

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Trabajo de fin de carrera titulado

“EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA USO DE SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DE PANELES DE MAMPOSTERÍA”

Realizado por:

AGUIRRE BENAVIDES JONATHAN FABRICIO

Director del Proyecto:

M.SC. JAIME MOLINA

Como requisito para la obtención del título de: **INGENIERO**

MECÁNICO EN DISEÑO Y MATERIALES

Quito, marzo del 2021

Declaración Juramentada

Yo, JONATHAN FABRICIO AGUIRRE BENAVIDES, con cédula de identidad # 1718343765, 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 correspondientes 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.



Jonathan Fabricio Aguirre Benavides

C.C.: 171834376-5

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Ana Lucía Benavides y Pablo Aguirre, por apoyarme siempre y levantarme en los momentos difíciles, siempre dándome la fuerza para seguir adelante. A mi hermana Nicole Aguirre por acompañarme y animarme a superar todos los problemas y a mi familia por ser el pilar de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de alcanzar este logro. A mis profesores por las enseñanzas impartidas y por el apoyo que me han dado durante toda mi formación académica. A mis compañeros por compartir conmigo todo lo vivido durante esta etapa. A mi hermana por estar siempre para mí, dispuesta a ayudarme en todo lo que he necesitado. A Paula por ser la fuerza que me motiva a cumplir todas mis metas y sueños, y por su apoyo durante todo este trabajo. A la Ing. Ángeles Re que junto con la Corporación para la Investigación Energética permitieron el desarrollo de esta investigación.

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	7
Índice de figuras.....	11
Índice de tablas.....	14
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Introducción.....	19
Antecedentes.....	19
Planteamiento del problema.....	22
Justificación.....	24
Hipótesis.....	25
Estado del arte.....	26
Materiales compuestos.....	26
Refuerzo con partículas grandes.....	27
Refuerzo con fibras.....	31
Método.....	35
Materiales.....	36
Suelo.....	36
Cemento.....	37
Fibras de coco.....	39
Piedra pómez.....	39
Aditivos.....	40

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Ensayos de agregados	40
Análisis granulométrico.	40
Densidad, densidad relativa y absorción.....	41
Masa unitaria y porcentaje de vacíos.	41
Impurezas orgánicas.....	41
Proporciones de la mezclas.....	42
Mezcla cangahua-cemento portland.....	42
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.	46
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.	46
Dosificación y mezclado de los componentes	48
Colocación, consolidación y acabado de las mezclas.....	52
Curado de los especímenes de resistencia	54
Ensayos del material.....	55
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.	55
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.	58
Selección de proporciones de los componentes y refuerzos de la mezcla para la elaboración del panel.....	60
Evaluación de la factibilidad de uso del material en la fabricación de paneles prefabricados para un sistema constructivo.....	60
Análisis y Discusión de Resultados	64

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Ensayos de agregados	64
Proporciones de las mezclas y mezclado.....	66
Ensayos del material.....	67
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.	67
Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.	81
Evaluación de la factibilidad de uso del material en la fabricación de paneles prefabricados para un sistema constructivo.....	88
Conclusiones	90
Recomendaciones.....	93
Referencias	94
Anexos.....	98
Anexo 1. Informe del ensayo granulométrico de la cangahua.....	98
Anexo 2. Informe del análisis granulométrico de la piedra pómez	99
Anexo 3. Informe del ensayo: densidad, densidad relativa y absorción de la cangahua	100
Anexo 4. Informe del ensayo: densidad, densidad relativa y absorción de la piedra pómez	101
Anexo 5. Informe del ensayo de masa unitaria suelta y compactada de la cangahua	102
Anexo 6. Informe del ensayo de masa unitaria suelta y compactada de la piedra pómez..	103
Anexo 7. Informe del ensayo de determinación de impurezas orgánicas en la piedra pómez	104

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 8. Informe del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.	105
Anexo 9. Informe del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.....	106
Anexo 10. Informe del ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.....	108
Anexo 11. Informe del ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral del suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.....	109
Anexo 12. Informes del ensayo de resistencia a la flexión del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.	111
Anexo 13. Informes del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco.	119
Anexo 14. Informes del ensayo de resistencia a la flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco.	123
Anexo 15. Informe del ensayo de resistencia a compresión del material para el panel prefabricado.....	127
Anexo 16. Informe del ensayo de resistencia a flexión del material para el panel prefabricado.	128

Índice de figuras

Figura 1. Principales tipos de muro.	20
Figura 2. Principales elementos de construcción hechos con suelo-cemento.	20
Figura 3. Porcentaje de edificaciones a construir según el material de construcción.	21
Figura 4. Tipos de refuerzo en los materiales compuestos	26
Figura 5. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo.	27
Figura 6. Orientación de las fibras en un material compuesto reforzado con fibras.	32
Figura 7. Partes del coco nucifera L.	34
Figura 8. Sector de extracción de cangahua en la provincia de Pichincha.	37
Figura 9. Proceso de extracción de las fibras de coco	39
Figura 10. Dosificación por masa del cemento portland.	49
Figura 11. Mezclado del suelo-cemento plástico.	51
Figura 12. Especímenes cilíndricos y cuadrados de suelo-cemento plástico.	53
Figura 13. Especímenes cilíndricos de suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.	54
Figura 14. Proceso de curado de los especímenes endurecidos.	55
Figura 15. Ensayo de resistencia a tensión por compresión diametral.	57
Figura 16. Variación de la densidad de un concreto ligero estructural.	62
Figura 17. Variación de la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.	63
Figura 18. Variación de la resistencia a la flexión de un concreto ligero estructural.	63
Figura 19. Apreciación del efecto bola con altas concentraciones de fibras de coco.	66
Figura 20. Resistencia a la compresión del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.	69

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Figura 21. Resistencia a la compresión de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco ($f_c/c = 0.05$) y añadidas diferentes concentraciones de polvo de coco.	70
Figura 22. Rotura a compresión del espécimen de la mezcla de suelo-cemento plástico con $f_c/c=0.025$ de refuerzo de fibras de coco.	71
Figura 23. Rotura a compresión del espécimen de suelo-cemento plástico.	71
Figura 24. Resistencia a la tensión por compresión diametral del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.	73
Figura 25. Resistencia a tensión por compresión diametral de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco ($f_c/c = 0.05$) y añadidas diferentes concentraciones de polvo de coco.	74
Figura 26. Rotura del espécimen reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.	75
Figura 27. Rotura del espécimen de suelo-cemento plástico.	75
Figura 28. Resistencia a la flexión del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.	77
Figura 29. Resistencia a la flexión de placas de 30 y 50 mm de espesor de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco.	77
Figura 30. Rotura a flexión del espécimen de la mezcla reforzada con fibras de coco.	78
Figura 31. Rotura a flexión del espécimen de la mezcla de suelo-cemento plástico.	79
Figura 32. Comparación de resistencias entre los materiales: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con el 1% de fibras de coco.	80
Figura 33. Evolución del estado del espécimen expuesto a las condiciones medioambientales.	80

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

- Figura 34. Ensayo de revenimiento de las mezclas cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y fibras de coco: (a) sin aditivo, (b) con aditivo tipo B y F, con aditivo tipo A. 81
- Figura 35. Resistencia a la compresión de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco. 83
- Figura 36. Rotura a compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez. 83
- Figura 37. Rotura a compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y fibras de coco. 84
- Figura 38. Resistencia a la flexión de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco. 85
- Figura 39. Rotura a flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez. 86
- Figura 40. Rotura a flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y fibras de coco. 86
- Figura 41. Densidad de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco. 88

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación según el tamaño de partículas.	28
Tabla 2. Denominación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).	29
Tabla 3. Requerimientos típicos de cemento para varios tipos de suelos.	30
Tabla 4. Tipos de cementos portland.	38
Tabla 5. Clasificación de los aditivos (ASTM C 494).	40
Tabla 6. Componentes para la mezcla de suelo-cemento plástico.	43
Tabla 7. Proporciones de la mezcla de suelo-cemento plástico.	45
Tabla 8. Proporciones de la mezcla de suelo-cemento plástico reforzada con piedra pómez.	48
Tabla 9. Dosificación por peso de la mezcla: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzada con fibras de coco.	49
Tabla 10. Dosificación por peso de la mezcla: cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco y combinada con polvo de coco.	50
Tabla 11. Dosificación por masa de la mezcla: cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y fibras de coco.	50
Tabla 12. Proporciones del material para el panel prefabricado.	61
Tabla 13. Dosificación de la mezcla para el material del panel prefabricado.	61
Tabla 14. Resumen de los resultados de granulometría de la cangahua.	64
Tabla 15. Resumen de los resultados de granulometría de la piedra pómez.	65
Tabla 16. Características de la cangahua y la piedra pómez.	65
Tabla 17. Resumen de los resultados obtenidos a los 14 días en el ensayo de resistencia a la compresión de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzadas con fibras de coco.	68

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

- Tabla 18. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la compresión de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco y añadidas polvo de coco. 69
- Tabla 19. Resumen de los resultados obtenidos a los 14 días en el ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzada con fibras de coco. 72
- Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco y añadidas polvo de coco. 74
- Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la flexión en placas del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con fibras de coco. 76
- Tabla 22. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la flexión de la mezcla endurecida: cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco y añadida polvo de coco. 78
- Tabla 23. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco, a los 7 días. 82
- Tabla 24. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco, a los 7 días. 85
- Tabla 25. Densidad del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco. 87
- Tabla 26. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del material escogido para el panel prefabricado, a los 7 días. 88

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 27. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión del material escogido para el panel prefabricado, a los 7 días. 89

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Resumen

La presente investigación expone los resultados determinados al evaluar el comportamiento mecánico de una matriz de suelo-cemento reforzada con fibras de coco y con partículas de piedra pómez. Se fabricaron especímenes de resistencia de compresión, tensión por compresión diametral y flexión de acuerdo con ASTM C 39 y NTE INEN 1573, ASTM C 496, NTE INEN 3128, respectivamente. Se utilizó un método de producción con mezcladora, obteniendo una distribución y orientación de los refuerzos aleatoria. Se analizaron las propiedades mecánicas con concentraciones de refuerzo relativas a la cantidad de cemento para las fibras como: 1:0.025, 1:0.05, 1: 0.10 y 1:0.15. Las pruebas mecánicas determinaron que el refuerzo con fibras 1:0.05, presentó las mejores resultados por lo que se determinó utilizar esta concentración para el material reforzado con partículas y fibras de coco con fracción volumétrica de 0.4 y 0.2 respectivamente. Finalmente se produjo el material compuesto para un panel prefabricado ajustando las proporciones para incrementar la fracción volumétrica de partículas a 0.55, manteniendo la concentración de refuerzo de fibras. Los resultados determinados se compararon con las propiedades de un concreto ligero.

Palabras clave: Suelo-cemento, fibras de coco, partículas de piedra pómez, panel prefabricado.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Abstract

The present investigation presents the results determined when evaluating the mechanical behavior of a soil-cement matrix reinforced with coconut fibers and with pumice stone particles. Compressive strength, diametrical compressive stress, and flexure specimens were fabricated in accordance with ASTM C 39 and NTE INEN 1573, ASTM C 496, NTE INEN 3128, respectively. A production method with a mixer was used, obtaining a random distribution and orientation of the reinforcements. The mechanical properties were analyzed with reinforcement concentrations relative to the amount of cement for the fibers as: 1: 0.025, 1: 0.05, 1: 0.10 and 1: 0.15. The mechanical tests determined that the reinforcement with fibers 1: 0.05 presented the best results, so it was determined to use this concentration for the material reinforced with particles and coconut fibers with a volumetric fraction of 0.4 and 0.2 respectively. Finally, the composite material for a prefabricated panel was produced by adjusting the proportions to increase the volumetric fraction of particles to 0.55, maintaining the concentration of fiber reinforcement. The determined results were compared with the properties of a lightweight concrete.

Keywords: Soil-cement, coconut fibers, pumice stone particles, precast panel.

Introducción

Antecedentes

La combinación de dos o más materiales para formar un material único que consiga asociar de la mejor manera las características de cada constituyente se conoce como material compuesto. La mayoría de las propiedades del material compuesto dependen de los constituyentes empleados, una combinación coherente le otorga al compuesto las propiedades requeridas para una determinada aplicación.

La industria de la construcción es uno de los sectores de mayor aplicación de materiales compuestos, el uso de estos materiales se remonta a las primeras edificaciones hechas de tierra. El suelo reforzado y estabilizado con materiales de origen natural fue uno de los primeros materiales en combinarse artificialmente, los materiales cementantes y las fibras vegetales, proporcionaron al suelo la cohesión, resistencia y durabilidad necesarias para ser utilizado en distintas técnicas de construcción con tierra, conformando el material estructural que fundamentó las técnicas de construcción actuales.

La tierra apisonada (tapia), tierra con entramado (bahareque) y los mampuestos de tierra (adobes), son tecnologías aún vigentes que permitieron desarrollar las principales configuraciones de muros. Los muros monolíticos, muros con entramado y muros de mampuestos (figura 1) componen muchas de las edificaciones contemporáneas. La estabilización con cemento o suelo-cemento consiguió incrementar la resistencia y mejorar las propiedades de los suelos. En la actualidad el cemento portland es el material cementante más utilizado, una gran cantidad de elementos de construcción se producen al combinarlo con otros materiales.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



Figura 1. Principales tipos de muro.

(Pinto, 2016)

La experiencia en el manejo de suelo-cemento destaca principalmente en la elaboración de elementos como: bloques o ladrillos (figura 2a) y muros apisonados levantados dentro de encofrados (figura 2b). Salas Serrano (2000) informa sobre el uso masivo de suelo-cemento en Cuba como alternativa sustitutiva del hormigón durante la crisis energética que atravesaba el país y en Brasil con la finalidad de impulsar el mercado de las viviendas de bajo coste.

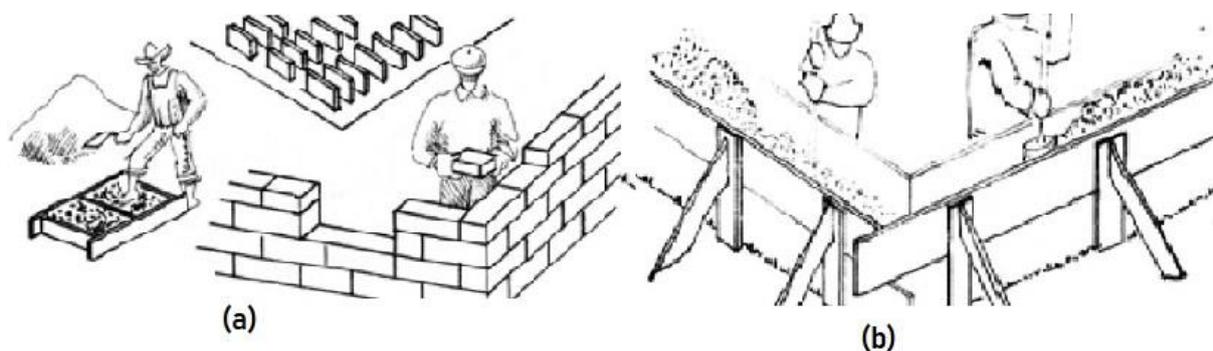


Figura 2. Principales elementos de construcción hechos con suelo-cemento.

(Viñuales, 2007)

El cemento portland es un material cerámico, y como tal, destaca por su resistencia a la compresión pero presenta una estructura muy frágil, propensa a la fractura súbita de poca absorción de energía. De acuerdo con Smith (2004) la poca capacidad de resistir cargas de tracción y flexión, se superan mediante la introducción de barras de acero o fibras de materiales de alto módulo elástico.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), el material más utilizado en las edificaciones del Ecuador es el hormigón armado, material reforzado con armadura de acero. Para componer los muros, los ladrillos de arcilla cocida y los bloques de hormigón son los mampuestos comunes (figura 3). Como puede notarse las técnicas con tierra casi no se aplican y el uso de paredes prefabricadas es mínimo.



Figura 3. Porcentaje de edificaciones a construir según el material de construcción.

(Encuesta de Edificaciones, 2018)

Las paredes prefabricadas generalmente son paneles o placas que solventan parcial o totalmente los muros interiores y exteriores de una edificación. Su función estructural conforme a sus resistencias mecánicas, se identifica como: portante o no portante. Los paneles normalmente se proyectan a ser portantes por lo que poseen grandes espesores, mientras que las placas son elementos no portantes de menor espesor que se utilizan simplemente como cerramientos o revestimientos.

El desarrollo de paneles y placas se fundamenta en dos configuraciones: monolítica y multicapas (tipo sándwich), para las cuales se utiliza comúnmente el hormigón reforzado con armadura metálica como material de fabricación. La prefabricación es la principal modalidad de producción, y se diferencian entre: pesados y livianos al implementarse en un sistema constructivo, destacando materiales de menor densidad como: piedra pómez y fibras de vidrio al momento de elaborar un hormigón ligero (Mac Donnell & Mac Donnell, 1999). En lo que se

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

refiere a paneles o placas prefabricadas de tierra, Bestraten, Hormías, & Altemir (2011) mencionan la producción complementada con la tecnología del suelo-cemento de tapiales y paneles portátiles de tierra apisonada.

Planteamiento del problema

Se evidencia un aumento acelerado en el consumo de materiales a nivel mundial, se registra desde 1970 un incremento del 254 % en la extracción de recursos naturales renovables y no renovables (ONU Consejo Económico y Social, 2019). Este consumo excesivo está ocasionando una irreparable degradación ambiental, que demanda de manera urgente, la búsqueda y ejecución de prácticas de consumo y producción sostenibles, la reducción de desechos y el uso eficiente de los recursos naturales por parte de todos los sectores económicos.

Vargas-Corredor & Pérez-Pérez (2018) señala que los residuos agroindustriales en su gran mayoría, son materiales lignocelulósicos que registran velocidades lentas de degradación y que una parte de estos materiales se encuentra como fibras en la cáscara de algunos frutos. Las fibras vegetales han sido utilizadas desde la antigüedad, aunque como señala Riera, Maldonado, & Palma (2018) no se aprovechan de manera eficiente; una considerable fracción de residuos lignocelulósicos se quema o se deposita en botaderos a cielo abierto en donde liberan dióxido de carbono, contribuyen a proliferación de plagas y contaminan el suelo y el agua.

El modelo de construcción sostenible busca mitigar el deterioro medioambiental provocado por la actividad constructiva. Parte del modelo consiste en producir y consumir materiales sostenibles, de bajo consumo energético y con menor consumo de recursos no renovables, que sean reciclables y de larga vida útil. La reutilización de materiales o subproductos de otras industrias, la reutilización y reciclado de residuos propios de la construcción y el uso de materiales de origen vegetal, obtenidos directamente o de los desechos

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

de otros procesos, representan materiales sostenibles que pueden incorporarse en morteros o conformar materiales compuestos para desarrollar productos de edificación (Mata, 2010).

El impacto medioambiental producido por el campo de la construcción, se debe principalmente, a la extracción desmesurada de recursos naturales, el consumo energético y la generación de residuos pre y post construcción. Se considera que el sector de la construcción es el responsable del 40% de la energía consumida, del 50% de los recursos naturales empleados y del 50 % de los residuos generados a nivel mundial (Suárez-Silgado, Molina, Mahecha, & Calderón, 2018).

El proceso constructivo genera una gran cantidad de desechos, denominados como residuos de construcción. El 43% son residuos de excavación que se componen de suelos removidos durante la preparación del terreno y cimentación de la obra (Rojas-Valencia & Macías, 2013). Suárez-Silgado et al. (2018) manifiesta que la reutilización de tierras excavadas es mínima y su uso se limita al relleno y nivelación en la misma obra, el resto se dispone en escombreras autorizadas si la gestión es responsable y se cubren los costos establecidos, caso contrario, termina en sitios ilegales, quebradas e incluso en el espacio público, contaminando principalmente el aire con partículas.

Tanto en Ecuador como en la mayoría de países latinoamericanos los residuos de excavación y los residuos lignocelulósicos, usualmente son manejados como desperdicio. El desconocimiento de la utilidad y la falta de conciencia medioambiental impiden una adecuada clasificación, restringiendo la reutilización y reciclaje. El suelo y las fibras vegetales son materiales históricos, utilizados en diferentes técnicas de construcción, sin embargo, son materiales relegados; porque la producción de elementos para un sistema constructivo se lleva a cabo con materiales comerciales.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Justificación

La revalorización del suelo como materia prima, podría reducir la minería extractiva a cielo abierto y evitar la afectación de ecosistemas resultante de esta actividad. Bestraten, Hormías, & Altemir (2011) señala que se podría generalizar el uso de tierra en la construcción, mediante la industrialización y mecanización de procesos, la adición de materiales que aporten estabilización y protección frente a la humedad; la introducción de reductores de peso que no comprometan la resistencia del material; y la posibilidad de incorporar residuos de otras industrias.

La tecnología del suelo-cemento mejora significativamente las propiedades del suelo, el cemento portland es un estabilizante que incrementa la resistencia en los elementos de las tecnologías con tierra, pero no proporciona capacidad estructural. Fernández (2015) resalta que es necesario emplear algún tipo de reforzamiento en el muro o en el elemento de suelo-cemento, para soportar las cargas laterales.

Las fibras vegetales se han utilizado como refuerzo de las técnicas de tierra desde hace mucho tiempo, han ayudado al adobe y la tapia a asumir esfuerzos de tensión y han reducido la tendencia a fisurarse. Simbaña (2010) destaca que las fibras vegetales han sido utilizadas como elementos constitutivos o de relleno de matrices cementicias mejorando las características mecánicas de las mismas.

En base a esto, se pretende colaborar en la fase investigativa del proyecto promovido por la Corporación para la Investigación Energética (CIE), que plantea la fabricación de un panel, a partir de suelo y residuos desechados del fruto del coco, principalmente las fibras; que pueda ser utilizado como mampostería reforzada en la edificación. El objetivo general de este estudio consiste en:

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Evaluar la factibilidad, en base al comportamiento mecánico, de uso de suelo-cemento reforzado con fibras de coco como material constitutivo de un panel prefabricado adaptable como muro en un sistema constructivo.

Para alcanzar el objetivo general, se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las características de los elementos del material compuesto mediante pruebas físicas o datos teóricos para la determinación del método de acoplamiento en la mezcla.
- Producir la mezcla base combinando el suelo (cangahua) como agregado fino y la pasta de cemento portland para la conformación de la matriz.
- Incorporar las fibras de coco a la mezcla matriz realizando diferentes mezclas en las que se incremente el contenido de fibras para la experimentación del material compuesto.
- Elaborar probetas normalizadas con la mezcla base y las mezclas reforzadas con fibras de coco usando moldes para la adecuación a cada tipo de ensayo.
- Realizar pruebas normalizadas a las probetas, mediante máquinas de ensayos para la obtención de datos de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión.
- Analizar los resultados de los ensayos de resistencia para la evaluación de las propiedades de la mezcla y la influencia de las fibras de coco.

Hipótesis

El suelo-cemento reforzado con fibras de coco constituye un material compuesto con el comportamiento mecánico adecuado para utilizarse en la fabricación de paneles o placas para muros.

Estado del arte

Materiales compuestos.

Callister (1996) define al material compuesto como un material multifase, formado generalmente por dos fases: la fase continua (matriz) y la fase dispersa (refuerzos). La fase continua y la fase dispersa se interconectan en una superficie de unión denominada intercara. La forma de los refuerzos es como: partículas, fibras y láminas (figura 4).



Figura 4. Tipos de refuerzo en los materiales compuestos

(Olivares Santiago, Galán Marín, & Roa Fernández, 2003)

La matriz debe ser capaz de: rodear a los refuerzos, transferir parte del esfuerzo aplicado sobre la matriz hacia los refuerzos y proteger a los refuerzos. El refuerzo mejora o aporta característica y propiedades a la matriz, la compatibilidad que tenga con la matriz permite una conexión fuerte en la interfaz (intercara), definiendo la calidad del reforzamiento. La adherencia deficiente en la interfaz matriz-refuerzo, provoca la separación del refuerzo de la matriz (Dávila et al., 2011).

Smith (2004) indica que cada fase debe diferir en forma y composición química, siendo esencialmente insolubles entre sí. Según Callister (1996) las propiedades de los compuestos dependen de: las proporciones y propiedades de cada fase, la conectividad de las fases y de: la forma, tamaño, distribución y orientación de los refuerzos. Smith (2004) recalca que en los

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

diseños de ingeniería, un material compuesto está formado por constituyentes dentro del rango micro (alrededor de 10^{-4} a 10^{-2} cm) a macro (alrededor de 10^{-2} cm o más).

El tipo de matriz y el tipo de refuerzo, se seleccionan en función de las propiedades específicas requeridas en la aplicación que se proyecta al material compuesto. Generalmente los materiales utilizados, corresponden a los grupos: metálico, cerámico y polimérico. Los materiales compuestos son clasificados según el tipo de refuerzo como se muestra en la figura 5.

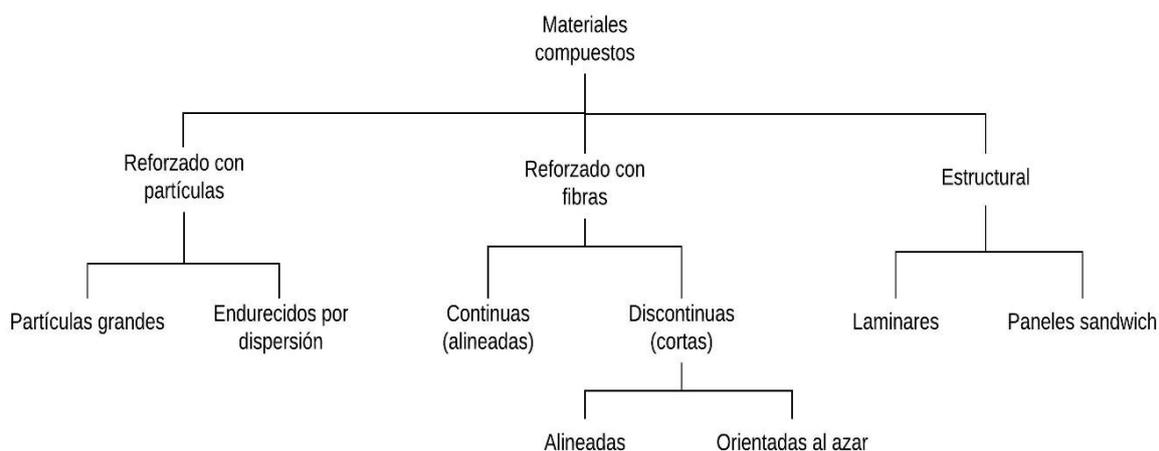


Figura 5. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo.

(Callister, 1996)

Refuerzo con partículas grandes.

Las partículas son refuerzos que varían en geometría pero poseen aproximadamente la misma dimensión en todas las direcciones, son más duras y resistentes que la matriz y tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. Las propiedades mecánicas del material compuesto mejoran si las partículas: se introducen en una cantidad considerable, se distribuyen bien en la matriz y poseen las menores dimensiones posibles (Callister, 1996).

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

En un material compuesto, las partículas soportan en mayor o menor grado parte de la carga aplicada a la matriz, dependiendo de la fuerza de unión matriz-partículas. Las partículas no siempre mejoran la resistencia del compuesto, aunque si modifican otras propiedades. Algunas simplemente son el material de relleno que sustituye una fracción del material utilizado en la matriz.

La materia prima proveniente de rocas y minerales es utilizada como partículas de refuerzo del cemento portland. Estas partículas se denominan agregados y se clasifican como finos y gruesos. La granulometría es la medición del tamaño de las partículas que permite identificar a piedras y gravas como agregados gruesos, mientras que arenas, limos y arcillas son los agregados finos (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación según el tamaño de partículas.

Sistema de clasificación de suelos	Tipo de partícula			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
	Tamaño de partícula (mm)			
AASHTO	2 a 76.2	0.075 a 2	0.002 a 0.075	< 0.002
ASTM (SUCS)	4.75 a 76.2	0.075 a 4.75	< 0.075	< 0.075

Adaptado de (Menereo, 2014)

El concreto u hormigón es un material compuesto cerámico que tiene como fase continua (matriz) una pasta formada en el proceso de cementación del cemento portland con agua; y como fase dispersa (refuerzos) partículas de agregado grueso (piedra o grava) y agregado fino (arena), que se unen a lo largo del material mediante el cemento; cuando se prescinde del agregado grueso, la mezcla se conoce como mortero.

En el concreto, las partículas menores a 5 mm constituyen los agregados finos mientras que las partículas mayores a 5 mm, generalmente entre 9.5 y 37.5 mm, constituyen los agregados gruesos. Cuando se utiliza como agregado cualquier combinación de material granular proveniente del suelo como: arena, limo, arcilla, grava o piedra, conjuntamente con

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

cemento, este es considerado un tipo especial de concreto llamado suelo-cemento (S. H. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Suelo-cemento.

El suelo-cemento se define como un material formado a partir de una mezcla homogénea de determinadas proporciones de suelo, cemento y agua, que se compacta y cura para ser rígido y durable. Según ACI Committee 230 (2009) en el suelo-cemento compactado, las partículas de tierra están unidas por la pasta de cemento, pero la partícula individual no se cubre totalmente por la pasta como sucede con el concreto.

El tipo de suelo, contenido de cemento, método de compactación y el curado, influyen directamente en las propiedades mecánicas, durabilidad, permeabilidad y tendencia al agrietamiento del suelo-cemento. La aptitud de un suelo que se va a tratar con cemento, puede ser juzgada preliminarmente según su granulometría y límite de consistencia. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) permite designar a los suelos como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Denominación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tipo de Suelo	Prefijo
Grava	G
Arena	S
Limo	M
Arcilla	C
Orgánico	O
Subgrupo	Sufijo
Bien graduada	W
Pobremente graduada	P
Limoso	M
Arcilloso	C
Límite líquido alto (> 50)	H
Límite líquido bajo (< 50)	L

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Las cantidades referenciales de cemento para producir suelo-cemento compactado según el tipo de suelo se muestran en la tabla 3. Lavalle (2013) indica que son preferibles los suelos con un contenido de finos (limos y arcillas) cercano al 50%, con límite líquido e índice plástico menor a 50% y 25% respectivamente. En base a estas condiciones se mencionan contenidos de cemento y agua que alcanzan el 25% y 20% del peso seco de la mezcla.

Tabla 3. Requerimientos típicos de cemento para varios tipos de suelos.

Clasificación de suelos ASTM	Rango típico de requerimiento de cemento, porcentaje en peso
GW, GP, GM, SW, SP, SM	3 a 5
GM, GP, SM, SP	5 a 8
GM, GC, SM, SC	5 a 9
SP	7 a 11
CL, ML	7 a 12
ML, MH, CH	8 a 13
CL, CH	9 a 15
MH, CH	10 a 16

Adaptado de ACI 230.1R-09

Suelo-cemento plástico.

Cuando el suelo posee una gran proporción de finos se prefiere descartar su uso en un suelo-cemento compactado. Mientras mayor sea el contenido de finos, se requiere mayor cantidad de cemento y agua. Este tipo de suelos resultan convenientes para producir suelo-cemento plástico, que se define como una mezcla semifluida de cemento con suelo fino muy húmedo en estado plástico. Debido a su consistencia parecida a la de un concreto convencional solamente requiere un mínimo grado de compactación (Lavalle, 2013).

Según ACI Committee 229 (2013) el suelo-cemento plástico se considera un material controlado de baja resistencia para el que se puede emplear el método del volumen absoluto para estimar las proporciones de la mezcla. La mezcla básica combina material cementante, agregado fino y agua con poco o sin mezclado, un alto contenido de finos estabilizará más al

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

material. Las propiedades de este material dependen de los componentes y las proporciones de los mismos. Se señala que el suelo-cemento plástico producido con suelos de alto porcentaje de finos posee una matriz más estable.

Refuerzo con fibras.

El grado de reforzamiento de un material con fibras depende de la fuerza de unión matriz-fibras y de las dimensiones de las fibras. Las fibras son continuas o largas y discontinuas o cortas. Callister (1996) indica que las fibras demasiado cortas no incrementan apreciablemente la resistencia del material compuesto.

Los materiales compuestos reforzados con fibras normalmente se fabrican mezclando las fibras en una matriz líquida o plástica. La orientación, fracción volumétrica y distribución influyen en la resistencia y propiedades del material. Askeland et al. (2011) señala que las fibras pueden alinearse u orientarse aleatoriamente y, si están distribuidas uniformemente, se consigue mejorar las propiedades mecánicas del compuesto mientras mayor sea su fracción volumétrica.

Las fibras cortas y orientadas al azar, facilitan su introducción en la matriz, este tipo de refuerzo generalmente se utiliza en aplicaciones donde el material se somete a esfuerzos multidireccionales. En la figura 6 se muestran las principales orientaciones de las fibras.

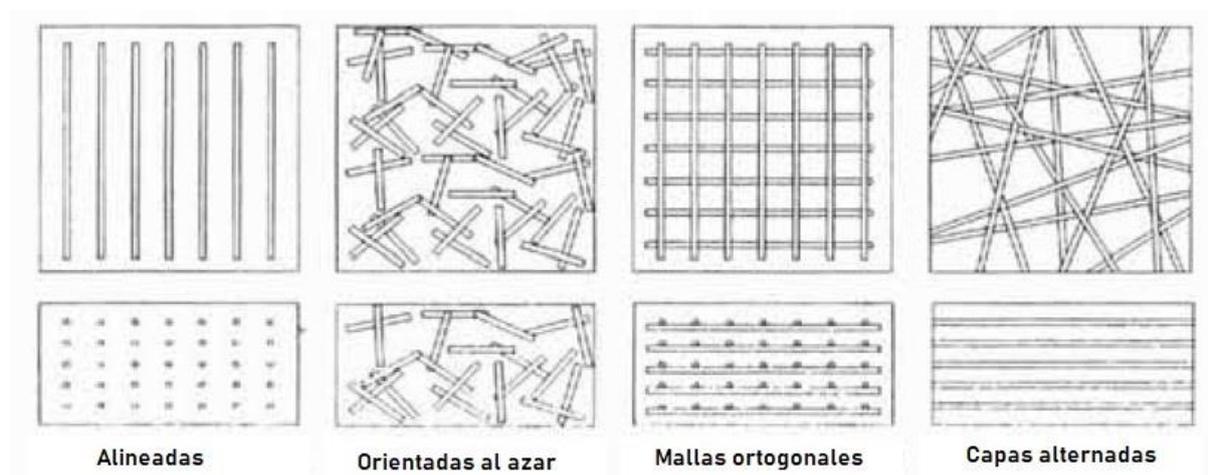


Figura 6. Orientación de las fibras en un material compuesto reforzado con fibras.

(Olivares Santiago et al., 2003)

En las matrices cerámicas la unión débil o fuerte entre la matriz y las fibras resulta conveniente. Al formarse una grieta, ésta debe bordear a las fibras para continuar con su propagación y si las fibras empiezan a desprenderse de la matriz, se origina un proceso de absorción de energía que mejora la tenacidad a la fractura del material. Si la unión es fuerte, aunque algunas fibras individuales se rompan, la fractura total del material compuesto no sucederá hasta que la mayoría se hayan roto (Callister, 1996).

El concreto es un material frágil, resistente a compresión pero con poca resistencia a la tracción y flexión. Estas deficiencias se solventan con armadura de refuerzo metálica de varillas o alambres, y en menor grado con la inserción de un volumen adecuado de fibras. Las fibras cortas discontinuas son utilizadas ampliamente para reforzar cementos, morteros y hormigones y se prefieren para elaborar secciones delgadas, donde es complicado colocar una armadura.

Las fibras y la armadura convencional comparten el mismo principio de reforzamiento, la armadura provee un refuerzo unidireccional mientras que con las fibras es multidireccional, debido a que estas cubren toda la sección transversal. El cemento portland se refuerza con fibras de alto módulo elástico, principalmente son utilizadas fibras de acero, vidrio, sintéticas y naturales.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Concreto reforzado con fibras naturales sin procesar.

Las fibras naturales son elementos de refuerzo económicos y de bajo consumo energético. Los estudios realizados a materiales compuestos elaborados con cemento portland y fibras naturales no procesadas como: coco, sisal, bagazo de caña de azúcar, bambú, yute, madera y otras fibras vegetales, determinaron la aptitud del material para fabricar láminas delgadas útiles en paredes y techos, aunque se evidenciaron defectos de durabilidad debidos a los problemas de adherencia que el abultamiento de las fibras al humedecerse ocasiona y por el deterioro de las fibras durante la reacción de hidratación del cemento portland (ACI Committee 544, 2002).

Las propiedades de la matriz de cemento portland reforzado con fibras naturales sin procesar dependen de factores como: el tipo, longitud y fracción volumétrica de las fibras. La resistencia al impacto generalmente aumenta sin importar la cantidad de fibras pero otras propiedades no mejoran significativamente. Se menciona que el contenido mínimo que proporciona alguna mejora a las propiedades mecánicas del compuesto es de 3% en volumen (ACI Committee 544, 2002).

El método de mezcla húmedo en mezcladora admite bajos contenidos de fibras debido a que la formación de bolas de fibras durante el mezclado ocasiona pérdida de revenimiento. Es recomendable mezclar primero el cemento portland con el agua y los aditivos para formar una suspensión a la que después se le añade el agregado fino y finalmente las fibras. La adición progresiva de las fibras al final del mezclado reduce la formación de bolas y el uso de aditivos reductores de agua de alto rango vuelven trabajable a la mezcla. Se recomienda utilizar cemento portland tipo I y tipo III, el tipo III reduce el retardo del endurecimiento provocado por la glucosa que las fibras naturales poseen (ACI Committee 544, 2002).

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Concreto reforzado con fibras de coco.

Las partes del futo de la palma de coco (*cocos nucifera L.*) se observan en la figura 7. Se compone por 35% de mesocarpio, 12% de endocarpio, 28% de endosperma y 25% de agua de coco (Trujillo & Arias, 2013). El mesocarpio alberga a la estopa (fibras del coco), utilizada principalmente para la elaboración de telas, cuerdas, esteras, etc.

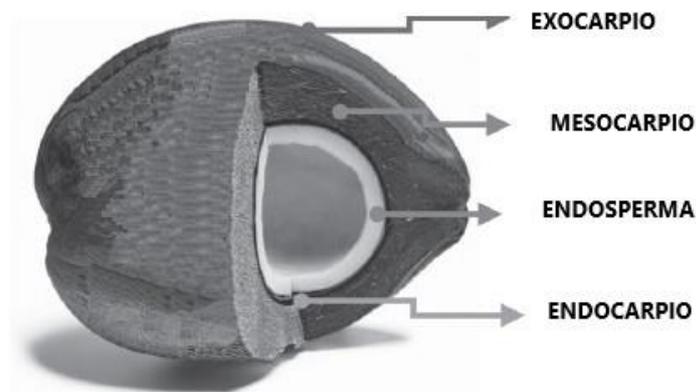


Figura 7. Partes del coco *nucifera L.*

(Trujillo & Arias, 2013)

Comúnmente las fibras de coco se utilizan con un mínimo tratamiento previo y su extracción se realiza manualmente sumergiendo la cáscara en agua hasta descomponer el material que rodea las fibras, o por medio de procesos mecánicos. Durante el proceso de extracción de las fibras también se desprende un polvo, denominado polvo de estopa de coco, que según Francis (2000) se utiliza para fabricar tableros de partículas aglomeradas y como material aislante.

En el estudio sobre “Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto” concluye que adicionar fibra de coco con 5 cm de longitud y en una cantidad de 0.5 % del volumen total de la mezcla mejora la tenacidad y debido al efecto que tienen las fibras en las propiedades mecánicas del concreto se propone la aplicación del

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

compuesto en la construcción, principalmente en elementos sometidos a flexión (García & Salcedo, 2006).

En la investigación “Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón” se analizó la influencia en la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón al agregar fibras de coco tratadas químicamente y sin tratar, como sustituto del agregado fino, en proporciones 2.5, 5 y 10% y con longitudes promedio entre 3 y 6 cm. Las losas ensayadas a flexión con adiciones de fibras entre 2.5 y 5% en relación al peso total del agregado fino, con longitudes menores a 4 cm y tratadas químicamente, presentaron a los 200 °C, un módulo de ruptura superior al de las losas sin adición de fibras (Paricaguán et al., 2013).

En el estudio “Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete” se reforzaron concretos con fibras de coco de 2.5, 5 y 7.5 cm de longitud en contenidos escogidos en relación al 1%, 2%, 3% y 5% del peso del cemento. Se encontró que el reforzamiento correspondiente al 5% del peso del cemento con fibras de 5 cm de longitud logra la mayor mejora en las propiedades del concreto (Ali, Liu, Sou, & Chouw, 2012).

La investigación “Mechanical properties of coconut fiber-reinforced concrete” determinó contenidos óptimos de refuerzo con fibras de coco en relación al volumen de un concreto. El 1.82%, 1.94% y 1.63% incrementan la resistencia a la compresión, flexión y tracción por compresión diametral en un 15%, 50% y 16%, respectivamente; en comparación con un concreto sin refuerzo. La presencia de cierta cantidad de fibras reduce la fragilidad del concreto y aumenta la capacidad de carga, especialmente cargas de flexión (Nyoman, 2016).

Método

Para analizar determinadas propiedades de un material compuesto, formado esencialmente por una matriz de suelo-cemento que se reforzó previamente con fibras de coco y posteriormente con partículas de piedra pómez, se planteó un diseño experimental mediante

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

ensayos normalizados en especímenes de prueba que permitieron determinarlas cuantitativamente. Al evaluar la densidad, resistencia a la compresión, tracción y flexión del material compuesto y compararlas con las propiedades de un concreto ligero es posible determinar si es factible su uso en paneles o placas para paredes.

Materiales

Suelo.

Para el desarrollo del material compuesto se escogió un tipo de suelo denominado como cangahua. La cangahua es un suelo duro y estéril (difícilmente aprovechable para la agricultura) generado por productos volcánicos. Se considera un material fino endurecido, compuesto en su mayoría por: arena, cantidades moderadas de limo, y poca presencia de arcilla. El Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG) señala que la mayor presencia de cangahua se concentra en la provincia de Pichincha y que se puede encontrar expuesta en la superficie (cangahua aflorante) o debajo del suelo u otros materiales (cangahua en profundidad).

La Unidad de Suelos de la Dirección de Generación de Geoinformación Agropecuaria del MAG realizó una investigación y un mapeo mediante teledetección que permite identificar la ubicación de la cangahua aflorante y cubierta (hasta 60 cm de profundidad). Mediante esta herramienta se seleccionó uno de los sectores con mayor cangahua aflorante. La cangahua utilizada pertenece a la parroquia de Tocachi, provincia de Pichincha. En la figura 8 se indica la zona de extracción. Las zonas con cangahua cubierta se muestran en color verde y las zonas con cangahua aflorante en color rojo.

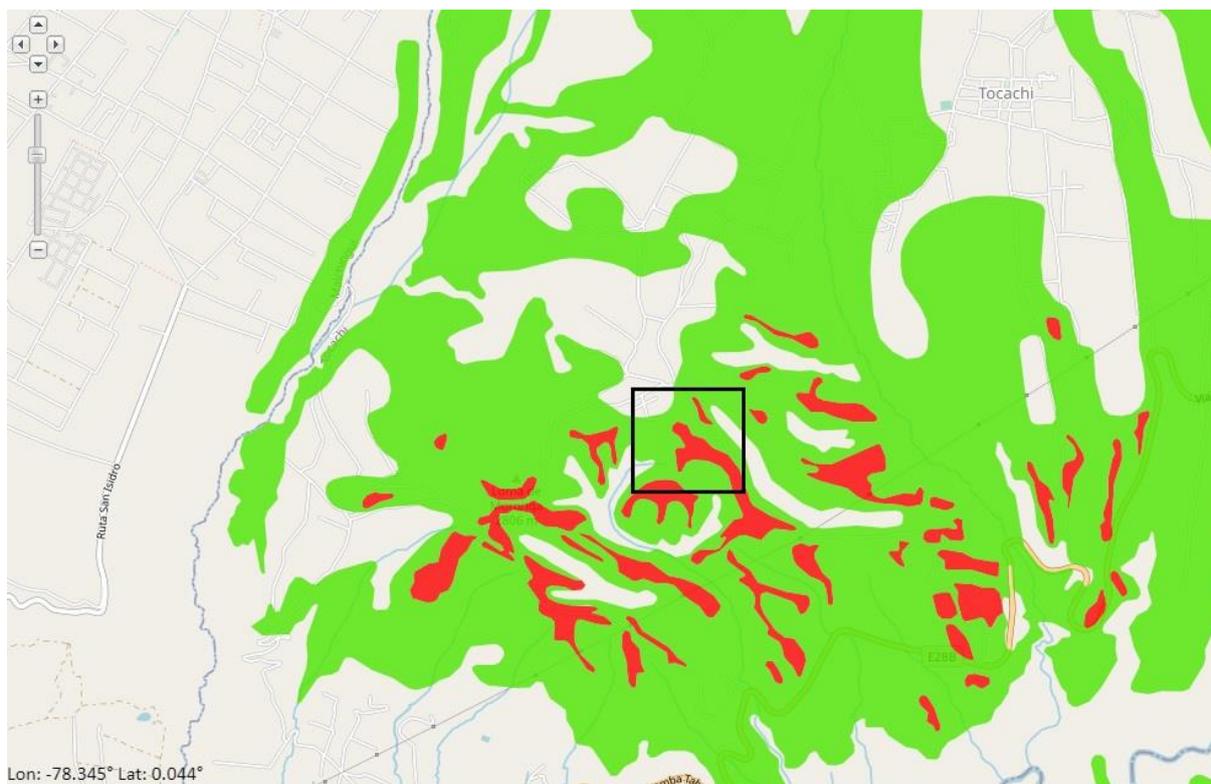


Figura 8. Sector de extracción de cangahua en la provincia de Pichincha.
(Geoportal del Agro Ecuatoriano)

La cangahua del norte de la provincia de Pichincha según Menereo (2014) y Gaibor & Guano (2012) , se clasifica como un suelo limo arenoso de media a baja plasticidad (ML), compuesta con más del 50 % por finos y más del 30 % por arena. Gaibor & Guano (2012) indican que posee límite líquido promedio de 38% e índice plástico de 13%. Estos límites son aceptables para un suelo que se va a tratar con cemento y se puede anticipar que la elevada presencia de finos demandará cantidades de cemento superiores a las referenciales.

Cemento.

El cemento portland es un material cerámico, clasificado como cemento hidráulico por la reacción química de hidratación que ocurre al combinarse con agua. La pasta que se forma, fragua y endurece a temperatura ambiente, produciendo una estructura sólida y rígida que toma la forma del molde en que se coloca. Es importante retener la mayor cantidad de agua porque

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

su evaporación ocasiona un endurecimiento deficiente. El proceso que evita la hidratación incompleta del cemento se conoce como curado.

Askeland et al. (2011) señala que la composición del cemento determina su rapidez de fraguado, propiedades mecánicas y resistencia al ambiente. Generalmente se espera que el cemento fragüe totalmente a los 28 días, aunque puede extenderse durante varios años. En la tabla 4 se muestran algunos de los tipos de cementos portland según ASTM C 150 (Especificación Normalizada para Cemento Portland).

Tabla 4. Tipos de cementos portland.

Designación ASTM C150	Características
Tipo I	Normal
Tipo II	Moderada resistencia
Tipo III	Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos

(S. Kosmatka, Kerkhoff, C. Panarese, & Tanesi, 2004)

Para la conformación del material se utilizó cemento portland puzolánico tipo IP, similar al cemento portland tipo I, pero mezclado con puzolanas. También se utilizó un cemento hidráulico tipo HE, que proporciona alta resistencia a edades tempranas, se lo usa de la misma manera que un cemento portland tipo III.

El cemento portland forma una matriz resistente que mantiene a los refuerzos aglutinados en una masa, debe adicionarse suficiente cemento y agua, para que la pasta cubra a todos los refuerzos. Callister (1996) señala que el déficit de agua provoca una mezcla poco trabajable y que el exceso provoca porosidad; ambos casos reducen la resistencia y durabilidad del material.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Fibras de coco.

Las fibras y el polvo de coco fueron suministradas por la Corporación para la Investigación Energética (CIE), que se encargó de recolectar las cáscaras de coco desechadas como residuo en la provincia de Esmeraldas, y separar las fibras con una máquina extractora (figura 9). Las fibras se entregaron con longitudes entre 60 y 150 mm aproximadamente.



Figura 9. Proceso de extracción de las fibras de coco
(Corporación para la Investigación Energética)

Piedra pómez.

La piedra pómez o pumita es un material poroso de origen volcánico, posee un color claro con una distribución uniforme de los poros. Su adecuada resistencia y baja densidad han permitido que se utilice como agregado en hormigones ligeros. La piedra pómez utilizada como agregado grueso en la mezcla, fue suministrada por un vivero de la parroquia de Nayón, provincia de Pichincha, donde se oferta como ornamentación para jardines.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Aditivos.

Para mejorar o modificar las propiedades del concreto se utilizan aditivos desarrollados para cumplir una función específica. La ASTM C 494 (Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto) clasifica estas funciones como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los aditivos (ASTM C 494).

Aditivo	Función
Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardador de fraguado
Tipo C	Acelerador de fraguado
Tipo D	Reductor de agua y retardador de fraguado
Tipo E	Reductor de agua y acelerador
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardador

Se utilizaron aditivos tipo F y tipo A de fabricación nacional, ambos cumplen con los requerimientos de la ASTM C 494. El fabricante dispone una dosificación del 0.93 % al 1.87 % del peso del cemento para el aditivo 1 y del 0.46 % al 0.82 % del peso del cemento para el aditivo 2.

Ensayos de agregados

La muestra de cangahua fue ensayada por el Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón (Inecyc), mientras que los ensayos de la piedra pómez se realizaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional.

Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico o de distribución de los tamaños de las partículas consiste en una prueba que separa las partículas de una muestra en sus varios tamaños al atravesar tamices normalizados. Las pruebas de granulometría de la cangahua y la piedra pómez se hicieron de acuerdo con la norma NTE INEN 696-2011 (Análisis granulométrico en los áridos, fino y

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

grueso). El informe del ensayo de la cangahua se adjunta en el anexo 1 y el de la piedra pómez en el anexo 2.

Densidad, densidad relativa y absorción.

Determinar la densidad relativa sirve para el cálculo de proporciones (sin considerar los vacíos entre las partículas). La densidad es el resultado de multiplicar la densidad relativa del agregado (cociente entre la masa del agregado y la masa de agua con el mismo volumen absoluto) por la densidad del agua (densidad aproximada del agua 1000 kg/m^3). Cuando se determina la absorción se puede controlar el agua total de la mezcla y definir las masas correctas de los materiales para la revoltura (S. Kosmatka et al., 2004). Los ensayos de la cangahua y la piedra pómez se llevaron a cabo según la norma NTE INEN 856-2010 (Determinación de la densidad relativa y absorción del árido fino). El informe del ensayo de la cangahua se adjunta en el anexo 3 y el de la piedra pómez en el anexo 4.

Masa unitaria y porcentaje de vacíos.

La densidad suelta de un agregado es la cantidad que se necesita para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado, el volumen es ocupado por el agregado y los vacíos que existen entre las partículas del agregado. La cantidad de vacíos influye en el requerimiento de pasta en el diseño de la mezcla (S. Kosmatka et al., 2004). La cangahua y la piedra pómez se ensayaron de acuerdo a la norma NTE INEN 858-2010 (Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos). El informe del ensayo de la cangahua se adjunta en el anexo 5 y el de la piedra pómez en el anexo 6.

Impurezas orgánicas.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento y dificultar el desarrollo de la resistencia (S. Kosmatka et al., 2004). Las impurezas orgánicas de la piedra

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

pómez se determinaron de acuerdo con la norma NTE INEN 855-2010 (Determinación de las Impurezas Orgánicas en el Árido Fino para Hormigón). El informe del ensayo se adjunta en el anexo 7.

Proporciones de la mezclas

Según Dávila et al. (2011) para que la matriz pueda impregnarse adecuadamente sobre el refuerzo, es conveniente que esta tenga consistencia fluida. Esta consistencia según S. H. Kosmatka et al. (2004) también es la adecuada para utilizar un método de consolidación manual con varilla. En base a la información recopilada sobre el tratamiento de suelos con cemento se determinó que la mezcla tipo suelo-cemento plástico era la apropiada para el proyecto de investigación.

Se fabricaron especímenes de la mezcla de suelo-cemento plástico estableciendo un grupo de control, para posteriormente comparar sus propiedades con grupos experimentales de especímenes de esta matriz reforzada con fibras de coco. Se decidió denominar a la mezcla como: cangahua-cemento portland por el tipo de suelo y el tipo de cemento que la componen.

Mezcla cangahua-cemento portland.

El método de proporciones del volumen absoluto del ACI 211.1 (Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo), determina el volumen absoluto que ocupará cada componente en una unidad de volumen de la mezcla según la densidad relativa de cada uno.

El volumen absoluto (VA) de cada material se determina como sigue:

$$VA = \frac{m}{dr \cdot da} \quad (1)$$

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Donde:

m = masa del material (kg).

dr = densidad relativa del material; para el agua es equivalente a 1.

da = densidad del agua; 1000 kg/m³.

Las densidades relativas de los componentes de la mezcla se muestran en la tabla 6. El cemento portland utilizado es de producción nacional conforme a la norma NTE INEN 490 (Cementos hidráulicos compuestos) y su densidad relativa consta en su ficha técnica.

Tabla 6. Componentes para la mezcla de suelo-cemento plástico.

Componente	Densidad relativa
Suelo (cangahua)	2.35
Cemento portland puzolánico tipo IP	2.85
Agua potable	1

El método del volumen absoluto establece que el volumen de la mezcla es igual a la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes. Fijando la producción de 1 m³ de mezcla y asumiendo que el 1% del volumen es aire, el cálculo se plantea como:

$$vc + va + vs + 0.01 m^3 = 1 m^3 \quad (2)$$

Donde:

vc = volumen absoluto del cemento, m³

va = volumen absoluto del agua, m³

vs = volumen absoluto de cangahua, m³

Con las densidades relativas de todos los componentes de la mezcla el cálculo del volumen absoluto se plantea de la siguiente manera:

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

$$v_c = \frac{mc}{2.85 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} \quad (3)$$

$$v_a = \frac{ma}{1 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} \quad (4)$$

$$v_s = \frac{ms}{2.35 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} \quad (5)$$

Donde:

mc = masa de cemento, kg

ma = masa de agua, kg

ms = masa de cangahua, kg

En la publicación “Suelo-cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones” se menciona que la cantidad de cemento puede variar entre el 2 y 25 por ciento del peso seco de la mezcla y que la cantidad de agua varía comúnmente entre el 10 y 20 por ciento del peso seco de la mezcla en suelos muy finos (Lavalle, 2013). La cangahua es un suelo predominantemente limoso por lo que se anticipa que la mezcla requerirá los porcentajes más altos para alcanzar las mejores propiedades.

El peso seco de la mezcla lo conforman la masa de cangahua y la masa de cemento portland, por lo que las expresiones para determinar la cantidad de cemento y agua se plantean de la siguiente forma:

$$mc = 25 \% (ms + mc) \quad (6)$$

$$ma = 20 \% (ms + mc) \quad (7)$$

Resolviendo la ecuación (6) obtenemos:

$$mc - 0.25 mc = 0.25 ms \quad (8)$$

$$ms = 3 mc \quad (9)$$

Reemplazando ms en (7) y resolviendo la ecuación se obtiene:

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

$$ma = 0.20 (3 mc + mc) \quad (10)$$

$$ma = 0.8 mc \quad (11)$$

Reemplazando ms en (5) y ma en (4) y simplificando las expresiones se obtiene:

$$vs = \frac{3 mc}{2350 \text{ kg/m}^3} \quad (12)$$

$$va = \frac{0.8 mc}{1000 \text{ kg/m}^3} \quad (13)$$

Reemplazando vs y va en (2) y resolviendo obtenemos:

$$\frac{mc}{2850 \text{ kg/m}^3} + \frac{0.8 mc}{1000 \text{ kg/m}^3} + \frac{3 mc}{2350 \text{ kg/m}^3} + 0.01 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \quad (14)$$

$$mc = 408 \text{ kg} \quad (15)$$

Reemplazando mc en (9) y (11):

$$ms = 3 \cdot 408 \text{ kg} = 1224 \text{ kg} \quad (16)$$

$$ma = 0.8 \cdot 495 \text{ kg} = 326 \text{ kg} \quad (17)$$

De esta manera se definen las proporciones estimadas para la mezcla que conformará la matriz del material compuesto. Para la mezcla de prueba es conveniente disminuir el volumen para la producción de 0.1 m^3 de mezcla redefiniendo las proporciones como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Proporciones de la mezcla de suelo-cemento plástico.

Componente	Masa (kg)
Suelo (cangahua)	$1224 \times 0.1 = 122$
Cemento portland	$408 \times 0.1 = 41$
Agua potable	$326 \times 0.1 = 33$

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.

Los estudios previos sobre matrices de cemento portland reforzadas con fibras vegetales sirvieron para asignar los contenidos de fibras de coco que se decidieron analizar. Adicionalmente con la intención de reducir el peso del material endurecido y aprovechar las partículas del endocarpio del coco, se decidió evaluar su efecto sobre el material compuesto como material de relleno, por lo que se fabricaron probetas con diferentes contenidos de polvo de coco.

Para evaluar el reforzamiento de la matriz cangahua-cemento portland con fibras de coco, se prepararon cuatro mezclas de diferente relación fibras de coco/cemento portland (f_c/c). Se cortaron las fibras a longitudes comprendidas entre 20 y 40 milímetros y se fijaron relaciones f_c/c de: 0.025 para la primera mezcla, 0.05 para la segunda mezcla, 0.10 para la tercera mezcla y 0.15 para la cuarta mezcla.

Para analizar la influencia del polvo de coco, se decidió modificar la mezcla con f_c/c igual a 0.05, disminuyendo las proporciones de cangahua y cemento definidos inicialmente para añadir el polvo de coco. Se prepararon cuatro mezclas con diferentes relaciones polvo de coco/cemento portland (p_c/c). Las proporciones de cemento y cangahua se redujeron respectivamente al: 80 y 40 % en la primera mezcla, 35 y 5 % en la segunda mezcla, 85 y 65 % en la tercera mezcla y 55 y 45 % en la cuarta mezcla. Las p_c/c que se fijaron fueron de: 0.25, 0.30, 0.10 y 0.15.

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.

De acuerdo con los resultados obtenidos al ensayar el suelo-cemento plástico combinado con los residuos del coco, se definió la proporción de reforzamiento con fibras que presentó

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

mejores resultados para conformar al material compuesto que constituirá al panel prefabricado del proyecto de investigación. Pretendiendo emular la composición de un concreto de agregados ligeros, se decidió reforzar al suelo-cemento plástico con piedra pómez para establecer la nueva matriz del material compuesto.

Manteniendo la metodología aplicada anteriormente para el cálculo de proporciones para 1 m³ de suelo cemento plástico, se modificó el planteamiento para que la cangahua ocupe el 20 % y la piedra pómez el 40% del volumen de la mezcla, sin alterar las proporciones de cemento portland y agua. Para calcular la proporción de cangahua, la ecuación (5) se reestructuró de la siguiente manera:

$$ms = vs \cdot 2350 \text{ kg/m}^3 \quad (18)$$

$$vs = 20 \% \cdot 1\text{m}^3 \quad (19)$$

$$ms = 0.20 \cdot 2350 \text{ kg/m}^3 = 470 \text{ kg} \quad (20)$$

Los ensayos determinaron una densidad relativa de 990 kg/m³ para la muestra de piedra pómez. La proporción de piedra pómez se determinó resolviendo la ecuación del volumen absoluto como:

$$vp = \frac{mp}{990 \text{ kg/m}^3} \quad (21)$$

$$mp = vp \cdot 990 \text{ kg/m}^3 \quad (22)$$

$$vp = 40 \% \cdot 1\text{m}^3 \quad (23)$$

$$mp = 0.4 \cdot 990 \text{ kg/m}^3 = 396 \text{ kg} \quad (24)$$

donde:

vp es el volumen de piedra pómez (m³)

mp es la masa de piedra pómez (kg)

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

De esta manera se estimaron las proporciones para la mezcla de suelo-cemento plástico reforzada con partículas de piedra pómez. De igual manera se estipuló la producción de 0.1 m^3 para la mezcla de prueba, por lo que las proporciones se establecieron como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Proporciones de la mezcla de suelo-cemento plástico reforzada con piedra pómez.

Componente	Masa (kg)
Suelo (cangahua)	$470 \times 0.1 = 47$
Cemento portland	41
Agua potable	33
Piedra pómez	$396 \times 0.1 = 39.6 \approx 40$

Se procedió a reforzar la mezcla con la relación fibras de coco/cemento portland igual a 0.05. Para analizar el comportamiento al adicionar los dos tipos de aditivos de concreto que se seleccionaron para reducir la cantidad de agua y mejorar la fluidez, se produjeron dos mezclas incorporando un aditivo en cada una. Los aditivos se agregaron acorde con la relación aditivo/cemento de 0.014 para la mezcla con el aditivo Tipo F y de 0.0082 para la mezcla con el aditivo tipo A.

Dosificación y mezclado de los componentes

La dosificación por masa de las mezclas (figura 10) se realizó con el uso de una báscula electrónica con división de 0.001 g. Se utilizó una mezcladora eléctrica con capacidad del tambor de 81.65 kg, por lo que se debió repartir las proporciones de la mezcla de prueba para cuatro revolturas. Las dosificaciones para cada mezcla reforzada y elaborada con residuos del coco se muestran en las tablas 9 y 10. La tabla 11 muestra las dosificaciones de las mezclas cangahua-cemento portland reforzadas con piedra pómez y fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



Figura 10. Dosificación por masa del cemento portland.

Tabla 9. Dosificación por peso de la mezcla: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzada con fibras de coco.

Grupo	Componentes	Masa (kg)	% en masa
A	Cemento portland	10	20
	Cangahua	31	63
	Agua	8	16
A1	Cemento portland	10	20
	Cangahua	31	63
	Agua	8	16
	Fibras de coco	0.25	0.5
A2	Cemento portland	10	20
	Cangahua	31	63
	Agua	8	16
	Fibras de coco	0.5	1
A3	Cemento portland	10	20
	Cangahua	31	62
	Agua	8	16
	Fibras de coco	1	2
A8	Cemento portland	10	20
	Cangahua	31	61
	Agua	8	16
	Fibras de coco	1.5	3

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 10. Dosificación por peso de la mezcla: cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco y combinada con polvo de coco.

Grupo	Componentes	Masa (kg)	% en masa
A4	Cemento portland	8	26
	Cangahua	12.4	40
	Agua	8	26
	Fibras de coco	0.4	1
	Polvo de coco	2	7
A5	Cemento portland	3.5	25
	Cangahua	1.55	11
	Agua	8	56
	Fibras de coco	0,18	1
	Polvo de coco	1.05	7
A6	Cemento portland	8.5	23
	Cangahua	20	53
	Agua	8	21
	Fibras de coco	0.43	1
	Polvo de coco	0.85	2
A7	Cemento portland	5.5	19
	Cangahua	13.95	49
	Agua	8	28
	Fibras de coco	0.28	1
	Polvo de coco	0.825	3

Tabla 11. Dosificación por masa de la mezcla: cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y fibras de coco.

Grupo	Componentes	Masa (kg)	Porcentaje en masa
B	Cemento portland	10	25
	Cangahua	12	29
	Piedra pómez	10	24
	Agua	8	20
B1	Cemento portland	10	25
	Cangahua	12	29
	Piedra pómez	10	24
	Agua	8	20
	Fibras de coco	0,5	1.3
B2	Cemento portland	10	25
	Cangahua	12	29
	Piedra pómez	10	24
	Agua	8	20
	Aditivo tipo F	0,14	0,3
	Fibras de coco	0,5	1.3

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

B3	Cemento portland	10	25
	Cangahua	12	29
	Piedra pómez	10	24
	Agua	8	20
	Aditivo tipo A	0,08	0,2
	Fibras de coco	0,5	1.3

El mezclado de la cangahua con el cemento portland (figura 11), se realizó agregando primero a la mezcladora el 10% de la cantidad de agua calculada, después se introdujo la cangahua y el cemento portland con la adición sucesiva del agua restante. El mezclado de la cangahua con el cemento portland y las fibras de coco, siguió el procedimiento inicial con la incorporación de las fibras de coco al final, procurando antes separar manualmente las fibras enredadas, lo que alargó demasiado el proceso de mezclado.



Figura 11. Mezclado del suelo-cemento plástico.

Se resolvió fraccionar la cantidad de agua para usar una parte en el mezclado de la cangahua con el cemento portland y el resto añadirse sucesivamente con las fibras sin

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

desenredar, para que se dispersen en la suspensión con la ayuda del movimiento giratorio de la mezcladora. Este proceso se repitió al adicionar el polvo de coco, incorporando polvo y fibras sucesivamente.

El mezclado con el agregado grueso (piedra pómez) se efectuó de manera similar, con la diferencia de que el 10% de la cantidad de agua introducida inicialmente, se mezcló con la piedra pómez simultáneamente. Consecutivamente se siguió el mismo procedimiento llevado a cabo con la incorporación de residuos del coco. Los aditivos se añadieron a la mezcla disueltos previamente en una parte del agua calculada.

Colocación, consolidación y acabado de las mezclas

El muestreo de la mezclas se realizó de acuerdo con ASTM C 172 (Práctica Normalizada para Muestreo de Concreto Recién Mezclado). El colado (colocación) de los especímenes de resistencia a compresión y a tensión por compresión diametral se hizo en moldes cilíndricos (figura 12a) metálicos de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura de acuerdo con ASTM C 470 (Especificación de norma para moldes para el moldeo vertical de cilindros de concreto). Los especímenes de resistencia a flexión se colocaron en moldes cuadrados (figura 12b) de madera de 400 x 400 x 30 mm y 400 x 400 x 50 mm de acuerdo con NTE INEN 3128-2017 (Baldosas de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo).

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

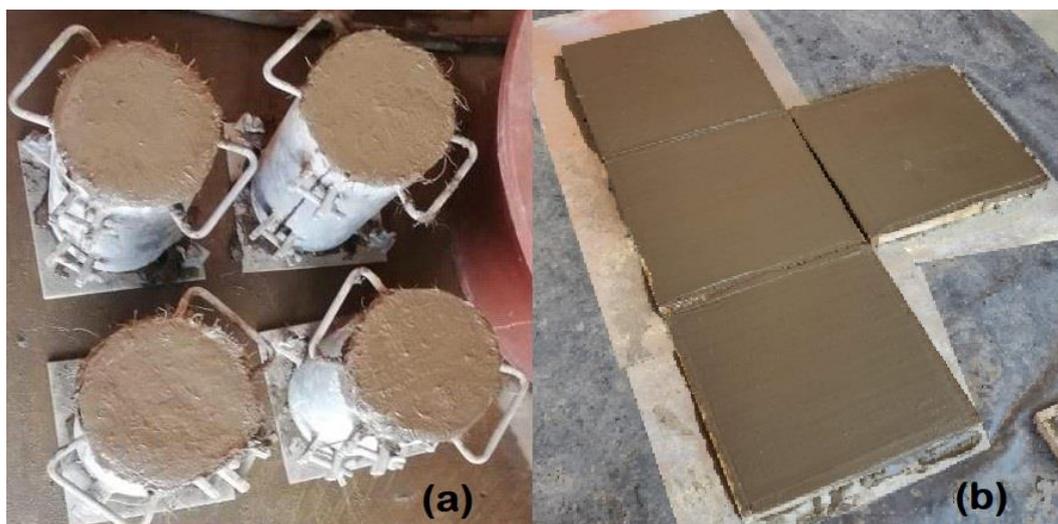


Figura 12. Especímenes cilíndricos y cuadrados de suelo-cemento plástico.

Las probetas para compresión y tensión por compresión diametral se prepararon de acuerdo con ASTM C 31 (Práctica normalizada para Producción y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra) y las probetas de flexión de acuerdo con NTE INEN 3128-2017 (Baldosas de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo). La consolidación (compactación) se hizo manualmente con varilla y mazo de goma. En los moldes cilíndricos y cuadrados la compactación se hizo en capas aproximadamente iguales. Los cilindros de 100 x 200 mm y las placas se consolidaron en dos capas, mientras que los cilindros de 150 x 300 mm en tres capas. Para el acabado de los especímenes se enrasó la superficie superior con varilla y espátula humedecidas para obtener una superficie lisa. En la figura 13 se observan los especímenes cilíndricos del suelo-cemento plástico reforzados con fibras de coco y combinado con polvo de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



Figura 13. Especímenes cilíndricos de suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.

Curado de los especímenes de resistencia

Inmediatamente después del acabado, se identifica cada molde para diferenciarlos y se sigue con el curado inicial. Se cubrieron las probetas y se sellaron con una bolsa de plástico durante las primeras 24 horas, para evitar las pérdidas de humedad. Las probetas se mantuvieron protegidas de la exposición solar y en un ambiente poco húmedo. Después de 24 horas se extrajeron de los moldes, se etiquetaron y se sumergieron en un recipiente de almacenamiento con agua durante 7 días para la prolongación del curado (Figura 14).



Figura 14. Proceso de curado de los especímenes endurecidos.

Ensayos del material

Las propiedades mecánicas describen el comportamiento mecánico de los materiales, estas se miden con pruebas idealizadas que representan distintos tipos de condiciones de carga. Las pruebas de compresión, tensión por compresión diametral y flexión describen la resistencia de los materiales a esfuerzos aplicados gradualmente hasta la rotura del material. La resistencia a compresión, tensión y flexión, son los esfuerzos que corresponden a la carga máxima aplicada. El esfuerzo se define como la fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica (Askeland et al., 2011).

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.

Resistencia a compresión.

Las pruebas de resistencia a la compresión fueron realizadas por el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional de acuerdo con ASTM C 39/ C 39M-18 (Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto). El informe del ensayo del material sin

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

refuerzo y reforzado con fibras se adjunta en el Anexo 8. El informe del ensayo del material reforzado con fibras y combinado con polvo de coco se adjunta en el Anexo 9.

El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se resolvió mediante la siguiente ecuación:

$$f_{cm} = \frac{4000P_{max}}{\pi D^2} \quad (25)$$

Donde:

f_{cm} = resistencia a compresión, MPa.

P_{max} = carga máxima, kN.

D = diámetro promedio medido, mm.

Resistencia a tensión por compresión diametral.

Las pruebas para resistencia a tensión por compresión diametral (figura 15) se realizaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional de acuerdo con ASTM C 496 (Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto). El informe del ensayo del material sin refuerzo y reforzado con fibras se adjunta en el Anexo 10. El informe del ensayo del material reforzado con fibras y combinado con polvo de coco se adjunta en el Anexo 11.

La resistencia a la tensión por compresión diametral se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (26)$$

Donde:

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

T = resistencia a la tensión por compresión diametral, MPa.

P = carga máxima, kN.

l = longitud, mm.

d = diámetro, mm.



Figura 15. Ensayo de resistencia a tensión por compresión diametral.

Resistencia a flexión.

Las pruebas de resistencia a la flexión con carga en el punto medio, fueron realizadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador de acuerdo con NTE INEN 3128-2017 (Baldosas de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo) y en Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Internacional Sek bajo la misma norma. Los informes del ensayo del material sin refuerzo y reforzado con fibras se adjunta en el Anexo 12

El cálculo de la resistencia a la flexión de las probetas se hizo de la siguiente forma:

$$T = \frac{3PL}{2Bt^2} \quad (27)$$

Donde:

T = resistencia a la flexión, MPa.

P = carga de rotura, N.

L = distancia entre apoyos, mm.

B = ancho del espécimen, mm.

t = altura del espécimen (espesor), mm.

Durabilidad.

Para analizar la durabilidad del suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco, producido con cangahua y cemento portland, se decidió exponer a la intemperie uno de los especímenes con la concentración de fibras que mostró los mejores resultados en las pruebas mecánicas realizadas. De esta manera se examinó el comportamiento del material puesto en servicio.

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.

Consistencia.

Las consistencias de las mezclas recién mezcladas se determinaron con el ensayo de revenimiento establecido en la norma ASTM C 143 (Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico). Para el procedimiento de ensayo se necesitó un molde cónico (cono de Abrams) de metal, de base inferior de 200 mm de diámetro, base superior de 100 mm de diámetro y 300 mm de altura. El molde se humedeció y se apoyó sobre su base inferior en una superficie plana no absorbente. La mezcla se introdujo en el molde

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

y se compactó con 25 varillados en tres capas aproximadamente iguales. Después de completada la última capa, se enrasó con la varilla y se levantó lentamente el cono. Inmediatamente después se asentó suavemente el molde con la base inferior hacia arriba, cerca de la mezcla asentada. El revenimiento se determinó midiendo con una regla la altura existente desde el centro de la mezcla asentada hasta la base inferior del molde (figura 22).



Figura22. Ensayo de revenimiento.

Resistencia a compresión.

La prueba de resistencia a la compresión se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Internacional Sek de acuerdo con la norma NTE INEN 1573-2010 (Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico). La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal. Los informes de los ensayos se adjuntan en el anexo 13.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Resistencia a flexión.

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Internacional SEK de acuerdo con NTE INEN 3128-2017 (Baldosas de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo). La resistencia a flexión se calculó con la ecuación (43), de la misma manera que los especímenes elaborados y reforzados únicamente con los residuos del coco. Los informes de los ensayos se adjuntan en el anexo 14.

Selección de proporciones de los componentes y refuerzos de la mezcla para la elaboración del panel

Comparando las características y propiedades mecánicas que se analizaron para evaluar el desempeño del suelo-cemento plástico (cangahua-cemento portland) después de ensayarse con diferentes estructuras y condiciones de reforzamiento, se escogió la opción con presencia de fibras de coco que presentó los mejores resultados para producir la mezcla que constituya al panel prefabricado del proyecto de investigación. Se seleccionó el material que recién mezclado mostró ser más trabajable y el menos denso en estado endurecido.

Evaluación de la factibilidad de uso del material en la fabricación de paneles prefabricados para un sistema constructivo

En el material seleccionado se ajustaron las proporciones de la mezcla para aproximarse a las propiedades de un concreto ligero, material parecido al desarrollado en el proyecto, y que según S. H. Kosmatka et al. (2004) se utiliza en paneles prefabricados para muros y pisos. Reformulando las ecuaciones (18) y (22) para producir un material más ligero, se redujo la cantidad de cangahua y piedra pómez, de tal manera, que el volumen de la mezcla tenga 15 % de agregado fino y 55 % agregado grueso. El cálculo de proporciones se hizo como:

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

$$ms = 0.15 \cdot (1 \text{ m}^3) \cdot 2350 \text{ kg/m}^3 = 352.5 \text{ kg} \quad (28)$$

$$mp = 0.55 \cdot (1 \text{ m}^3) \cdot 990 \text{ kg/m}^3 = 544.5 \text{ kg} \quad (29)$$

Se utilizó cemento portland tipo III y se decidió añadir la máxima cantidad recomendada por el fabricante del aditivo reductor de alto rango, intentando reducir la relación agua/cemento a 0.5. Se establecieron las proporciones para la mezcla del panel como se muestra en la tabla 12, disminuyendo las proporciones para una mezcla de prueba como ya se realizó antes.

Tabla 12. Proporciones del material para el panel prefabricado.

Componente	Masa (kg)
Suelo (cangahua)	$352.5 \times 0.1 = 35.25$
Cemento portland	41
Agua potable	20.5
Piedra pómez	$544.5 \times 0.1 = 54.45$

Se fijó dosificar la cuarta parte de las proporciones como se muestra en la tabla 13 para obtener las propiedades del material fabricando especímenes de resistencia. Se siguió el mismo procedimiento de preparación de probetas realizado anteriormente. Se hicieron pruebas mecánicas de compresión y flexión de acuerdo con las normas: NTE INEN 1573-2010 (Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico) y NTE INEN 3128-2017 (Baldosas de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo). Los informes de los ensayos se adjuntan en los anexos 15 y 16.

Tabla 13. Dosificación de la mezcla para el material del panel prefabricado.

Grupo	Componentes	Masa (kg)	% en masa
B4	Cemento portland	10	27
	Cangahua	9	23
	Piedra pómez	14	35
	Agua	5	13
	Aditivo tipo F	0,19	0,5
	Fibras de coco	0,5	1.3

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Comparando las propiedades que se determinaron del material con las de un concreto ligero estructural se generó un criterio de factibilidad. Se utilizó la base de datos de materiales del software GRANTA EduPack, para identificar las diferencias entre las propiedades consideradas de los dos materiales. Se puede observar gráficamente en el software como varían las propiedades de un concreto ligero. En la figura 17 se puede identificar dentro de que rangos varía la densidad, en la figura 18 el rango de variación de la resistencia a la compresión y en la figura 19 las variaciones de resistencia a la flexión que el material presenta.

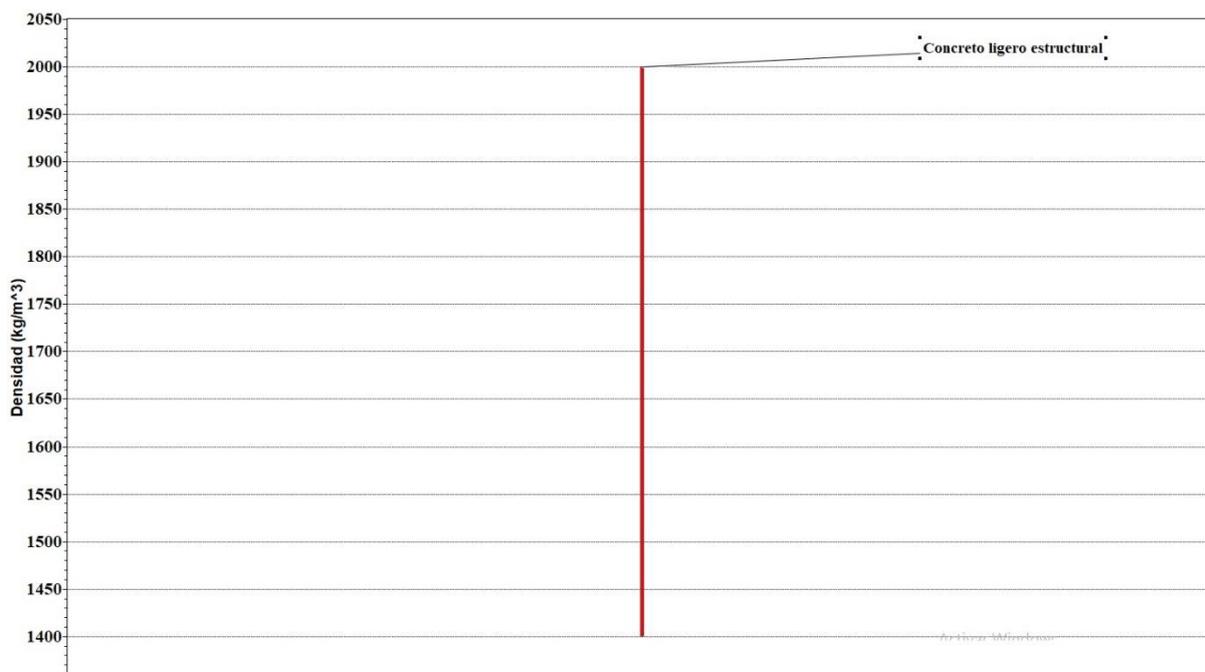


Figura 16. Variación de la densidad de un concreto ligero estructural.

(GRANTA EduPack)

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

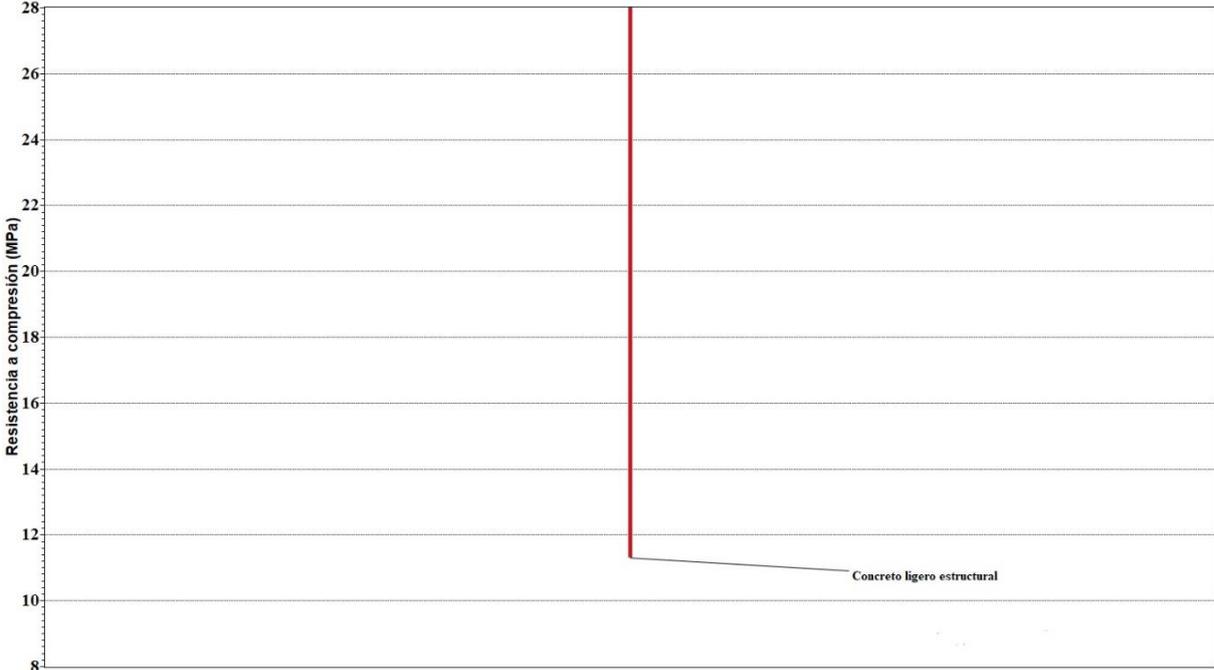


Figura 17. Variación de la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.
(GRANTA EduPack)

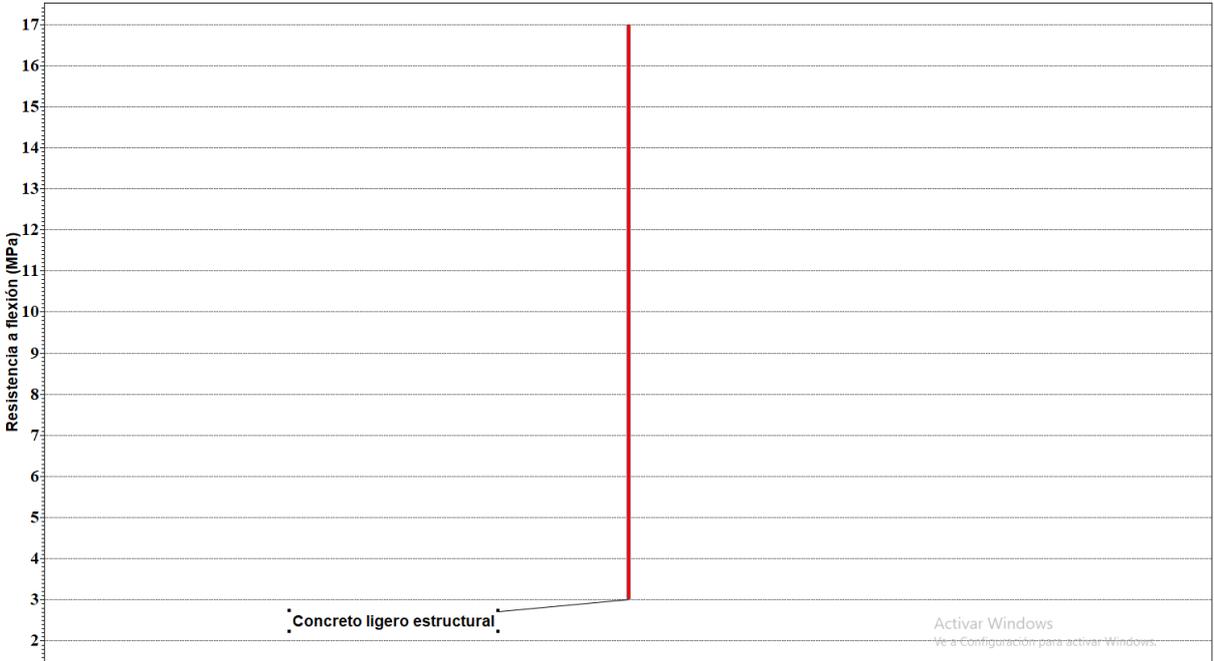


Figura 18. Variación de la resistencia a la flexión de un concreto ligero estructural.
(GRANTA EduPack)

Análisis y Discusión de Resultados

Ensayos de agregados

El resumen de resultados del análisis granulométrico de la cangahua se muestra en la tabla 14 y el de la piedra pómez en la tabla 15. Los límites granulométricos para el agregado fino y grueso, se establecieron conforme a la ASTM C 33 (Especificación Normalizada de Agregados para Concreto). El tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg.) de la piedra pómez definió los límites del agregado grueso.

Tabla 14. Resumen de los resultados de granulometría de la cangahua.

Tamiz		% retenido	% que pasa	Límites especificados (% que pasa)	Verificaciones
mm	pulg.				
9.50	3/8	0	100.0	100	Cumple
4.75	N°4	0	100.0	95 a 100	Cumple
2.36	N°8	0	100.0	80 a 100	Cumple
1.18	N°16	8.1	98.6	50 a 85	No cumple
0.60	N°30	51.8	91.3	25 a 60	No cumple
0.30	N°50	237.3	60.3	5 a 30	No cumple
0.15	N°100	434.1	27.3	0 a 10	No cumple

En la tablas 9 y 10 se observa que el porcentaje que pasa, de cangahua y piedra pómez, no cumple con todos los límites especificados. En la muestra de piedra pómez se nota la presencia de material fino. En los requisitos de la ASTM C 33 se señala que el módulo de finura del agregado fino debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1. La cangahua tiene un módulo de finura de 1.22.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 15. Resumen de los resultados de granulometría de la piedra pómez.

Tamiz		% retenido	% que pasa	Límites especificados (% que pasa)	Verificaciones
mm	pulg.				
25	1	0	100	100	Cumple
19	3/4	2.6	99.5	90 a 100	Cumple
12.5	1/2	60.3	88.7	—	—
9.50	3/8	51.1	79.6	10 a 50	No cumple
4.75	N°4	181.3	47.1	0 a 15	No cumple
2.36	N°8	138.2	22.3	—	—
1.18	N°16	75.4	8.8	—	—
0.60	N°30	10.8	6.9	—	—
0.30	N°50	9.4	5.2	—	—
0.15	N°100	19.4	1.7	—	—
0.075	N°200	9.1	0.1	0 a 10	Cumple

El resumen de los resultados de los ensayos de: determinación de la densidad, absorción, masa unitaria y porcentaje de vacíos, se muestra en la tabla 16. El ensayo de impurezas orgánicas hecho a la piedra pómez determinó que posee un contenido orgánico bajo y libre de impurezas. La densidad y masa unitaria suelta de la muestra de cangahua corresponden a un agregado de peso normal mientras que las de la muestra de piedra pómez corresponden a un agregado ligero.

Tabla 16. Características de la cangahua y la piedra pómez.

Característica	Agregado	
	Cangahua	Piedra Pómez
Densidad (kg/m ³)	2347	990
Densidad relativa	2.35	0.99
Absorción (%)	4.9	41.94
Masa unitaria suelta (kg/m ³)	1338	620
% de vacíos	43	37

En la ASTM C 330 (Especificación estándar para agregados livianos para concreto estructural) se establece una masa unitaria suelta máxima de 1120 kg/m³ para el agregado fino y 880 kg/m³ para el agregado grueso. La capacidad de absorción de la cangahua y de la piedra pómez es elevada, S. H. Kosmatka et al. (2004) menciona que normalmente el nivel de

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

absorción de un agregado fino de peso normal es de 0.2 a 2 % y el de un agregado ligero es de 5 % a 20 %. La densidad y la masa unitaria suelta de la muestra de piedra pómez corresponden a la de un agregado ligero. El porcentaje de vacíos de ambas muestras se ajustan a los indicados por S. H. Kosmatka et al. (2004), que son aproximadamente de 30 % a 45 % en agregados gruesos y de 40 % a 50 % en agregados finos.

Proporciones de las mezclas y mezclado

La mezcla cangahua-cemento portland presentó plasticidad y consistencia inadecuadas después del mezclado, fue necesario ajustar la humedad para superar la deficiente fluidez que tuvo la mezcla, se requirió un incremento del 11 % de la cantidad de agua calculada.

La incorporación de las fibras de coco a las mezcla cangahua-cemento portland y cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez redujo la homogeneidad de la mezcla y la volvió menos trabajable. Por la tendencia a la aglomeración y la absorción de agua de las fibras, incrementar el contenido de fibras y la presencia de fibras con longitudes superiores a las fijadas, se formaron las bolas de fibras (figura 20) que obligaron a incrementar hasta el 15% de la cantidad de agua calculada para mitigar este fenómeno.



Figura 19. Apreciación del efecto bola con altas concentraciones de fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

El añadir polvo de coco produjo una mezcla de baja plasticidad y poco trabajable, el polvo de coco mostró una excesiva retención de agua que provocó una consistencia rígida y seca a la mezcla. En las dosificaciones definidas se tuvo que elevar la relación agua-cemento hasta valores que superaron la unidad ($a/c \geq 1$) para algunas de las mezclas.

Las mezclas cangahua-cemento reforzadas con piedra pómez y fibras de coco en las que se utilizaron los aditivos reductores de agua, efectivamente impidieron la formación de bolas sin necesidad de incrementar la cantidad de agua. Con el aditivo tipo reductor de agua de alto rango, se observó una consistencia y plasticidad más conveniente.

Ensayos del material

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada y elaborada con residuos del coco.

Resistencia a compresión.

El resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión de las probetas del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco se muestra en la tabla 17.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 17. Resumen de los resultados obtenidos a los 14 días en el ensayo de resistencia a la compresión de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzadas con fibras de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Resistencia a la compresión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A	Suelo-cemento plástico	C1	6.6 (67.3)	6.6 (67.3)
		C2	6.2 (69.7)	
		C3	6.9 (65)	
A1	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,025$)	AC11	6.1 (62.2)	6.1 (62.3)
		AC12	6.0 (61.2)	
		AC13	6.2 (63.4)	
A2	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,05$)	AC21	6.0 (61.2)	6.3 (63.9)
		AC22	6.5 (66.3)	
		AC23	6.3 (64.3)	
A3	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,10$)	AC31	5.3 (54)	5.3 (54.5)
		AC32	5.5 (56.5)	
		AC33	5.2 (53)	

Nota: f_c/c representa la proporción fibras de coco/cemento de la mezcla.

El material sin refuerzo alcanza la resistencia promedio a la compresión más alta, con un valor de 6.6 mega pascales. En la figura 21 se observa que la resistencia de la matriz tiende a disminuir al reforzarse con más fibras de coco. Las probetas de la mezcla con f_c/c igual a 0.05, muestran disminuir en menor medida la resistencia de la matriz. Reforzar la mezcla con una cantidad de fibras de coco igual al 5% del peso del cemento, disminuyó solamente un 4.5 % la resistencia del material sin reforzar.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

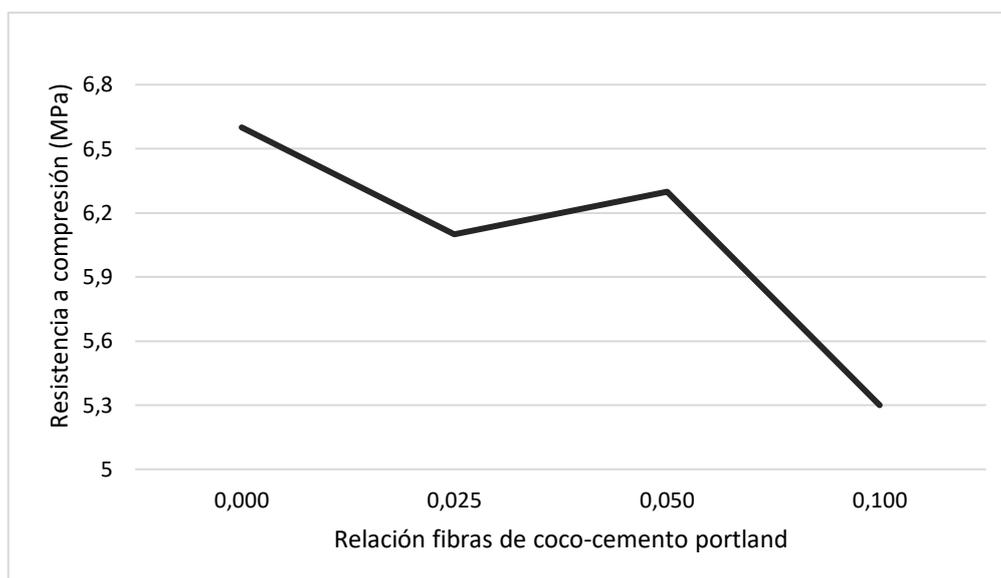


Figura 20. Resistencia a la compresión del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.

La tabla 18 muestra los resultados del ensayo de compresión realizado a las probetas del material: cangahua-cemento portland reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,05$) y añadido diferentes concentraciones de partículas de polvo de coco.

Tabla 18. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la compresión de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco y añadidas polvo de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Resistencia a Compresión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A4	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0,25$)	AC41	1.1 (11.2)	1.1 (10.9)
		AC42	0.6 (6.1)	
		AC43	1.5 (15.3)	
A5	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0,30$)	AC51	0.4 (4.1)	0.4 (4.4)
		AC52	0.6 (6.1)	
		AC53	0.3 (3.1)	
A6	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0,10$)	AC61	6.6 (67.3)	6.6 (67.7)
		AC62	6.8 (69.4)	
		AC63	6.5 (66.3)	
A7	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0,15$)	AC71	4.5 (45.9)	4.5 (45.6)
		AC72	4.2 (42.8)	
		AC73	4.7 (47.9)	

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Nota: pc/c es la proporción polvo de coco/cemento de la mezcla.

Las probetas de la mezcla con pc/c igual a 0.10, alcanzaron la mayor resistencia con un valor promedio de 6.6 mega pascales. Este material mostró alcanzar a los 28 días, la resistencia desarrollada a los 14 días por el suelo-cemento plástico (cangahua-cemento portland). La figura 22 muestra que las probetas con mayor contenido de polvo de coco tienen una reducción de resistencia considerable.

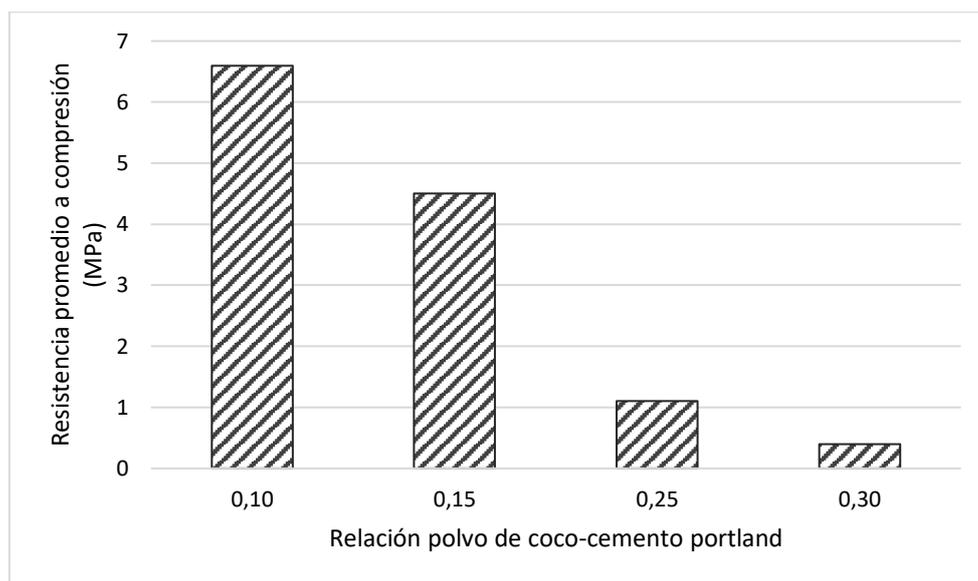


Figura 21. Resistencia a la compresión de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco ($fc/c = 0.05$) y añadidas diferentes concentraciones de polvo de coco.

Después de la rotura a compresión, se observa en la figura 23 un espécimen de la mezcla con refuerzo de fibras de coco. La figura 24 muestra un espécimen del suelo-cemento plástico sin refuerzo.



Figura 22. Rotura a compresión del espécimen de la mezcla de suelo-cemento plástico con $f_c/c=0.025$ de refuerzo de fibras de coco.



Figura 23. Rotura a compresión del espécimen de suelo-cemento plástico.

Resistencia a tensión por compresión diametral.

En la tabla 19 se muestra el resumen de los resultados del ensayo de resistencia a tensión por compresión diametral de las probetas del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco. El material cangahua-cemento

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

portland sin refuerzo presenta la mayor resistencia, alcanzando un valor promedio 0.70 mega pascales.

Tabla 19. Resumen de los resultados obtenidos a los 14 días en el ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzada con fibras de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Resistencia a tensión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A	Suelo-cemento plástico	T1	0.70 (7.1)	0.70 (7.2)
		T2	0.67 (6.8)	
		T3	0.74 (7.5)	
A2	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,05$)	AT21	0.68 (6.9)	0.69 (7)
		AT22	0.73 (7.4)	
		AT23	0.65 (6.6)	
A3	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,10$)	AT31	0.60 (6.1)	0.61 (6.2)
		AT32	0.65 (6.6)	
		AT33	0.58 (5.9)	

Nota: f_c/c representa la relación fibras de coco/cemento de la mezcla.

En la figura 25 se observa como la resistencia de la matriz disminuye conforme aumenta el reforzamiento con fibras de coco. Las probetas de la mezcla con f_c/c igual a 0.05, alcanzaron una resistencia promedio de 0.69 mega pascales. Al mezclar el suelo-cemento plástico con una cantidad de fibras igual al 5% del peso del cemento de la mezcla, la reducción de la resistencia con respecto al material sin reforzar fue del 1 %.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

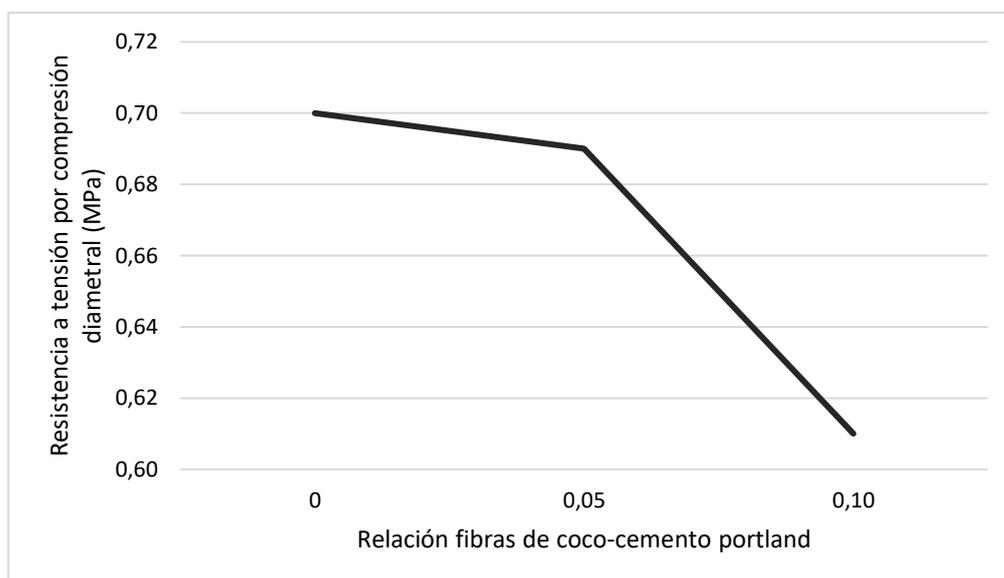


Figura 24. Resistencia a la tensión por compresión diametral del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.

En la tabla 20 se muestra el resumen de los resultados del ensayo de resistencia a tensión por compresión diametral de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco ($f_c/c = 0.05$) y añadidas diferentes concentraciones de polvo de coco. La mayor resistencia fue alcanzada por las probetas de la mezcla con $p_c/c = 0.10$, con un valor promedio 0.63 mega pascales. Este material alcanzó a los 28 días el 90 % de la resistencia desarrollada a los 14 días por el suelo-cemento plástico (cangahua-cemento portland).

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco y añadidas polvo de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Resistencia a tensión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A4	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0.25$)	AT41	0.19 (1.9)	0.19 (2)
		AT42	0.20 (2)	
		AT43	0.19 (1.9)	
A6	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0.10$)	AT61	0.67 (6.8)	0.63 (6.4)
		AT62	0.64 (6.5)	
		AT63	0.59 (6)	
A7	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0.15$)	AT71	0.57 (5.8)	0.57 (5.8)
		AT72	0.57 (5.8)	
		AT73	0.57 (5.8)	

Nota: pc/c es la proporción polvo de coco/cemento de la mezcla.

En la figura 26 se observa que la resistencia a la tensión por compresión diametral de las probetas con mayor contenido de polvo de coco tiene la misma propensión a disminuir que la resistencia a la compresión.

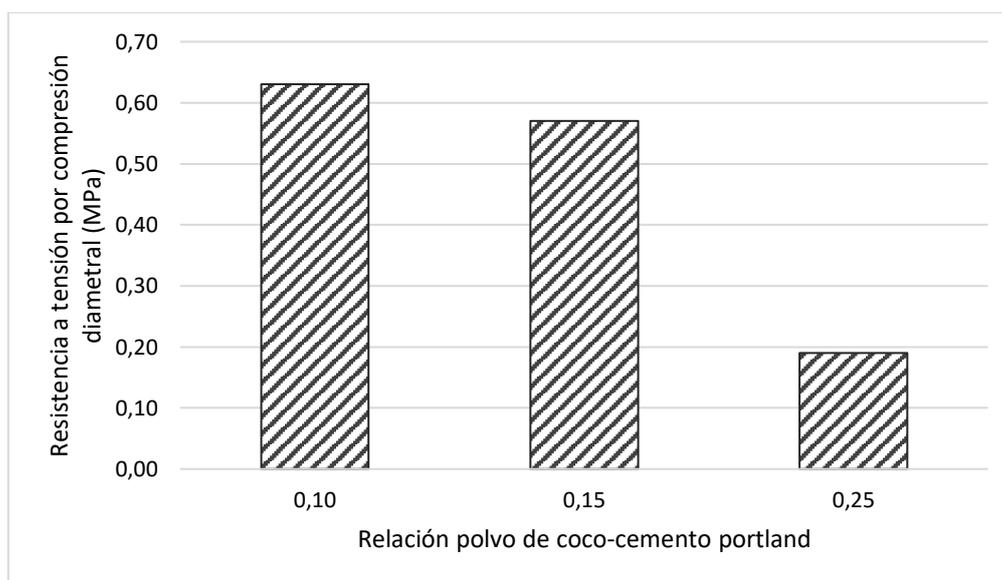


Figura 25. Resistencia a tensión por compresión diametral de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzadas con fibras de coco ($fc/c = 0.05$) y añadidas diferentes concentraciones de polvo de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Después de la rotura a tensión por compresión diametral, se observa en la figura 27 un espécimen de la mezcla reforzada con fibras de coco y combinada con polvo de coco. La figura 28 muestra un espécimen del suelo-cemento plástico sin refuerzo.

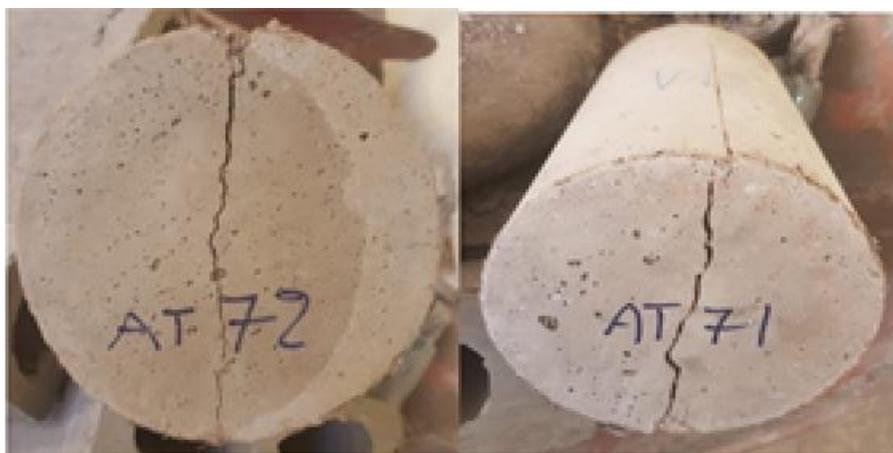


Figura 26. Rotura del espécimen reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.



Figura 27. Rotura del espécimen de suelo-cemento plástico.

Resistencia a flexión.

La tabla 21 muestra el resumen de resultados de las pruebas de resistencia a flexión de las probetas del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco. Los especímenes de la mezcla cangahua-cemento portland

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

sin refuerzo alcanzaron la resistencia a la flexión más alta, con un valor promedio de 2.9 mega pascales.

En la figura 29 se muestra cómo cambia la resistencia de la matriz al reforzarla con mayores contenidos de fibras de coco. Las probetas de la mezcla con f_c/c igual a 0.05, mostraron reducir en menor medida la resistencia de la matriz. El decremento registrado es del 37.9 % con respecto al suelo-cemento plástico (cangahua-cemento portland).

Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la flexión en placas del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Espesor (mm)	Resistencia a flexión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A	Suelo-cemento plástico	P3-0-1 P3-0-2 P3-0-3	30	2.7 (27.5) 3.2 (32.6) 2.8 (28.6)	2.9 (29.6)
A1	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,025$)	B3-2.5-1 B3-2.5-2 B3-2.5-3	30	1.2 (12.2) 1.4 (14.3) 1.3 (13.3)	1.3 (13.6)
		B5-2.5-1 B5-2.5-2 B5-2.5-3	50	0.8 (7.7) 0.9 (8.7) 0.9 (9.2)	0.8 (8.5)
A2	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,05$)	F3-5-1 F3-5-2 F3-5-3	30	1.7 (16.8) 2.0 (20.4) 1.6 (16.3)	1.8 (18.4)
		F5-5-1 F5-5-2 F5-5-3	50	1.6 (16.3) 1.5 (14.8) 1.2 (11.7)	1.4 (14.3)
A3	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,10$)	S3-10-1 S3-10-2 S3-10-3	30	1.2 (12.2) 1.0 (10.2) 1.7 (17.3)	1.3 (13.3)
A8	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($f_c/c = 0,15$)	G3-15-1 G3-15-2 G3-15-3	30	1.4 (14.3) 1.3 (13.3) 1.3 (13.3)	1.3 (13.6)

Nota: f_c/c representa la proporción fibras de coco/cemento de la mezcla.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

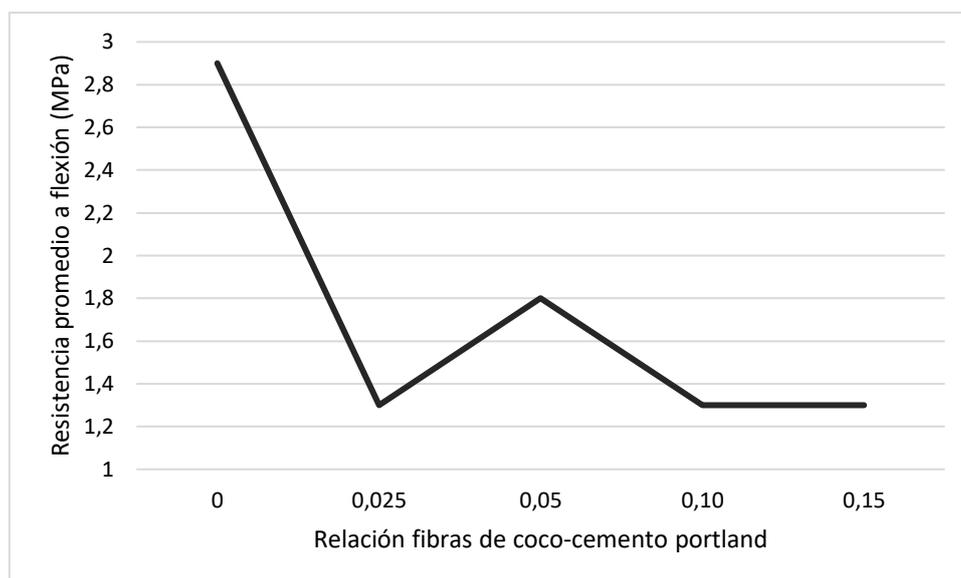


Figura 28. Resistencia a la flexión del material: cangahua-cemento portland reforzado con diferentes concentraciones de fibras de coco.

Los grupos A1 y A2 se ensayaron con especímenes de 30 y 50 mm de espesor, para verificar el efecto que tiene el espesor sobre la resistencia a la flexión. La figura 30 muestra la diferencia de resistencia a la flexión que tuvieron las placas fabricadas de las mezclas con $f_c/c = 0.025$ y $f_c/c = 0.05$, presentando la mayor resistencia las probetas de menor espesor.

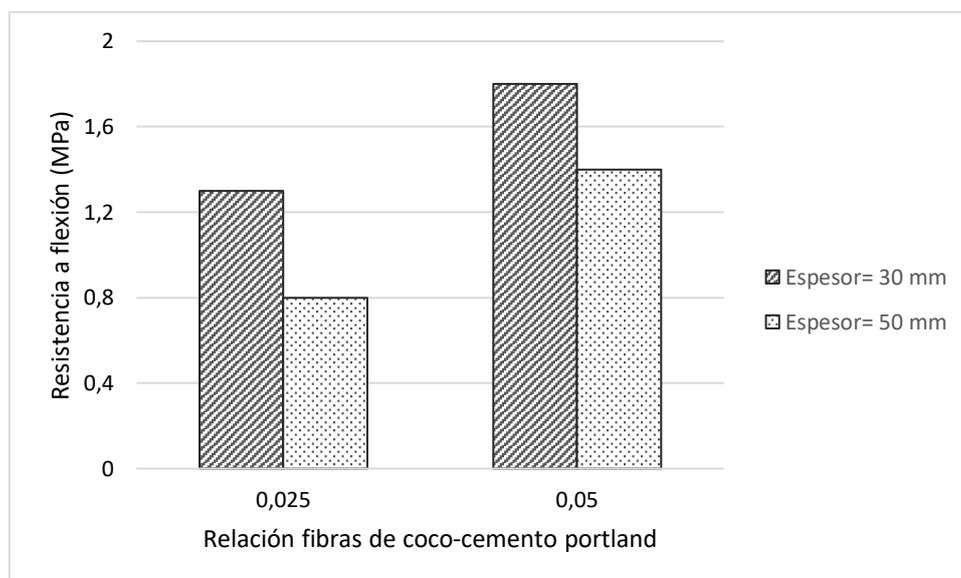


Figura 29. Resistencia a la flexión de placas de 30 y 50 mm de espesor de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

El resumen de resultados de la tabla 22 muestra que las probetas con el contenido de polvo de coco más alto, presentan una resistencia a la flexión notablemente baja, la mezcla con pc/c igual a 0.30, tiene una reducción de resistencia del 89.6 % con respecto al suelo-cemento plástico (cangahua-cemento portland).

Tabla 22. Resumen de los resultados obtenidos a los 28 días en el ensayo de resistencia a la flexión de la mezcla endurecida: cangahua-cemento portland reforzada con fibras de coco y añadida polvo de coco.

Grupo	Denominación de la mezcla	Identificación	Espesor (mm)	Resistencia a flexión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
A5	Suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0,05$) y combinado con polvo de coco ($pc/c = 0,30$)	D3-2.5-1	30	0.3 (3.1)	0.3 (3.1)
		D3-2.5-2		0.3 (3.1)	
		D3-2.5-3		0.3 (3.1)	
		D5-2.5-1	50	0.1 (1)	0.1 (1)
		D5-2.5-2		0.1 (1)	
		D5-2.5-3		0.1 (1)	

Nota: fc/c representa la proporción fibras de coco/cemento y pc/c es la proporción polvo de coco/cemento de la mezcla.

Después de la rotura a flexión, se observa en la figura 31 un espécimen de la mezcla con refuerzo de fibras de coco. La figura 32 muestra un espécimen del suelo-cemento plástico sin refuerzo.



Figura 30. Rotura a flexión del espécimen de la mezcla reforzada con fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



Figura 31. Rotura a flexión del espécimen de la mezcla de suelo-cemento plástico.

Sintetizando los resultados analizados, es evidente la excesiva reducción de resistencia del suelo-cemento plástico al combinarse con polvo de coco. El incremento del contenido de fibras de coco también provocó una reducción, aunque menos drástica, de la resistencia del material, sin embargo, con un reforzamiento de fibras correspondiente al 5 % del peso del cemento de la mezcla, se obtuvieron resultados favorables que mostraron un ligero decremento de la resistencia a compresión, tensión por compresión diametral y flexión del suelo-cemento plástico como se observa en la figura 33.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

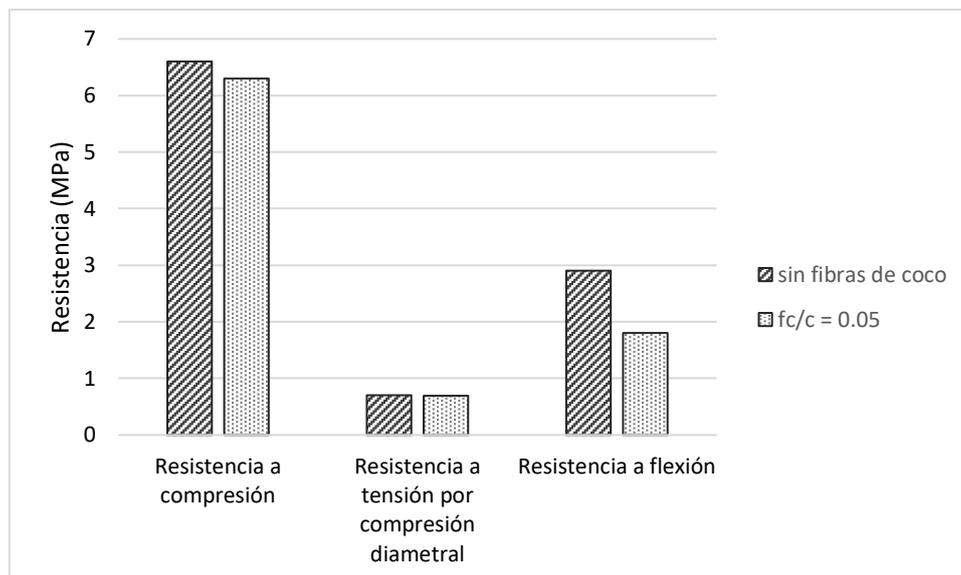


Figura 32. Comparación de resistencias entre los materiales: cangahua-cemento portland sin refuerzo y reforzado con el 1% de fibras de coco.

Durabilidad.

La probeta reforzada con un contenido de fibras de coco igual al 5 % de la proporción del cemento de la mezcla, empezó a agrietarse después del primer mes de exposición a las condiciones ambientales. En el transcurso de los meses posteriores esta fisura se extendió a través de la probeta hasta fracturarla totalmente al cuarto mes. En la figura 34 se observa el desarrollo de la grieta, en ambas figuras se observa la vista frontal y trasera del espécimen. El lado izquierdo muestra el estado inicial y el lado derecho el estado final.



Figura 33. Evolución del estado del espécimen expuesto a las condiciones medioambientales.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Se identificó que una de las fibras que quedó expuesta en la superficie absorbió humedad hasta abultarse y perjudicar la unión matriz-refuerzo, originando el canal de filtración de agua que formó la grieta.

Mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco.

Consistencia.

Mediante el ensayo de revenimiento se midió la consistencia de las mezclas frescas: cangahua-cemento portland reforzadas con piedra pómez y fibras de coco. En la figura 35 se muestran los asentamientos presentados por cada mezcla.

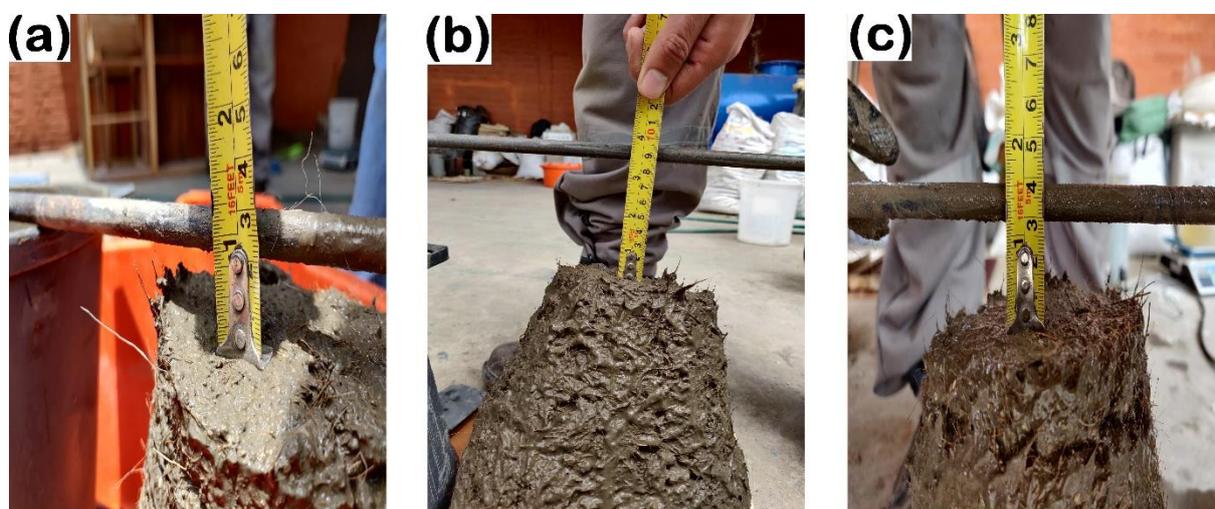


Figura 34. Ensayo de revenimiento de las mezclas cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y fibras de coco: (a) sin aditivo, (b) con aditivo tipo B y F, con aditivo tipo A.

La mezcla (a) sin aditivo tuvo un revenimiento igual a 25 mm, el revenimiento de la mezcla (b) con aditivo reductor de agua de alto rango (tipo F) fue de 90 mm y la mezcla (c) con aditivo reductor de agua (tipo A) tuvo 33 mm de revenimiento. Estas medidas se ajustan a las tolerancias especificadas en la ASTM C 94 (Especificación Normalizada para Concreto Premezclado), siendo la mezcla (b) la más fluida y trabajable.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Resistencia a compresión.

La tabla 23 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas con el material: cangahua-cemento portland reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco. Se observa que las probetas sin refuerzo de fibras de coco y sin ningún tipo de aditivo presentan la resistencia más alta, con un valor promedio de 7 mega pascales.

Tabla 23. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco, a los 7 días.

Grupo	Denominación de la mezcla	Id.	Resistencia a Compresión Mpa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio Mpa (kg/cm ²)
B	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$)	B-1	5.2 (53)	7.0 (71.4)
		B-2	7.8 (79.6)	
		B-3	8 (81.6)	
B1	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$)	B1-1	2.7 (27.5)	2.6 (26.5)
		B1-2	2.4 (24.5)	
		B1-3	2.7 (27.5)	
B2	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$); con aditivo tipo F	B2-1	6.8 (69.4)	5.5 (56.4)
		B2-2	4.1 (41.8)	
		B2-3	5.7 (58.1)	
B3	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$); con aditivo tipo A	B3-1	5.7 (58.1)	4.8 (49.3)
		B3-2	4.4 (44.9)	
		B3-3	4.4 (44.9)	

Nota: fc/c representa la relación fibras de coco/cemento y fv es la fracción volumétrica de piedra pómez de la mezcla.

La resistencia de la mezcla endurecida reforzada con piedra pómez efectivamente muestra superar la resistencia del suelo-cemento plástico. El material: cangahua-cemento portland reforzado con piedra pómez supera a los 7 días, la resistencia alcanzada a los 14 días por el material sin ningún refuerzo. En la figura 36 se observa la diferencia de resistencia a la compresión de estas mezclas y de las mezclas con aditivo que se reforzaron con piedra pómez y con fibras de coco ($fc/c = 0.05$). La mezcla con aditivo reductor de agua de alto rango (tipo

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

F), alcanzó la mayor resistencia de las mezclas con fibras, con un valor promedio de 5.5 megapascuales.

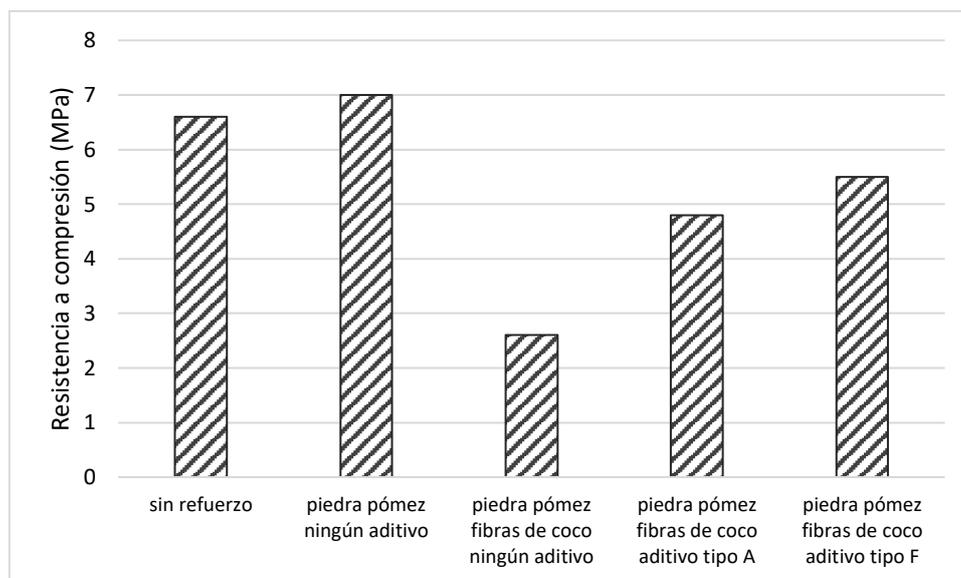


Figura 35. Resistencia a la compresión de la mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco.

Después de la rotura a compresión, se observa en la figura 37 un espécimen del suelo-cemento reforzado con partículas de piedra pómez. La figura 38 muestra un espécimen del suelo-cemento plástico con refuerzo de piedra pómez, fibras de coco y aditivo reductor de agua.



Figura 36. Rotura a compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez.



Figura 37. Rotura a compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y fibras de coco.

Resistencia a flexión.

La tabla 24 muestra el resumen de resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas con el material: cangahua-cemento portland reforzado con piedra pómez y cangahua-cemento portland reforzado con piedra pómez y fibras de coco. El material sin refuerzo de fibras de coco y sin ningún tipo de aditivo alcanzó la resistencia más alta, con un valor promedio de 2.3 mega pascales.

En la figura 39 se puede observar la diferencia de resistencia que se tiene al utilizar aditivos y al reforzar el material con piedra pómez y fibras de coco frente al suelo-cemento plástico sin ningún tipo de refuerzo. La mezcla reforzada con piedra pómez, a los 7 días, desarrolló el 79 % de la resistencia que tuvo a los 14 días el suelo-cemento plástico sin refuerzo. La mezcla reforzada con piedra pómez y con fibras de coco ($f_c/c = 0.05$), mostró alcanzar la mayor resistencia con la adición de un aditivo reductor de agua de alto rango (tipo F), con un valor promedio de 1.8 mega pascales.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 24. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión de la mezcla cangahua-cemento portland reforzada con partículas de piedra pómez y fibras de coco, a los 7 días.

Grupo	Denominación de la mezcla	Id.	Resistencia a flexión MPa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio MPa (kg/cm ²)
B	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$)	B-1	2.3 (23.5)	2.3 (23.1)
		B-2	2.5 (25.5)	
		B-3	2 (20.4)	
B1	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$)	B1-1	0.9 (9.2)	0.9 (9.2)
		B1-2	1.0 (10.2)	
		B1-3	0.8 (8.2)	
B2	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$); con aditivo tipo F	B2-1	1.9 (19.4)	1.8 (18.4)
		B2-2	1.7 (17.3)	
		B2-3	1.8 (18.4)	
B3	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($fv = 0.4$) y reforzado con fibras de coco ($fc/c = 0.05$); con aditivo tipo A	B3-1	1.6 (16.3)	1.5 (15.3)
		B3-2	1.5 (15.3)	
		B3-3	1.4 (14.3)	

Nota: fc/c representa la relación fibras de coco/cemento y fv es la fracción volumétrica de piedra pómez de la mezcla.

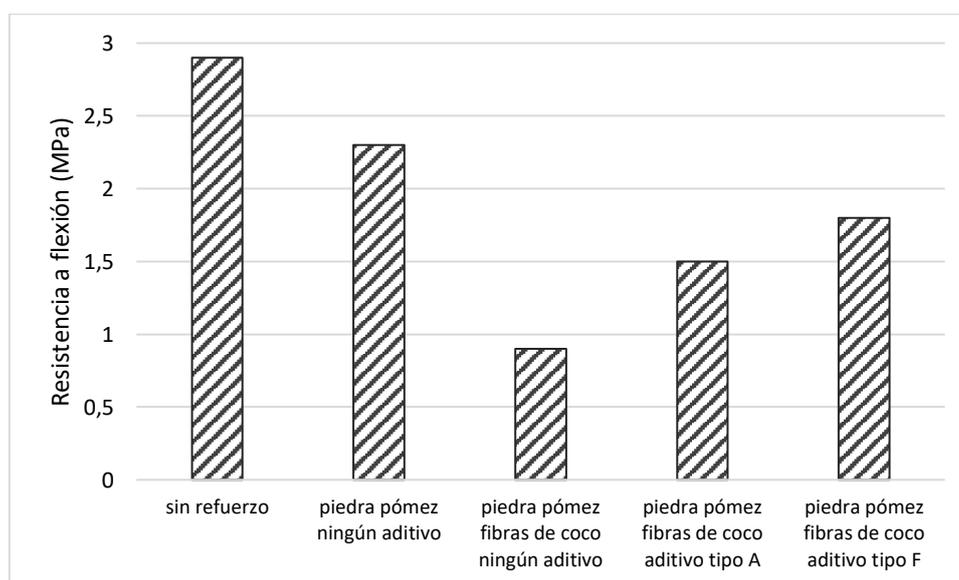


Figura 38. Resistencia a la flexión de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Después de la rotura a flexión, se observa en la figura 40 un espécimen del suelo-cemento reforzado con partículas de piedra pómez. La figura 41 muestra un espécimen del suelo-cemento plástico con refuerzo de piedra pómez, fibras de coco y aditivo reductor de agua.



Figura 39. Rotura a flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez.

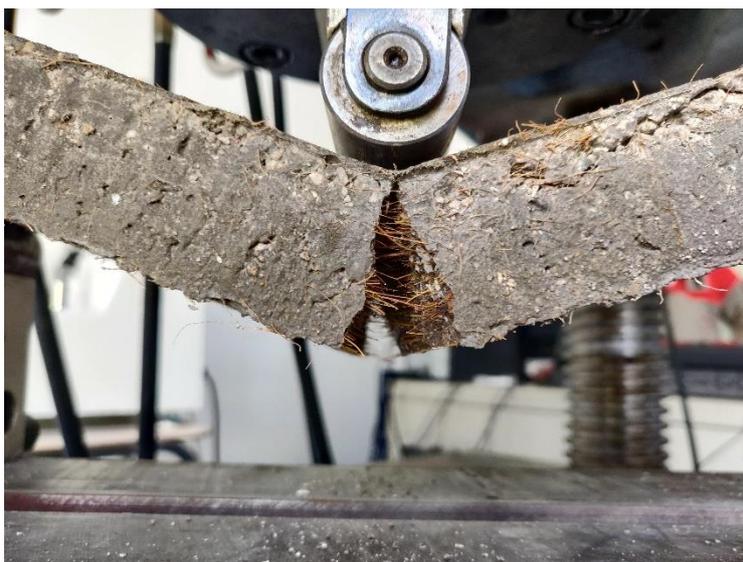


Figura 40. Rotura a flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y fibras de coco.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Densidad.

A partir de las densidades de los especímenes, calculadas en cada uno de los ensayos de resistencia, se determinaron las densidades de cada mezcla endurecida como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Densidad del material: cangahua-cemento portland sin refuerzo, reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco.

Denominación de la mezcla	Densidad promedio ensayo compresión (kg/m ³)	Densidad promedio ensayo flexión (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez (fv=0.4)	1665	1682	1674
Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez (fv=0.4) y reforzado con fibras de coco (fc/c=0.05)	1645	1614	1630
Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez (fv=0.4) y reforzado con fibras de coco (fc/c=0.05); con aditivo tipo F	1543	1531	1537
Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez (fv=0.4) y reforzado con fibras de coco (fc/c=0.05); con aditivo tipo A	1633	1583	1608

Nota: fc/c representa la relación fibras de coco/cemento y fv es la fracción volumétrica de piedra pómez de la mezcla.

La combinación del suelo-cemento plástico con piedra pómez consigue una reducción de densidad del 13 % con respecto al material sin ningún refuerzo. En la figura 42 se observa que las mezclas reforzadas con piedra pómez y fibras de coco ($fc/c = 0.05$) después de endurecer, muestran una reducción de densidad mayor con el uso del aditivo tipo F.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

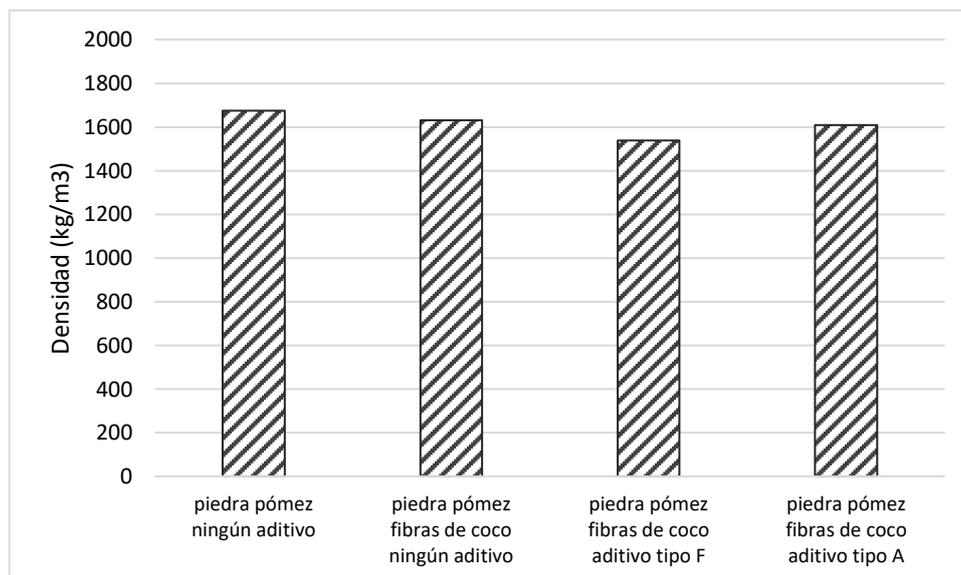


Figura 41. Densidad de las mezclas endurecidas: cangahua-cemento portland reforzada con piedra pómez y reforzada con piedra pómez y fibras de coco.

Evaluación de la factibilidad de uso del material en la fabricación de paneles prefabricados para un sistema constructivo

La tabla 26 se muestra el resumen de resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con el material escogido para componer el panel prefabricado. En la tabla 27 se muestra el resumen de resultados del ensayo de resistencia a flexión.

Tabla 26. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del material escogido para el panel prefabricado, a los 7 días.

Grupo	Denominación de la mezcla	Id.	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia a Compresión Mpa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio Mpa (kg/cm ²)
B4	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($f_v=0.55$) y reforzado con fibras de coco ($f_c/c=0.05$); con aditivo tipo F	B4-1	1501	1484	15.4 (157.1)	15.3 (156.4)
		B4-2	1468		15.5 (158.1)	
		B4-3	1482		15.1 (154)	

Nota: f_c/c representa la relación fibras de coco/cemento y f_v es la fracción volumétrica de piedra pómez de la mezcla.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 27. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión del material escogido para el panel prefabricado, a los 7 días.

Grupo	Denominación de la mezcla	Id.	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia a flexión Mpa (kg/cm ²)	Resistencia Promedio Mpa (kg/cm ²)
B4	Suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez ($f_v=0.55$) y reforzado con fibras de coco ($f_c/c=0.05$); con aditivo tipo F	B4-1	1484	1455	3.4 (34.7)	3.3 (33.7)
		B4-2	1460		3.5 (35.7)	
		B4-3	1421		3 (30.6)	

Nota: f_c/c representa la relación fibras de coco/cemento y f_v es la fracción volumétrica de piedra pómez de la mezcla.

Comparando estos resultados con las propiedades de un concreto ligero estructural, provistas en la base de datos del software GRANTA EduPack, se distingue que la densidad promedio de ambos ensayos, posee un valor de 1469.5 kg/m³, el cual se encuentra dentro del rango: 1400-2000 kg/m³ que especifica el software. Lo mismo sucede con la resistencia a compresión promedio de 15.3 MPa que está entre: 11.3 y 28 MPa y la resistencia a flexión de 3.3 MPa que está entre: 3 y 17 MPa, límites que igualmente se indican en el software.

Conclusiones

Los ensayos de la cangahua y la piedra pómez utilizadas en el proyecto, mostraron que la mala distribución de los tamaños de las partículas y la excesiva capacidad de absorción, restringen el uso de ambos agregados en un concreto normal o ligero. La calidad de los agregados no permite el diseño de una mezcla con propiedades específicas.

La abundante presencia de partículas muy finas, también los descarta como materiales convenientes para producir un suelo-cemento compactado, sin embargo, para componer un material como el suelo-cemento plástico en el que los agregados no necesariamente deben cumplir con especificaciones, funcionaron adecuadamente, produciendo un material de buenas propiedades en comparación con otros materiales del mismo tipo.

A pesar de que en la bibliografía revisada se indica que la determinación de proporciones para un suelo-cemento plástico es netamente práctico, sujeto a los ajustes necesarios del proyecto, utilizar el método de determinación de proporciones sugerido, facilitó la estimación de las cantidades de los componentes de la mezcla de suelo-cemento plástica.

La mezcla matriz fue satisfactoria y sirvió de base para incorporar los otros materiales con los parámetros que se definieron para combinarlos con la mezcla cangahua-cemento portland. Las proporciones teóricas solamente requirieron ajustes de la cantidad de agua para mejorar la consistencia de las mezclas.

El mayor contenido de fibras perjudica la consistencia de la mezcla, dificultando la consolidación y colocación. Efectivamente se intensifica la formación de bolas de fibras que se menciona en la literatura. Las mezclas de suelo-cemento plástico con el 10 % y el 15 % del peso del cemento en fibras, tuvieron una gran cantidad de aglomeraciones que dificultaron el proceso de mezclado.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Las fibras de coco sin procesar como material de refuerzo presentan mejores resultados en pequeñas concentraciones. La concentración de fibras de coco es inversamente proporcional a la resistencia de los materiales que se desarrollaron a base del suelo-cemento plástico producido con cangahua y cemento portland.

Conforme se aumenta el contenido de fibras de coco en la matriz la resistencia a compresión, tensión y flexión decrece, registrándose menor reducción de estas propiedades con un contenido de fibras igual al 5 % del peso del cemento portland.

La mezcla endurecida de suelo-cemento plástico reforzado con el 5 % del peso del cemento en fibras de coco, presentó deficiente durabilidad. Aunque no se observó deterioro de las fibras por la reacción de hidratación del cemento portland, la probeta se fracturó porque las fibras quedaron expuestas en la superficie, permitiendo la filtración de humedad.

La falta de un buen equipo de corte que permita controlar eficientemente la longitud de las fibras, provocó que una gran parte de fibras más largas a las establecidas se filtren en las mezclas. Al ser este uno de los principales factores que afectan las propiedades de un material, se considera que este inconveniente perjudicó la resistencia y el acabado de algunas probetas.

Se comprueba que la presencia de las fibras de coco aumenta la ductilidad del material endurecido, la fractura frágil de la matriz cerámica es suprimida, porque el material reforzado continúa soportando la carga después de la fractura, absorbiendo energía por más tiempo antes de fallar.

Al someter la placa sin refuerzo de fibras a un proceso de corte, se fractura de manera catastrófica, contrario a lo que sucede con las placas reforzadas con fibras. Facilitar el proceso de corte, es una cualidad importante del material al momento de utilizarse en un sistema constructivo industrializado.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

La incorporación de polvo de coco es perjudicial para la mezcla de suelo-cemento plástico, las altas proporciones de agua requeridas redujeron excesivamente la resistencia del material endurecido.

En estado fresco, las mezclas con adición de polvo de coco, antes del aumento de la cantidad de agua, presentaron una consistencia muy seca, que se agudizó con la mayor concentración de polvo. El polvo de coco es inutilizable para un método de mezcla húmedo por lo que se descarta en la fabricación del panel.

El refuerzo con piedra pómez mejoró la resistencia del suelo-cemento plástico sin refuerzo de fibras de coco, aunque ocasionó que el material endurecido se vuelva poroso. Se intentó solucionar este problema incluyendo aditivos reductores de agua a las mezclas pero no se mitigó este defecto en el material.

Con el uso del aditivo reductor de agua de alto rango mejoró la consistencia de la mezclas reforzada con piedra pómez y fibras de coco, pero no aminoraron la pérdida de resistencia que las fibras provocan en la matriz con piedra pómez.

Todos los resultados obtenidos llevaron al desarrollo del material compuesto para el panel prefabricado del proyecto de investigación. Se logró producir un material ligero a base de cangahua y fibras de coco; los dos componentes principales que se buscaba aprovechar.

Las propiedades consideradas, se acercaron a las de uno de los materiales que se usan para la fabricación de estos paneles. Los valores mínimos registrados de densidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto ligero estructural, se superaron en un: 5 %, 35 % y 10 %, respectivamente. Concluyéndose que su uso es factible en placas delgadas no portantes para interiores que se pueden implementar en muros o techos o como placas de revestimiento.

Recomendaciones

Se recomienda mejorar la granulometría de la piedra pómez antes de elaborar una mezcla, retirando el exceso de partículas muy finas y solventando el déficit de partículas más grandes se conseguirá un material con mejores propiedades.

Para desarrollar un diseño de mezcla más preciso, se recomienda realizar un análisis más extenso de los agregados, esto permite el correcto control de las proporciones. Se necesitan pruebas enfocadas al estudio de suelos para producir una mezcla de suelo-cemento óptima. Un análisis de las características y propiedades de las fibras de coco, permitirá un reforzamiento controlado del material.

Es recomendable introducir los agregados a la mezcladora previamente humedecidos pero con superficie seca para que no cedan ni absorban parte de la cantidad del agua calculada para la mezcla.

Se recomienda utilizar fibras de coco de menor longitud para prevenir las posibles fisuras que pueda tener el material, las fibras más cortas pueden además mejorar las propiedades.

Es recomendable realizar el mayor número de ensayos de cada prueba mecánica para fortalecer la información del comportamiento mecánico del material. Realizar pruebas del material con diferentes concentraciones de los refuerzos, comprobar la influencia con longitudes de fibras distintas puede ayudar a conseguir un material con propiedades superiores.

Se recomienda utilizar algún tipo de revestimiento sobre el material para combatir el problema de durabilidad que se presentó. Para poder utilizar el material investigado en un panel portante se recomienda incluir una armadura de refuerzo y contrarrestar la porosidad ya que esta es una de las causas que provoca problemas de resistencia.

Referencias

ACI Committee 229. (2013). *Report on Controlled Low-Strength Materials*.

ACI Committee 230. (2009). Report on Soil Cement. In *ACI 230.1R-09*. U.S.A.

ACI Committee 544. (2002). Report on Fiber Reinforced Concrete. In *ACI 544.1R-96*. U.S.A.

Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814–825.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.068>

Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2011). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: Cengage Learning.

Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>

Callister, W. D. (1996). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Reverté.

Dávila, J. L., Galeas, S., Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito: imprefep.

Fernández, J. (2015). *Análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas no convencionales en la construcción de edificaciones frente a un evento sísmico*. 53–71.

Francis, J. K. (2000). Bioecología de Arboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. *USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry*, 18.

Gaibor, A., & Guano, M. (2012). *Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: sur y norte* (Tesis de

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

- grado, Universidad Politécnica Salesiana). Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3981>
- García, S. L. Q., & Salcedo, L. O. G. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, (20), 134–150.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., C. Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.
- Lavalle, M. en I. E. de la F. (2013). *Suelo-Cemento : Sus usos, propiedades y aplicaciones*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Mac Donnell, H., & Mac Donnell, H. P. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Buenos Aires: Revista Vivienda SRL.
- Mata, F. (2010). La Selección Sostenible de los Materiales de Construcción. *Revista Tecnología y Desarrollo*, VIII.
- Menereo, J. (2014). Determinación del módulo de deformación a través de ensayos de compresión triaxial en cangahua (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Nyoman, S. I. (2016). *Mechanical properties of coconut fiber-reinforced concrete*. (April).
- Olivares Santiago, M., Galán Marín, C., & Roa Fernández, J. (2003). Los composites. Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de La Construcción*, 54(484), 45–62. <https://doi.org/10.3989/ic.2003.v54.i484.568>

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

ONU Consejo Económico y Social. (2019). *Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

Paricaguán, B. M., Albano, C. L., VladimirTorres, R., Camacho, N., Infante, J., & Muñoz, J.

L. (2013). Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 88(4), 424–432. <https://doi.org/10.6036/5646>

Pinto, D. (2016). *El bloque de suelo-cemento como alternativa para la construcción en Costa Rica* (Universidad Veritas). Retrieved from https://issuu.com/dapiat/docs/bsc_daniel_pinto_atmetlla

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). *Agro-Industrial Residues Generated in Ecuador for the elaboration of bioplastics*. 227–246.

Rojas-Valencia, M., & Macías, D. (2013). Manejo de los residuos de construcción. *Ingeniería Civil*, (August 2014), 20–24.

Salas Serrano, J. (2000). *La Industrialización Posible de la Vivienda Latinoamericana*. Santafé de Bogotá: ESCALA.

Simbaña, A. (2010). Fibras naturales y residuos agroindustriales. Fuente sostenible de materia prima. *Revista Científica Axioma*, 1(6), 15–16. Retrieved from <http://pucesinews.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/308/299>

Smith, W. F. (2004). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Madrid: McGraw-Hill.

Suárez-Silgado, S., Molina, J. D. A., Mahecha, L., & Calderón, L. (2018). Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 9–21.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

<https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69637>

Trujillo, A., & Arias, L. (2013). El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes.

Entre Ciencia e Ingeniería, 7(14), 93–100.

Vargas-Corredor, Y., & Pérez-Pérez, L. I. (2018). Use of Agro-Industrial Waste in Improving the Quality of the Environment. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 1–14.

<https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>

Viñuales, G. M. (2007). *Tecnología y construcción con tierra*.

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexos

Anexo 1. Informe del ensayo granulométrico de la cangahua



Informe de Ensayo

ÁREA DE AGREGADOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO

NTE INEN 696-2011

INFORME N° 1223

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

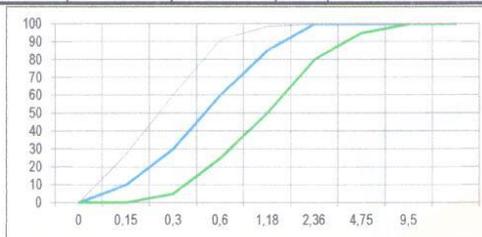
Fecha de Pedido: 08 DE ENERO DEL 2020
 Fecha de Entrega: 15 DE ENERO DEL 2020
 Fecha de Ensayo: 13 DE ENERO DEL 2020

Información de la Muestra

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

Resultados del Ensayo

N°	TAMIZ		RETENIDO EN MASA		PORCENTAJE		LÍMITES Especificados
	pulg	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	0.60	43,7	51,8	8,7	91,3	25 a 60
6	N°50	0.30	185,5	237,3	39,7	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 = $\frac{\sum(\% \text{ Retenido}) \text{ Serie Tyler}}{100}$	
MÓDULO DE FINURA			1,22	0,117	VÁLIDO		



Limite Superior: Curva Granulométrica: % Pasa vs #Tamiz
 Limite Inferior: 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 Chochos M.
Supervisor de Laboratorio

Anexo 2. Informe del análisis granulométrico de la piedra pómez



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

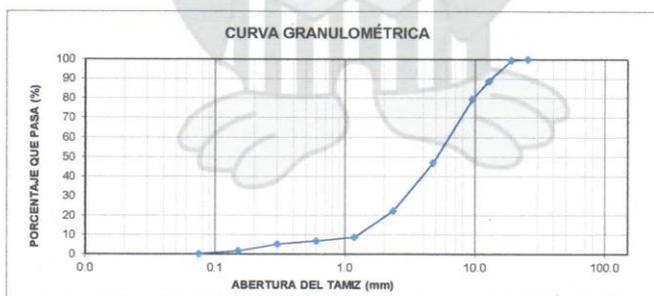
NF. No. 20 - 0089
Hoja 01 de 01

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: ***
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	138.2	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	19.4	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		558.2			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente



(Signature)
ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO



GR-F-20-008

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 3. Informe del ensayo: densidad, densidad relativa y absorción de la cangahua



Informe de Ensayo

ÁREA DE AGREGADOS

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

NTE INEN 856-2010

INFORME N° 1223

Datos del Solicitante

Solicitado Por: ING. MIREYA MARTÍNEZ Fecha de Pedido: 08 DE ENERO DEL 2020
 Cliente: UNACEM Fecha de Entrega: 15 DE ENERO DEL 2020
 Dirección: AV. NN UU 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 PARTÍCULA:	ARENA FINA
FECHA DE MUESTREO:	12 DE NOVIEMBRE DEL 2020
MUESTREADO POR:	CLIENTE

Resultados del Ensayo

DENSIDAD: AGREGADO FINO		
1. Masa del Picnómetro Vacío	149,7	g
2. Masa del Picnómetro + Agregado	582,4	g
3. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)	898,0	cm ³
4. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)	649,7	cm ³
5. Volumen Desalojado	184,40	cm ³
6. DENSIDAD DEL AGREGADO FINO (D)	2,35	g/cm ³
	2347	kg/m ³

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

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
3. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO (C.A.)	4,9	%

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

* 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 Chochos M.
Supervisor de Laboratorio

Anexo 4. Informe del ensayo: densidad, densidad relativa y absorción de la piedra pómez



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: República 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 ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	1.405	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	1.693	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	41.94	%

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

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DEL LABORATORIO



Peso especifico y abs 20-001

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 5. Informe del ensayo de masa unitaria suelta y compactada de la cangahua



Informe de Ensayo

ÁREA DE AGREGADOS

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

NTE INEN 858-2010

INFORME N° 1223

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 PARTÍCULA:	ARENA FINA
FECHA DE MUESTREO:	12 DE NOVIEMBRE DEL 2020
MUESTREO POR:	CLIENTE

Resultados del Ensayo

MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DEL AGREGADO FINO					
N°	Características del Recipiente o Molde		Masa Suelta + Recipiente	Masa Neta	MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO
	Masa (kg)	Volumen (m ³)	(kg)	(kg)	(kg/m ³)
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	1,339	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 + Recipiente	Masa Neta	MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO
	Masa (kg)	Volumen (m ³)	(kg)	(kg)	(kg/m ³)
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 C29

* El cliente realizó el muestreo del material

OPINIONES E INTERPRETACIONES: X.....

Eduardo Chochos M.
Supervisor de Laboratorio

Anexo 6. Informe del ensayo de masa unitaria suelta y compactada de la piedra pómez



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
Diámetro Ø	cm	15.3	15.3
Altura h	cm	15.4	15.4
Peso Molde	gr	1896.1	1896.1
Volumen Molde	cm ³	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 ³	0.63	0.61
Densidad Aparente Compactada Seca	gr/cm ³	0.66	0.66

Densidad Suelta Promedio: 0.62 gr/cm³
Densidad Compactada Promedio: 0.66 gr/cm³

OBSERVACIONES: - El muestreo y procedencia son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 7. Informe del ensayo de determinación de impurezas orgánicas en la piedra pómez



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 Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 8. Informe del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.



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



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0418
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 (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	C1	2019-06-19	2019-07-03	14	101,25	8052	1930	52,9	6,6	67	TIPO 3	A
2	AC11	2019-06-14	2019-06-28	14	151,25	17967	1860	110,3	6,1	63	TIPO 1	A
3	AC12	2019-06-14	2019-06-28	14	150,75	17849	1870	106,7	6,0	61	TIPO 1	A
4	AC13	2019-06-14	2019-07-05	21	151,25	17967	1850	113,0	6,3	64	TIPO 1	A
5	AC21	2019-06-19	2019-07-03	14	151,00	17908	1890	108,2	6,0	62	TIPO 1	A
6	AC22	2019-06-19	2019-07-03	14	151,50	18027	1880	117,7	6,5	67	TIPO 3	A
7	AC31	2019-06-21	2019-06-28	7	151,00	17908	1820	63,6	3,6	36	TIPO 1	A
8	AC32	2019-06-21	2019-06-28	7	151,00	17908	1820	66,6	3,7	38	TIPO 1	A
9	AC33	2019-06-21	2019-07-05	14	151,25	17967	1830	94,3	5,2	53	TIPO 1	A



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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.

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



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

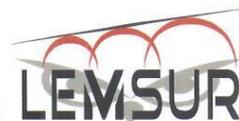
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 9. Informe del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.



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



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0460
Hoja 01 de 01

Quito, 5 de agosto 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: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	AC41	2019-07-02	2019-07-30	28	101,00	8012	980	8,8	1,1	11	TIPO 2	A
2	AC5	2019-07-04	2019-08-01	28	150,50	17789	720	7,7	0,4	4	TIPO 2	A
3	AC61	2019-07-05	2019-08-02	28	151,25	17967	1560	119,2	6,6	68	TIPO 2	A



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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
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





COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0492
Hoja 01 de 01

Quito, 13 de agosto 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: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	AC71	2019-07-11	2019-08-08	28	150,75	17849	1440	79,9	4,5	48	TIPO 2	A



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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
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



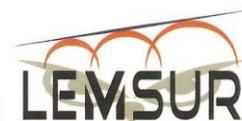
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 10. Informe del ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.



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



COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19-0417
Hoja 1 de 1

Quito, 09 de julio de 2019

SOLICITA: ***
Atención: CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA
Dirección: República del Salvador N35-33 y Portugal
PROYECTO: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO
FISCALIZADOR: ****
CONTRATISTA: ****
NORMA: ASTM C 496/496M - 11

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m3]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm2]
1	19/06/2019	Patrón t1	03/07/2019	14	151	299	1925	49,40	5,04	0,70	7,1
2	14/06/2019	A11 1	28/06/2019	14	150	303	1860	47,50	4,84	0,66	6,8
3	14/06/2019	A11 2	28/06/2019	14	150	301	1873	44,00	4,49	0,62	6,3
4	19/06/2019	A12 1	03/07/2019	14	151	301	1890	48,10	4,90	0,68	6,9
5	21/06/2019	A13 1	05/07/2019	14	150	301	1827	42,90	4,37	0,60	6,2

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido proporcionadas por el cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 11. Informe del ensayo de resistencia a la tensión por compresión diametral del suelo-cemento plástico reforzado con fibras de coco y combinado con polvo de coco.



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



COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19-0459
Hoja 1 de 1

Quito, 05 de agosto de 2019

SOLICITA: ***
Atención: CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA
Dirección: República del Salvador N35-33 y Portugal
PROYECTO: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO
FISCALIZADOR: ****
CONTRATISTA: ****
NORMA: ASTM C 496/496M - 11

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	02/07/2019	AT42	30/07/2019	28	151	298	1052	13,88	1,42	0,20	2,0
2	02/07/2019	AT41	30/07/2019	28	151	296	1022	13,60	1,39	0,19	2,0
3	05/07/2019	AT61	02/08/2019	28	151	302	1569	47,90	4,88	0,67	6,8

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido proporcionadas por el cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO





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



COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19-0496
Hoja 1 de 1

Quito, 14 de agosto de 2019

SOLICITA: CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA
Atención: CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA
Dirección: REPÚBLICA DEL SALVADOR N35-33 Y PORTUGAL
PROYECTO: PANELES FABRICADOS CON FIBRA DE COCO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 496/496M - 11

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	11/07/2019	AT71	08/08/2019	28	151	301	1435	40,40	4,12	0,57	5,8
2	11/07/2019	AT72	08/08/2019	28	151	299	1431	40,80	4,16	0,57	5,8

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido proporcionadas por el cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Anexo 12. Informes del ensayo de resistencia a la flexión del suelo-cemento plástico sin refuerzo y reforzado con fibras de coco.



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXION EN BALDOSAS DE TERROCEMENTO

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACION: Quito

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: NTE INEN 3128

ORDEN DE TRABAJO: 32996

HOJA: 1 de 1

SOLICITADO POR: Corporación para la Investigación

FISCALIZACIÓN: Energética

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 14/08/2019

FECHA DE EMISIÓN : 15/08/2019

Muestra N°	1	2	3	4
Identificación	B3 - 2.5 - 2	B3 - 2.5 - 6	B5 - 2.5 - 1	B5 - 2.5 - 2
Fecha de rotura	14/08/2019	14/08/2019	14/08/2019	14/08/2019
Largo (mm)	400	405	405	405
Espesor (mm)	32	33	57	53
Ancho (mm)	400	400	400	400
Longitud de apoyo (mm)	350	350	350	350
Masa (gr)	9250,00	9790,00	16600,00	15510,00
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,81	1,83	1,80	1,81
Carga de Rotura (N)	983	1004	2550	1658
Esfuerzo de Rotura (MPa)	1,3	1,2	1,0	0,8

OBSERVACIONES:

1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


 Ing. María Inés Calvo
 Responsable de Área.


 Ing. Jorge A. Uña, M.Sc.
 Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...




JESUITAS ECUADOR



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
FLEXION EN BALDOSAS DE TERROCEMENTO

PROYECTO: Paneles de Fibrocemento con Fibra de Coco
LOCALIZACION: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA DE REFERENCIA: NTE INEN 3128
ORDEN DE TRABAJO: 33010
HOJA: 1 de 1

SOLICITADO POR: Corporación para la Investigación
FISCALIZACIÓN: Energética
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN: 21/08/2019
FECHA DE EMISIÓN : 27/08/2019

Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	C1.3 - 2.5 - 2	C3.5 - 2.5 - 1	C3.5 - 2.5 - 2	C3.5 - 2.5 - 3	D3 - 1.5 - 1	D3 - 1.5 - 2	D5 - 1.5 - 1
Fecha de fabricación	23/07/2019	25/07/2019	25/07/2019	25/07/2019	29/07/2019	29/07/2019	29/07/2019
Fecha de rotura	21/08/2019	22/08/2019	22/08/2019	22/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019
Edad (días)	29	28	28	28	28	28	28
Largo (mm)	405	405	405	400	401	400	399
Espesor (mm)	31,6	52,8	53,4	53,1	33,1	33,3	48,4
Ancho (mm)	400	400	400	400	397	403	403
Longitud de apoyo (mm)	350	350	350	350	350	350	350
Masa (gr)	3540	6290	5660	6230	3110	3320	4900
Peso Unitario (gr/cm³)	0,69	0,74	0,65	0,73	0,59	0,62	0,63
Carga de Rotura (N)	183,3	252,0	138,7	177,3	234	288	607
Esfuerzo de Rotura (MPa)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3

OBSERVACIONES:

$1\text{MPa} = \text{N} / \text{mm}^2 = 10,2 \text{ kg} / \text{cm}^2$

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Télf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec



Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director



JESUITAS ECUADOR

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

FLEXION EN BALDOSAS DE TERROCEMENTO

PROYECTO: Paneles de Fibrocemento con Fibra de Coco
LOCALIZACIÓN: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA DE REFERENCIA: NTE INEN 3128
ORDEN DE TRABAJO: 33035
HOJA: 2 de 2

SOLICITADO POR: Corporación para la Investigación
FISCALIZACIÓN: Energética
CONTRATISTA:
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/08/2019
FECHA DE EMISIÓN: 05/09/2019

Muestra N°	6	7	8	9	10
Identificación	F3-5%-1	F3-5%-2	F3-5%-3	F5-5%-1	F5-5%-2
Fecha de fabricación	06/08/2019	06/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	07/08/2019
Fecha de rotura	03/09/2019	03/09/2019	03/09/2019	04/09/2019	04/09/2019
Edad (días)	28	28	28	28	28
Largo (mm)	400	400	405	400	400
Espesor (mm)	35,2	36,1	34,6	56,1	55,1
Ancho (mm)	400	400	395	400	400
Longitud de apoyo (mm)	350	350	365	350	350
Masa (gr)	9760	9790	9820	15400	15670
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,73	1,69	1,77	1,72	1,78
Carga de Rotura (N)	1305,0	2020,0	1501,0	4150,0	2890
Esfuerzo de Rotura (MPa)	1,4	2,0	1,7	1,7	1,3

OBSERVACIONES:

1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área.



Ing. Jorge Iñbuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



JESUITAS ECUADOR

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 24 de Septiembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	P3 -0 -1	P3 -0 -2	P3 -0 -3
Fecha de Fabricación	19/8/2019	19/8/2019	19/8/2019
Fecha de Rotura	24/9/2019	24/9/2019	24/9/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	397	398	398
Espesor (mm)	35	35	34
Ancho (mm)	141	140	140
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3743	3755	3635
Peso Unitario (gr/cm ³)	1910	1925	1919
Carga de Rotura (N)	1030	1230	1000
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	2,7	3,2	2,8

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 14 de Agosto del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B3 -2.5 -1	B3 -2.5 -2	B3 -2.5 -3
Fecha de Fabricación	17/7/2019	17/7/2019	17/7/2019
Fecha de Rotura	14/8/2019	14/8/2019	14/8/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	399,00	400,00	399,00
Espesor (mm)	34,00	32,00	34,00
Ancho (mm)	137,00	137,00	138,00
Longitud de Apoyo (mm)	300,00	300,00	300,00
Masa (gr)	3357	3218	3420
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,81	1,84	1,83
Carga de Rotura (N)	400,00	500,00	450,00
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,1	1,6	1,3

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B5 -2.5 -1	B5 -2.5 -2	B5 -2.5 -3
Fecha de Fabricación	17/7/2019	17/7/2019	17/7/2019
Fecha de Rotura	14/8/2019	14/8/2019	14/8/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	409,00	403,00	402,00
Espesor (mm)	52,00	53,00	55,00
Ancho (mm)	138,00	137,00	138,00
Longitud de Apoyo (mm)	300,00	300,00	300,00
Masa (gr)	5353	5305	5501
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,82	1,81	1,80
Carga de Rotura (N)	450,00	730,00	1010,00
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	0,5	0,9	1,1

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 3 de Septiembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	F3 -5 -1	F3 -5 -2	F3 -5 -3
Fecha de Fabricación	6/8/2019	6/8/2019	5/8/2019
Fecha de Rotura	3/9/2019	3/9/2019	3/9/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	398	398	400
Espesor (mm)	34	35	35
Ancho (mm)	138	140	139
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3244	3311	3460
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,74	1,70	1,78
Carga de Rotura (N)	680	780	580
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,9	2,0	1,5

Muestra N°	1	2	3
Identificación	F5 -5 -1	F5 -5 -2	F5 -5 -3
Fecha de Fabricación	6/8/2019	6/8/2019	8/8/2019
Fecha de Rotura	3/9/2019	3/9/2019	3/9/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	399	399	401
Espesor (mm)	54	55	57
Ancho (mm)	140	140	139
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	5164	5447	5538
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,71	1,77	1,74
Carga de Rotura (N)	1370	1520	1140
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,5	1,6	1,1

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 15 de Octubre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	S3-10-1	S3-10-2	S3-10-3
Fecha de Fabricación	17/9/2019	17/9/2019	17/9/2019
Fecha de Rotura	15/10/2019	15/10/2019	15/10/2019
Largo (mm)	401	401	402
Espesor (mm)	34	33	32
Ancho (mm)	143	142	138
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3065	2930	2970
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,57	1,56	1,67
Carga de Rotura (N)	450	360	520
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,2	1,0	1,7

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 15 de Octubre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	G3-15-1	G3-15-2	G3-15-3
Fecha de Fabricación	18/9/2019	18/9/2019	18/9/2019
Fecha de Rotura	15/10/2019	15/10/2019	15/10/2019
Edad (días)	28	28	28
Largo (mm)	400	404	406
Espesor (mm)	32	33	34
Ancho (mm)	140	141	139
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	2975	2875	2970
Peso Unitario (gr/cm ³)	1,66	1,53	1,55
Carga de Rotura (N)	450	450	480
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,4	1,3	1,3

Anexo 13. Informes del ensayo de resistencia a la compresión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco.



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

Quito, 31 de Octubre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

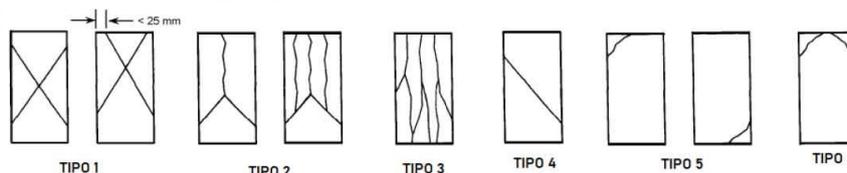
LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 1573:2010

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B-1	B-2	B-3
Fecha Fabricación	24/10/2019	24/10/2019	24/10/2019
Fecha Rotura	31/10/2019	31/10/2019	31/10/2019
Edad (días)	7	7	7
Diámetro (mm)	152	152	152
Área (mm ²)	18146	18146	18146
Masa (gr)	9091	9058	9042
Densidad (kg/m ³)	1670	1664	1661
Carga Max (kN)	94,8	142,1	144,9
Resistencia (MPa)	5,2	7,8	8,0
Tipo de falla	Tipo 3	Tipo 3	Tipo 3
Defectos	C	C	C

Descripción defectos: A: ninguno; B: segregado; C: porosidad; D: fisuras preexistentes; E: otra



SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 14 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

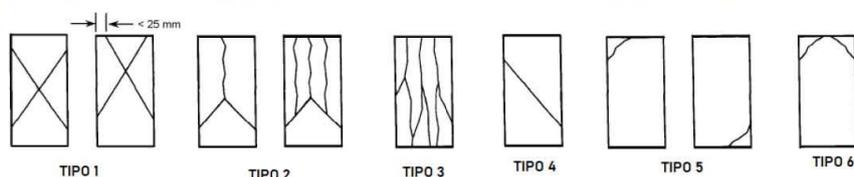
LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 1573:2010

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B1-1	B1-2	B1-3
Fecha Fabricación	6/11/2019	6/11/2019	6/11/2019
Fecha Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Diámetro (mm)	152	151	151
Área (mm ²)	18146	17908	17908
Masa (gr)	8922	8902	8800
Densidad (kg/m ³)	1639	1657	1638
Carga Max (kN)	48,2	42,3	48,9
Resistencia (MPa)	2,7	2,4	2,7
Tipo de falla	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1
Defectos	C	C	C

Descripción defectos: A: ninguno; B: segregado; C: porosidad; D: fisuras preexistentes; E: otra



SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 14 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

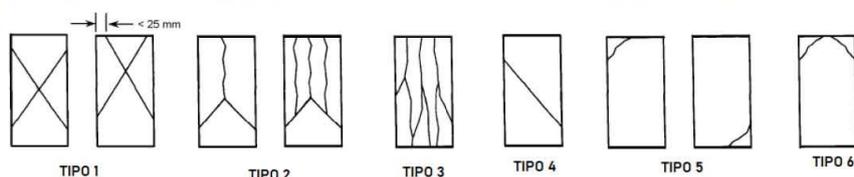
LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 1573:2010

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B2-1	B2-2	B2-3
Fecha Fabricación	6/11/2019	6/11/2019	6/11/2019
Fecha Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Diámetro (mm)	152	152	152
Área (mm ²)	18146	18146	18146
Masa (gr)	8400	8438	8356
Densidad (kg/m ³)	1543	1550	1535
Carga Max (kN)	123,4	74,9	103,7
Resistencia (MPa)	6,8	4,1	5,7
Tipo de falla	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1
Defectos	C	C	C

Descripción defectos: A: ninguno; B: segregado; C: porosidad; D: fisuras preexistentes; E: otra



SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 22 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

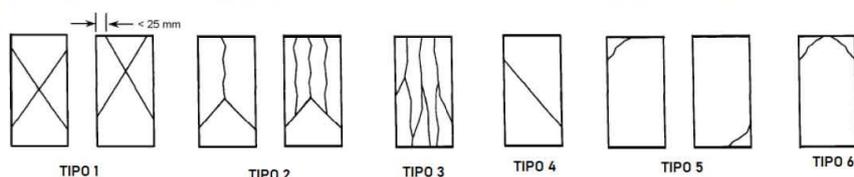
LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 1573:2010

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B3-1	B3-2	B3-3
Fecha Fabricación	15/11/2019	15/11/2019	15/11/2019
Fecha Rotura	22/11/2019	22/11/2019	22/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Diámetro (mm)	151	152	152
Área (mm ²)	17908	18146	18146
Masa (gr)	8854	8792	8911
Densidad (kg/m ³)	1648	1615	1637
Carga Max (kN)	102,8	80,3	79,5
Resistencia (MPa)	5,7	4,4	4,4
Tipo de falla	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1
Defectos	C	C	C

Descripción defectos: A: ninguno; B: segregado; C: porosidad; D: fisuras preexistentes; E: otra



SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 14. Informes del ensayo de resistencia a la flexión del suelo-cemento plástico reforzado con piedra pómez y reforzado con piedra pómez y fibras de coco.



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

Quito, 31 de Octubre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B-1	B-2	B-3
Fecha de Fabricación	24/10/2019	24/10/2019	24/10/2019
Fecha de Rotura	31/10/2019	31/10/2019	31/10/2019
Edad (días)	7	7	7
Largo (mm)	402	400	400
Espesor (mm)	32	35	36
Ancho (mm)	142	141	138
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3140	3304	3285
Peso Unitario (kg/m ³)	1719	1674	1653
Carga de Rotura (N)	730	960	780
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	2,3	2,5	2,0

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 14 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B1-1	B1-2	B1-3
Fecha de Fabricación	6/11/2019	6/11/2019	6/11/2019
Fecha de Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Largo (mm)	400	400	404
Espesor (mm)	34	35	36
Ancho (mm)	137	138	140
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3058	3101	3252
Peso Unitario (kg/m ³)	1641	1605	1597
Carga de Rotura (N)	320	360	320
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	0,9	1,0	0,8

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 14 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B2-1	B2-2	B2-3
Fecha de Fabricación	6/11/2019	6/11/2019	6/11/2019
Fecha de Rotura	14/11/2019	14/11/2019	14/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Largo (mm)	400	404	401
Espesor (mm)	35	36	35
Ancho (mm)	140	142	141
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3054	3145	2994
Peso Unitario (kg/m)	1558	1523	1513
Carga de Rotura (N)	730	680	680
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,9	1,7	1,8

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO



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

Quito, 22 de Noviembre del 2019

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B3-1	B3-2	B3-3
Fecha de Fabricación	15/11/2019	15/11/2019	15/11/2019
Fecha de Rotura	22/11/2019	22/11/2019	22/11/2019
Edad (días)	7	7	7
Largo (mm)	401	403	405
Espesor (mm)	33	36	36
Ancho (mm)	140	140	144
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	2955	3221	3290
Peso Unitario (kg/m ³)	1595	1586	1567
Carga de Rotura (N)	550	590	560
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	1,6	1,5	1,4

SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 15. Informe del ensayo de resistencia a compresión del material para el panel prefabricado.



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

Quito, 10 de Febrero del 2020

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

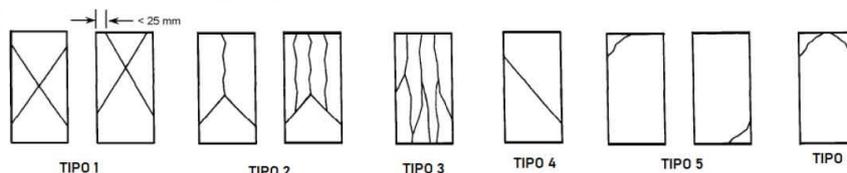
LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 1573:2010

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B4-1	B4-2	B4-3
Fecha Fabricación	3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020
Fecha Rotura	10/2/2020	10/2/2020	10/2/2020
Edad (días)	7	7	7
Diámetro (mm)	150	150	150
Área (mm ²)	17671	17671	17671
Masa (gr)	7957	7783	7857
Densidad (kg/m ³)	1501	1468	1482
Carga Max (kN)	272,4	274,3	267,4
Resistencia (MPa)	15,4	15,5	15,1
Tipo de falla	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1
Defectos	C	C	C

Descripción defectos: A: ninguno; B: segregado; C: porosidad; D: fisuras preexistentes; E: otra



SUELO CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Anexo 16. Informe del ensayo de resistencia a flexión del material para el panel prefabricado.



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

Quito, 10 de Febrero del 2020

INFORME DE ENSAYOS

PROYECTO: Paneles con Fibra de Coco

LOCALIZACIÓN: Quito, Ecuador

FLEXIÓN EN BALDOSAS DE SUELO-CEMENTO PLÁSTICO

NORMA INEN 3128

Muestra N°	1	2	3
Identificación	B4-1	B4-2	B4-3
Fecha de Fabricación	3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020
Fecha de Rotura	10/2/2020	10/2/2020	10/2/2020
Edad (días)	7	7	7
Largo (mm)	440	410	440
Espesor (mm)	34	34	35
Ancho (mm)	142	143	144
Longitud de Apoyo (mm)	300	300	300
Masa (gr)	3152	2910	3151
Peso Unitario (kg/m ³)	1484	1460	1421
Carga de Rotura (N)	1240	1300	1160
Esfuerzo de Rotura (Mpa)	3,4	3,5	3,0