN SIMPLE”, 2014.
- [7] R. Uribe, *El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte. “Construcción y tecnología”*. 1991.
- [8] A. M. Neville, *Properties of concrete*. Pearson, 2011.
- [9] S. Mindess, J. F. Young, y D. Darwin, *Concrete*. 2003.
- [10] NRMCA, “CIP 42 - Thermal Cracking of Concrete”, *Concrete in Practice*.
- [11] J. K. Wight y J. G. MacGregor, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, 6th Edition. 2011.
- [12] A. M. Neville, *Properties of concrete*. 1995.
- [13] A. M. Neville y J. J. Brooks, *Concrete technology*, 2nd Edition. 2010.
- [14] M. L. Wilson y P. D. Tennis, *Design and control of concrete mixtures*. Portland Cement Association, 2018.
- [15] A. K. Mohanty, Manjusri. Misra, y L. T. Drzal, *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis, 2005.
- [16] A. R. Boccaccini, “Natural fibres: properties, developments and future prospects”, *J Mater Sci*, vol. 46, pp. 1–24, 2011.
- [17] N. Sgriccia, M. C. Hawley, y M. Misra, “Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites”, *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 39, núm. 10, pp. 1632–1637, oct. 2008, doi: 10.1016/j.compositesa.2008.07.007.

- [18] L. C. Apoveda, O. Bohórquez, O. A. González-Estrada, A. Pertuz, y Y. Rueda, “Mechanical characterization of the rachis fiber obtained from the African palm *elaeis guineensis*”, en *Journal of Physics: Conference Series*, nov. 2019, vol. 1386, núm. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1386/1/012051.
- [19] F. Munder, C. Füll, y H. Hempel, “Advanced decortication technology for unretted bast fibres”, *Journal of Natural Fibers*, vol. 1, núm. 1, pp. 49–65, 2004, doi: 10.1300/J395v01n01_04.
- [20] S. Prakash Chandar y S. K. Sangeeth Kumar, “Mechanical properties of fiber reinforced concrete – natural fibers: A review”, *Mater Today Proc*, vol. 68, pp. 2066–2071, ene. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.08.362.
- [21] J. Claramunt, L. J. Fernández-Carrasco, H. Ventura, y M. Ardanuy, “Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes”, *Constr Build Mater*, vol. 115, pp. 230–239, jul. 2016, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.04.044.
- [22] J. Wei, S. Ma, y D. G. Thomas, “Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites”, *Corros Sci*, vol. 106, pp. 1–15, may 2016, doi: 10.1016/J.CORSCI.2016.01.020.

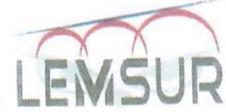
5 ANEXOS

ANEXO I

INFORME GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0428-I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

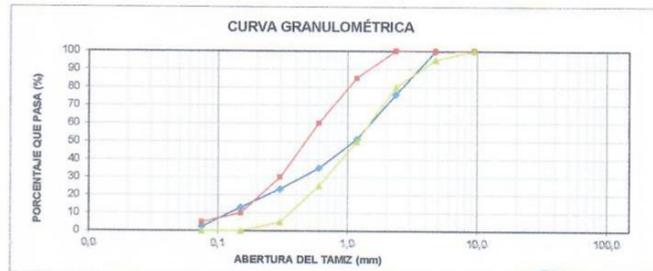
Razón social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Contratista: ***
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	1,1	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	48,9	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	53,5	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 Items ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



[Signature]
ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO II

INFORME DENSIDAD APARENTE AGREGADOS FINO Y GRUESO



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



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0437- I
Hoja 01 de 01

Quito, 2 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 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 ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	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



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO III

INFORME CONTENIDO ORGÁNICO AGREGADO FINO



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



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0440-I
Hoja 01 de 01

Quito, 14 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-30
NORMA: INEN 855

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO	
	ESCALA GARDNER 0 <input checked="" type="checkbox"/> X 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>

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 ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

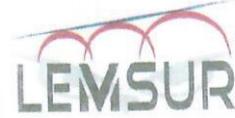
Corg022-011-I

ANEXO IV

INFORME GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-425-I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: HOLCIM
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-25
NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		1000,00	Número de Tamaño		8
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	738,0	73,9	88,1	11,9
No. 8	2,36	111,7	11,2	99,3	0,7
No. 16	1,18	1,1	0,1	99,4	0,6
Bandeja	-	5,7	0,6	100,0	0,0
	TOTAL	998,3	M. FINURA	6,0	

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 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



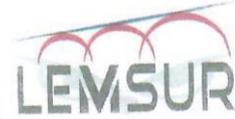
Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO V

INFORME ABRASIÓN AGREGADO GRUESO



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



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-0431-I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: HOLCIM
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 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



ABR22-008-I

Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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

ANEXO VI

INFORME GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN AGREGADOS FINO Y GRUESO



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



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0434-I
Hoja 01 de 01

Quito, 31 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 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	2.39
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 ítems 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



GSA-22-014-I

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

ANEXO VII

INFORME DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



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



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0444-I
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 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	Volúmen inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
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 VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO VIII

INFORME DENSIDAD APARENTE DEL CEMENTO



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



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0447 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 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 ³	DENSIDAD COMPACTADA g/cm ³
022-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

ANEXO IX

INFORME ENSAYOS DE FIBRA DE PALMA AFRICANA



**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:

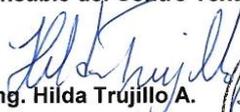
Determinar resistencia a la tracción y contenido de humedad.

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

FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME: 2022 / 10/ 17

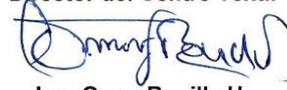
NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO: DQ-OTI0012-2022

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@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec



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

Página 2 de 5

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	10,80	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	0,1238	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	0,0567	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 y Venamilla. Teléfonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: omar.bonilla@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec



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



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

Página 3 de 5

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 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: omar.bonilla@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec

ANEXO X

REGISTRO DE PLACAS FISURADAS

1) Placa 1 - 0% de fibra



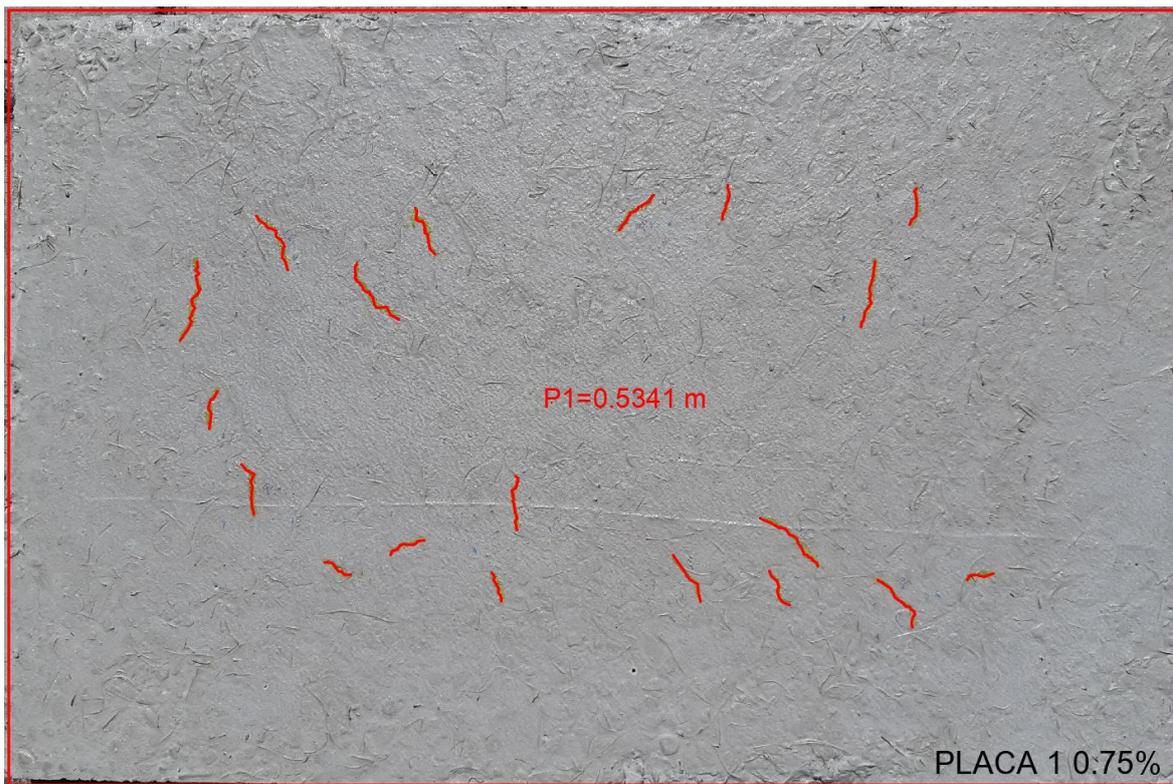
2) Placa 2 - 0% de fibra



3) Placa 3 - 0% de fibra



4) Placa 1 - 0.75% de fibra sin tratamiento



5) Placa 2 – 0.75% de fibra sin tratamiento



6) Placa 3 – 0.75% de fibra sin tratamiento



ANEXO XI

INFORME DE COMPRESIÓN EN CILINDROS



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0461-I
Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOHNNY ALEXANDER MACÍAS MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0993905571

Quito, 19 de diciembre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.75 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	SF1	2022-11-07	2022-12-06	29	100.75	7972	2250	196.1	TIPO 5	A	24.6	0.06
2	SF2	2022-11-07	2022-12-06	29	100.75	7972	2300	190.9	TIPO 5	A	23.9	0.06
3	SF3	2022-11-07	2022-12-06	29	101.75	8131	2270	191.8	TIPO 2	A	23.6	0.06
4	CF1	2022-11-10	2022-12-08	28	101.50	8091	2210	171.5	TIPO 4	A	21.2	0.06
5	CF2	2022-11-10	2022-12-06	28	101.75	8131	2180	176.8	TIPO 4	A	21.9	0.06
6	CF3	2022-11-10	2022-12-08	28	101.75	8131	2210	180.6	TIPO 2	A	22.2	0.06



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO ; B = SEGREGADO ; C = POROSIDAD ; D = FISURAS PREEXISTENTES ; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO XII

INFORME DE FLEXIÓN EN VIGAS



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



FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXVIG-23-001-I
Fecha de informe : 2023-01-10

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Johnny Alexander Macías Molina
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0993905571

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis de fisuración con corriente de aire inducido en placas de hormigón reforzado y fibras de palma africana 0.75 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	CFSN0.75-1	2022-12-20	28	104	104	300	15530	4,15
5	2022-11-22	CFSN0.75-2	2022-12-20	28	106	99	300	13060	3,75
6	2022-11-22	CFSN0.75-3	2022-12-20	28	103	104	300	15310	4,10

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, elemento, 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 parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609