

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL

## SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Mención en Diseño y Materiales

Análisis de factibilidad del uso de fibra de coco en la fabricación de ladrillos de cemento para construcciones de vivienda en el Ecuador.

Andrés Israel Aulestia Altamirano

Nota del Autor

Israel Aulestia, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Jaime Molina M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[aaulestia.mec@uisek.edu.ec](mailto:aaulestia.mec@uisek.edu.ec)

### **Declaración Juramentada**

Yo, Andrés Israel Aulestia Altamirano, con cédula de identidad 171604377, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente. El presente trabajo pertenece al programa de Ingeniería Mecánica con mención en Diseño y Materiales.



Andrés Israel Aulestia Altamirano

C. I.:1716043771

### **Dedicatoria**

El siguiente trabajo se lo dedico a mi madre Ligia Altamirano por siempre darme fuerzas cuando más lo necesitaba, por ser el pilar fundamental de mi familia y demostrarme que no importase el momento más difícil por el que uno pase, siempre existirá algo mejor esperándonos a la vuelta de la esquina y a mi padre Cristóbal Aulestia, por el apoyo y amor incondicional que me ha brindado durante toda mi vida, gracias a ellos, que siempre me demostraron que los valores son lo más preciado en una persona.

### **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres y mi familia, por ser fuente de inspiración, a mis amigos dentro y fuera de la universidad por haber recorrido este camino tan increíble conmigo, a mis profesores por el tiempo y la dedicación brindada para con nosotros los estudiantes, a la Ingeniera Ángeles Re y a la Corporación para la Investigación Energética por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar el presente proyecto.

**Índice de contenido**

Declaración Juramentada.....	I
Dedicatoria.....	II
Agradecimientos.....	III
Índice de tablas y figuras .....	VIII
Tablas .....	VIII
Figuras .....	X
Resumen .....	1
Abstract.....	2
Tema de investigación .....	3
Introducción.....	3
Planteamiento del problema .....	3
Formulación del problema.....	4
Variable dependiente. ....	5
Variable independiente.....	5
Justificación .....	5
Delimitación Espacial.....	6
Objetivos.....	6

Objetivo del estudio.....	6
Objetivos específicos.....	7
Hipótesis.....	7
Estado del arte .....	8
Impacto de la construcción en el medio ambiente.....	8
Materiales híbridos en la construcción .....	9
Ladrillos macizos cerámicos para el uso de mampostería.....	12
Mampostería y tipos de mampostería.....	12
Materiales y fabricación de ladrillos. ....	13
Proceso de moldeado, desmoldado y secado.....	14
Proceso de cocción y enfriamiento.....	15
Clasificación y requisitos de ladrillos cerámicos. ....	16
Patologías en ladrillos.....	17
Antecedentes de la Investigación .....	18
Normas Técnicas .....	21
Resistencia a la compresión.....	22
Ensayo de un material.....	22
Ensayo destructivo.....	23

Tipos de defectos y fallos en ensayos de resistencia a la compresión.....	23
Prueba de revenimiento .....	25
Cono de Abrams.....	25
Método.....	28
Metodología Aplicada .....	28
Materiales .....	28
Agregado fino.....	28
Agregado grueso.....	28
Cemento.....	28
Preparación de probetas.....	29
Llenado del molde.....	29
Desmoldado.....	31
Curado.....	31
Aditivos.....	31
Procedimiento de la prueba de revenimiento.....	33
Fibra de Coco.....	34
Procedimiento experimental.....	36
Segunda propuesta para ladrillos usando piedra pómez.....	46

Presentación, análisis y discusión de resultados.....	50
Presentación y análisis de resultados.....	50
Comparación de resultados con probetas adquiridas en el mercado .....	60
Discusión de resultado.....	62
Conclusiones.....	77
Recomendaciones .....	80
Referencias .....	83
Anexos.....	87

## Índice de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 1 Clasificación de ladrillos cerámicos. (INEN (Servicio Ecuatoriano De Normalización n.d.) .....	16
Tabla 2 Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos según la norma INENN 297. (INEN (Servicio Ecuatoriano De Normalización n.d.) .....	17
Tabla 3 Patologías encontradas durante y después de la fabricación de ladrillos cerámicos.(Construmática, Metaportal de arquitectura n.d.) .....	18
Tabla 4 Tipos de revenimiento. (Universidad Centroamericana José Simeone Cañas n.d.).....	26
Tabla 5 Tipo de aditivos según norma ASTM C- 494 .....	32
Tabla 6 Dosificación con 2.5% de fibra de coco. (Autor).....	40
Tabla 7 Dosificación con 5% de fibra de coco. (Autor).....	40
Tabla 8 Dosificaciones con 10% de fibra de coco. (Autor).....	41
Tabla 9 Dosificación con agregado de piedra pómez y 0% de fibra de coco. (Autor)...	46
Tabla 10 Dosificación con agregado de piedra pómez y 1.17 % de fibra de coco. (Autor) .....	47
Tabla 11 Dosificación con agregado piedra pómez, 0.6% de fibra de coco y cemento HE. (Autor).....	47

Tabla 12 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	50
Tabla 13 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	51
Tabla 14 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 10 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	51
Tabla 15 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio EPN, 2019) .....	53
Tabla 16 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio EPN, 2019).....	53
Tabla 17 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 10 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio EPN, 2019) .....	54
Tabla 18 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 21 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	56
Tabla 19 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 21 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	56
Tabla 20 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 10 % de fibra de coco con una edad de 21 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	57
Tabla 21 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 0 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	58

Tabla 22 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 1.17 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	59
Tabla 23 Resultados de ensayos de compresión a probetas con 0.6 % de fibra de coco con una edad de 7 días y uso de cemento HE bajo la norma ATM C39. (Laboratorio UISEK, 2019).....	60
Tabla 24 Resultados de ensayos de compresión realizados a probetas de ladrillos macizos artesanales existentes en el mercado ecuatoriano. (Laboratorio UISEK, 2019) .....	61
Tabla 25 Conteo de tipos de fallos en ensayos de compresión realizados a probetas en 7, 14 y 28 días de edad. (Autor) .....	65

## **Figuras**

Figura 1 Resistencia a la compresión de Mampuestos [Kg/cm <sup>2</sup> ]. (Rosana Gaggino, 2008).....	10
Figura 2 Ladrillos perforado con compuesto PET.(Rosana Gaggino, 2008) .....	11
Figura 3 Masa para la fabricación de ladrillos previo proceso de moldeado. (Galoc, 2012).....	13
Figura 4 Procesos de moldeado de ladrillos. (Lescano, 2014) .....	14
Figura 5 Proceso de secado del ladrillo crudo. (Galoc, 2012).....	14
Figura 6 Ciclo de cocción para ladrillos de arcilla. (Terán 2013) .....	15

Figura 7 Tipos de fallos y defectos en ensayos de compresión. (Laboratorio EPN, 2019) .....	23
Figura 8 Apreciación de falla "tipo 2 y 3" con defectos de porosidad durante el ensayo de resistencia a la compresión aplicado a probetas de concreto con 14 días de edad, se puede apreciar como bien formado en el extremo inferior con fisuras verticales en el extremo superior y un cono mal formado. (Autor).....	24
Figura 9 Planos del cono de Abrams. (Autor).....	25
Figura 10 Apreciación de la mezcla de concreto, luego de haber sido retirado del molde. (Autor).....	26
Figura 11 Características visuales que adopta la mezcla según el tipo de revenimiento vistos en la Tabla 3.(Universidad Centroamericana José Simeone Cañas, n.d.).....	27
Figura 12 Molde Cilíndrico.(Arequipa Aceros, n.d.).....	29
Figura 13 Varilla de inserción. (Autor).....	30
Figura 14 Toma de medida del proceso de revenimiento. (Autor).....	34
Figura 15 Diagrama de Procesos (Autor).....	36
Figura 16 Clasificación de la fibra de coco. (Autor).....	37
Figura 17 Lavado de la fibra de coco. (Autor).....	37
Figura 18 Secado de la fibra de coco. (Autor).....	38
Figura 19 Tamizado de tierra. (Autor).....	38
Figura 20 Pesaje de Fibra de coco. (Autor).....	39

Figura 21 Pesaje del agregado fino. (Autor).....	39
Figura 22 Adición de materiales para el proceso de mezclado. (Autor) .....	41
Figura 23 Ensayo de revenimiento, inserción de la varilla para lograr liberar cualquier burbuja de aire. (Autor) .....	42
Figura 24 Levantamiento del cono de Abrams, realizar el proceso en un tiempo de 4 a 7 segundos, levantamiento perpendicular a la base, no se debe realizar movimientos bruscos. (Autor).....	42
Figura 25 Posicionamiento del cono de Abrams junto a la mezcla para realizar la medición de revenimiento. (Autor) .....	43
Figura 26 Medición del ensayo de revenimiento. (Autor) .....	43
Figura 27 Moldes cilíndricos metálicos estandarizados. (Autor).....	44
Figura 28 Llenado de moldes con mezcla de hormigón. (Autor).....	44
Figura 29 Curado de las probetas. (Autor) .....	45
Figura 30 Ensayo de resistencia a la compresión. (Autor).....	46
Figura 31 Lavado de piedra pómez para eliminar impurezas. (Autor).....	49
Figura 32 Proceso de secado de la piedra pómez. (Autor) .....	49
Figura 33 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas con 7 días de edad. (Autor).....	52
Figura 34 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas de 14 días de edad. (Autor).....	55

Figura 35 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas de 28 días de edad. (Autor).....	58
Figura 36 Gráfica con los resultados finales de los ensayos a compresión a través del tiempo, realizadas en las probetas de 2.5%, 5% y 10 % de fibra de coco con una edad de 7, 14 y 28 días. (Autor).....	63
Figura 37 Gráfica de la línea de tendencia en la resistencia a la compresión de probetas de concreto con 28 días de edad. (Autor) .....	64
Figura 38 Gráfica de la línea de tendencia de los pesos específicos de la población de probetas ensayadas a los 28 días de edad con 2.5%, 5% y 10% de fibra de coco. (Autor) .....	64
Figura 39 Gráfica del conteo de tipo de fallas en población global de probetas. (Autor) .....	66
Figura 40 Probetas de terro-cemento con adición de fibra de coco, tras realizar el ensayo, el material logra estar sujeto sin desprenderse entre sí. (Panamá 2019) .....	66
Figura 41 Apreciación del tipo de falla 2 en probetas de concreto ensayadas a compresión. (Autor) .....	67
Figura 42 Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 2.5% de fibra de coco. (Autor) .....	68
Figura 43 Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 5% de fibra de coco. (Autor) .....	68

Figura 44 Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 10% de fibra de coco. (Autor) .....	69
Figura 45 Irregularidad superficial en probetas con un agregado del 10% de fibra de coco. (Autor).....	70
Figura 46 Gráfica de resultados de ensayos a compresión en probetas con 7 días de edad y distintos porcentajes de fibra de coco. (Autor).....	71
Figura 47 Gráfica de análisis comparativo de pesos específicos en probetas con 7 días de edad y distintos porcentajes de fibra de coco. (Autor) .....	72
Figura 48 Mezcla de terro-cemento con piedra pómez y el 5% de fibra de coco. (Autor) .....	73
Figura 49 Mezcla de terro-cemento con agregado de piedra pómez y el 1.7% de fibra de coco. (Autor).....	73
Figura 50 Apreciación de tipos de defectos de porosidad excesiva visibles en una probeta sin ensayar, que cuenta con 1.7% de fibra de coco y piedra pómez. (Autor)....	74
Figura 51 Defectos encontrados en ladrillos fabricados con porcentajes de 1.7% de fibra de coco. (Autor).....	75
Figura 52 Falla de tipo 3 visibles en probetas con agregado de 1.7% de fibra de coco ensayadas a compresión. (Autor).....	75
Figura 53 Falla de tipo 3 visibles en probetas con 0.6% de fibra de coco y cemento de alta resistencia HE. (Autor) .....	76

Figura 54 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión realizados a probetas de concreto con adición de fibra de coco. (Laboratorio EPN, 2019) .....	87
Figura 55 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión realizados a probetas de concreto con 10% de fibra de coco. (Laboratorio UISEK, 2019) .....	88
Figura 56 Resultados de ensayos de materiales realizado a la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020) .....	89
Figura 57 Resultado de peso específico y absorción de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020) .....	90
Figura 58 Ensayo para conocer el contenido orgánico de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020) .....	91
Figura 59 Ensayo realizado para conocer la granulometría de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020) .....	92
Figura 60 Ensayo para conocer la densidad relativa y la absorción del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019).....	93
Figura 61 Ensayo granulométrico del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019).....	94
Figura 62 Ensayo para conocer masa unitaria, peso volumétrico y compactado del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019)....	95
Figura 63 Proceso de mezclado de arena y fibra de coco. (Autor).....	96
Figura 64 Fibra de coco incorporada en la mezcla de concreto en un 5%. (Autor) .....	96

Figura 65 Excedente de fibra de coco visible en la superficie de probetas rectangulares. (Autor) .....	97
Figura 66 Visualización de la mezcla al ingresar 15% de fibra de coco “larga”, uno de los mayores inconvenientes que se presentaron durante el proyecto, trabajar con grandes proporciones de fibra. (Autor) .....	97
Figura 67 Revenimiento menor al aceptado en la norma, la mezcla poseía gran cantidad de fibra de coco, lo cual demandó mayor uso de agua, dando como resultado un revenimiento casi nulo. (Autor).....	98
Figura 68 Diferente ángulo de apreciación de la mezcla vista en la figura 67. (Autor). 98	
Figura 69 Mezcla de concreto, piedra pómez y fibra de coco. (Autor).....	99
Figura 70 Revenimiento de la mezcla vista en la figura 69, la cual se encuentra dentro de los parámetros que rigen la norma. (Autor).....	99
Figura 71 La fibra de coco ayuda a sostener la probeta de concreto luego de haber sido sometida a un ensayo de flexión. (Autor).....	100

### Resumen

Debido a la alta producción que existe de la fruta de coco en el Ecuador, la idea de reciclar la fibra natural producida tras el procesamiento de esta y utilizarla como material agregado en cementos para construcción, puede ayudar a disminuir el peso del hormigón. El agregado de fibras de coco en porcentajes de 2.5%, 5% y 10% con terrocemento, demostró bajas resistencias a la compresión en probetas con 21 días de edad. Por otro lado, el uso de piedra pómez más 1.7% fibra de coco alcanzó valores similares de resistencias a la compresión en probetas con una edad de 7 días. El uso de fibra de coco en porcentajes elevados, en la mezcla para fabricar ladrillos, produce fisuras y porosidades que logran comprometer al material reduciendo sus propiedades físicas y mecánicas, así mismo la fibra de coco queda expuesta, causando irregularidades en la superficie, impidiendo obtener un mejor acabado superficial. Las probetas fueron ensayadas a los 7 días, 14 días y 21 días según la norma ASTM C39. Los ladrillos fueron comparados con la resistencia estandarizada que rige en la norma técnica INEN 297 para ladrillos macizos cerámicos artesanales Tipo C, en la cual determina que la resistencia a la compresión promedio individual, debe ser de 6 MPa. La adición de fibra de coco en ladrillos con terrocemento, puede ser una gran alternativa en el uso paredes decorativas de interior, debido a su peso específico y a su baja resistencia, que lo convierte en un hormigón liviano.

### **Abstract**

Due to the high production of coconut fruit in Ecuador, the idea of recycling the natural fiber produced after processing it and using it as an added material in construction cements, can help reduce environmental pollution. The addition of coconut fibers in percentages of 2.5%, 5% and 10% with terro-cement, showed low compressive strength in test tubes with 21 days of age. On the other hand, the use of pumice stone plus 1.7% coconut fiber reached similar values of compressive strength in test tubes with an age of 7 days. The use of coconut fiber in high percentages, in the mixture to make bricks, produces cracks and porosities that manage to compromise the material reducing its physical and mechanical properties, likewise coconut fiber is exposed, causing irregularities in the surface, preventing obtaining a better surface finish. The specimens were tested at 7 days, 14 days, and 21 days according to ASTM C39. The bricks were compared with the INEN 297 standard for solid ceramic bricks. The addition of coconut fiber to terro-cement bricks can be a great alternative in using decorative interior walls, due to its specific weight, which makes it lightweight concrete.

**Tema de investigación**

Análisis de factibilidad del uso de fibra de coco en la fabricación de ladrillos de fibrocemento para construcciones en el Ecuador.

**Introducción****Planteamiento del problema**

El informe “Un espacio para el desarrollo de los mercados de la vivienda en América latina y el caribe”, desarrollado por el Banco Internacional de desarrollo (BID), determinó que el déficit de viviendas en Ecuador alcanza el 31%, con respecto al total de la población, es decir que 5,2 millones de personas no cuentan con una vivienda propia, a lo que se suma un déficit cuantitativo que está considerado en dos partes, la primera que está determinada por el número de familias que comparten el mismo techo y la segunda que analiza el número de familias que habitan en viviendas con baja calidad de materiales constructivos y que no puedan ser mejoradas; dicho déficit abarca un 10% de los hogares ecuatorianos, es decir que 1.7 millones de personas o no tienen vivienda propia o tienen pero en condiciones deplorables.(BID, 2019)

Según información del BID, Ecuador actualmente ocupa el séptimo lugar en la región Latinoamérica y del Caribe, respecto al déficit habitacional. Con fundamento en el artículo 30 de la Constitución de la República del Ecuador que reconoce a la vivienda segura y digna, como un derecho de los ecuatorianos, el ejecutivo, como una política gubernamental, emprendió un plan de construcción de viviendas denominado “Casa Para Todos”, que está dirigido a los habitantes de escasos recursos económicos. Comprometiéndose a invertir en el referido proyecto 672 millones de dólares de los Estados Unidos de América, para construir 220.900 casas a nivel nacional.

Este plan de construcción nacional demandaría una mayor explotación de recursos naturales no renovables como son arena y ripio. Según el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC), actualmente se necesita más de 2 toneladas de materia prima por cada m<sup>2</sup> en viviendas a construir, de las cuales más del 50% el material es de tipo árido<sup>1</sup>; y, añade que la producción de residuos de construcción y demolición supera una tonelada anual por habitante.(ITeC n.d.)

Hoy en día existen varias alternativas para reducir el uso de materiales naturales no renovables en la construcción, y una de ellas es el reciclaje de plásticos y fibras naturales renovables, las mismas que mejoran las propiedades tanto mecánicas como físicas. En el Ecuador una de las fibras naturales más desaprovechadas es la fibra de coco, la cual, como se verá en el estudio realizado posteriormente en el presente escrito, cuenta principalmente con propiedades tales como: alta capacidad de resistencia y larga durabilidad.

Debido a que en el país no existe una alta demanda de dicho material para la construcción, este termina como desecho, siendo posteriormente quemado, contaminando el medio ambiente. Por tales razones en el presente estudio se busca una alternativa de material de construcción reforzado con fibra de coco, que tenga una resistencia a la compresión que se enmarque en el promedio técnico, que dicta la norma técnica INEN 297 (8 MPa por cada espécimen) y liviano.

### **Formulación del problema.**

¿De qué manera incide la adición de fibra de coco en la resistencia a la compresión al ser utilizado en ladrillos de fibrocemento?

---

<sup>1</sup> Materiales áridos. – Conjunto de materiales granulares inertes, conocidos también como arenas, balasto, gravilla. (SIEMCALSA 2008)

**Variable dependiente.**

La resistencia a la compresión de probetas que contengan fibra de coco.

**Variable independiente.**

Adición de la fibra de coco en porcentajes de 2.5%, 5% y 10% en el hormigón.

**Justificación**

Además de existir un gran número de localizaciones cocoteras, tanto en la zona costera, como la oriental, según datos del (INEC 2000) existe una producción de 20000 Toneladas métricas. En la zona de La Tola existen 3600 hectáreas de coco en pequeñas fincas (Freire, 2012). En la actualidad más del 70% de la población de la Isla Tolita Pampa de Oro, ubicada al norte de la provincia de Esmeraldas, en el cantón Eloy Alfaro, se dedica a la producción y distribución del coco y sus derivados que son el agua y la pulpa, siendo ésta su principal fuente de ingresos. (Freire, 2012)

Hoy en día se puede obtener un sinnúmero de beneficios del coco, ya sea aceites para la fabricación de productos de limpieza del ser humano o su pulpa para producción de alimentos derivados de la misma, pero uno de los productos más relevantes, y a la misma vez menos utilizados del mismo es la propia fibra de coco.

En cuanto se habla del total del coco como producto en sí (100%), solo un 17 % es aprovechado, el que es netamente la parte comestible, se puede encontrar que en algunos casos la parte sólida o también llamado endocarpio, es utilizada para elaboraciones de artesanías y sus derivados. Los desechos que quedan que es netamente la fibra, son ocupados para facilitar el encendido de hornos artesanales, así como también fertilizantes.(Altamirano De La Cruz et al., 2015)

Debido a los datos vistos anteriormente de la producción cocotera y el porcentaje aprovechado del mismo, en el siguiente escrito, se plantea un análisis de factibilidad del uso de fibra de coco para la fabricación de ladrillos de fibrocemento para con ello, lograr un producto de mezcla compuesta, que brinde las mismas características físicas que un ladrillo de arcilla cocida, que se encuentra comúnmente en el mercado ecuatoriano, mejorando su resistencia y disminuyendo su peso.

Además de tomar como punto de partida en los datos referidos con antelación, se debe tomar como motivación principal, el uso de recursos renovables que no son comúnmente explotados en la actualidad, como lo es la fibra de coco, para con ello lograr encaminarse a un futuro sustentable, y así lograr disminuir el uso de recursos no renovables que no hacen más que afectar al medio ambiente en el cual vivimos.

### **Delimitación Espacial**

La fabricación de los ladrillos de fibrocemento fue realizada en el sector de Carretas, norte de Quito provincia de Pichincha, así mismo la arena de construcción cangahua<sup>2</sup>, fue obtenida del sector de Cochasquí a 52 km. del norte de Quito, en una altura que comprende entre 2800 y 3100 m s. n. m.

### **Objetivos**

#### **Objetivo del estudio.**

Determinar como la fibra de coco en adición a un material compuesto de cemento, agua, tierra y piedra pómez, inciden en la resistencia a la compresión, así también como su peso en probetas de 7, 14 y 21 días de edad.

---

<sup>2</sup> Cangahua. – también llamado tierra estéril, en su mayoría procedente de suelos volcánicos que presentan capas duras. (Claude, 1996)

### **Objetivos específicos.**

1. Realizar un análisis previo de estudios similares mediante la revisión de textos especializados y revistas científicas para la obtención de parámetros de cantidades de mezcla del nuevo composite.
2. Caracterizar los materiales utilizados para la fabricación de los ladrillos de fibrocemento, mediante ensayos de granulometría y pesos específicos, para la determinación de las dosificaciones correctas a ser aplicadas en la mezcla.
3. Realizar varias dosificaciones, utilizando diferentes proporciones de fibra de coco con relación al peso del cemento, para con ello lograr determinar la mezcla idónea final a trabajar en la construcción de bloques de fibrocemento.
4. Determinar el tamaño adecuado de la fibra de coco para ser utilizado en la dosificación de la mezcla base.
5. Realizar probetas normalizadas a los 7, 14 y 21 días, para su posterior análisis de resistencia a la compresión.

### **Hipótesis**

La adición de fibra de coco en la elaboración de ladrillos de fibrocemento mejorará la resistencia a la compresión del hormigón, haciendo factible su post producción para ser usado en la construcción de viviendas en el Ecuador.

## Estado del arte

### Impacto de la construcción en el medio ambiente

El incremento poblacional en el Ecuador ha llevado al sector de la construcción a buscar maneras más eficientes de albergar a la población, ya que, según datos del INEC, el Ecuador ha tenido un aumento del 4.19% en los últimos 3 años, es así como hoy en día es común encontrar edificaciones con mayor número de pisos, el cual ayudan a maximizar el espacio físico, logrando así albergar a mayor cantidad de personas. Dichos proyectos de construcción conllevan a impactos negativos en la sociedad. El agotamiento de recursos debido a la extracción de materias primas en subsuelos, el vertido de residuos sólidos generados durante el proceso de construcción el cual están clasificados en; 50% biodegradables, 20% reciclables, el 30% inertes y un 0.3% peligroso, energía que consume el transporte de materiales, gases tóxicos producidos por la fabricación de aditivos, plantean una problemática latente en el Ecuador. (Kaur & Arora, n.d.)

Si bien es cierto que el proceso de reciclaje de algunos plásticos, logran sustituir la cantidad de ciertos agregados de materias primas no renovables como subsuelos, en la mezcla de hormigón para construcción, el proceso de obtención de los mismos conlleva a una contaminación ambiental, debido a los gases y residuos que éstos producen en su fabricación.

Además de los materiales reciclables naturales ya antes mencionados, se puede encontrar en el mercado productos químicos que cumplen la función de acelerantes en los procesos de fraguado o plastificantes para mezclas de hormigón más resistentes, que con ayuda de agentes externos como puede ser el acero, coadyuven a mitigar posibles daños debido a catástrofes naturales como son terremotos, etc. En cuanto a la elaboración de estos productos químicos, en el siglo pasado eran producidos sin

importar el proceso, mientras económicamente fuese el más barato, esto conllevaba a producir desechos con agentes tóxicos que posteriormente debían ser eliminados, sin embargo en la segunda mitad del siglo XX, el grado de responsabilidad ambiental comenzó a crecer y los intentos por mitigar el daño por los procesos usados en ese momento comenzaron a dar resultados, lastimosamente el costo que se requería para disolver y controlar los agentes tóxicos era demasiado alto. En la actualidad existe un término que viene sonando cada vez más fuerte y es “La química verde”, que no es más que una aproximación a la síntesis, procesamientos y uso de compuestos químicos, que contribuyen a reducir posibles efectos tanto para el ser humano, como para el medio ambiente, esto gracias a una reducción e incluso eliminación de residuos, que puedan generar impactos negativos.(Baird, 2004)

### **Materiales híbridos en la construcción**

Un material híbrido, puede definirse como: “La combinación de dos o más materiales en una predeterminada geometría y escala, sirviendo óptimamente a un propósito específico diseñado”, es así que se podrá encontrar compuestos orgánico-inorgánico, que brinden propiedades físicas y mecánicas que ayuden a reemplazar o a disminuir el uso de ciertos agentes no renovables, como son agregados finos en la construcción.(Ashby y Bréchet 2003)

En la actualidad el uso de materiales compuestos en la construcción de puentes es cada vez más alto y esto es debido a los beneficios que brindan como son, disminución del peso del producto, costes reducidos de mantenimiento y comportamientos positivos frente a la corrosión y aumento de resistencias en la compresión tal y como lo muestra la figura 1. En términos de refuerzos estructurales, los materiales compuestos o híbridos, son bien conocidos y sumamente utilizados, pero

en cuanto a nuevas estructuras el uso de éstos se ha visto limitado, hoy en día se puede encontrar materiales como son fibras de carbono y poliamida aromática, que no son más que fibras sintéticas que aportan excelentes propiedades físicas y mecánicas. (Villalón et al., n.d.)

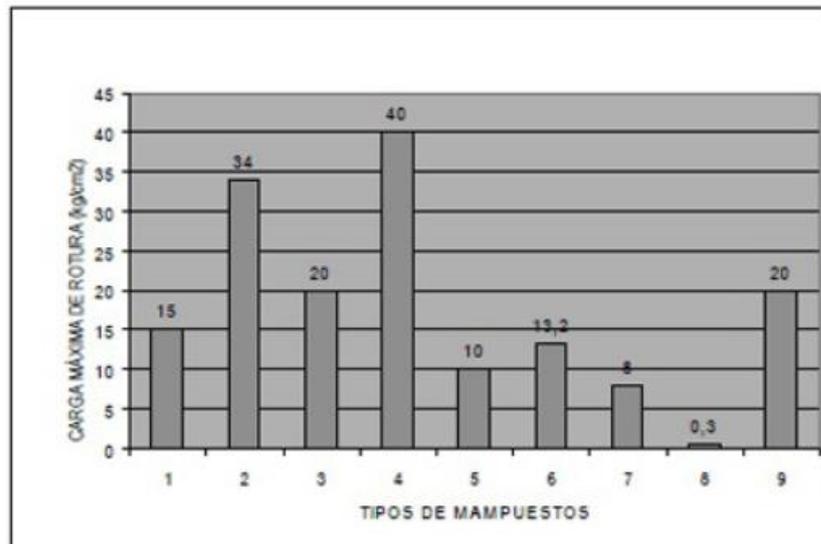


Figura 1 Resistencia a la compresión de Mampuestos [Kg/cm<sup>2</sup>]. (Rosana Gaggino, 2008)

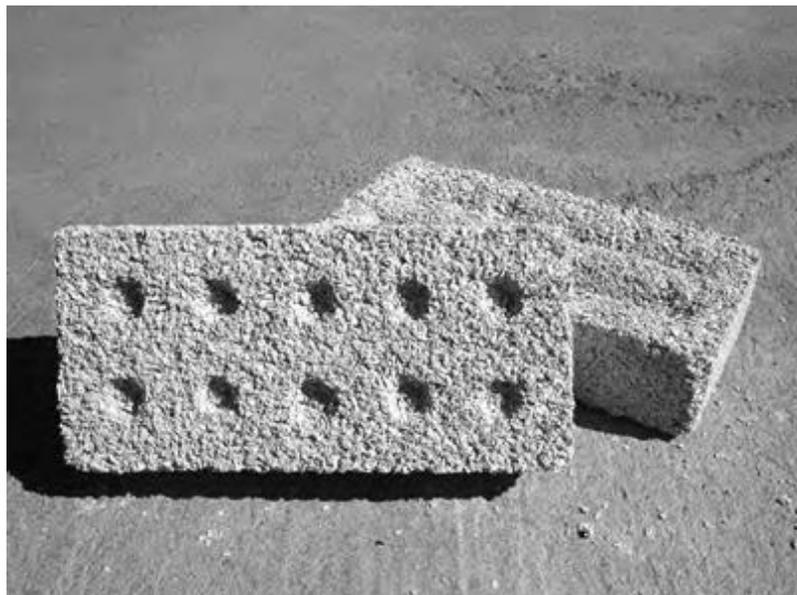
En la figura 1 la numeración que se muestra tiene el siguiente significado:

- |  |   |
|--|---|
| 1. Ladrillos y bloques cerámicos no soportantes.           | 5. Ladrillos con LDPE (Polietileno de baja densidad) reciclado. |
| 2. Ladrillos y bloques cerámicos portantes.                | 6. Ladrillos con plásticos reciclados.                          |
| 3. Bloques de hormigón no portantes.                       | 7. Ladrillos con PS reciclado.                                  |
| 4. Bloques con PET (Tereftalato de polietileno) reciclado. | 8. Ladrillos con PET reciclado.                                 |

Por otro lado, la reutilización de plásticos para la fabricación de ladrillos ya es una realidad, aproximadamente el 50% en peso de los desechos no son bio-degradables, de ahí el 13.3% del total pertenece a plásticos, en los cuales se puede encontrar, el polietileno de baja densidad que es comúnmente utilizado para fabricar bolsas de residuos, también se encuentra en menores cantidades el poliestireno expandido, el polietileno de alta densidad y el polipropileno.(Rosana Gaggino, 2008)

Existen 3 procesos utilizados para el reciclaje de plásticos:

1. Mecánico, el cual necesita de varias etapas para un reciclaje óptimo, dicho proceso está desglosado por la separación manual, triturado del plástico en partículas, clasificación de partículas, lavado y separación electrostática.
2. Químico, el cual deshace el plástico mediante la separación de las moléculas que lo componen.
3. Energético, que no es más que la incineración del plástico para generar energía.



*Figura 2* Ladrillos perforado con compuesto PET.(Rosana Gaggino, 2008)

### **Ladrillos macizos cerámicos para el uso de mampostería**

Los ladrillos cerámicos macizos son comúnmente utilizados en las construcciones de obras civiles, como edificios y viviendas debido a su propiedad de aislamiento térmico y su bajo costo de producción, si bien es cierto existe hoy en día una mayor demanda de bloques de cemento, aún es fácil encontrar en ciertas zonas de la sierra el uso de ladrillos, debido a sus prestaciones ya antes mencionadas y por la fácil obtención de materiales para su fabricación debido a su ubicación geográfica. Utilizado en su mayoría en edificaciones con sistemas de pórticos resistentes a momentos o mamposterías reforzadas.(García et al., 2012)

### **Mampostería y tipos de mampostería.**

La mampostería es un material estructural que puede ser compuesto por ladrillos de adobe o barro, bloques o cualquier material que sea unido previamente por un mortero<sup>3</sup>, la mampostería se subdivide de tres maneras(NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), 2014):

6. Mampostería reforzada, el cual, mediante una malla de acero conformada por varillas, logra en conjunto con la adición del concreto líquido soportar fuerzas verticales u horizontales.
7. Mampostería no reforzada, también llamada simple o sin refuerzo, es la cual no cumple con la Norma Ecuatoriana de Construcción, dicha mampostería carece de una estructura interna, que ayude a soportar esfuerzos, como por ejemplo los producidos por un sismo.

---

<sup>3</sup> Mortero. – Mezcla de materiales inorgánicos, agua y en ciertos casos aditivos sintéticos.(NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), 2014)

8. Mampostería confinada, esta mezcla se caracteriza por no poseer propiedades mecánicas, y físicas que cumplan con la función de pórticos resistentes a flexión, debido a que está fabricada de tal modo que obtenga una rigidez, así mismo está rodeado vigas o pilares de hormigón.

### **Materiales y fabricación de ladrillos.**

Los ladrillos son fabricados de arcilla o tierra arcillosa, el proceso de mezcla, algo complejo, requiere de arena, barro y tierra fértil previamente cernida para evitar cualquier tipo de agente externo que pueda comprometer la fabricación del ladrillo, a la mezcla previa ya antes mencionada se le agrega agua que por lo general se la almacena en pozos de hasta 3 metros de profundidad, esto para mantener una temperatura constante, debido a que las mezclas son fabricadas en grandes volúmenes es necesario la intervención de más de dos personas para llevar acabo la mezcla de los materiales antes mencionados hasta alcanzar una homogeneidad idónea. (Galoc, 2012)



*Figura 3* Masa para la fabricación de ladrillos previo proceso de moldeado. (Galoc, 2012)

**Proceso de moldeado, desmoldado y secado.**

Los moldes estandarizados son previamente limpiados con arenilla, una vez realizado el proceso de limpieza, se coloca la mezcla dentro de los mismos, también llamados “gaveras”, se compacta la mezcla y se enrasa, para dar un acabado superficial llano, como se muestra en la figura 4, posterior a esto es trasladado al lugar en dónde se ordenan cuidadosamente y se desmolda todos los ladrillos crudos, colocándolos sobre paja o pajilla por un tiempo de 12 días para comenzar el proceso de secado.



*Figura 4* Procesos de moldeado de ladrillos. (Lescano, 2014)



*Figura 5* Proceso de secado del ladrillo crudo. (Galoc, 2012)

### Proceso de cocción y enfriamiento.

Una vez pasado el tiempo de 12 días a la intemperie, los ladrillos son ubicados en hornos cerrados para su posterior cocción, esto con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y físicas ya que, sin este proceso, las propiedades de un ladrillo crudo serían muy bajas y no cumplirían con la norma INEN 297 “Requisitos en ladrillos cerámicos-resistencia a la compresión”. El proceso de horneado de los ladrillos, está distribuido en tres etapas: la primera que es el precalentamiento el cual consiste en que la mezcla alcance 100° C, logrando así perder paulatinamente el agua; en la segunda etapa llamada cocción, la mezcla alcanza las propiedades mecánicas y físicas como tenacidad y dureza requeridas por la norma, gracias a este proceso de cocción que puede llegar a temperaturas mayores a 800° C la mezcla adquiere su coloración tan especial y reconocida en el área de construcción; y, por último, se tiene la etapa de enfriamiento, el tiempo que requiere dicho proceso dependerá del tamaño de las piezas fabricadas, a mayor volumen, mayor tiempo, si el mencionado proceso se lo realiza de manera abrupta, podría ocasionar fragilidad en los ladrillos y disminuir considerablemente sus resistencias físicas y mecánicas; por el contrario, si se produce un enfriamiento lento, lograremos piezas más resistentes. (Ruiz, 2015)

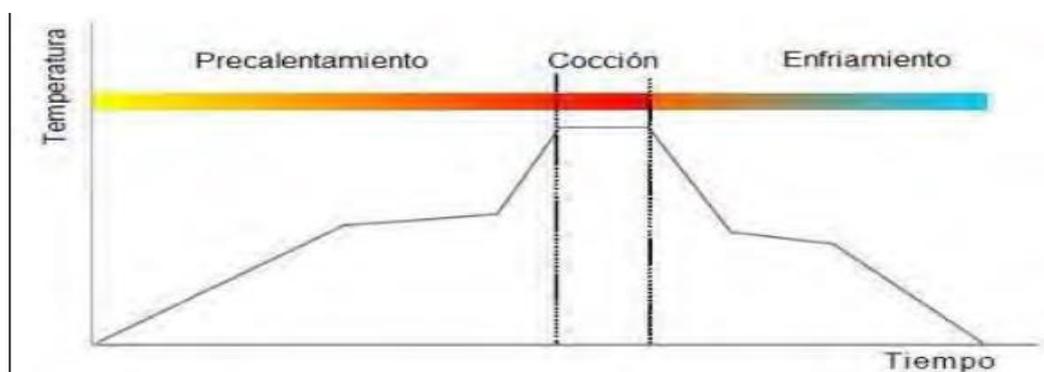


Figura 6 Ciclo de cocción para ladrillos de arcilla. (Terán 2013)

### Clasificación y requisitos de ladrillos cerámicos.

Según la norma (INEN 297), existen 6 tipos de ladrillos, éstos a su vez se sitúan en dos grupos, macizos y huecos, a continuación, se muestra cada uno de los tipos de ladrillos y sus principales características.

Tabla 1

*Clasificación de ladrillos cerámicos.* (INEN (Servicio Ecuatoriano De Normalización, n.d.)

Tipo de ladrillos	Característica	Grupo
Tipo A	Ladrillo prensado, color rojizo, ángulos y aristas rectas, no deberá presentar manchas.	Macizo
Tipo B	Ladrillo de máquina, características similares al “ <i>Tipo A</i> ”, con la excepción de que puede tener leves imperfecciones en sus caras exteriores, variaciones de hasta 5 mm en sus aristas.	Macizo
Tipo C	Ladrillo semejante al “ <i>Tipo B</i> ”, con la diferencia de que puede ser fabricado a mano y contar con imperfecciones en sus caras exteriores, variaciones de rectitud de arista de hasta 8 mm.	Macizo
Tipo D	Deberán ser empleados en la construcción de muros soportantes, tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado.	Hueco
Tipo E	Debe ser empleado únicamente en tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado	Hueco
Tipo F	Empleado únicamente en relleno de losas alivianadas de hormigón armado.	Hueco

*Nota:* Los ladrillos tipo hueco, deben ser ladrillos de máquina, color rojizo, con ángulos y aristas rectas.

En la tabla 2 se indica las resistencias mínimas a la compresión y flexión con la que deben contar los ladrillos cerámicos basados en la norma INEN 297.

Tabla 2

*Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos según la norma INEN 297. (INEN n.d.)*

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa*		Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio 5 unidades
Macizo tipo A	25	20	16
Macizo tipo B	16	14	18
Macizo tipo C	8	6	25
Hueco tipo D	6	5	16
Hueco tipo E	4	4	18
Hueco tipo F	3	3	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 296

### **Patologías en ladrillos.**

Las patologías en ladrillos son defectos que son producidos al momento de la fabricación, son originados o provocados por agentes externos, como movimientos estructurales, cimentaciones previamente afectadas, etc., defectos propios del espécimen al momento de su fabricación o por el mismo mortero; a continuación, se presenta una tabla con los fallos o defectos que puede presentar un espécimen de ladrillo.(Construmática, Metaportal de arquitectura, n.d.)

Tabla 3

*Patologías encontradas durante y después de la fabricación de ladrillos cerámicos.*(Construmática, Metaportal de arquitectura, n.d.)

Patología	Tipo	Característica
Defectos en la fabricación	Cocción de ladrillos	Tiempos cortos de cocción Temperaturas bajas
	Caliches	Concentraciones de óxido de cal, aumentando su tamaño en 0,5 mm al ser hidratada, producido por deficiente preparación en el moldeado
Lesiones por mala calidad del mortero	Exfoliaciones	Uso de arcilla excesivamente plástica, produciendo capas de arcilla yuxtapuesta sin tratar roturas frágiles en el espécimen.
	Retracciones del mortero	Debido a altas concentraciones de agua o cemento durante el fraguado.
Lesiones provocadas por el agua	Movimientos diferenciales	Comportamientos erráticos entre el ladrillo y el mortero causando variaciones térmicas, provocando rupturas en el ladrillo.
	Capilaridad	Provocado por la ascensión de agua a través de la microporosidad del ladrillo.
	Agua de lluvia	Manchas de humedad producida por la prolongada exposición al agua lluvia.
Lesiones por acciones mecánicas	Condensación	Debido al vapor que contiene el ambiente, puede aparecer humedad por condensación, produciendo hongos, manchas y olor característico.
	Eflorescencias	Cúmulo de sales minerales sobre la superficie de un espécimen, debido a la migración de la solución salina a través de los poros, en combinación con el agua y hielo, pueden llegar a comprometer el espécimen.
Lesiones por acciones mecánicas	Corrosión	Debido a problemas con recubrimiento al momento de fabricación, pueden presentar oxidación y fisuras horizontales.
	Dilatación	Diferencias de dilatación del mortero y el ladrillo, produciendo grietas y fisuras.

### **Antecedentes de la Investigación**

En la actualidad, existen varias propuestas ingenieriles arrojadas por la comunidad, en el cual se analiza el uso de fibras naturales para procesos de

construcción, es así que encontramos el primer trabajo, que corresponde a (Liliana Quintero García y Octavio González Salcedo 2006), quienes realizaron la investigación de: “Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del cemento”. En este artículo, se pudieron evaluar las propiedades físicas químicas y mecánicas, para la caracterización de la estopa de fibra de coco, con longitudes que comprenden entre 2 y 5 cm. Las recopilaciones de los datos obtenidos de este artículo tienen como objetivo determinar la caracterización de la estopa de fibra de coco y como éste influye en las propiedades físicas de una matriz añadida al cemento, dando como resultado que las más bajas deformaciones se las encontró al usar fibra con una longitud de 5 cm, la cual fue inferior para un volumen de adición del 1.5%. Así mismo la resistencia a la compresión más elevada fue al usar un volumen de fibra de 1.5%, usando fibra de 2 cm de longitud. Como conclusión, (Quintero et al, 2006), afirma que la adición de fibra afectó positivamente la resistencia a la flexión, teniendo como mayor valor la resistencia al concreto con la adición de la fibra con longitudes de 5 cm y un 0.5% del total del volumen de la matriz.

Como segundo aporte en investigación corresponde a (Gerardo Altamirano de la Cruz, Sulpicio Sánchez Tizapa y Alfredo Cueva Sandoval, 2015), quienes realizaron la publicación de: “Utilización de fibra de coco en la elaboración de piezas eco sustentables de mampostería”. En dicho artículo, proponen el análisis de diferentes proporciones de fibra de coco, en adición con materiales tales como arena, cenicilla, etc., obteniendo como resultados un incremento de peso específico, sin variar positiva o negativamente la resistencia a la compresión. Sin embargo al ocupar porcentajes tales como, 5% y 10% de fibra de coco, se determinó un aumento de aproximadamente un 50% en los datos arrojados por la resistencia a la compresión, concluyendo que los

mejores porcentajes a trabajar en este tipo de dosificaciones con materiales híbridos, son los antes mencionados.(Altamirano De La Cruz et al., 2015)

Para determinar límites en el proyecto, se debe tener en consideración modelos ya existentes en el mercado, para obtener un mejor rango de comparación con el cual se pueda trabajar de una manera más ordenada y sustentar el proyecto, logrando determinar errores que puedan presentarse, tal y como lo demuestran León y Vallejo en su estudio de “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre bloques ordinarios y bloques con la introducción de materiales alternativos: caucho y coquilla de palma africana utilizando la norma INEN 639”. En el cual presenta las resistencias mínimas dadas por la norma INEN 639 y sus complementarias, INEN 638 y 643, logrando así determinar que la resistencia mínima a la compresión para bloques de mampostería no soportante es de 3.5 MPa por cada bloque; así mismo destaca que cada espécimen o probeta a ser analizada, no debe mostrar humedad visible en cualquier superficie. Además de realizar varias muestras con diferentes porcentajes, tanto del 10%, 20%, 30% y 40% de adición de materiales, que en este caso se enfocará en la coquilla de palma africana, las autoras pudieron mostrar que, en un promedio, el mejor porcentaje de adición es el de 10% arrojando un valor de 5.196 MPa y el de menor valor siendo el de 40%, con un valor promedio de 1.835 MPa.(León Guamán & Vallejo Aguayo, 2019)

En el cuarto aporte, que corresponde a ( Silvia Patricia García Gonzáles, 2015), quien realizó el “Estudio de Factibilidad para la Industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa De Oro-Esmeraldas”, concluye que la industrialización de la fibra de coco, obtenida de los desperdicios de la fruta como tal, ayuda en gran medida al medio ambiente, ya que en dicho sector, se puede encontrar una producción de 36000 Kilogramos mensuales en desperdicio, en virtud, de que, como se mencionó antes, en el

Ecuador actualmente no existe una entidad encargada de regular todo el desecho que produce la fruta de coco, es por eso que mediante el análisis de García se puede apreciar un promedio de producción anual, que demostraría lo factible que es la industrialización y post comercialización de la fibra de coco como tal.(García González, 2015), dicho esto, se puede entender el volumen de desperdicios que deja la producción de la planta de coco "*cocos nucifera*" y como en grandes cantidades puede llegar afectar el medio ambiente, si no existe un post procesamiento para dichos desperdicios.

### **Normas Técnicas**

El presente proyecto se desarrolló en base a las siguientes normas técnicas:

9. INEN 2380: Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.
10. ASTM C136: Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos.
11. INEN 696: Determinación de granulometrías de los áridos gruesos y finos que se utilizarán en el hormigón.
12. ASTM C39: Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
13. ASTM C31: Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.
14. ASTM C1231: Práctica normativa para el uso de capas no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de concreto endurecido.
15. ASTM 494: Clasificación de aditivos.
16. ASTM C143-00: Ensayo normalizado para determinar el descenso de cono del hormigón elaborado con cemento hidráulico.

17. INEN 297: Requisitos para ladrillos cerámicos.
18. INEN 293: Ladrillos cerámicos. Definiciones, clasificaciones y condiciones generales.
19. INEN 635: Ladrillos refractarios silico aluminosos.

### **Resistencia a la compresión**

Se lo define como el esfuerzo máximo que soportará un material bajo una incidencia de carga de aplastamiento antes de presentar una falla de ruptura, en cuanto a materiales que no llegan a presentar fisuras, se lo define como la fuerza máxima necesaria para deformar un material. La necesidad de practicar el referido ensayo está dada con el fin de conocer las mezclas idóneas que cumplan con los requerimientos de resistencia específica [ $f'c$ ]. El ensayo de compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste la carga y se lo obtiene en megapascuales [MPa].(Imcyc, 2006)

El resultado del mencionado escrito está dado por el promedio de al menos dos especímenes que se encuentren en las mismas condiciones de curado y edad. Éstos pueden ser analizados a los 7, 14 y 21 días, dependiendo de las necesidades del proyecto.

### **Ensayo de un material.**

Para lograr determinar las propiedades mecánicas que caracterizan a un material es necesario realizar ensayos, éstos a su vez se subdividen en destructivos y no destructivos.(Rojas, 2015)

### Ensayo destructivo.

Los ensayos destructivos, son aquellos que como su nombre lo indica, destruyen o deforman el material a ensayar como el concreto. Para poder recabar información para un posterior análisis, existen varios tipos de ensayos destructivos, como lo son el de tracción, compresión, flexión, torsión, etc.(Rojas, 2015)

### Tipos de defectos y fallos en ensayos de resistencia a la compresión.

Como se puede apreciar en la figura 7, las probetas sometidas a cargas para lograr determinar la resistencia máxima de soporte del concreto pueden arrojar diferentes tipos de fallas y defectos debido comúnmente a problemas con la mezcla y temperatura no controlada durante el curado.



Figura 7 Tipos de fallos y defectos en ensayos de compresión. (Laboratorio EPN, 2019)

En la figura 7, los tipos de falla tienen el siguiente significado (NTC 673):

- Tipo 1: Se produce en especímenes cuando es bien aplicada la carga de compresión sobre la cara de una probeta con una superficie plana.
- Tipo 2: Se produce en especímenes que cuentan con conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, como no bien definido en el otro extremo.

- Tipo 3: Se produce en especímenes que presentan fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados.
- Tipo 4: Se observa una fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos, es necesario golpear suavemente para poder distinguirla de la falla Tipo 1.
- Tipo 5: Se produce en especímenes con concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.
- Tipo 6: Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



*Figura 8* Apreciación de falla "tipo 2 y 3" con defectos de porosidad durante el ensayo de resistencia a la compresión aplicado a probetas de concreto con 14 días de edad, se puede apreciar como bien formado en el extremo inferior con fisuras verticales en el extremo superior y un cono mal formado. (Autor)

### Prueba de revenimiento

La prueba de revenimiento permite conocer de mejor manera la trabajabilidad del material empleado en los respectivos ensayos, a través de la medición resultante de la diferencia entre el punto máximo del cono de Abrams y el punto máximo de la mezcla una vez retirado el molde. (Universidad Centroamericana José Simeone Cañas, n.d.)

### Cono de Abrams.

El molde utilizado para la prueba de revenimiento es un cono truncado que cuenta con un diámetro de base de 8 pulgadas (204 mm) y un diámetro superior de 4 pulgadas (101.6 mm). El material de dicho cono debe ser de metal y debe contar con abrazaderas para poder realizar la sujeción y el posterior vaciado de mezcla en una superficie plana. (Universidad Centroamericana José Simeone Cañas, n.d.)

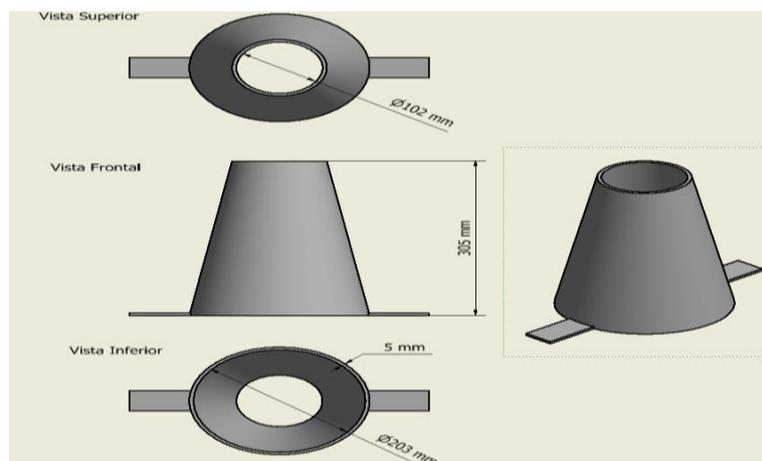


Figura 9 Planos del cono de Abrams. (Autor)



*Figura 10* Apreciación de la mezcla de concreto, luego de haber sido retirado del molde. (Autor)

A continuación en la tabla 4 se puede apreciar los tipos de revenimiento así como sus principales características.

Tabla 4

*Tipos de revenimiento.* (Universidad Centroamericana José Simeone Cañas, n.d.)

Tipo de Revenimiento	Característica
Revenimiento cercano a cero (a)	Mezcla que presenta buena trabajabilidad, pero que contiene bajo porcentaje de agua.
Revenimiento normal (b)	Mezcla que cuenta con una excelente trabajabilidad, cumple con los parámetros para un hormigón estructural, el cual está entre 2 a 7 pulgadas.
Revenimiento por cizalladura o cortante (c)	La mezcla de concreto carece de plasticidad y cohesión <sup>4</sup> , los datos arrojados tras una prueba realizada a este tipo de material pueden ser cuestionables.

<sup>4</sup> Cohesión. – Propiedad de un material, el cual determina si existe un buen anclaje superficial, es decir que tenga una buena resistencia mecánica a la tracción y las partículas permanezcan juntas entre sí. (Instituto de Promoción Cerámica de Castellón, 2007)

---

Colapso en el revenimiento (d)

Mezcla con dosificaciones erróneas, un concreto pobre debido al uso en exceso de agregados gruesos, o un contenido extremadamente alto de humedad.

---



*Figura 11* Características visuales que adopta la mezcla según el tipo de revenimiento vistos en la Tabla 3.(Universidad Centroamericana José Simeone Cañas, n.d.)

## **Método**

### **Metodología Aplicada**

El tipo de metodología aplicada en el presente escrito es de tipo investigación cuantitativa, mediante la cual se utiliza la recolección de datos de muestras analizadas, para responder las preguntas de la Hipótesis de un tema en especial, basado en la medición numérica y el uso de la estadística para establecer con precisión patrones de comportamiento en una población. (Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio 2004)

### **Materiales**

#### **Agregado fino.**

Como se puede observar en el informe del ensayo adjunto en el capítulo de anexos, figuras 60, 61, 62 realizado al material obtenido en el sector de Cochasquí, se determinó que es una arena fina con alta densidad de  $2,35 \text{ g/cm}^3$  y con una capacidad de absorción de 4,9%.

#### **Agregado grueso.**

En el agregado grueso se cuenta con piedra pómez, que, según los datos arrojados por el ensayo adjunto en el capítulo de anexos figuras 56, 57, 58, 59, cuenta con una densidad baja de  $0.62 \text{ gr/cm}^3$ , así mismo su capacidad de absorción es de 41.94% y su peso específico es de  $1.693 \text{ gr/cm}^3$ .

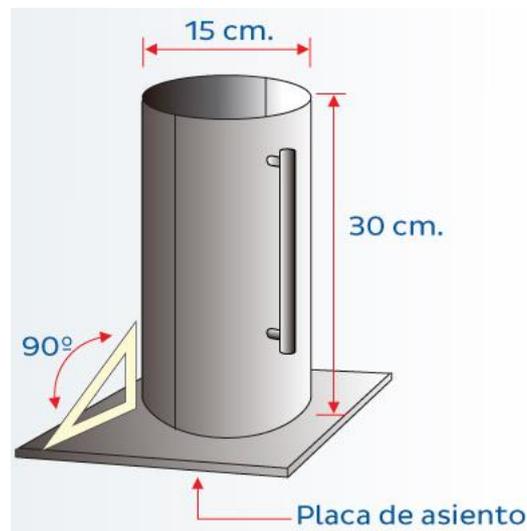
#### **Cemento.**

Para la mezcla previa a la fabricación de ladrillos, se utilizó cemento hidráulico de alta resistencia o también llamado Cemento HE el cual, como su nombre lo indica, brinda mayor resistencia en tiempos cortos, alcanzando así resistencias desde 12 MPa

hasta 40 MPa, según el fabricante (Holcim S.A., n.d.). Sin embargo, estos resultados pueden variar según los agregados externos que se utilicen a la hora de la fabricación de determinado producto, como se verá más adelante en el presente escrito.

### **Preparación de probetas.**

Los cilindros que contengan la mezcla a ser analizada deberán estar normalizados y contarán con un tamaño de [150 \* 300 mm], tal y como muestra la figura 12.(Imcyc, 2006).



*Figura 12* Molde Cilíndrico.(Arequipa Aceros, n.d.)

### **Llenado del molde.**

Una vez obtenida la mezcla deseada, el proceso de llenado debe ser realizado en 4 fases:

1. Colocar la mezcla de hormigón en un 1/3 de la probeta, posteriormente, se procederá a ingresar una varilla lisa de [60 cm de longitud \*  $\varnothing$  5/8"]

con la punta redondeada tal y como lo muestra la figura 13, para poder realizar 25 inserciones de forma descendente y ascendente, hasta lograr una capa uniforme dentro de la probeta.

2. Se procede a llenar los otros  $2/3$  de la probeta con la mezcla y realizamos el mismo procedimiento con la varilla, teniendo en cuenta que esta vez las inserciones se las hará hasta ingresar 1 pulgada de la superficie del primer llenado.
3. Se procede a llenar los otros  $3/3$  restantes de la probeta con la mezcla y realizamos el mismo número de inserciones con la varilla, pero esta vez hasta ingresar 1 pulgada de la superficie del segundo llenado.
4. Una vez completado los tres procedimientos antes mencionados, se realiza 10 golpes en los costados del molde con un martillo de goma para lograr liberar cúmulos de aire dentro de la mezcla y por último se enrasa la mezcla con el borde del molde usando la misma varilla lisa, para obtener un acabado plano superficial.

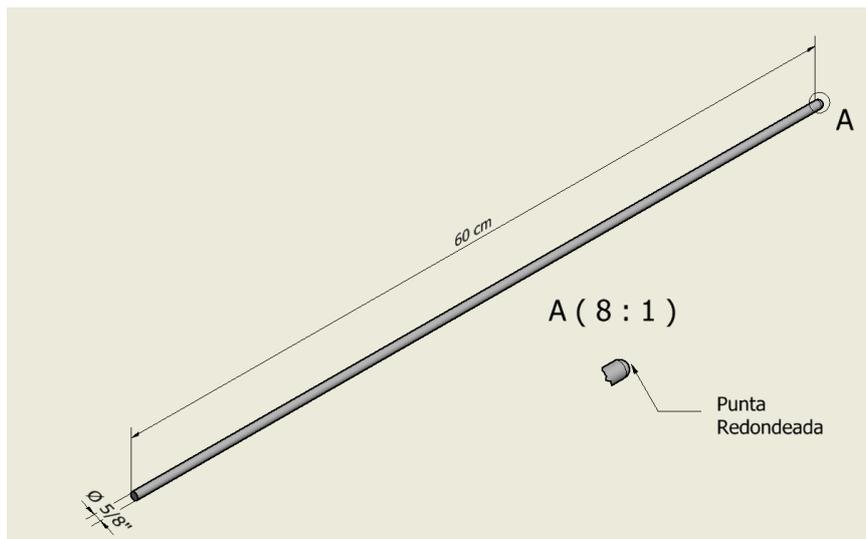


Figura 13 Varilla de inserción. (Autor)

**Desmoldado.**

El tiempo necesario que se debe esperar para desmoldar una vez colocado la mezcla dentro de los moldes es esencial, así como la temperatura que éste estará en reposo, como primer punto el tiempo que debe permanecer la mezcla dentro del molde debe ser de 18 a 24 horas, es decir hasta que la mezcla haya alcanzado un punto de endurecimiento ideal para poder ser desmoldado. La temperatura ambiente en donde reposen las probetas debe estar en un rango de 20°C hasta 27°C; si estos parámetros llegan a verse alterados, los datos tras el ensayo arrojaron resultados erróneos. Es importante etiquetar cada probeta con el nombre, edad, fecha de fabricación y de ser necesario, porcentajes de materiales según demande el proyecto.

**Curado.**

Una vez desmoldadas las probetas se procede a almacenarlas dentro de recipientes en los cuales deben estar sumergidas por completo en agua y a una temperatura que podrá oscilar entre 23°C y 25°C. Como dato adicional, las probetas deben mantenerse en las mismas condiciones que la estructura, es decir, que, si por cualquier motivo a la estructura no se le ha realizado el adecuado curado, las probetas deberán estar sometidas bajo las mismas condiciones de ésta.

**Aditivos.**

Son productos altamente utilizados en el área de construcción, debido que pueden mejorar o modificar las propiedades en la mezcla base de hormigón, al ser agregados en proporciones mínimas; estos a su vez están clasificados de acuerdo a las propiedades que brindan (Norma ASTM 494)(Fernández Canovas, 2013):

A continuación, en la tabla 5 se muestran los tipos de aditivos y sus principales características según la norma ASTM C-494.

Tabla 5

*Tipo de aditivos según norma ASTM C- 494*

Tipo de Aditivo	Característica
Tipo A	Reductor de agua.
Tipo B	Retardador de fraguado.
Tipo C	Acelerador de fraguado.
Tipo D	Reductor de agua y retardador.
Tipo E	Reductor de agua y acelerador.
Tipo F	Reductor de agua de alto efecto.
Tipo G	Reductor de agua de alto efecto y retardador.

El plastificante utilizado en el proyecto es un Ale-786, el cual es un aditivo acelerador y texturizante, que permite reducir la cantidad de agua, con un pH de 7 a 8, una densidad de 1.145 gr/cm<sup>3</sup>, contiene cloruro, el cual cumple la norma ASTM C-494. Este aditivo es comúnmente empleado en la industria de fabricación de bloques, hormigón visto y todo tipo de mezclas secas; el propósito del uso de este tipo de aditivos es generar mayor plasticidad, hormigones más compactos, un aumento de resistencia a la compresión de entre 10% a 20% y mejorar la trabajabilidad en mezclas secas.(Aditec, 2015)

**Procedimiento de la prueba de revenimiento.**

Para la prueba de revenimiento, es necesario asentar el cono sobre una superficie plana y que no contenga ninguna impureza, así mismo, debemos hacer uso de una varilla, la misma que ayudará mediante un número determinado de inserciones a retirar posibles burbujas de aire; el procedimiento se detalla a continuación:

1. Humedecer la cara interior del molde, esto evita que la mezcla quede adherida al momento de retirarla en el procedimiento. Así mismo se debe humedecer la varilla para que no exista este tipo de problemas al momento de las inserciones.
2. Colocar la base “cara con mayor diámetro” en una superficie plana y no absorbente.
3. Sujetar de manera firme el molde y pararse sobre las placas soldadas que se encuentran a los costados, haciendo presión para prevenir posibles deslizamientos del molde.
4. Verter la mezcla de concreto hasta llenar un  $\frac{1}{3}$  del volumen del cono.
5. Realizar 25 inserciones a la primera capa para lograr eliminar cualquier burbuja de aire que exista dentro de la mezcla; se debe procurar realizar dichas inserciones en toda la mezcla para mejorar el resultado.
6. Verter más mezcla, hasta llenar  $\frac{2}{3}$  del volumen del cono.
7. Realizar de nuevo 25 inserciones con la varilla teniendo en cuenta de no sobrepasar más de 1 pulgada la superficie de la capa anterior.
8. Llenar por completo el cono y realizar el mismo procedimiento del paso 7. Si la mezcla no se encuentra por encima de la superficie del cono debido a las previas inserciones, agregar más mezcla.

9. Humedecer la varilla y enrasar la superficie superior del molde, de modo que la mezcla quede con un acabado superficial plano.
10. Con extremada precaución y sin movimientos bruscos retirar el molde de forma vertical en un tiempo de 5 a 7 segundos.
11. Colocar el molde junto a la mezcla y proceder a realizar la medida, tal y como lo muestra la figura 14.



Figura 14 Toma de medida del proceso de revenimiento. (Autor)

### **Fibra de Coco.**

La fibra de coco es un subproducto, el cual se obtiene del desecho del fruto de coco, es decir el tejido del mesocarpio. Dicho proceso permite obtener fibras cortas, largas y polvo de coco, con densidades de  $0.04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  hasta  $0.08 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; así mismo el pH promedio que se encuentra en la fibra de coco está dado en un rango de 5.6 a 6.9 y su conductividad eléctrica va de  $0.3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  hasta  $2.9 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  según (Evans et al., 1996). Las características principales que se puede apreciar en la fibra de coco, es que obtienen una gran retención de humedad, el cual sobrepasa el 65%, según (Pire &

Pereira, 2003). Uno de los principales inconvenientes que encontramos en la fibra de coco es la salinidad que cuenta con un  $0.63 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , como también la variabilidad del origen de dichos desperdicios, esto conlleva a la alteración de los rangos ya antes mencionados; así mismo si la salinidad se encuentra en una cantidad elevada, produciría un aumento de conductividad eléctrica. (Evans et al., 1996; Tapia et al., 2008)

Según estudios realizados, la fibra de coco también es sometida a procesos de lavado secundario con cal, para realizar este tratamiento, las proporciones son 10 gramos de cal por cada litro de agua a usar, se debe colocar la fibra seca dentro de la lechada de cal y se deja reposar ahí por 48 horas, una vez transcurrido este tiempo, debe enjuagar varias veces la fibra para poder eliminar cualquier residuo como aceites vegetales, etc. Este tratamiento permite proteger a la fibra de coco de agentes externos como hongos, además de proporcionar mejor adherencia. (Rojas, 2015)

Procedimiento experimental

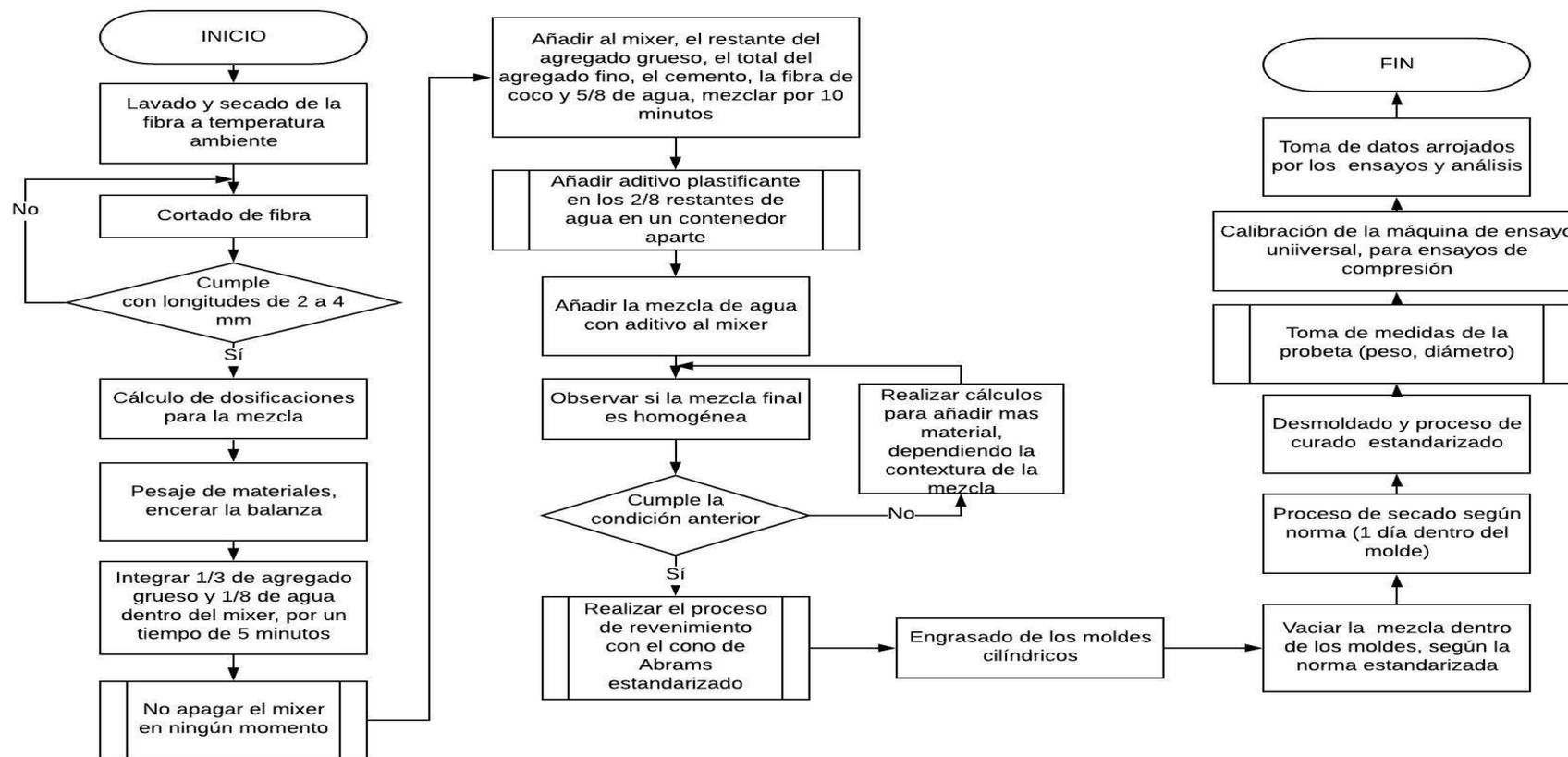


Figura 15 Diagrama de Procesos (Autor)

El primer paso es clasificar y limpiar la fibra de coco, en el mercado ecuatoriano se puede encontrar tanto la fibra corta como larga. Para el proceso experimental se empleó exclusivamente la fibra corta ya que se necesita una longitud máxima de 2 a 4 cm para la fabricación de ladrillos de fibrocemento, debido a que, si la longitud excede de la antes mencionada, podría quedar expuesta superficialmente.



*Figura 16* Clasificación de la fibra de coco. (Autor)

Una vez se haya clasificado la fibra de coco, el siguiente paso es lavarla para poder extraer todo tipo de impurezas restantes que no pudieron ser eliminadas en el anterior proceso tal y como lo muestra la *figura 17*.



*Figura 17* Lavado de la fibra de coco. (Autor)

A continuación, la fibra de coco es secada a temperatura ambiente para lograr reducir la humedad de la fibra, y poder sustraer cualquier tipo de desecho que quede aún dentro de la misma.



*Figura 18* Secado de la fibra de coco. (Autor)

Como siguiente paso, se procede a cortar la fibra en longitudes de 2 a 4 cm, esto es para mejorar la trabajabilidad e integración de la mezcla en conjunto con los otros materiales a agregar y se tamiza la tierra para eliminar piedras o desperdicios orgánicos o sintéticos que ésta pueda tener.



*Figura 19* Tamizado de tierra. (Autor)

Una vez tamizada la tierra, se procede al pesaje de los materiales para agregar a la mezcla final. Siendo preciso recordar que la balanza debe estar encendida al momento de realizar dicho procedimiento; todos estos pesajes deben ser realizados mediante un cálculo de dosificaciones.



*Figura 20* Pesaje de Fibra de coco. (Autor)



*Figura 21* Pesaje del agregado fino. (Autor)

En la tabla 6 se muestra la dosificación empleada para la fabricación de probetas de terro-cemento con adición del 2.5% de fibra de coco, así como sus cantidades relativas según el peso del cemento empleado.

Tabla 6

*Dosificación con 2.5% de fibra de coco. (Autor)*

Probeta población A1/B1/C1	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.64	7.48	13,100 %
Cemento	1	12	21,016 %
Tierra	3.11	37.32	65,359 %
Fibra de coco	2.5 %	0.3	0,5254 %

En la tabla 7 se muestra la dosificación empleada para la fabricación de probetas de terro-cemento con adición del 5% de fibra de coco, así como sus cantidades relativas según el peso del cemento empleado.

Tabla 7

*Dosificación con 5% de fibra de coco. (Autor)*

Probeta población A2/B2/C2	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.64	6.4	13.333 %
Cemento	1	10	20,833 %
Tierra	3.11	31.1	64,792 %
Fibra de coco	5 %	0.5	0.9881 %

En la tabla 8 se muestra la dosificación empleada para la fabricación de probetas de terro-cemento con adición del 10% de fibra de coco, así como sus cantidades relativas según el peso del cemento empleado.

Tabla 8

*Dosificaciones con 10% de fibra de coco. (Autor)*

Probeta población A3/B3/C3	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.64	5,12	13,196 %
Cemento	1	8	20,619 %
Tierra	3.11	24.88	64,124 %
Fibra de coco	10 %	0.8	2,0619 %

Luego de haber realizado el pesaje de acuerdo con las dosificaciones antes mencionadas, se mezcla todos los materiales en un mixer o concretera. Para este proceso, es necesario conocer los detalles técnicos, así como los pesos máximos tolerables de la concretera con la que se va a trabajar para no dañar la máquina.



*Figura 22 Adición de materiales para el proceso de mezclado. (Autor)*

Una vez efectuada la mezcla, se procederá a realizar el ensayo de revenimiento, siguiendo los pasos antes mencionados, para poder conocer el tipo de la misma con la que se va a trabajar. Este procedimiento permitirá detectar posibles anomalías en la mezcla y consecuentemente, posibilitará realizar cambios dentro de los porcentajes de dosificaciones.



*Figura 23* Ensayo de revenimiento, inserción de la varilla para lograr liberar cualquier burbuja de aire. (Autor)



*Figura 24* Levantamiento del cono de Abrams, realizar el proceso en un tiempo de 4 a 7 segundos, levantamiento perpendicular a la base, no se debe realizar movimientos bruscos. (Autor)



*Figura 25* Posicionamiento del cono de Abrams junto a la mezcla para realizar la medición de revenimiento. (Autor)



*Figura 26* Medición del ensayo de revenimiento. (Autor)

Una vez que la mezcla haya pasado por el ensayo de revenimiento, se procederá a engrasar los moldes cilíndricos metálicos, utilizar una carretilla para vaciar la mezcla

del mixer, esto ayudará a mejorar el tiempo de trabajo, ya que deben ser por lo menos 5 probetas analizadas por cada dosificación.



*Figura 27* Moldes cilíndricos metálicos estandarizados. (Autor)

Luego de haber engrasado los moldes se procederá al llenado de éstos, siguiendo los pasos mencionados con antelación en el apartado de Resistencia a la compresión.



*Figura 28* Llenado de moldes con mezcla de hormigón. (Autor)

Una vez haya transcurrido 24 horas, se procede a desmoldar las probetas, etiquetarlas y sumergirlas en agua para el proceso de curado y secado, siendo necesario tener en cuenta que dichos procesos se los tiene que realizar a una temperatura ambiente constante de entre 23° C y 25°C, o a su vez, en las mismas condiciones en las que la obra será realizada.



*Figura 29* Curado de las probetas. (Autor)

Una vez que las probetas alcanzan la edad adecuada para ser ensayadas, se procede a llevarlas al laboratorio en el cual por medio del uso de la máquina universal se pueda determinar la resistencia a la compresión. La máquina debe estar encerrada y realizada los mantenimientos necesarios al menos anualmente y que nunca sobrepase los 13 meses, para obtener una lectura de datos con un margen de error de  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada. Tomar las debidas precauciones al momento de su uso, como también conocer botones de paro de emergencia de la misma en caso de presentarse algún inconveniente.



*Figura 30 Ensayo de resistencia a la compresión. (Autor)*

### **Segunda propuesta para ladrillos usando piedra pómez**

Como propuesta alterna para la disminución del peso de los ladrillos, se optó por el uso de piedra pómez como agregado grueso; así mismo para mejorar la resistencia a la compresión, se utilizó cemento portland de alta resistencia HE, para mejorar los parámetros ya antes vistos y mejorar el tiempo de fabricación. Los ensayos de compresión en estas probetas fueron realizadas a los 7 días de edad y la dosificación utilizada fue la siguiente:

Tabla 9

*Dosificación con agregado de piedra pómez y 0% de fibra de coco. (Autor)*

Probeta población D1	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.841	12.82	20.66%
Cemento	1	15.24	24.56 %
Tierra	1.190	18.138	29.23 %

Fibra de coco	0	0	0%
Piedra pómez	1.039	15.84	25.53 %

Además de contar con la dosificación vista en la tabla anterior, se propuso disminuir el porcentaje de fibra de coco al 1.17% para comparar de mejor manera con la teoría documentada en el presente escrito.

Tabla 10

*Dosificación con agregado de piedra pómez y 1.17 % de fibra de coco. (Autor)*

Probeta población D2	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.988	7.152	23.15%
Cemento	1	7.239	23.43 %
Tierra	1.190	8.615	27.88 %
Fibra de coco	0.05	0.362	1.17%
Piedra pómez	1.040	7.525	24.35 %

Así mismo se presenta en la tabla 11 la propuesta de una dosificación haciendo uso de cemento de alta resistencia, y disminuyendo el porcentaje de fibra de coco para mejorar acabados superficiales en los especímenes.

Tabla 11

*Dosificación con agregado piedra pómez, 0.6% de fibra de coco y cemento HE. (Autor)*

Probeta población D3	Cantidad relativa en relación con el peso del cemento.	Peso [Kg]	Porcentaje [%]
Agua	0.5	8.57	12%

---

Cemento	1	17.14	25 %
Tierra	1.190	17.14	25 %
Fibra de coco	0.025	0.4285	0.6 %
Piedra pómez	1.5	25.72	37 %

---

El proceso para la fabricación de los ladrillos se lo determinó en 3 etapas: la primera, que como bien se puede apreciar en la tabla 9, se utilizó una dosificación sin uso de fibra de coco, para lograr determinar la resistencia a la compresión sin la incidencia de la fibra orgánica; en la segunda etapa como se aprecia en la tabla 10, se optó por el uso del 1.17% de fibra de coco ya que al realizar varias dosificaciones previas, se determinó que el porcentaje de fibra que mejor homogeneidad tuvo al ser incluida en la mezcla, era dicho porcentaje; y, por último en la tercera etapa se disminuyó el porcentaje de fibra de coco como se aprecia en la dosificación vista en la tabla 11, ya que se aumentó la cantidad a usar de piedra pómez y se sustituyó el tipo de cemento a uno de alta resistencia cemento tipo HE, el cual como su nombre lo indica, alcanza altas resistencias en menor tiempo.

Para lograr eliminar ciertas impurezas en la piedra pómez, se procedió a realizar un previo lavado y secado de la misma, tal y como se muestra en las imágenes a continuación.



*Figura 31* Lavado de piedra pómez para eliminar impurezas. (Autor)



*Figura 32* Proceso de secado de la piedra pómez. (Autor)

## Presentación, análisis y discusión de resultados

### Presentación y análisis de resultados

A continuación, en la tabla 12 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizados a probetas de concreto con 2.5% de fibra de coco y una edad de 7 días, las pruebas fueron realizadas bajo la norma ASTM C39, se puede apreciar que el valor promedio arrojado por los ensayo de compresión fue de 4.48 MPa y un peso específico promedio de 1904 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 12

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
BC 1.1	7	1910	4.8	Tipo 1	A
BC 1.2	7	1880	4.4	Tipo 6	C
BC 1.3	7	1920	5.2	Tipo 1	A
BC 1.4	7	1900	3.9	Tipo 2	A
BC 1.5	7	1910	4.1	Tipo 1	A
<b>Promedio</b>		<b>1904</b>	<b>4.48</b>		

En la tabla 13 se muestran los resultados arrojados por los ensayos de compresión realizados bajo la norma ASTM C39 a probetas que cuentan con un 5 % de agregado de fibra de coco con una edad de 7 días, en este se puede apreciar el promedio de resistencia adquirido por este grupo poblacional de especímenes fue de 5.38 MPa y el promedio del peso específico de las probetas fue de 1824 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 13

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
BC 2.1	7	1840	5.2	Tipo 5	E
BC 2.2	7	1810	5.5	Tipo 1	A
BC 2.3	7	1820	5.9	Tipo 6	C
BC 2.4	7	1820	5.4	Tipo 6	A
BC 2.5	7	1930	4.9	Tipo 6	E
<b>Promedio</b>		<b>1824</b>	<b>5.38</b>		

En la tabla 14 se muestran los resultados arrojados por los ensayos a compresión realizados a probetas que cuentan con un porcentaje de adición del 10% de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39, el valor promedio arrojado por el ensayo fue de 1.16 MPa y un peso específico promedio de 1806 kg/m<sup>3</sup>.

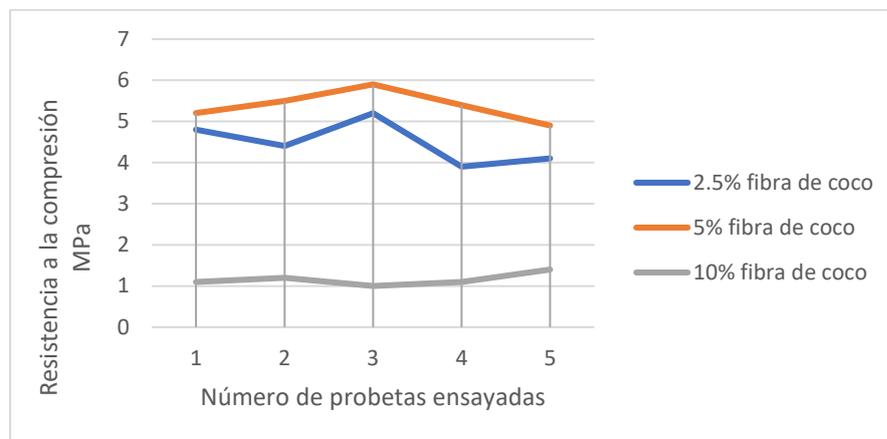
Tabla 14

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 10 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
BC 3.1	7	1790	1.1	Tipo 2	D, E
BC 3.2	7	1810	1.2	Tipo 4	C, B, E
BC 3.3	7	1800	1.0	Tipo 3	C, D, E
BC 3.4	7	1810	1.1	Tipo 2	D, E

BC 3.5	7	1820	1.4	Tipo 4	C, D, E
<b>Promedio</b>		<b>1806</b>	<b>1.16</b>		

Como se puede apreciar en la *figura 33*, el grupo poblacional de probetas que cuenta con 7 días de edad que presenta mayor resistencia a la compresión, fue la mezcla de concreto con adición del 5% de fibra de coco con un promedio de 5.38 MPa, siguiéndole en un rango casi similar las probetas de concreto que cuentan con un 2.5% de fibra de coco con un promedio de 4.48 MPa, y muy por debajo, la que menor resistencia obtuvo en los ensayos realizados, fue el grupo poblacional de probetas de concreto con adición del 10%, que contó con un promedio de 1.16 MPa.



*Figura 33* Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas con 7 días de edad. (Autor)

A continuación en la tabla 15 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizados a probetas de concreto con 2.5% de fibra de coco y una edad de 14 días, las pruebas fueron realizadas bajo la norma ASTM C39, se puede apreciar que

el valor promedio arrojado por los ensayo de compresión fue de 6.04 MPa y un peso específico promedio de 1860 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 15

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio EPN, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
AC 1.1	14	1860	6.1	Tipo 3	C
AC 1.2	14	1870	6.0	Tipo 1	C
AC 1.3	14	1850	6.3	Tipo 2	D
AC 1.4	14	1862	5.9	Tipo 6	C
AC 1.5	14	1855	6.1	Tipo 4	A
<b>Promedio</b>		<b>1860</b>	<b>6.04</b>		

En la tabla 16 se muestran los resultados arrojados por los ensayos de compresión realizados bajo la norma ASTM C39 a probetas que cuentan con un 5 % de agregado de fibra de coco con una edad de 14 días, en este se puede apreciar el promedio de resistencia adquirido por este grupo poblacional de especímenes fue de 6.44 MPa y el promedio del peso específico de las probetas fue de 1852 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 16

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio EPN, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
-----	-------------	--------------------------------------	-------------------	---------------	----------

AC 2.1	14	1850	6.0	Tipo 5	A
AC 2.2	14	1860	6.5	Tipo 6	E
AC 2.3	14	1850	6.1	Tipo 1	A
AC 2.4	14	1860	6.7	Tipo 4	D, E
AC 2.5	14	1840	6.4	Tipo 2	A
<b>Promedio</b>		<b>1852</b>	<b>6.44</b>		

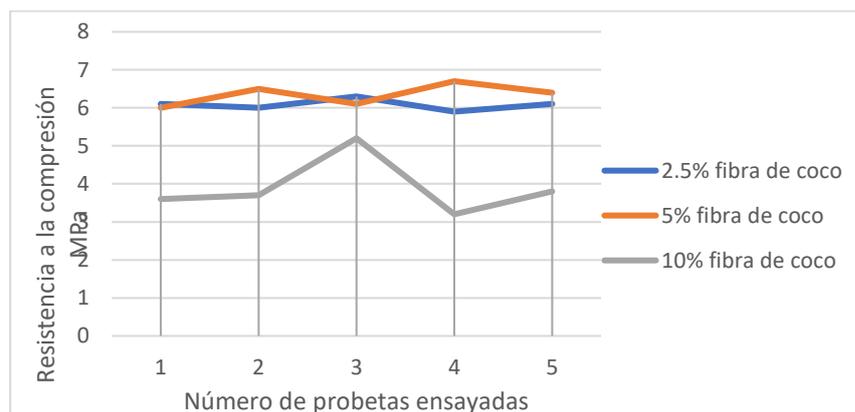
En la tabla 17 se muestran los resultados arrojados por los ensayos a compresión realizados a probetas que cuentan con un porcentaje de adición del 10% de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ASTM C39, el valor promedio arrojado del ya mencionado ensayo fue de 2.42 MPa y un peso específico promedio de 1810 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 17

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 10 % de fibra de coco con una edad de 14 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio EPN, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
AC 3.1	14	1820	3.6	Tipo 6	C, E
AC 3.2	14	1820	3.7	Tipo 2	C, D, E
AC 3.3	14	1830	5.2	Tipo 2	C, E
AC 3.4	14	1770	3.2	Tipo 3	C, D, E
AC 3.5	14	1810	3.8	Tipo 3	C, D, E
<b>Promedio</b>		<b>1810</b>	<b>2.42</b>		

En la *figura 34*, con un promedio de 6.44 MPa, se puede apreciar que el concreto con una edad de 14 días y una mezcla que cuenta con un 5% de fibra de coco, adquiere un incremento en la resistencia de 16.45%, con respecto al mismo grupo poblacional con 7 días de edad. En cuanto a las probetas analizadas con un agregado del 2.5% de fibra de coco, con un promedio de 6.04 MPa, se determina un incremento considerable del 34% en relación a las probetas analizadas con 7 días de edad; y, por último los especímenes con 10% de agregado de fibra de coco, si bien es cierto, que a pesar de aumentar su resistencia en casi un 71% con respecto a la población de probetas con las mismas características y una edad de 7 días, sigue estando muy por debajo de los rangos de aceptación con un promedio de 2.42 MPa.



*Figura 34* Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas de 14 días de edad. (Autor)

A continuación en la tabla 18 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizados a probetas de concreto con 2.5% de fibra de coco y una edad de 21 días, las pruebas fueron realizadas bajo la norma ASTM C39, se puede apreciar que el valor promedio arrojado por los ensayo de compresión fue de 6.08 MPa y un peso específico promedio de 1856 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 18

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 2.5 % de fibra de coco con una edad de 21 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
CC 1.1	28	1860	5.9	Tipo 1	C
CC 1.2	28	1890	6.4	Tipo 2	E
CC 1.3	28	1850	5.7	Tipo 6	C
CC 1.4	28	1840	6.0	Tipo 1	A
CC 1.5	28	1840	6.2	Tipo 2	A
<b>Promedio</b>		<b>1856</b>	<b>6.08</b>		

En la tabla 19 se muestran los resultados arrojados por los ensayos de compresión realizados bajo la norma ASTM C39 a probetas que cuentan con un 5 % de agregado de fibra de coco con una edad de 21 días, en este se puede apreciar el promedio de resistencia adquirido por este grupo poblacional de especímenes fue de 6.34 MPa y el promedio del peso específico de las probetas fue de 1816 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 19

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 5 % de fibra de coco con una edad de 21 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
CC 2.1	28	1810	6.3	Tipo 2	D, E
CC 2.2	28	1800	6.7	Tipo 2	C
CC 2.3	28	1790	5.9	Tipo 5	E
CC 2.4	28	1850	6.8	Tipo 6	C, E
CC 2.5	28	1830	6.5	Tipo 3	C, D



Adicionalmente el promedio de resistencia a la compresión en probetas con agregado del 10 % de fibra de coco es de 3.9 MPa, es decir que existió un aumento del 37.9% con respecto a las probetas de 14 días de edad, quedando aún por debajo de los rangos aceptables de resistencia según la norma INEN 297 para ladrillos macizos cerámicos.

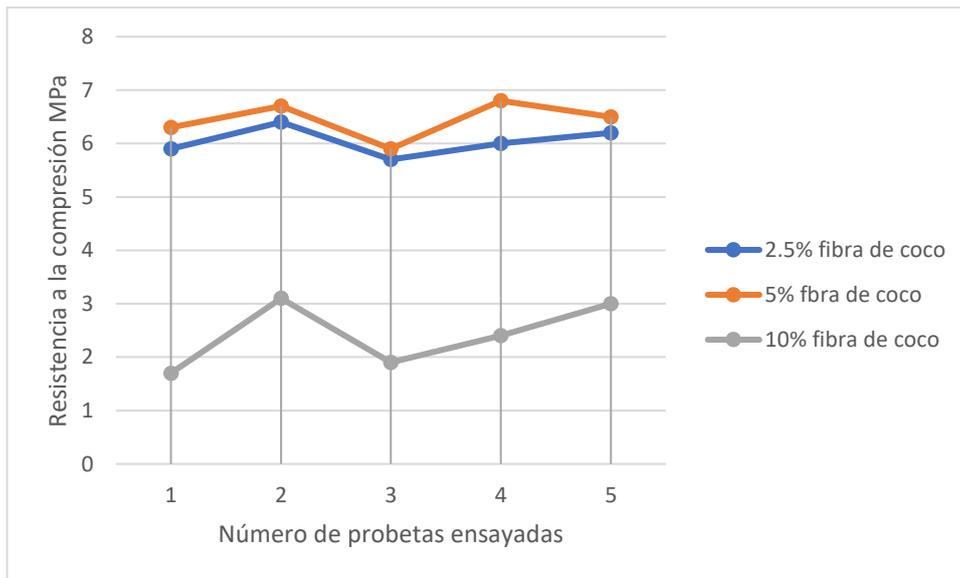


Figura 35 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión en probetas de 28 días de edad. (Autor)

En la tabla 21 se muestran los resultados del ensayo a compresión realizados a probetas que cuentan con piedra pómez como agregado grueso y un 0% de fibra de coco y una edad de 7 días, como se puede apreciar, el valor promedio de resistencia a la compresión fue de 4.78 MPa y el peso específico promedio fue de 1320.6 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 21

Resultados de ensayos de compresión a probetas con 0 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos

D1.1	7	1325	5.74	Tipo 3	C
D1.2	7	1330	4.42	Tipo 2	C, D
D1.3	7	1320	4.38	Tipo 2	C
D1.4	7	1280	4.83	Tipo 2	C, D
D1.5	7	1348	4.52	Tipo 2	C, D
<b>Promedio</b>		<b>1320.6</b>	<b>4.778</b>		

En la tabla 22 se muestran los resultados arrojados por el ensayo de resistencia a la compresión, realizados a probetas que cuentan con 1.7 % de fibra de coco y piedra pómez como agregado grueso en una edad de 7 días, los valores promedio de resistencia a la compresión son de 6.44 MPa y 1370 kg/m<sup>3</sup> como promedio en el peso específico.

Tabla 22

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 1.17 % de fibra de coco con una edad de 7 días bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
D2.1	7	1390	5.3	Tipo 1	C, D, E
D2.2	7	1350	6.8	Tipo 2	C, D
D2.3	7	1410	7.8	Tipo 1	C, D, E
D2.4	7	1380	6.6	Tipo 1	C, D, E
D2.5	7	1320	5.7	Tipo 1	C, D
<b>Promedio</b>		<b>1370</b>	<b>6.44</b>		

En la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos por el ensayo de resistencia a la compresión realizados a probetas que cuentan con 0.6% de fibra de coco, piedra pómez como agregado grueso, haciendo uso de cemento de alta resistencia con un curado de 7 días.

Tabla 23

*Resultados de ensayos de compresión a probetas con 0.6 % de fibra de coco con una edad de 7 días y uso de cemento HE bajo la norma ASTM C39. (Laboratorio UISEK, 2019)*

No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
D3.1	7	1460	15.42	Tipo 3	C, D
D3.2	7	1510	14.11	Tipo 2	C, D
D3.3	7	1480	12.61	Tipo 2	C, D
D3.4	7	1500	14.82	Tipo 3	C, D
D3.5	7	1480	14.23	Tipo 3	C, D
<b>Promedio</b>		<b>1486</b>	<b>14.238</b>		

### **Comparación de resultados con probetas adquiridas en el mercado**

Para efectuar un mejor análisis sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos fabricados con fibrocemento versus ladrillos cerámicos artesanales existentes en el mercado ecuatoriano, es necesario tomar muestras de ladrillos de distintas fábricas. Sin embargo, es preciso señalar que en la presente investigación no fue posible realizar dicho estudio comparativo en más de una fábrica, en razón del estado de emergencia por el brote del virus “SARS-CoV-2”, que paralizó las actividades de trabajo del sector de la construcción.

Es por el motivo referido en el párrafo precedente que esta investigación se desarrolló a base del análisis de ladrillos obtenidos en una sola fábrica. La descripción de los datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión que se realizó al grupo poblacional de ladrillos cerámicos artesanales consta en la siguiente tabla.

Tabla 24

*Resultados de ensayos de compresión realizados a probetas de ladrillos macizos artesanales existentes en el mercado ecuatoriano. (Laboratorio UISEK, 2019)*

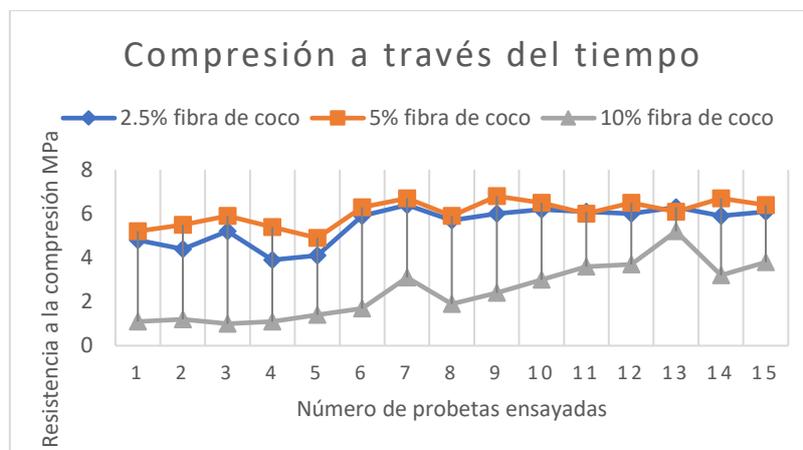
No.	Edad (días)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Defectos
LC 1.1	16	1742.4	3.8	Tipo 1	A
LC 1.2	16	1825.3	4.6	Tipo 1	A
LC 1.3	16	1801.9	4.4	Tipo 1	A
LC 1.4	16	1843.7	4.9	Tipo 4	A
LC 1.5	16	1860.1	4.4	Tipo 1	A
LC 1.6	16	1794.6	4.2	Tipo 4	A
LC 1.7	16	1812.1	4.1	Tipo 1	A
LC 1.8	16	1800.5	4.3	Tipo 1	A
LC 1.9	16	1824.2	4.9	Tipo 1	A
LC 1.10	16	1830.5	4.4	Tipo 4	A
LC 1.11	16	1785.7	4.7	Tipo 1	A
LC 1.12	16	1820.8	3.6	Tipo 1	A
LC 1.13	16	1817.1	4.5	Tipo 4	A
LC 1.14	16	1842.2	4.2	Tipo 4	A
LC 1.15	16	1832.2	4.1	Tipo 4	A
LC 1.16	16	1807.9	3.9	Tipo 4	A

LC 1.17	16	1812.4	4.8	Tipo 1	A
LC 1.18	16	1806.6	4.2	Tipo 1	A
LC 1.19	16	1818.1	4.1	Tipo 1	A
LC 1.20	16	1809.3	4.1	Tipo 1	A
<b>Promedio</b>		<b>1814.38</b>	<b>4.31</b>		

### Discusión de resultado

Los ensayos realizados a las probetas de terro-cemento con 2.5 % y 5% de fibra de coco, arrojaron valores muy cercanos entre sí. Al comparar con la norma INEN 297, se encontró que la mezcla con la que se trabajó, no brinda la resistencia mínima a la compresión necesaria, ya que en conjunto, las probetas de terro-cemento con agregados de fibra de coco, debieron estar por encima de los 8 MPa, lo cual no sucede en ninguna de las 2 primeras dosificaciones empleadas para este proyecto, ya que en el mejor de los casos, el promedio general fue de 6.44 MPa probeta de terro-cemento con 14 días de edad y 5% de adición de fibra de coco. Por otro lado, el lote poblacional donde se usó un 10 % de adición de fibra de coco en el terro-cemento, demostró estar muy por debajo de los rangos aceptables para ladrillos macizos, en razón de que el promedio de resistencia máxima alcanzado por este grupo poblacional de probetas fue de 3.9 MPa a los 28 días. Si bien es cierto la resistencia alcanzada por esta dosificación entra en los requerimientos mínimos de los ladrillos de tipo: ladrillo hueco tipo F, la misma no se podrá tomar en cuenta para la fabricación de ladrillos del presente proyecto, ya que el mismo está enfocado en la fabricación de ladrillos de manera artesanal y según la norma INEN 297, establece que todo tipo de ladrillo hueco D, E, F, deberán ser ladrillos de máquina.

En la *figura 36* se puede apreciar la gráfica, donde se muestra la línea de tendencia de la resistencia en la compresión en probetas con 21 días de edad. Este análisis se lo realiza en la edad antes mencionada, ya que, según la teoría documentada, el tiempo en el cual el concreto alcanza su mayor punto de resistencia será en este lapso. Según los datos arrojados por los ensayos, se puede apreciar que mientras mayor porcentaje de fibra se añade a la mezcla, menor resistencia a la compresión tendrá.



*Figura 36* Gráfica con los resultados finales de los ensayos a compresión a través del tiempo, realizadas en las probetas de 2.5%, 5% y 10 % de fibra de coco con una edad de 7, 14 y 28 días. (Autor)

En cuanto a la figura 37, se puede apreciar que la línea de tendencia del peso específico del hormigón decrece conforme se aumenta el porcentaje de fibra de coco a la mezcla de concreto. Este análisis se realizó tomando como referencia el lapso determinado en el párrafo precedente. Tomando en consideración que el concreto u hormigón convencional presenta un peso específico que oscila entre los 2200 kg/m<sup>3</sup> y los 2400 kg/m<sup>3</sup>, se puede apreciar que, la mezcla que tiene un 5% de adición de fibra de coco, reduce su peso específico en un 21.04%, ya que el valor promedio que alcanzó dicha población fue de 1816 kg/m<sup>3</sup>. En este análisis, se consideró la población de

especímenes antes mencionada, en razón de que esta aplicación obtuvo la mayor resistencia en cuanto a todas las dosificaciones ensayadas.

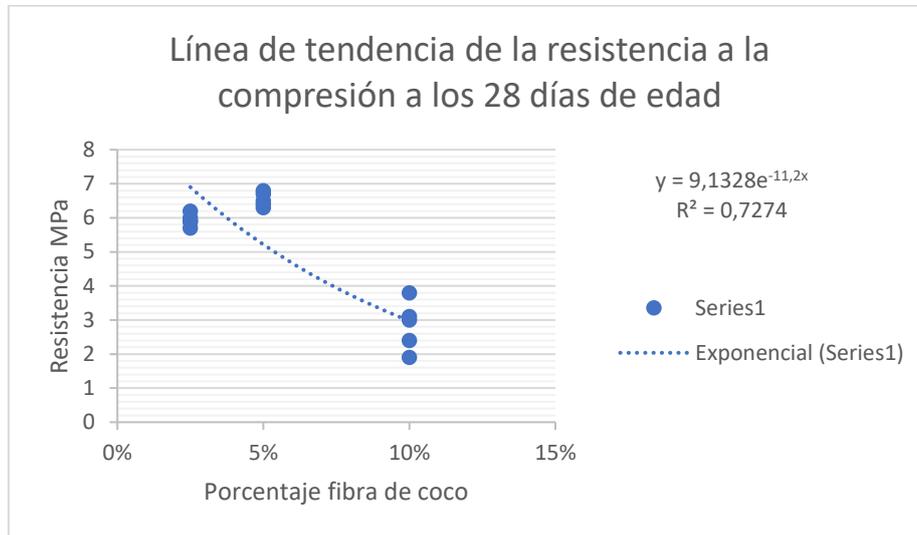


Figura 37 Gráfica de la línea de tendencia en la resistencia a la compresión de probetas de concreto con 28 días de edad. (Autor)

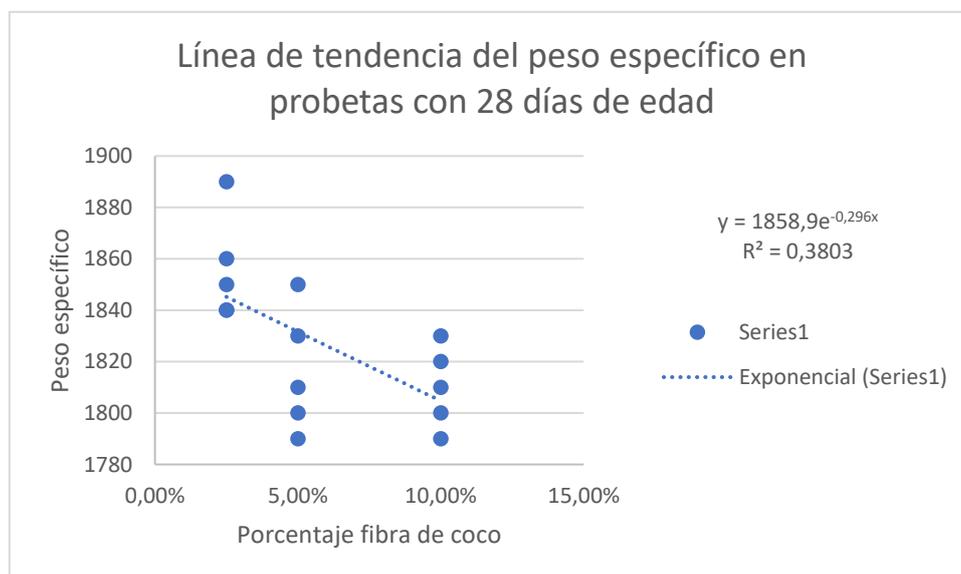


Figura 38 Gráfica de la línea de tendencia de los pesos específicos de la población de probetas ensayadas a los 28 días de edad con 2.5%, 5% y 10% de fibra de coco. (Autor)

Como bien se puede apreciar en los resultados, los tipo de fallos y defectos vistos en los ensayos de compresión, según la norma ASTM C39, fueron en su mayoría de tipo 2.

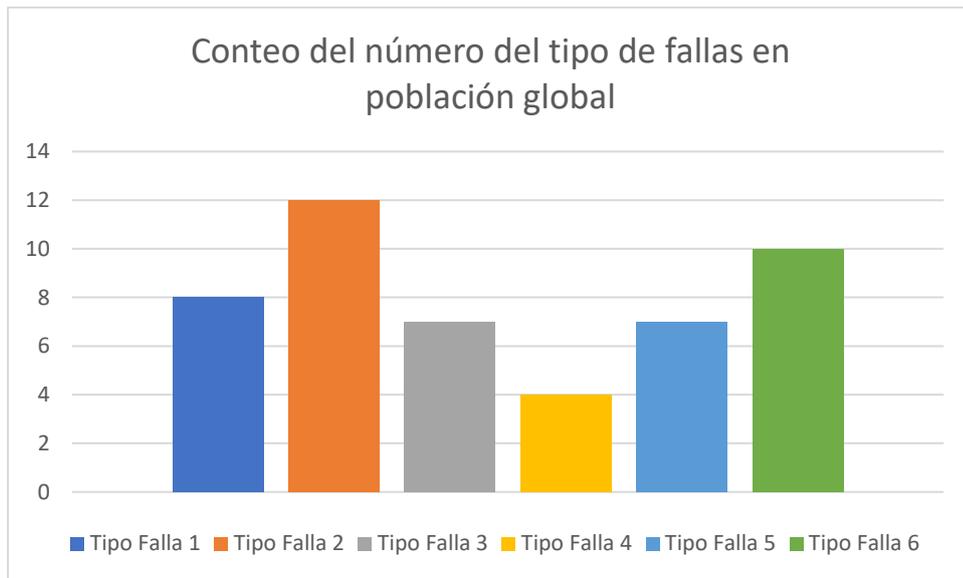
La tabla 25 muestra el conteo global de fallas examinadas al inicio y final de cada uno de los ensayos realizados, y el conteo enfocado por porcentajes de adición de fibra de coco en las probetas, lo cual permitió determinar el tipo de mezcla con la que se trabaja y con ello poder mejorar las dosificaciones y así lograr aminorar detalles como porosidades o fisuras visibles en el material.

Tabla 25

*Conteo de tipos de fallos en ensayos de compresión realizados a probetas en 7, 14 y 28 días de edad. (Autor)*

	Porcentaje de fibra	7 días	14 días	28 días		
Conteo del número de fallas por adición en porcentaje de fibra de coco	2,5 % de fibra de coco	1	3	1	Tipo Falla 1	6
		6	1	2	Tipo Falla 2	4
		1	2	6	Tipo Falla 3	1
		2	6	1	Tipo Falla 4	1
		1	4	2	Tipo Falla 5	0
					Tipo Falla 6	3
	5% de fibra de coco	5	5	2	Tipo Falla 1	2
		1	6	2	Tipo Falla 2	3
		6	1	5	Tipo Falla 3	1
		6	4	6	Tipo Falla 4	4
		6	2	3	Tipo Falla 5	3
					Tipo Falla 6	5
	10% de fibra de coco	2	6	6	Tipo Falla 1	0
		4	2	5	Tipo Falla 2	5
		3	2	3	Tipo Falla 3	5
		2	3	2	Tipo Falla 4	2
		4	3	3	Tipo Falla 5	1
					Tipo Falla 6	2
Conteo del número de fallas por Tipo de falla	Tipo Falla 1	4	2	2	8	
	Tipo Falla 2	3	4	5	12	
	Tipo Falla 3	1	3	3	7	
	Tipo Falla 4	2	2	0	4	
	Tipo Falla 5	1	1	5	7	
	Tipo Falla 6	4	3	3	10	

Dentro de las fallas se pudo constatar que el fallo de tipo 2 es el más recurrente en el conteo global de la población examinada, estas fallas son de tipo columnar, presentes en cargas de aplicación cóncava, debido a deficiencias en el material de refrentado<sup>5</sup> o por existencia de concavidad en una de las placas de carga.



*Figura 39* Gráfica del conteo de tipo de fallas en población global de probetas. (Autor)



*Figura 40* Probetas de terro-cemento con adición de fibra de coco, tras realizar el ensayo, el material logra estar sujeto sin desprenderse entre sí. (Panamá 2019)

<sup>5</sup> Refrentado. – Procedimiento el cual se lo aplica en la cara de una probeta a ser ensayada para lograr una superficie plana. (Construmática, n.d.)



*Figura 41* Apreciación del tipo de falla 2 en probetas de concreto ensayadas a compresión. (Autor)

En la figura 42 se puede apreciar, que el fallo más recurrente en las probetas con 2.5% de fibra de coco es de tipo 1 con un 40% del total de muestras realizadas, la cual determina que la carga de compresión fue bien aplicada en la probeta. Los especímenes con 7 días de edad no mostraron ningún efecto visual superficial. Por otro lado, las probetas con 14 y 28 días de edad mostraron en su mayoría, porosidad en la superficie.

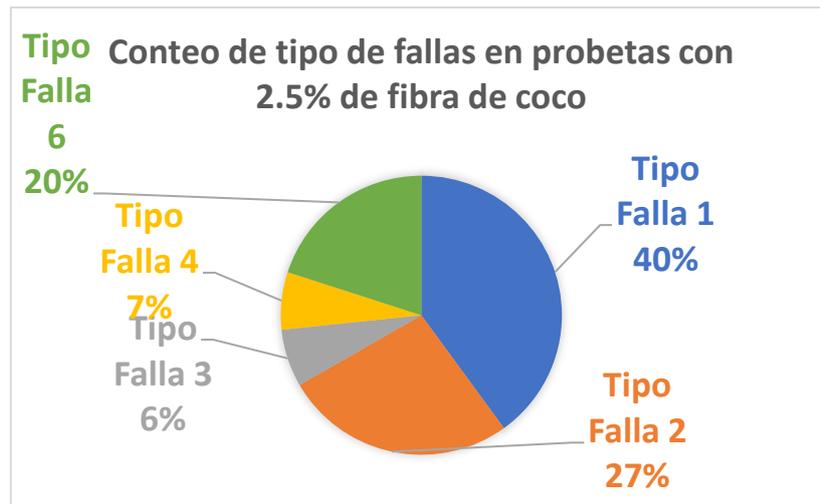


Figura 42 Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 2.5% de fibra de coco.

(Autor)

En las probetas con 5 % de fibra de coco, se puede apreciar que el tipo de fallo más recurrente es de tipo 6 con un 28%, lo cual determina que los especímenes presentan una aplicación de cara convexa o por deficiencias en la base de cabeceo o plato cabeceador; así mismo los defectos detectados con mayor recurrencia son porosidad superficial y fibra vista en las probetas. Cabe mencionar que en 3 especímenes se pudo apreciar fisuras preexistentes.

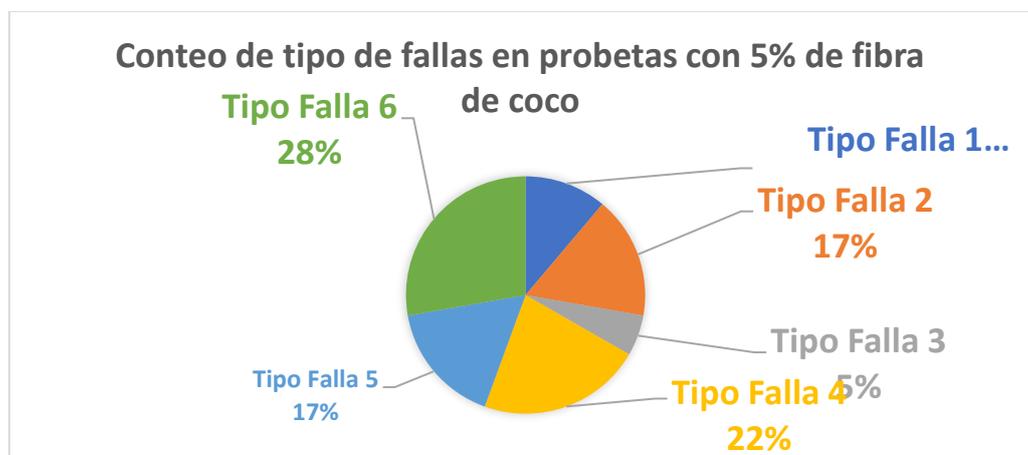
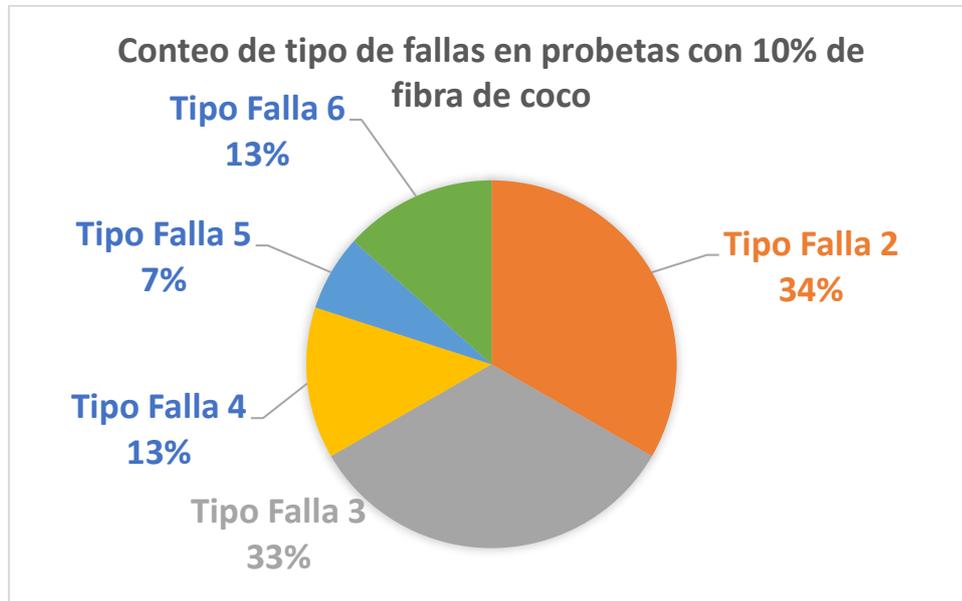


Figura 43 Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 5% de fibra de coco.

(Autor)

La mezcla con menor capacidad de resistencia a ruptura fue la que mayor defectos presentó. Las probetas fabricadas con un 10% de fibra de coco, mostraron varias fallas que se pudieron apreciar al momento de la ruptura del material por la realización del ensayo de compresión, debiéndose destacar las que mayor incidencia tuvieron: en un 34%, de tipo 2 y en un 33% de tipo 4. El patrón de fallas tipo 2 se produce cuando existen concentraciones de esfuerzo en puntos sobresalientes en la cara donde se aplica la fuerza, es decir, si la cara es irregular, el plato cabeceador no podrá estar en contacto total con la cara de la probeta; y, la falla tipo 4 se ocasiona cuando la cara donde se aplicará la fuerza se encuentra en el límite de tolerancia o a su vez está excedida. Por otro lado, los defectos superficiales que se pudieron apreciar fueron gran concentración de materia orgánica sobresaliente de la mezcla, irregularidad en la superficie y porosidad excesiva en los especímenes.



*Figura 44* Gráfica del conteo de tipos de fallas en probetas con 10% de fibra de coco. (Autor)



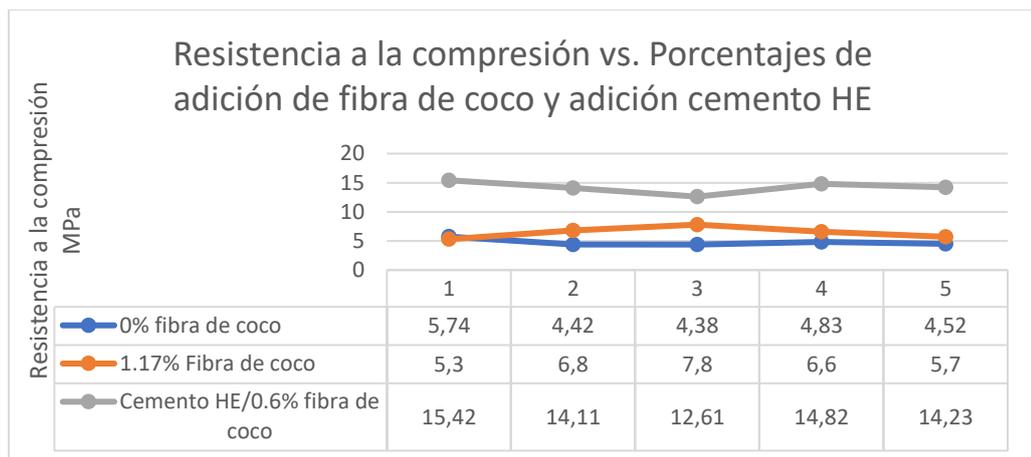
*Figura 45* Irregularidad superficial en probetas con un agregado del 10% de fibra de coco. (Autor)

Como se puede apreciar en la “tabla 24”, el valor promedio arrojado en el ensayo de compresión realizado a probetas de ladrillos cerámicos artesanales fue de 4.31 MPa, es decir un 32.018% menos que las probetas que cuentan con un porcentaje de fibra de coco del 5% y una edad de 21 días, las mismas que obtuvieron un promedio de 6.34 MPa en el ensayo de resistencia a la compresión. Así mismo se puede observar que la resistencia promedio obtenida en los ladrillos cerámicos adquiridos en el mercado, está por debajo del rango aceptado según la norma INEN 297 “Requisitos para ladrillos Tipo C”. El peso específico promedio analizado en las probetas de ladrillos cerámicos artesanales es de 1814.38 Kg/m<sup>3</sup>, es decir, un 0.089% inferior al observado en las probetas que cuentan con un 5% de fibra de coco.

Este análisis comparativo se lo realiza con las probetas que cuentan con un 5% de fibra de coco, debido a que, en la ya mencionada dosificación, se obtuvo el promedio más alto en el ensayo de resistencia a la compresión de todas las dosificaciones ya antes

vistas y con una edad de 21 días, en razón que, según la teoría, en este tiempo el concreto ya ha alcanzado su mayor resistencia a la compresión.

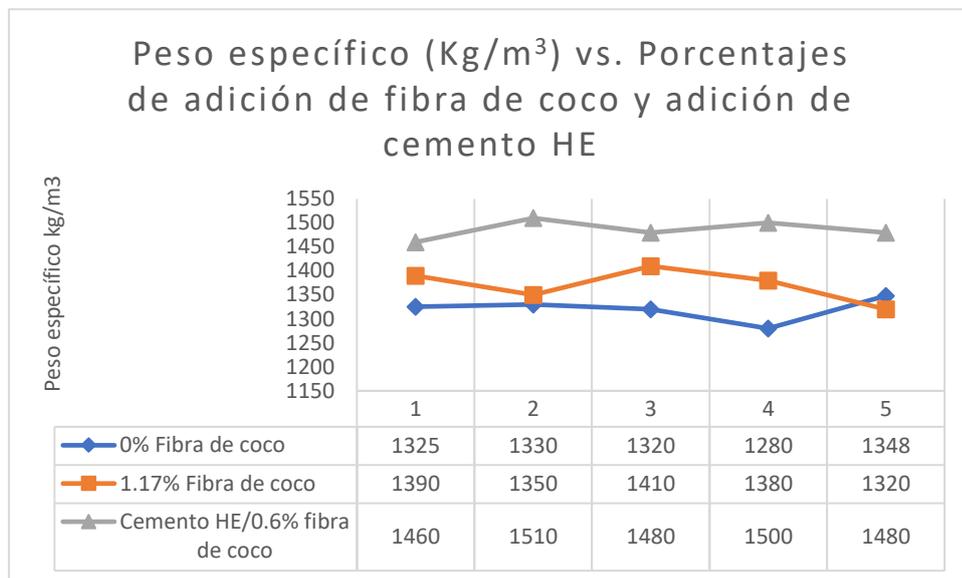
Como se puede observar en la siguiente gráfica, la resistencia a la compresión mejora notablemente en poco tiempo al hacer uso del cemento de alta resistencia HE. Si bien es cierto que los datos de interés en este apartado son los arrojados por el ensayo a la compresión en los especímenes que utilizan el 1.7% de fibra de coco, los cuales estarían más cercanos a los porcentajes utilizados en las probetas de terro-cemento que utilizan un 5% de fibra de coco, se puede apreciar un incremento del 16.46% en 7 días de edad de resistencia a la compresión con un promedio de 6.44 MPa.



*Figura 46* Gráfica de resultados de ensayos a compresión en probetas con 7 días de edad y distintos porcentajes de fibra de coco. (Autor)

Del análisis comparativo efectuado al peso específico de las probetas que presentan un porcentaje de 1.7% de fibra de coco, con respecto a los especímenes de terro-cemento que cuentan con 5% de fibra de coco en una edad de 7 días, se puede apreciar una reducción considerable del peso específico de la primera dosificación

abordado en este párrafo, en un 24.89%, teniendo como promedio 1370 kg/m<sup>3</sup>, frente a los 1824 kg/m<sup>3</sup> de la segunda dosificación.



*Figura 47* Gráfica de análisis comparativo de pesos específicos en probetas con 7 días de edad y distintos porcentajes de fibra de coco. (Autor)

El motivo por el cual se determinó la reducción del porcentaje de fibra de coco en las probetas que contenían piedra pómez, fue el problema de integración de ambas en la mezcla, por cuanto, al contar con mayor cantidad de fibra, la mezcla tardaba mucho más tiempo en cohesionarse, absorbiendo más agua y en consecuencia el peso incrementa. Se realizaron experimentos con distintos tipos de aditivos y el que mejor dio resultado fue el aditivo “ALE-706”, el cual ayudó a reducir el peso del agua y mejoró la mezcla considerablemente, así como su revenimiento.

A continuación, se presentan dos imágenes, la primera muestra el aspecto de la mezcla con 5% de fibra de coco y piedra pómez y la segunda expone una mezcla que cuenta con el 1.7% de fibra de coco en conjunto con la piedra pómez.



*Figura 48* Mezcla de terro-cemento con piedra pómez y el 5% de fibra de coco. (Autor)



*Figura 49* Mezcla de terro-cemento con agregado de piedra pómez y el 1.7% de fibra de coco. (Autor)

Las fallas más comunes que se pudieron apreciar a la hora de realizar ensayos en las probetas con 1.7% de fibra de coco, fueron de tipo 3. Este tipo de fallas son producidas por concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de una de las

caras donde se aplica la fuerza. En las probetas fue común encontrar defectos como porosidades, fisuras a simple vista y material orgánico sobresaliente de las caras de las mismas. Sin embargo, al realizar la inspección visual a las probetas fabricadas con un 0.6% de fibra de coco, cemento portland tipo HE y un 37% de piedra pómez en relación al peso del cemento, se pudo observar que los defectos de porosidad se presentaron en mayor cantidad, pero con menor diámetro; de igual manera las fallas comúnmente visibles después de haber realizado el ensayo de compresión en éstas, fue de tipo 1, el cual determina que la carga fue aplicada correctamente sobre el espécimen.



*Figura 50* Apreciación de tipos de defectos de porosidad excesiva visibles en una probeta sin ensayar, que cuenta con 1.7% de fibra de coco y piedra pómez. (Autor)



*Figura 51* Defectos encontrados en ladrillos fabricados con porcentajes de 1.7% de fibra de coco. (Autor)



*Figura 52* Falla de tipo 3 visibles en probetas con agregado de 1.7% de fibra de coco ensayadas a compresión. (Autor)



*Figura 53* Falla de tipo 3 visibles en probetas con 0.6% de fibra de coco y cemento de alta resistencia HE. (Autor)

### Conclusiones

- El no contar con los implementos necesarios y adecuados para el proceso de lavado y corte de la fibra de coco, incidió en no poder contar con una fibra uniforme, que permita obtener resultados cercanos a los criterios técnicos referidos en los antecedentes del presente trabajo.
- Se determinó que la utilización de la fibra de coco en las dosificaciones de 2.5%, 5% y 10%, no alcanzaron el promedio de 8 MPa que rige la norma INEN 297 para “*requisitos para ladrillos cerámicos*”.
- La población de probetas que mayor resistencia obtuvo a los 21 días de edad fue la mezcla de terro-cemento con un agregado de 5% de fibra de coco, con un promedio de 6.34 MPa.
- Al utilizar los porcentajes de 2.5% y 5% de fibra de coco en una mezcla de terro-cemento sin agregado grueso, se pudo apreciar que no existe una gran variación en la resistencia a la compresión en probetas con edades de 14 y 21 días, puesto que el promedio de ambas mezclas oscila entre los 6.04 MPa y 6.44 MPa.
- Los valores de resistencia a la compresión arrojados por el presente informe, distan mucho de los datos que pudo obtener (Rojas, 2015), estudio en el cual en una mezcla de hormigón con 1.5% de fibra de coco de 5 cm de longitud, documentó una resistencia promedio de 215.53 kg/cm<sup>2</sup> (21.13 MPa), es decir un 69.52% en la resistencia .
- El peso específico mínimo alcanzado que detalla Rojas en su informe fue de 1770.96 kg/m<sup>3</sup> en comparación al promedio arrojado en este proyecto que fue de 1816 kg/m<sup>3</sup> en una probeta con 21 días de edad y un 5% de fibra de coco, es decir un 2.48% menos en el peso. Este tipo de diferencias que se

puede encontrar entre los datos arrojados por este documento y el de (Rojas, 2015) se debe en su mayoría a los problemas que se presentaron al momento del curado y secado de las probetas.

- En la segunda propuesta, se pudo apreciar, que en menor tiempo (7 días), con menor porcentaje de fibra de coco (1.7%), y añadiendo piedra pómez, se obtuvo un promedio de resistencia de 6.44 MPa, con la que se mejoró la resistencia de las probetas de terro-cemento.
- Factores exógenos como la pandemia del covid-19, impidieron que se pueda realizar los ensayos a 14 y 21 días como determina las norma técnica INEN 1 573 “Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.” lo cual quizá habría permitido obtener resultados más adecuados y posiblemente alcanzar los valores requeridos por la norma.
- Al efectuar una inspección visual del ladrillo de terro cemento con agregado de piedra pómez y un porcentaje de 1.7% de fibra de coco, se pudo visualizar que la mezcla final no fue uniforme, ya que presentó acumulación de fibra focalizadas en ciertas zonas. Esta circunstancia se debe a que el procedimiento de mezclado de la fibra de coco con el agregado fino (tierra), no fue el adecuado, por la cantidad de agua utilizada.
- Con la utilización de terro cemento con agregado de piedra pómez y un porcentaje de 1.7% de fibra de coco, se constató que las probetas presentaron porosidad excesiva, debido a la mayor cantidad de agua que demandó la mezcla al inicio, y posteriormente en la etapa de llenado de moldes no retuvo la suficiente cantidad de la misma, dejando expuesta la piedra pómez y la fibra de coco, lo que podría en caso de que la probeta se

encuentre a la intemperie, y sin ningún recubrimiento post producción, ocasionar filtraciones de humedad, y con ello propagación de hongos que afectarían a la fibra vegetal reduciendo sus propiedades mecánicas y físicas, que debiliten el material y como consecuencia de aquello la vida útil del ladrillo.

- La utilización de la fibra de coco en las dosificaciones de estos dos tipos de mezclas, servirán para mantener la cohesión del material ante la fricción que se produzca entre ésta y los demás componentes, en el caso de que se produzcan sismos.
- Se determinó que la utilización del cemento portland HE de alta resistencia mejoró significativamente la resistencia a la compresión en las probetas ensayadas con un porcentaje de 0.6% de fibra de coco y 37% de piedra pómez y con una edad de 7 días. Esta dosificación si puede ser utilizada para la fabricación de ladrillos macizos tipo C, ya que su promedio de resistencia a la compresión fue de 14.238 MPa.
- El análisis comparativo entre las probetas con adición del 5% de fibra de coco y los ladrillos cerámicos adquiridos en el mercado, mostraron mejor resistencia en las probetas de fibrocemento con un 32.018% más que los ladrillos cerámicos, aun estando por debajo de lo requerido por la norma INEN 2

### Recomendaciones

- Debido a la baja resistencia de compresión que los dos tipos de mezclas presentaron en sus distintas dosificaciones, y la manera artesanal de cómo fueron desarrolladas, se las sitúa en la categoría de ladrillo macizo tipo C, según la Norma INEN 297 para ladrillos macizos, razón por la cual, se recomienda no utilizar este tipo mezcla en ladrillos que cumplan una función de mampostería para pórticos resistentes.
- Contar con la estructura e instalaciones adecuadas que permita la ejecución satisfactoria del trabajo. Siendo preciso señalar, que no se podría realizar los procesos mencionados, si no se cuenta con una temperatura óptima según establece la norma técnica INEN 1 576:2011 “Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo”, la cual sería entre; (20°C a 22°C).
- A efecto de poder utilizar materiales reciclables, se recomienda utilizar este tipo de ladrillos para paredes decorativas no soportantes en interiores, debido a la gran porosidad que presenta la mezcla.
- Establecer zonas de trabajo experimental adecuadas, que no interfieran en la fabricación de ladrillos, como en la toma de datos de éstos.
- Conocer a profundidad las máquinas necesarias para realizar los ensayos pertinentes, así como sus rangos de tolerancia, que permita obtener un análisis de datos adecuado
- Conocer la procedencia del material orgánico con el cual se va a trabajar, verificar si existió una previa manipulación del producto orgánico que pueda alterar sus propiedades.

- Realizar de manera correcta el etiquetado de especímenes, para que no exista confusión a la hora de realizar un seguimiento de datos.
- El uso de mascarilla, guantes y gafas es esencial en todo momento, debido a la manipulación de materiales como cemento y aditivos químicos, que pueden ser peligrosos si llegan a ser inhalados o tienen algún contacto en zonas delicadas del cuerpo.
- Al momento de realizar los moldes estandarizados, tener en cuenta el diseño de anclajes para mayor facilidad de uso a la hora de desmoldar.
- Si el lugar de fabricación de las probetas no es el mismo dónde se realizará los ensayos, tomar medidas de precaución para el traslado de éstas, ya que ciertas dosificaciones, como pudimos apreciar antes, producen fisuras y si no existe el cuidado necesario, podría terminar en una ruptura total del espécimen.
- Realizar el lavado de la fibra de coco mediante el uso de cal y agua, con el fin de eliminar impurezas tales como aceite, que puedan comprometer la cohesión con los demás agregados, afectando la resistencia.
- Previo a la utilización de la piedra pómez, es necesario efectuar un ensayo a efecto de utilizar únicamente aquella que tiene un grado de permeabilidad baja, para que, en el proceso de realizar la mezcla, no exista una absorción excesiva de agua, dejando como consecuencia una mezcla pobre e ineficaz.
- Efectuar una selección previa de la piedra pómez, para con ello, utilizar únicamente aquella comprendida en rangos que rigen entre 25 mm y 51 mm, por cuanto de utilizar material en rango menor, no sería factible, debido a que ya se cuenta con material de agregado fino, más aún que

este incrementa el peso del ladrillo; y para el caso de usar agregado superior al rango indicado conlleva a concentración de esfuerzos innecesarios, produciendo fisuras internas que afecten las propiedades mecánicas y físicas del material del material.

- Dependiendo del tipo de materiales que se vaya a utilizar en el proyecto, se recomienda realizar varias dosificaciones, haciendo uso de distintos aditivos, para poder terminar aquel que sea el más adecuado, que permita una mejor plasticidad y reducción del consumo de agua.
- Conocer la saturación del agregado fino, para efecto de determinar la cantidad de agua ideal a utilizar en la mezcla.

### Referencias

- (SIEMCALSA), S. de I. y E. M. de C. y L. (2008). *La importancia de los áridos*. [http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los aridos.pdf](http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los_aridos.pdf)
- Aditec. (2015). *Aditec ALE-786*. 6, 6089–6090. <http://www.aditec-ec.com/producto/aditec-ale-786/>
- Altamirano De La Cruz, G., Sandoval, A. C., & Sánchez Tizapa, S. (2015). *Utilización de fibra de coco en la elaboración de piezas eco sustentables de mampostería. Perspectiva en México y avance de estudio*. [https://www.researchgate.net/profile/Sulpicio\\_Sanchez\\_Tizapa3/publication/288991375\\_UTILIZACION\\_DE\\_FIBRA\\_DE\\_COCO\\_EN\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_PIEZAS\\_ECOSUSTENTABLES\\_DE\\_MAMPOSTERIA\\_PERSPECTIVA\\_EN\\_MEXICO\\_Y\\_AVANCE\\_DE\\_ESTUDIO/links/568811b808aebccc4e1554b2.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sulpicio_Sanchez_Tizapa3/publication/288991375_UTILIZACION_DE_FIBRA_DE_COCO_EN_LA_ELABORACION_DE_PIEZAS_ECOSUSTENTABLES_DE_MAMPOSTERIA_PERSPECTIVA_EN_MEXICO_Y_AVANCE_DE_ESTUDIO/links/568811b808aebccc4e1554b2.pdf)
- Arequipa Aceros. (n.d.). *Aprende el procedimiento para elaborar probetas de concreto*. Retrieved July 1, 2020, from <http://www.construyendoseguro.com/aprende-el-procedimiento-para-elaborar-probetas-de-concreto/#>
- Ashby, M. F., & Bréchet, Y. J. M. (2003). Designing hybrid materials. *Acta Materialia*, 51(19), 5801–5821. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(03\)00441-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(03)00441-5)
- Baird, C. (2004). *Química ambiental*. Reverté S. A. <https://books.google.com.ec/books?id=bgUaHUqGPYIC&pg=PA568&lpg=PA568&dq=quimico+plastificante+hormigon+efecto+ambiental&source=bl&ots=idbZ7v8GcQ&sig=ACfU3U0XBtI36q827pLl-3TrdFiTIhYOqA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj9ssb9-6rqAhXpguAKHd2vBhcQ6AEwDnoECAkQAQ#v=on>
- Cataluña, I. de T. de la C. de. (n.d.). *Guía general de buenas prácticas ambientales para el jefe de obra*. Retrieved August 6, 2020, from [https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Guía general de buenas prácticas ambientales para el jefe de obra\\_ITeC\\_2006.pdf](https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Guía%20general%20de%20buenas%20prácticas%20ambientales%20para%20el%20jefe%20de%20obra_ITeC_2006.pdf)
- Claude, Z. (1996). *Suelos con cangahua en el Ecuador*. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/divers2/010012918.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010012918.pdf)
- Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción. (n.d.). *Patologías en Ladrillos*. Retrieved August 5, 2020, from [https://www.construmatica.com/construpedia/Patologías\\_en\\_Ladrillos](https://www.construmatica.com/construpedia/Patologías_en_Ladrillos)

Construmática. (n.d.). *Refrentado* / *Construpedia, enciclopedia construcción*. Retrieved July 16, 2020, from <https://www.construmatica.com/construpedia/Refrentado>

B. I. D. (Banco Internacional de Desarrollo). (2019). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Un-espacio-para-el-desarrollo-Los-mercados-de-vivienda-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Evans, M. R., Konduru, S., & Stamps, R. H. (1996). Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience*, *31*(6), 965–967. <https://doi.org/10.21273/hortsci.31.6.965>

Fernández Canovas, M. (2013). Los Aditivos. In *Escuela de Ingeniería en Construcción - UCV*. <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/aditivos.pdf%0Ahttp://ich.cl/descargas/?p=1465>

Galoc, M. A. M. (2012). *Ladrillos* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://es.slideshare.net/moralesgaloc/ladrillos-72558873>

García González, S. P. (2015). *Estudio de Factibilidad para la Industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa de Oro-Esmeraldas* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13414>

García, N. A., Gómez, G. G., & Sepúlveda, R. M. (2012). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería*. *22*(1), 43–58. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>

Holcim S.A. (n.d.). *Cemento hidráulico Tipo HE de alta resistencia inicial*.

Imcyc. (2006). Pruebas y resistencia a la compresión del concreto. *Concreto Reforzado Con Fibras*, *13*, 67–71. [www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn](http://www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn)

Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón). (2019). *Caracterización de agregados finos*.

INEN (Servicio Ecuatoriano De Normalización. (n.d.). *INEN 297 (Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria “Ladrillos Cerámicos”)*. Retrieved October 19, 2019, from <https://181.112.149.204/buzon/normas/297.pdf>

Instituto de Promoción Cerámica de Castellón. (2007). *IPC :: Cohesión*.

[http://www.ipc.org.es/guia\\_colocacion/info\\_tec\\_colocacion/sopor\\_sup\\_colocacion/superficie\\_colocacion/cohesion.html](http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/sopor_sup_colocacion/superficie_colocacion/cohesion.html)

Kaur, M., & Arora, S. (n.d.). Environment Impact Assessment and Environment Management Studies for an Upcoming Multiplex-A Case Study. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR MCE)*, 1(4), 22–30.  
<https://doi.org/10.9790/1684-0142230>

León Guamán, C. H., & Vallejo Aguayo, E. V. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre bloques ordinarios y bloques con la introducción de materiales alternativos: caucho y coquilla de palma africana utilizando la norma INEN 639*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16959>

Lescano, J. B. (2014). *Procesos productivos de los ladrillos de arcilla producidos en la región de Piura* [Universidad de Piura].  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI\\_199.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf)

Liliana Quintero García, S., & Octavio González Salcedo, L. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo, Num. 20*, 18. <https://www.redalyc.org/pdf/852/85202010.pdf>

NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). (2014). *Mampostería estructural*.  
<https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec9.pdf>

Pire, R., & Pereira, A. (2003). *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado Lara, Venezuela: propuesta metodológica*.  
[https://www.researchgate.net/publication/28095266\\_Propiedades\\_fisicas\\_de\\_componeentes\\_de\\_sustratos\\_de\\_uso\\_comun\\_en\\_la\\_horticultura\\_del\\_estado\\_Lara\\_Venezuela\\_propuesta\\_metodologica](https://www.researchgate.net/publication/28095266_Propiedades_fisicas_de_componeentes_de_sustratos_de_uso_comun_en_la_horticultura_del_estado_Lara_Venezuela_propuesta_metodologica)

Rojas, Á. M. T. (2015). *Adición de la fibra de coco en el hormigón y su incidencia en la resistencia a compresión*.

Rosana Gaggino. (2008). *Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción*.  
<http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/446/955>

Ruiz, R. C. M. (2015). *Estudio y evaluación de formulación de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco*. Universidad Nacional de San Agustín.

Sampieri, H., Fernández Collado, R., & Baptista Lucio, C. (2004). *Metodología de la investigación*.

Tapia, P. V., Ramos, J. Z. C., García, P. S., Chávez, L. T., Romero, R. M. L., & Arredondo, J. L. O. (2008). *Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012082842>

Universidad Centroamericana José Simeone Cañas. (n.d.). *Prueba de Revenimiento*. Retrieved July 14, 2020, from <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoConcretoFresco/REVENIMIENTO.pdf>

Villalón, D., Jiménez, G., Iriarte, A., & Hombrados, L. (n.d.). *Utilización de materiales compuestos en la construcción de nuevos puentes*.

Freire, L. A. (2012). Esmeraldas Digital Noticias. Obtenido de Industria del coco toma fuerza en Esmeraldas: <http://esmeraldas2012.blogspot.com/search?updated-max=2012-06-12T23:40:00-05:00&max-results=50>

Anexos



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - D416  
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de julio de 2019

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA  
Dirección: República del Salvador N35-33 y Portugal  
Teléfono: 2458157

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: Cilindros con fibra de coco  
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (Mes)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )		
1	C1	2019-06-19	2019-07-03	14	151.25	8052	1950	52.9	6,6	67	TIPO 3	A
2	AC11	2019-06-14	2019-06-28	14	151.25	17067	1860	110,3	6,1	63	TIPO 1	A
3	AC13	2019-06-14	2019-06-28	14	150,75	17648	1570	106,7	6,0	61	TIPO 1	A
4	AC15	2019-06-14	2019-07-05	21	151.25	17907	1860	113,0	6,3	64	TIPO 1	A
5	AC21	2019-06-19	2019-07-03	14	151.00	17908	1860	108,2	6,0	62	TIPO 1	A
6	AC22	2019-06-19	2019-07-03	14	151.92	18027	1860	117,7	6,5	67	TIPO 3	A
7	AC31	2019-06-21	2019-06-28	7	151.00	17908	1820	65,6	3,6	36	TIPO 1	A
8	AC32	2019-06-21	2019-06-28	7	151.00	17908	1820	66,0	3,7	36	TIPO 1	A
9	AC33	2019-06-21	2019-07-05	14	151.25	17907	1830	94,3	5,2	53	TIPO 1	A



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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.  
La información marcada con asterisco (\*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

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

Figura 54 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión realizados a probetas de concreto con adición de fibra de coco. (Laboratorio EPN, 2019)



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES  
Facultad de Ingeniería Mecánica

## COMPRESIÓN EN CILINDROS DE TERROCEMENTO

**PROYECTO:** Paneles con Fibra de Coco

**LOCALIZACIÓN:** Quito

**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM C39/C39M-18

Muestra N°	1	2	3
Identificación	A3.2(7)-1	A3.2(21)-2	A3.2(21)-3
Fecha Fabricación	6/11/2019	25/10/2019	25/10/2019
Fecha Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Diámetro (mm)	152	151	151
Área (mm <sup>2</sup> )	18146	17908	17908
Masa (gr)	8425	8465	8440
Carga Max (kN)	48,18	84,55	97,88
Resistencia (MPa)	2,7	4,7	5,5

Muestra N°	1	2	3
Identificación	A3.3-1	A3.3-2	A3.3-3
Fecha Fabricación	6/11/2019	6/11/2019	6/11/2019
Fecha Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Diámetro (mm)	151	152	152
Área (mm <sup>2</sup> )	17908	18146	18146
Masa (gr)	8405	8425	8070
Carga Max (kN)	102,8	80,27	79,49
Resistencia (MPa)	5,7	4,4	4,4

*Figura 55* Resultados de ensayos de resistencia a la compresión realizados a probetas de concreto con 10% de fibra de coco. (Laboratorio UISEK, 2019)



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



---

**DENSIDAD APARENTE**

INF. No. 20 - 87  
Hoja 01 de 01

Quito, 7 de febrero de 2020

SOLICITA: CORPORACION PARA LA INVESTIGACION ENERGETICA  
Atención: Corporacion Para La Investigacion Energetica  
Dirección: República De El Salvador N35-33 Y Portugal

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PANELES LIVIANOS DE FIBRA DE COCO

CONTRATISTA: \*\*\*  
FISCALIZADOR: \*\*\*  
MUESTRA: 044-01  
PROCEDENCIA: \*\*\*

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS (ASTM C29/C29M-17)			
PRUEBA N°	unidad	1	2
Molde N°		A	B
Díametro Ø	mm	15.3	15.3
Altura h	cm	15.4	15.4
Peso Molde	gr	1896.1	1896.1
Volumen Molde	cm <sup>3</sup>	2831.3	2831.3
Peso Molde + Agregado Suelto	gr	3669	3616
Peso Molde + Agregado Compactado	gr	3752.9	3769.9
Peso Agregado Suelto	gr	1773	1720
Peso Agregado Compactado	gr	1856.8	1873.8
Densidad Aparente Suelta Seca	gr/cm <sup>3</sup>	0.63	0.61
Densidad Aparente Compactada Seca	gr/cm <sup>3</sup>	0.66	0.66

Densidad Suelta Promedio: 0.62 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Compactada Promedio: 0.66 gr/cm<sup>3</sup>

OBSERVACIONES: - El muestreo y procedencia son responsabilidad del cliente

  
 ING. MERCEDES VILLACIS  
 JEFE DE LABORATORIO






Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

---

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

Figura 56 Resultados de ensayos de materiales realizado a la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020)



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



---

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

INF. No. 19 - 0098  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de febrero de 2020

**SOLICITA:** CORPORACION PARA LA INVESTIGACION ENERGETICA  
**Atención:** Corporacion Para La Investigacion Energetica  
**Dirección:** Republica De El Salvador N35-33 Y Portugal  
**PROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE PANELES LIVIANOS DE FIBRA DE COCO  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** 044-01  
**MINA:** \*\*\*  
**NORMAS:** INEN 856, ASTM C128 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	0.990	gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO S.S.S	1.405	gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO APARENTE	1.693	gr/cm <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	41.94	%

Observación: La procedencia e identificación de la muestra son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DEL LABORATORIO






ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL

Peso específico y abs 20-001

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

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

Figura 57 Resultado de peso específico y absorción de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020)



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



---

**CONTENIDO ORGÁNICO**

INF. No. 20 - 0091  
Hoja 01 de 01

Quito, 7 de febrero de 2020

**SOLICITA:** \*\*\*  
**Atención:** CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA  
**Dirección:** REPÚBLICA DE EL SALVADOR N35-33 Y PORTUGAL  
**PROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE PANELES LIVIANOS DE FIBRA DE COCO  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** 044-01  
**NORMA:** INEN 855

**ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO**



Escala Gardner	
0	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>

**Observación:** La procedencia es responsabilidad del cliente.

  
 Ing. Mercedes Villacis  
 JEFE DE LABORATORIO







Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

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

Figura 58 Ensayo para conocer el contenido orgánico de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020)



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

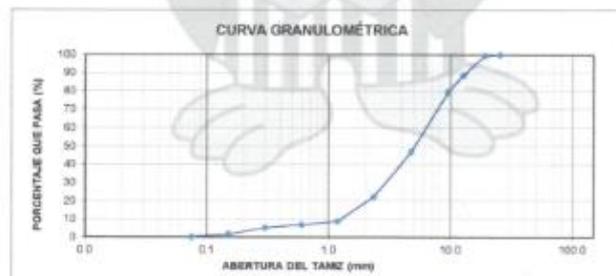
NE. No. 20 - 0089  
Hoja 01 de 01

Quito, 7 de febrero de 2020

SOLICITA: CORPORACION PARA LA INVESTIGACION ENERGETICA  
Atención: Corporación Para La Investigación Energética  
Dirección: República De El Salvador N35-33 Y Portugal  
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PANELES LIVIANOS DE FIBRA DE COCO  
CONTRATISTA: \*\*\*  
FISCALIZADOR: \*\*\*  
MUESTRA: 044-01  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
NORMA: INEN 696

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25.4	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.0	2.6	0.5	0.5	99.5
1/2"	12.7	60.3	10.8	11.3	88.7
3/8"	9.5	51.1	9.2	20.4	79.6
No. 4	4.750	181.3	32.5	52.9	47.1
No. 8	2.360	136.2	24.8	77.7	22.3
No. 16	1.180	75.4	13.5	91.2	8.8
No. 30	0.600	10.8	1.9	93.1	6.9
No. 50	0.300	9.4	1.7	94.8	5.2
No. 100	0.150	18.4	3.5	98.3	1.7
No. 200	0.075	9.1	1.6	99.9	0.1
BANDEJA	-	0.6	0.1	100.0	0.0
TOTAL		688.2			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente



ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



GR-F-20-008

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

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

Figura 59 Ensayo realizado para conocer la granulometría de la piedra pómez. (Laboratorio EPN 2020)

**Informe de Ensayo**

ÁREA DE AGREGADOS  
**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NTE INEN 856-2010

FORMA N° 1333

**Datos del Solicitante**

Solicitado Por:	ING. MIREYA MARTINEZ	Fecha de Pedido:	08 DE ENERO DEL 2020
Cliente:	UNACEM	Fecha de Entrega:	15 DE ENERO DEL 2020
Dirección:	AV. NIÑU Y AV. AMAZONAS, ED. LA PREVISORA TORRE A 4TO PISO	Fecha de Ensayo:	14 DE ENERO DEL 2020
Obra/Proyecto:	CARACTERIZACIÓN DE CHASQUIS		

**Información de la Muestra**

CANTERA / IDENTIFICACIÓN:	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
UBICACIÓN DE LA CANTERA:	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
FORMA DE LA PARTICULA:	ARENA FINA
FECHA DE MUESTREO:	12 DE NOVIEMBRE DEL 2020
MUESTREADO POR:	CLIENTE

**Resultados del Ensayo**

DENSIDAD: AGREGADO FINO		
1. Masa del Pícnometro Vacío	149,7	g
2. Masa del Pícnometro + Agregado	582,4	g
3. Masa del Pícnometro + Agregado + Agua (C)	898,0	cm <sup>3</sup>
4. Masa del Pícnometro + Agua 500ml (B)	849,7	cm <sup>3</sup>
5. Volumen Desajado	184,40	cm <sup>3</sup>
<b>6. DENSIDAD DEL AGREGADO FINO (D)</b>	2,35	g/cm <sup>3</sup>
	2347	kg/m <sup>3</sup>

$D = S / (B+S-C)$

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN: AGREGADO FINO		
1. Masa del Agregado en Estado SSS (S)	547,7	g
2. Masa del Agregado Seco al Horno (A)	522,3	g
<b>3. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO (C.A.)</b>	4,9	%

$CA = [(S-A) / S] \cdot 100$

\* C.A. > C.H. (Seco al Aire)

\* C.A. < C.H. (Sobresaturado)

**Estados de Saturación de las Partículas de Agregado**



NOTA: La base de estudio de la norma de referencia de este informe es ASTM C128

\* El cliente realizó el muestreo del material

OPINIONES E INTERPRETACIONES:

x

Eduardo Chocho M.  
Supervisor de Laboratorio

Figura 60 Ensayo para conocer la densidad relativa y la absorción del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019)



Informe de Ensayo

ÁREA DE AGREGADOS  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO  
NTE INEN 872-2011  
FORMA N° 1022

Datos del Solicitante

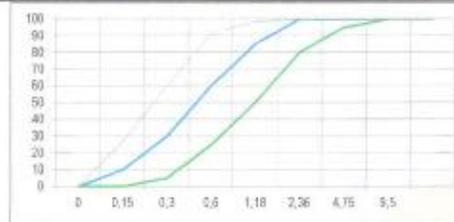
Solicitado Por: ING. MREYA MARTINEZ  
 Cliente: UNACEM  
 Dirección: AV. NN UU Y AV. AMAZONAS, ED. LA PREVISORA TORRE A 4TO PISO  
 Obra/Proyecto: CARACTERIZACIÓN DE CHASQUIS  
 Fecha de Pedido: 08 DE ENERO DEL 2020  
 Fecha de Entrega: 15 DE ENERO DEL 2020  
 Fecha de Ensayo: 13 DE ENERO DEL 2020

Información de la Muestra

CANTERA / IDENTIFICACION	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
UBICACION DE LA CANTERA:	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
FORMA DE LA PARTICULA:	ARENA FINA
FECHA DE MUESTREO:	13 DE NOVIEMBRE DEL 2020
MUESTREO POR:	CLIENTE

Resultados del Ensayo

N°	TAMIZ		RETENIDO EN MASA		PORCENTAJE		LIMITE Especificados
	pu/g	mm	Parcial (g)	Acumulado (g)	Retiene (%)	Pasa (%)	
1	3/8"	9.50	0,0	0,0	0,0	100,0	100
2	N°4	4.75	0,0	0,0	0,0	100,0	95 a 100
3	N°8	2.36	0	0,0	0,0	100,0	80 a 100
4	N°16	1.18	8,1	8,1	1,4	98,6	50 a 85
5	N°30	0.80	43,7	51,8	8,7	91,3	25 a 60
6	N°50	0.30	185,5	237,3	38,7	60,3	5 a 30
7	N°100	0.15	196,8	434,1	72,7	27,3	0 a 10
8	Bandeja		162,9	597,0	100,0	0,0	-
Masa Inicial (g)			597,7	Validez del Ensayo %	MF = 27% Retenido/Serie Tyler		
MÓDULO DE FINURA			1,22	0,117	válido	100	



Límite Superior: Límite Inferior: Curva Granulométrica: % Pasa vs #Tamiz Curva Granulométrica:

NOTA: La base de estudio de la norma de referencia de este informe es ASTM C136

\* El cliente realizó el muestreo del material

Módulo de Finura de acuerdo a NTE INEN 872 de 2,3 a 3,1

OPINIONES E INTERPRETACIONES: x...

Eduardo Chocho M.  
Supervisor de Laboratorio

Figura 61 Ensayo granulométrico del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019)



**Informe de Ensayo**

ÁREA DE AGREGADOS

MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) SUELTO Y COMPACTADO DEL ÁRIDO FINO

NTE INEN 898-2010

INFORME N° 123

Datos del Solicitante

Solicitado Por: ING. MIREYA MARTÍNEZ  
 Cliente: UNACEM  
 Dirección: AV. NN UU Y AV. AMAZONAS, ED. LA PREVISORA TORRE A 4TO PISO  
 Obra/Proyecto: CARACTERIZACIÓN DE CHASQUIS  
 Fecha de Pedido: 08 DE ENERO DEL 2020  
 Fecha de Entrega: 15 DE ENERO DEL 2020  
 Fecha de Ensayo: 14 DE ENERO DEL 2020

Información de la Muestra

CANTERA / IDENTIFICACIÓN	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
UBICACIÓN DE LA CANTERA:	NO IDENTIFICADO POR EL CLIENTE
FORMA DE LA PARTICULA:	ARENA FINA
FECHA DE MUESTREO:	12 DE NOVIEMBRE DEL 2020
MUESTREADO POR:	CLIENTE

Resultados del Ensayo

MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DEL AGREGADO FINO					
N°	Características del Recipiente o Molde		Masa Suelta	Masa Neta	MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO (kg/m³)
	Masa (kg)	Volumen (m³)	+Recipiente (kg)	(kg)	
1	0,630	0,00100	1,967	1,337	1337
2	0,630	0,00100	1,968	1,338	1338
3	0,630	0,00100	1,969	1,338	1339
Promedio			1,968	1,338	1338

Fecha de Calibración del Molde: JUEVES 26 DE OCTUBRE DEL 2017  
 Denominación del Molde/Marca: RECIPIENTE DE EQUIPO: 48-D0446/1

MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO					
N°	Características del Recipiente o Molde		Masa Compactada	Masa Neta	MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO (kg/m³)
	Masa (kg)	Volumen (m³)	+Recipiente (kg)	(kg)	
1	0,630	0,00100	2,181	1,551	1551
2	0,630	0,00100	2,182	1,552	1552
3	0,630	0,00100	2,182	1,552	1552
Promedio			2,182	1,552	1552

Fecha de Calibración del Molde: JUEVES 26 DE OCTUBRE DEL 2017  
 Denominación del Molde/Marca: RECIPIENTE DE EQUIPO: 48-D0446/1

NOTA: La base de estudio de la norma de referencia de este informe es ASTM C25.  
 \* El cliente realizó el muestreo del material.

OPINIONES E INTERPRETACIONES:

x...

Eduardo Chochos M.  
 Supervisor de Laboratorio

Figura 62 Ensayo para conocer masa unitaria, peso volumétrico y compactado del agregado fino. (Inecyc (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón), 2019)



*Figura 63* Proceso de mezclado de arena y fibra de coco. (Autor)



*Figura 64* Fibra de coco incorporada en la mezcla de concreto en un 5%. (Autor)



*Figura 65* Excedente de fibra de coco visible en la superficie de probetas rectangulares. (Autor)



*Figura 66* Visualización de la mezcla al ingresar 15% de fibra de coco “larga”, uno de los mayores inconvenientes que se presentaron durante el proyecto, trabajar con grandes proporciones de fibra. (Autor)



*Figura 67* Revenimiento menor al aceptado en la norma, la mezcla poseía gran cantidad de fibra de coco, lo cual demandó mayor uso de agua, dando como resultado un revenimiento casi nulo. (Autor)



*Figura 68* Diferente ángulo de apreciación de la mezcla vista en la figura 67. (Autor)



*Figura 69* Mezcla de concreto, piedra pómez y fibra de coco. (Autor)



*Figura 70* Revenimiento de la mezcla vista en la figura 69, la cual se encuentra dentro de los parámetros que rigen la norma. (Autor)



*Figura 71* La fibra de coco ayuda a sostener la probeta de concreto luego de haber sido sometida a un ensayo de flexión. (Autor)