

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**“CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES COMPUESTOS CON
FIBRA DE ESTOPA DE COCO USANDO DOS TRATAMIENTOS
QUÍMICOS PARA DISMINUIR SU DEGRADACIÓN”**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

PERVIS RICARDO RODRÍGUEZ PONCE

pervis.rodriquez@epn.edu.ec

JORGE EMILIO VÉLEZ CUADROS

jorge.velez01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ, MSc

QUITO, MARZO 2022

DECLARACIÓN

Nosotros, Rodríguez Ponce Pervis Ricardo y Vélez Cuadros Jorge Emilio, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

RICARDO RODRÍGUEZ PONCE

EMILIO VÉLEZ CUADROS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Rodríguez Ponce Pervis Ricardo y Vélez Cuadros Jorge Emilio, bajo mi supervisión.

ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi papá, Stalin Vélez, por velar todos estos años de estudio por mi seguridad y por mi bienestar, por estar orgulloso de mis logros y por siempre persistir en salir adelante y en emprender.

A mi mamá, Katherine Cuadros, por todo el esfuerzo, sacrificio y dedicación que ha brindado para que mi educación y la de mis hermanas haya sido posible, por sus palabras de aliento y por sus sabios consejos.

A mi abuela, Mercedes Pico, por ser una segunda mamá, preocupada de que no me falte nada y siempre al tanto de mis necesidades.

A mi hermana Valeria por ser una excelente roomie y por ayudarme en el día a día. A mi hermana Katherin por entender mis conflictos y alentarme a seguir adelante. A mis mascotas Cobus, Thor, Luna, Chiripa y Condesa por subirme el ánimo en los peores momentos.

A mis amigos del colegio como los chicos de Inestabilidad, en especial Dayeli y Cristina por entenderme como nadie y siempre estar allí aun con sus compromisos y obligaciones. A Lucía por ser una excelente persona y de las mejores amigas que he tenido, compartir mis intereses y siempre creer en mí. A Gaby por ser tan divertida e ingeniosa. A Sofía por saber escuchar mis problemas y brindarme apoyo emocional.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la FICA por haber sido un pilar fundamental en mi formación profesional tanto en conocimiento como en valores. A las grandes personas que conocí a través de mi proceso de aprendizaje y formaron parte de mis grupos de trabajo como fueron mis compañeros Karen, Leidy, Stephanie, Mary, Majo, Erika, Fabio, Bryan, Jorge y muchos otros más.

A mi compañero y amigo, Ricardo Rodríguez, por hacer posible este trabajo de titulación a través de sus ideas y de su compromiso.

Al Centro Textil Politécnico representado por la Ing. Hilda Trujillo, por su generosa colaboración y asesoría profesional. Al Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica de la PUCE, representado por el Ing. Jorge Albuja, por abrirnos las puertas y colaborar en el desarrollo de las actividades experimentales necesarias con todas las facilidades y recursos.

Al Ing. Nicolay Yanchapanta por ser un excelente director, siempre aportando con sus experiencias, con su tiempo y sus conocimientos para que el trabajo se desempeñe dentro de los estándares. Al Ing. Edgar Mora por haber colaborado de manera notable en las primeras etapas del trabajo.

Finalmente, al Emilio Vélez del pasado que no se rindió ante los tropiezos y los retos que significaban estudiar fuera de su ciudad natal, por priorizar su educación y por ponerle siempre empeño y dedicación a cumplir su meta de convertirse en un profesional de calidad acorde con el prestigio de su renombrada institución.

Jorge Emilio Vélez Cuadros

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento en primer lugar a Dios por ser la fuerza que me permite seguir adelante todos los días de mi vida.

A mis padres Yovir y Pervis, por su apoyo incondicional desde el primer momento que decidí migrar hacia Quito en busca de mis sueños, dejando muchas veces de lado sus personas y anteponiendo mi bienestar como prioridad en sus vidas; a ellos se lo debo todo.

A mis hermanos Jaren y Lucía, por ser la razón de mi alegría en casa durante mis cortas estancias en Portoviejo a lo largo todos estos años de estudio.

A mi abuela Rosa, por todo su amor y cariño entregado en vida hacia mi persona, por ser el motor que me permitió culminar con éxito esta etapa de mi vida, estoy seguro ella estaría orgullosa de mí.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por tantas vivencias juntos, en especial a mis queridos amigos: Andrea Toasa, David Naula, Alexander Gaviláñez, Hendry Pozo, Jorge Zambrano, Francisco Sabando y todos los que conforman el grupo de manabas “Chumbi-Farra”, gracias por tantas enseñanzas y alegrías.

Al personal docente de la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Civil, por impartir sus conocimientos y valores en todo este proceso de aprendizaje.

A mi compañero de tesis y amigo, Emilio Vélez, por depositar su confianza en mí y hacerme parte de este trabajo de titulación.

Al nuestro director de tesis, el Ing. Nicolay Yanchapanta, por todo su apoyo y conocimiento impartido para que este trabajo se logre de la mejor manera. Al Ing. David Mora, por su colaboración dentro de la primera etapa del trabajo.

Ricardo Rodríguez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis papás Stalin y Kathy y a mi abuela Michita por hacerme la persona que soy hoy en día, por su constante cuidado y protección, y por darme la mano incansablemente en mis proyectos y aspiraciones.

Jorge Emilio Vélez Cuadros

DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría y fortaleza.

A mi madre Yovir, por enseñarme siempre a no desistir incluso en los momentos
más difíciles de la vida.

A mi padre Pervis, por enseñarme el valor de la perseverancia y que todo se logra
con esfuerzo y dedicación.

A mi abuela Rosa, por todas sus enseñanzas impartidas en vida.

Ricardo Rodríguez

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	VI
CONTENIDO.....	VIII
RESUMEN	XVI
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2.1. TEÓRICA.....	3
1.2.2. METODOLÓGICA.....	4
1.2.3. PRÁCTICA.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. MARCO CONCEPTUAL	8
2.2. EL HORMIGÓN EN LA HISTORIA	9
2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HORMIGÓN.....	10
2.3.1. COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN	10
2.3.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	13
2.3.3. HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES	21
2.4. FIBRAS NATURALES.....	22
2.4.1. GENERALIDADES DE LAS FIBRAS NATURALES	22
2.4.2. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LAS FIBRAS NATURALES	23
2.4.3. FIBRA DE ESTOPA DE COCO	24

2.4.4. FORMAS DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE FIBRA DE COCO	25
2.5. TRATAMIENTOS QUÍMICOS APLICADOS A LAS FIBRAS NATURALES	27
2.5.1. TRATAMIENTOS HIDROFÓBICOS	27
2.5.2. MERCERIZACIÓN.....	27
2.5.3. PUZOLANAS Y ADHERENTES	28
CAPÍTULO III	29
METODOLOGÍA.....	29
3.1. AGREGADOS.....	29
3.1.1. AGREGADO GRUESO.....	30
3.1.2. AGREGADO FINO.....	37
3.2. CEMENTO	41
3.2.1. DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	41
3.2.2. CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.....	43
3.2.3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO	44
3.3. ADITIVOS	45
3.4. FIBRAS DE ESTOPA DE COCO	45
3.4.1. EXTRACCIÓN Y OBTENCIÓN DE FIBRAS.....	45
3.4.2. LONGITUD DE FIBRA.....	47
3.4.3. TRATAMIENTOS QUÍMICOS.....	47
3.4.4. ENSAYO DE FIBRAS	49
3.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS FINALES DE HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES	49
3.5.1. CANTIDAD DE PROBETAS CILÍNDRICAS.....	49
3.5.2. PREPARACIÓN DE MEZCLA	50
3.5.3. ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS.....	52
3.5.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	53
3.6. DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO	55

3.6.1. PROCESO DE INCINERACIÓN DEL RESIDUO DE ESTOPA DE COCO	55
3.6.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DE COMPONENTES DE UNA OBRA CIVIL SIN UTILIZAR FIBRAS NATURALES	59
3.6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE COMPONENTES DE UNA OBRA CIVIL UTILIZANDO FIBRAS NATURALES	60
CAPÍTULO IV	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. COMPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL CO ₂ SALVADO AL EMPLEAR FIBRAS NATURALES	62
4.1.1. AHORRO DIRECTO DE EMISIONES DE CO ₂	62
4.1.2. AHORRO INDIRECTO DE EMISIONES DE CO ₂	62
4.2. FIBRAS NATURALES	64
4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS HORMIGONES CON FIBRA NATURAL	66
4.3.1. DOSIFICACIONES EMPLEADAS EN MEZCLA	66
4.3.2. DENSIDAD	69
4.3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	72
4.3.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD	76
4.4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS APLICADOS A LA FIBRA DE COCO	81
CAPÍTULO V	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1. CONCLUSIONES	82
5.2. RECOMENDACIONES	84
Bibliografía	85
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resistencia requerida promedio a la compresión al no disponer de información que proporcione una medida de la desviación estándar	15
Tabla 2 Asentamiento recomendados en diferentes clases de construcción.....	15
Tabla 3 Tamaño máximo de agregado sugerido en función del tipo de obra	16
Tabla 4 Cantidad de agua de mezclado por m ³	17
Tabla 5 Relación agua/cemento	18
Tabla 6 Volumen aparente del agregado grueso por unidad de volumen.....	18
Tabla 7 Composición química de la fibra de coco.....	25
Tabla 8 Orden de tamices agregado grueso.....	31
Tabla 9 Gradación de las muestras resultantes.....	35
Tabla 10 Especificación para la carga	35
Tabla 11 Resultados de agregado grueso	37
Tabla 12 Tamices para la granulometría del agregado fino	37
Tabla 13 Tamices empleados en la granulometría del agregado fino.....	40
Tabla 14 Resultados de agregado fino	40
Tabla 15 Resultados de ensayos en el cemento	44
Tabla 16 Número de probetas a ensayar.....	50
Tabla 17 Dosificación preliminar de 210 kgf/cm ²	51
Tabla 18 Dosificación preliminar de 240 kgf/cm ²	51
Tabla 19 Dosificación definitiva de 210 kgf/cm ²	51
Tabla 20 Dosificación definitiva de 240 kgf/cm ²	51
Tabla 21 Características físicas de la fibra de coco sin tratamiento	52
Tabla 22 Composición química de la estopa de coco.....	56
Tabla 23 Efecto de la mercerización en la composición química de la fibra de coco.....	56
Tabla 24 Composición química de fibras de coco posterior a la mercerización..	57
Tabla 25 Porcentaje de carbono en moléculas de la fibra de coco.....	58
Tabla 26 Cantidad de carbono por 100 g de estopa y fibra sin tratar	58
Tabla 27 Ahorro en emisiones directas de CO ₂ por metro cúbico de hormigón..	62

Tabla 28 Ahorro en emisiones indirectas de CO ₂ por metro cúbico de hormigón	63
Tabla 29 Propiedades físicas y mecánicas de las fibras de coco	64
Tabla 30 Codificación de cilindros de hormigón.....	66
Tabla 31 Dosificación para f' _c =210 kgf/cm ² sin fibras.....	67
Tabla 32 Dosificación para f' _c =240 kgf/cm ² sin fibras.....	67
Tabla 33 Dosificación para cilindros SC-210 (0.5% de fibra).....	67
Tabla 34 Dosificación para cilindros SC-210 (1% de fibra).....	67
Tabla 35 Dosificación para cilindros SC-240 (0.5% de fibra).....	68
Tabla 36 Dosificación para cilindros SC-240 (1% de fibra).....	68
Tabla 37 Dosificación para cilindros HS-210 (0.5% de fibra).....	68
Tabla 38 Dosificación para cilindros HS-210 (1% de fibra).....	68
Tabla 39 Dosificación para cilindros HS-240 (0.5% de fibra).....	69
Tabla 40 Dosificación para cilindros HS-240 (1% de fibra).....	69
Tabla 41 Densidad en cilindros sin fibra	69
Tabla 42 Densidad en cilindros con fibra - tratamiento con NaOH	70
Tabla 43 Densidad en cilindros con fibra - tratamiento con humo de sílice	70
Tabla 44 Resistencia a la compresión en cilindros sin fibra.....	72
Tabla 45 Resistencia a la compresión en cilindros con fibra - tratamiento con NaOH	72
Tabla 46 Resistencia a la compresión en cilindros con fibra - tratamiento con humo de sílice	73
Tabla 47 Módulos de elasticidad para 56 días de curado	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de Fibras Naturales	22
Figura 2. Sección transversal del fruto de cocotero.....	24
Figura 3. Separación de las fibras	26
Figura 4. Desfibradora de coco	26
Figura 5. Cantera Pifo-HOLCIM	29
Figura 6. Agregado grueso en	30
Figura 7. Cemento Holcim Fuerte Tipo GU	41
Figura 8. Determinación de la densidad real del cemento.....	42
Figura 9. Vía de acceso a Cojimíes.....	45
Figura 10. Aspecto inicial de la estopa de coco.....	45
Figura 11. Estopas de coco en remojo	46
Figura 12. Sosa cáustica y fibras después de la mercerización	47
Figura 13. Humo de sílice y goma arábica en presentación en polvo	48
Figura 14. Fibras con el tratamiento de humo de sílice	49
Figura 15. Cilindros de hormigón.....	50
Figura 16. Compresómetro.....	53
Figura 17. Reducción de emisiones de CO ₂ por empleo de fibras de coco	63
Figura 18. Elongación de muestras de fibra	64
Figura 19. Densidad lineal de muestras de fibra	65
Figura 20. Fuerza de rotura de muestras de fibra	65
Figura 21. Tenacidad de muestras de fibra	66
Figura 22. Densidad en cilindros con resistencia esperada de 210 kgf/cm ²	71
Figura 23. Densidad en cilindros con resistencia esperada de 210 kgf/cm ²	71
Figura 24. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 210 kgf/cm ² , tipo SC.....	74
Figura 25. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 240 kgf/cm ² , tipo SC.....	74
Figura 26. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 210 kgf/cm ² , tipo HS	75

Figura 27. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 240 kgf/cm ² , tipo HS.....	76
Figura 28. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 210 kgf/cm ² (volumen de fibras del 0.5%)	77
Figura 29. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 210 kgf/cm ² (volumen de fibras del 1%)	77
Figura 30. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 240 kgf/cm ² (volumen de fibras del 0.5%)	78
Figura 31. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 240 kgf/cm ² (volumen de fibras del 1%)	79
Figura 32. Módulo de elasticidad para resistencias de diseño de 210 kgf/cm ² ...	80
Figura 33. Módulo de elasticidad para resistencias de diseño de 240 kgf/cm ² ...	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1 ENSAYOS EN AGREGADO GRUESO	93
ANEXO N° 2 ENSAYOS EN AGREGADO FINO	97
ANEXO N° 3 ENSAYOS EN CEMENTO	102
ANEXO N° 4 DOSIFICACIÓN PRELIMINAR.....	105
ANEXO N° 5 ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS SIN FIBRAS	108
ANEXO N° 6 ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS SC.....	112
ANEXO N° 7 ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS HS	119
ANEXO N° 8 VALORES ESFUERZO - DEFORMACIÓN.....	126
ANEXO N° 9 ENSAYOS EN FIBRAS	132

RESUMEN

En este trabajo de titulación se pretende estudiar el comportamiento físico y mecánico del hormigón con la adición de 0.5% y 1% de fibra de coco, la cual ha sido sometida a dos tratamientos químicos con el objetivo de reducir su degradación. Se siguieron los procedimientos enunciados en las normas de la American Society for Testing of Materials (ASTM), del American Concrete Institute (ACI) y del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Las fibras de coco fueron extraídas desde la materia prima y cortadas en longitudes de 4 cm. Posteriormente, las fibras fueron sometidas a dos tratamientos químicos. El primero se trataba de inmersión en solución de NaOH al 4%, y el segundo tratamiento en recubrimiento con goma arábiga y humo de sílice. Paralelamente, se tomaron 50 muestras de fibras tanto en estado natural como post – tratamiento, las cuales se sometieron a pruebas en el Centro Textil Politécnico de la EPN.

Se preparó la dosificación para resistencias de diseño de 210 y 240 kg/cm², de manera que los porcentajes de 0.5% y 1% de volumen de fibra de coco, para los dos tratamientos escogidos, reemplazaron el volumen respectivo de agregado grueso. Se elaboraron cilindros sin fibra y con las fibras post – tratamiento en las instalaciones del Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica de la PUCE, con los cuales realizaron los ensayos de compresión y módulo de elasticidad.

Los cilindros con adición del 1% de fibras tuvieron el mejor comportamiento para resistencias de diseño de 210 kg/cm², incluyendo los cilindros sin fibras. Aquellos con adición del 0.5% de fibras presentaron mejor desempeño para la dosificación de 240 kg/cm², aunque inferior a los cilindros sin fibras. En todos los casos los cilindros con fibras tratadas en NaOH superaron en prestaciones a su contraparte con fibras tratadas en goma arábiga y humo de sílice.

ABSTRACT

The purpose of this qualification work is to study the physical and mechanical behavior of concrete with the addition of 0.5% and 1% coconut fiber, which has been subjected to two chemical treatments in order to reduce its degradation. The procedures set forth in the standards of the American Society for Testing of Materials (ASTM), the American Concrete Institute (ACI) and the Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) were followed.

The coconut fibers were extracted from the raw material and cut into 4 cm lengths. Subsequently, the fibers were subjected to two chemical treatments. The first was immersion in 4% NaOH solution, and the second treatment was coating with arabic gum and silica fume. At the same time, 50 samples of fibers were taken both in their natural state and post-treatment, which were tested at the EPN Polytechnic Textile Center.

The dosage was prepared for design strengths of 210 and 240 kg/cm², so that the percentages of 0.5% and 1% volume of coconut fiber, for the two treatments chosen, replaced the respective volume of coarse aggregate. Cylinders without fiber and with the post-treatment fibers were prepared in the facilities of the Laboratory of Strength of Materials, Soil Mechanics, Pavements and Geotechnics of PUCE, with which the compression and modulus of elasticity tests were carried out.

The cylinders with 1% addition of fibers had the best performance for design strengths of 210 kg/cm², including the cylinders without fibers. Those with 0.5% addition of fibers presented better performance for the 240 kg/cm² dosage, although lower than the cylinders without fibers. In all cases, the cylinders with NaOH-treated fibers outperformed their counterparts with fibers treated with gum arabic and silica fume.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Las fibras naturales llevan siendo objeto de estudio en su aplicación para la fabricación de hormigones compuestos durante décadas. Majid Ali, en su artículo del 2012 “NATURAL FIBRES AS CONSTRUCTION MATERIALS”, hace una recopilación de las características físicas, químicas y mecánicas de diferentes fibras que han sido usadas en la composición de hormigones y morteros como son el coco, sisal, yute, cáñamo, linaza, abacá, y varias más.

Waqas Ahmad y otros, en su artículo del 2020 “EFFECT OF COCONUT FIBER LENGTH AND CONTENT ON PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE”, experimentan en el uso de diferente proporción en volumen de fibras (0.5%, 1%, 1.5% y 2%) y en diferentes longitudes de las mismas (25, 50 y 75 mm), para medir cuál es la influencia de estas variables de la fibra el coco en características del hormigón tales como el asentamiento, el módulo de elasticidad, la resistencia a compresión y flexión, entre otras, en muestras cilíndricas y en viguetas a escala de laboratorio. En este caso las fibras no fueron sometidas a un tratamiento para prevenir la degradación. Se obtuvieron resultados óptimos con una proporción del 1.5% de fibras y 50 mm de longitud.

Joana Mendez Ferraz y otros, en su artículo del 2011 “EFFECTS OF TREATMENT OF COIR FIBER AND CEMENT/FIBER RATIO ON PROPERTIES OF CEMENT-BONDED COMPOSITES”, examinan cuál es la incidencia del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de paneles de fibra de coco unidos por cemento. En este trabajo sometieron a las fibras de coco a dos tratamientos: cloruro de calcio e hidróxido de sodio. Encontraron que las mejores características eran atribuibles a los paneles elaborados con fibras tratadas con cloruro de calcio.

La información sobre estudios experimentales enfocados en comparar las prestaciones físicas y mecánicas de hormigón reforzado con fibras sometidas a diferentes tratamientos es escasa; sin embargo, el trabajo anterior permite evidenciar que las diferencias que produce el tratamiento químico en el producto final son relevantes y por tanto deben tenerse en consideración.

Óscar Caizaguano y Gabriela Terán, en su tesis de grado del 2020 “CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE Y LA ESTOPA DE COCO”, experimentaron con el uso de la fibra de palma africana y la estopa de coco, empleando proporciones del 2 y 4% de fibras en volumen; dichas fibras habían sido sometidas previamente a un tratamiento con carbonato de calcio para reducir su degradación. Obtuvieron que los mejores resultados se lograban con las fibras de coco, en proporción del 2%.

Marjorie Freire, en su tesis de grado del 2019 “INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO, TAMAÑO Y DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE ABACÁ EN EL MORTERO”, encontró que el tratamiento con látex natural y humo de sílice proporcionaba mejores resultados de resistencia a flexo tracción y compresión de morteros en comparación con el tratamiento con hidróxido de sodio y la hornificación. En aquel trabajo se usó un 0.2% de fibra en volumen con respecto al total de la mezcla durante la comparativa entre los tres tratamientos.

Karla Vázquez, en su artículo del 2016 “ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA EN LA DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA CONTENIDA Y LAS EMISIONES DE CO₂ EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO; CASO DE ESTUDIO: PLANTA PREMEZCLADORA DE LA CIUDAD DE CUENCA”, hace una estimación de la energía contenida y de las emisiones de CO₂ ligadas a la elaboración de hormigón, realizando un Inventario de Ciclo de Vida de las entradas y salidas de los procesos involucrados. Este trabajo usa como unidad de medida un metro cúbico de hormigón.

1.2. JUSTIFICACIÓN

1.2.1. TEÓRICA

A lo largo de la historia, las fibras han sido empleadas para potenciar los materiales constructivos. Por este motivo en los últimos años el empleo de fibras naturales en concretos y morteros han comenzado a ser estudiados por científicos. Una de las ventajas de esta materia prima de procedencia natural es que son de fácil disponibilidad para economías en vías de desarrollo (Juárez et al., 2004). Actualmente el sector de la construcción está orientado a la introducción de materiales alternativos, de tal manera que representen una fuente renovable continua y además que posibiliten una reducción en la extracción y procesamiento de materiales tradicionales. Con todo esto no solamente se lograría reducir costos, también se podría asegurar ciertos estándares de calidad y resistencia y además generaría un impacto ambiental positivo (Osorio et al., 2007).

Esta investigación se centró en el uso de la fibra natural proveniente del coco, esta se encuentra en la envoltura dura que encierra la semilla, la cual contiene gran cantidad de fibras con longitudes de entre 15 a 35 centímetros, por este motivo el coco tiene el potencial de volverse una fuente viable de materiales fibrosos (Quintero y González, 2006). Esta capa dura está compuesta principalmente de lignina, taninos, celulosa, pectina junto con otros compuestos solubles en agua (Agopyan, 1988). Cabe recalcar que para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales previo a la incorporación en la mezcla de hormigón es importante someterlas a tratamientos químicos (Patazca y Tafur, 2013).

Muchas investigaciones realizadas han demostrado los buenos resultados obtenidos con la introducción de fibras naturales en el hormigón. Por ejemplo, el estudio realizado por Patazca & Tafur (2013), demostró que el concreto reforzado con fibra natural es apropiado para soportar acciones dinámicas y además que promueven un comportamiento dúctil después de producirse la fisuración, dado que las fibras generan una especie de puente que une porciones de agregado grueso, cosiendo las fisuras y de esta manera se evitan fallas frágiles. Por lo tanto, una de

las ventajas más destacadas del concreto reforzado con fibras es un incremento en la tenacidad (absorción de energía de deformación).

1.2.2. METODOLÓGICA

Para la preparación de la estopa de coco, de tal manera que se pueda asegurar su durabilidad en el tiempo, existen diferentes tratamientos químicos que buscan evitar la descomposición de las fibras y la proliferación del moho y microorganismos (Albinante et al., 2013). Para este propósito se cuenta con diferentes procedimientos de acuerdo con los reactivos utilizados y el resultado final obtenido, entre los cuales existe el tratamiento alcalino, con silicatos, con isocianatos, o acetilación (Moreno, 2012). Las fibras tratadas de esta manera deben tener especificaciones similares a las enunciadas en la norma ACI 544.1R-96 (1997).

Las probetas que fueron ensayadas a compresión se conformaron como una mezcla de fibras y hormigón, se hicieron en porcentajes recomendados en revisiones bibliográficas (del 0.5 y 1% en volumen), sustituyendo en esta medida al agregado grueso. Existen experiencias previas con otras proporciones de fibra y otras resistencias de diseño (Caizaguano y Terán, 2020). Esta mezcla deberá alcanzar una resistencia a la compresión de 210 y 240 kg/cm², dichas magnitudes fueron escogidas debido a que este tipo de hormigones son los que más se comercializan en el país (Orbe y Zuñiga, 2013).

1.2.2.1. Cálculo de cantidad mínima de cilindros a ensayar.

En el diseño de experimentos es necesario la determinación de tamaño de la muestra requerido mediante una determinada precisión. Si la muestra es demasiado grande puede traducirse en pérdida de dinero y tiempo, mientras que, si la muestra es demasiado pequeña, no se tendrá la fiabilidad deseada y el experimento será un fracaso (Manzano, 2002)

La fórmula para emplearse en el cálculo del tamaño de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{d^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n: Número de muestra
 Z: Nivel de seguridad o confianza, viene de la distribución normal.
 p: proporción esperada
 q: (1-p)
 d: precisión

Torres et al. (2006) indican que, para adoptar un **nivel de confianza** es importante tener en cuenta que, en un escenario donde el investigador posee una cantidad limitada de recursos, al permitir menores niveles de seguridad se estará introduciendo un mayor error, y por tanto una menor confiabilidad en los resultados obtenidos dentro de la investigación llevada a cabo.

En esta estimación se adoptó un nivel de seguridad del **90%**, con este valor se obtuvo un coeficiente **Z α** de la distribución normal de **1.645**, un valor de un valor de **precisión** asumido preliminarmente como igual al **20%**. Para la **proporción esperada** se asumió un **10%**, en el caso de que no se tenga una idea de la proporción esperada se debe utilizar la proporción en 50% pero esto maximizaría el tamaño de la muestra (Fuentelsaz, 2004).

$$n = \frac{1.645^2 * 0.1 * 0.9}{0.20^2}$$

$$n = 6.08 \approx 7 \text{ muestras}$$

Este número de muestras debe ser para cada tipología, dadas según el tiempo de curado de los cilindros (14, 28 y 56 días) a la cantidad de fibras (sin fibras, 0.5% y 1%) y en el caso de contar con fibras, al tipo de tratamiento (tratamiento 1 o tratamiento 2).

1.2.2.2. Determinación del CO₂

Al incinerar materia orgánica, se produce la emisión de CO₂ a la atmósfera, lo cual contribuye al aumento de gases de efecto invernadero; la cantidad de CO₂ se puede cuantificar mediante la composición molecular de la cáscara del coco (Vilela, 2020).

La huella de carbono del hormigón empleado para edificaciones se calcula considerando las distintas etapas del ciclo de vida de sus componentes, dentro de los cuales se encuentra la extracción de materias primas, procesamiento, transporte y puesta en obra (Vázquez, 2016).

1.2.3. PRÁCTICA

La estopa de coco se genera en grandes cantidades en las provincias costeras del país, por lo que el impacto ambiental producto de la incineración es significativo (Vilela, 2020). Las fibras extraídas de la estopa de coco son susceptibles a ser valorizadas, dado que su disponibilidad es amplia, son de bajo costo y además posibilita la sustitución de fibras artificiales por fibras naturales, así promoviendo el desarrollo de materiales para la construcción ecológicos y sustentables, con el propósito de reducir el daño ambiental que representa este sector económico (Vela et al., 2016).

El uso de fibras en el hormigón se ha reportado como beneficioso en el comportamiento mecánico de los elementos estructurales, especialmente en elementos sometidos a flexión. Las fibras orgánicas, después de ser preparadas mediante un proceso químico, han demostrado ser adecuadas para su aplicación en la dosificación de hormigones, manteniendo su integridad con el tiempo (Quintero y González, 2006).

El rescate de materiales orgánicos como la estopa de coco de su incineración, constituye una manera de secuestrar el CO₂ que de otra manera terminaría emitiéndose a la atmósfera, y también de prevenir la contaminación de las fuentes de agua por cenizas o alquitranes resultantes (Vilela, 2020). Al secuestrar de este modo el CO₂, se tiene como beneficio indirecto la reducción de la huella de carbono de las edificaciones donde este subproducto se emplee, ya que se compensa una parte de las emisiones propias del proceso constructivo (Vázquez, 2016).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la factibilidad del uso de fibra de coco en la dosificación de hormigón mediante la evaluación de su resistencia a la compresión en laboratorio, usando dos tratamientos químicos para evitar su degradación y a la vez comparar la huella de carbono dentro del proceso constructivo de una edificación con la de la incineración de este residuo cocotero, para de esta manera determinar el beneficio ambiental que se obtendría a partir de su implementación.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer cuál es la mejor dosificación de hormigón al comparar los resultados del ensayo a compresión reportada al añadir un porcentaje de fibra natural proveniente de la estopa de coco como reemplazo de una parte del agregado grueso, y con los distintos tratamientos químicos empleados en la preparación de dichas fibras.
- Investigar dos tratamientos químicos que permitan evitar la degradación de las fibras de estopa de coco.
- Calcular el CO₂/ton que se salvaría al evitar la incineración de este residuo y compararlo con el CO₂eq/ton generado por las estructuras.
- Determinar los beneficios ambientales mediante la cuantificación de la huella de carbono.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

La demanda mundial del coco está marcada por una amplia diversidad de productos y subproductos que se pueden extraer del cultivo del coco. En el Ecuador, Los cultivos cocoteros se encuentran ubicados en su mayoría en las zonas planas de la región Costa. El 85% del total cultivado se encuentra sobre todo en las provincias de Manabí, Esmeraldas, Guayas, Santa Elena y Santo Domingo de los Tsáchilas (Dueñas y Macías, 2018). Por ello, la gestión de los residuos provenientes de la agroindustria cocotera se ha convertido en un desafío para productores, entes públicos y las comunidades aledañas a lugares de procesamiento y producción de derivados del coco. Los desechos de esta industria como la estopa de coco generan un impacto negativo en el ecosistema, dado que la gestión tradicional que se da a estos residuos consiste en la incineración y vertido sobre el suelo (Vilela, 2020). La cantidad de residuos que produce esta industria es significativa, teniendo un mayor impacto en zonas protegidas de las provincias costeras del Ecuador (Villegas y Vélez, 2007).

En este estudio se pretende incorporar a la estopa de coco como un componente en la elaboración de hormigón. Lo cual representaría un aprovechamiento de esta fibra vegetal, produciendo impactos positivos en términos ambientales, sin incurrir en una afectación negativa en las propiedades mecánicas y físicas del hormigón resultante de este proceso (Ramón, 2017). Además, otra ventaja es aumentar la sostenibilidad de las edificaciones en las que se usará esta técnica, dado que se prevendría la emisión de CO₂ a la atmósfera por la incineración de este residuo y por tanto se reduce la huella de carbono global del proceso constructivo (Vilela, 2020).

Los parámetros físicos que caracterizan una fibra para su uso en hormigones son su longitud, diámetro y esbeltez.

De acuerdo con estudios previos, se ha logrado caracterizar el uso de diferentes fibras naturales, donde se ha determinado las proporciones y longitudes adecuadas que permitan alcanzar una adecuada resistencia de diseño (Quintero y González, 2006). La estopa de coco, al ser un material orgánico es vulnerable a experimentar un proceso de descomposición, para lo cual resulta necesario utilizar tratamientos químicos de tal manera que mejore su desempeño en la mezcla de hormigón (Puerta et al., 2012).

2.2. EL HORMIGÓN EN LA HISTORIA

Desde los orígenes de la civilización se elaboraron aglomerantes provenientes de distintos materiales encontrados en la naturaleza. El pariente más antiguo del hormigón que se puede encontrar en la antigüedad es el *opus caementicium* u hormigón romano. Este material se elaboraba con tierra volcánica de las faldas del Vesubio, junto con arena, piedras y cal, que producía una mezcla que podía endurecer incluso bajo el agua. Fue usado extensivamente en la construcción de edificios y monumentos de la Antigua Roma, y prueba de su gran idoneidad es el estado de dichas construcciones que se mantienen en excelentes condiciones hasta nuestros días, como es el caso del Panteón de Agripa (Romea, 2014).

Con el ocaso del Imperio Romano, el hormigón antes descrito cayó en desuso. No fue hasta la Edad Moderna, donde el ingeniero inglés John Smeaton recreara las técnicas romanas de elaboración de hormigón durante la construcción del faro de Eddystone (Inglaterra), el cual fue terminado en 1759. Posteriormente, el científico francés Louis Vicat sistematizó la elaboración de la cal hidráulica, la cual obtenía mediante la cocción de mezclas de cal apagada y arcilla (Romea, 2014).

El albañil inglés Joseph Aspdin patentó un tipo de cemento, conocido posteriormente como cemento Portland, en el año de 1824. Este se trataba de una mezcla de clinker molido obtenido por calcinación de entre 1350-1450 °C de una mezcla de 80% de materiales calcáreos y 20% de materiales arcillosos, al que se le agrega una cantidad determinada de yeso. Este tipo de cemento guarda grandes semejanzas con el cemento fabricado en la actualidad. Años más tarde, se descubrió que la colocación de acero en el hormigón podía producir un material resistente a la tracción y a la compresión, este comportamiento fue por primera vez

explicado por el jardinero e inventor francés Joseph Monier en 1849. A aquel descubrimiento le siguen varios años de perfeccionamiento que desembocan en la popularización y masificación del material durante el resto del siglo XIX e inicios del siglo XX, siendo el período de entreguerras en Europa una etapa de gran auge dado su empleo a gran escala en la construcción de infraestructuras civiles y militares (Romea, 2014).

En el Ecuador, se constituye la primera fábrica de cemento por parte de la empresa Industrias y Construcciones Compañía Limitada en el año 1922; esta fábrica se encontraba ubicada en las afueras de la ciudad de Guayaquil. Poco a poco, el hormigón fue suplantando el uso de materiales tradicionales, primero en la ciudad de Guayaquil y luego al resto del país, hasta el día de hoy que constituye el material más común entre aquellos empleados en la construcción (HOLCIM, 2014).

2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HORMIGÓN

El hormigón es el producto proveniente de la combinación de un aglomerante, partículas o fragmentos de un agregado y agua, que dan producto a una roca artificial que posee cualidades idóneas para el desarrollo de infraestructuras en el campo de la construcción. El hormigón, básicamente está constituido por agua, cemento, agregados fino (arena) y agregado grueso (ripió), que además puede contar con la incorporación de aditivos que cumplen funciones específicas de acuerdo con la calidad, trabajabilidad, consistencia, resistencia y durabilidad necesitada (Caizaguano y Terán, 2020).

2.3.1. COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

2.3.1.1. Agregados

Los agregados son elementos inertes y granulares, como son la arena y la piedra natural, que una vez se mezcla con un medio cementante forma una masa compacta conocida como concreto.

Las propiedades de los agregados tienen una gran influencia en la calidad del hormigón, principalmente en la consistencia y el comportamiento mecánico tales como el endurecido del mismo (Jácome, 2015). Los agregados se clasifican en:

- **Agregado grueso:** Todo material con un tamaño mayor a 4.75 mm, provienen de la extracción de rocas de cantera, procesados o triturados, canto rodado o piedra bola (Luna, 2014). Debido a que ocupan mayor volumen en comparación con los otros ingredientes del hormigón y debido a que influyen significativamente en la resistencia, los agregados gruesos deben ser seleccionados cuidadosamente (Jácome, 2015).
- **Agregado fino:** Generalmente son materiales con un tamaño de partículas en su mayor parte menores que 4.75 mm y que consisten en arena natural o piedras trituradas. Es indispensable que este material no contenga materia orgánica, arcilla o cualquier impureza que alteren las propiedades del hormigón (Conrado y Rojas, 2012).

La calidad del agregado está en función de su origen, granulometría, densidad, formas, tamaño y textura, por lo que enfatizar en todos estos parámetros es muy importante para obtener un hormigón de calidad, económico y trabajable (Andrade y Sono, 2014).

Los ensayos de caracterización de agregados finos y gruesos se los realiza en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 151 (2005), *Áridos para hormigón. Requisitos*, o la ASTM C 33 *Standard Specification for Concrete Aggregates*:

- Análisis Granulométrico
- Densidad relativa y absorción
- Densidad aparente suelta y compactada
- Abrasión (grueso)
- Contenido orgánico en arena
- Porcentaje de partículas en suspensión (fino)
- Tamiz #200
- Terrones de arcilla

2.3.1.2. Cementos

El cemento es uno de los factores responsables de la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del hormigón, siendo el cemento hidráulico el más utilizado debido a razones económicas o técnicas. Se deben considerar factores que alteren la calidad

del cemento como la edad, las condiciones ambientales y el tipo de almacenamiento.

El cemento portland, siendo un tipo de cemento hidráulico, se compone principalmente de minerales cristalinos artificiales, de los cuales los silicatos cálcicos y de aluminio son el 90%, mismos que al fraguarse producen nuevos compuestos que dan características de piedra a la masa endurecida (Rengifo y Yupangui, 2013).

De acuerdo con la norma NTE INEN 151 (2005) se tienen los siguientes tipos de cementos Portland:

- **TIPO I:** Uso general, no cuenta con propiedades específicas.
- **TIPO II:** Moderada resistencia a sulfatos además de emitir moderado calor de hidratación.
- **TIPO III:** Presenta a los 3 días (edades cortas) altas resistencias.
- **TIPO IV:** Emite cantidades bajas de calor de hidratación.
- **TIPO V:** Se emplea en cementos donde se requieren elevadas resistencias ante sulfatos.

La norma ASTM C595 (2012) especifica los cementos mezclados o adicionados y su variación en composición de acuerdo con el uso en obra:

- **Tipo IS:** Cemento Portland que posee entre el 25% y el 70% en peso de escoria de alto horno.
- **Tipo IP y Tipo P:** Cemento Portland puzolánico, posee como componentes entre el 15% y el 40% de puzolana.
- **Tipo I (PM):** Cemento Portland puzolánico modificado, que cuenta con menos del 15% de escoria en su composición.
- **Tipo S:** Cemento elaborado con escoria.
- **Tipo I(SM):** Cemento Portland modificado con escoria añadida, formando esta última parte de menos del 25% de su peso.

De acuerdo con la norma ACI 544, se recomienda, para el uso con fibras naturales, el cemento Tipo I (ACI 544.1R-96, 1997).

Entra las principales funciones del cemento mezclado con el agua (pasta cementante) se tiene (Luna, 2014):

- Rellenar los vacíos entre agregados.
- Brindar trabajabilidad a la masa de hormigón fresco, actúa como elemento lubricante.
- Cubrir a todas las partículas de la mezcla con una capa que actúa como fuente de contacto y enlace.

2.3.1.3. Agua

El agua a utilizar en la mezcla de hormigón debe ser potable y carecer de sustancias que interfieran en la hidratación del cemento. El agua además no debe contener sustancias perjudiciales como pueden ser aceites, compuestos ácidos, álcalis, sales o materia orgánica (Jácome, 2015).

El agua deberá cumplir con lo expuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

2.3.1.4. Aditivos

Los aditivos son componentes adicionales que se usan para potenciar las cualidades del hormigón y que son generalmente disueltos en agua o vertidos directamente antes o durante el mezclado de este (Caizaguano y Terán, 2020, p. 12).

Alguna de las ventajas de utilizar aditivos en el hormigón es (Rengifo y Yupangui, 2013):

- Aumento de la resistencia.
- Incremento de la trabajabilidad.
- Economía en el producto final.

2.3.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

La estimación de la dosificación del hormigón pretende determinar las fracciones de los componentes que actúan en el hormigón para obtener los valores de

trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía requeridos previamente (Luna, 2014).

El método aplicado para la dosificación de hormigón es el expuesto por el Instituto Americano del Concreto en la norma ACI 211.1-91 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (1991). Este método empírico se basa en el esfuerzo a la resistencia a la compresión y se sustenta de tablas que relacionan los materiales que componen el hormigón (Luna, 2014). Los pasos a seguir son los siguientes:

2.3.2.1. Recopilación de información base de agregados fino y grueso, y cemento.

Se toman como base los valores obtenidos en los ensayos impuestos a los agregados y el cemento.

a) Agregado grueso (ripió) y fino (arena)

- Densidad suelta y compactada
- Densidad real en estado superficie saturada seca.
- Porcentaje de absorción
- Módulo de finura
- Tamaño Nominal Máximo (grueso)
- Contenido de humedad natural

b) Cemento

- Tipo de cemento
- Densidad real

2.3.2.2. Determinación de la resistencia requerida o f'_{cr}

Debido a que no se cuenta con un historial de ensayos y resultados con el conjunto de materiales utilizados, se utiliza un esfuerzo a la resistencia a la compresión requerida (f'_{cr}), este valor es superior al de la resistencia a compresión (f'_c) y se determina de la siguiente manera:

Tabla 1

Resistencia requerida promedio a la compresión al no disponer de información que proporcione una medida de la desviación estándar

Resistencia a compresión f_c (MPa)	Resistencia a compresión requerida f_{cr} (MPa)
$f_c < 21$	$f_{cr} = f_c + 7.0$
$21 \leq f_c \leq 35$	$f_{cr} = f_c + 8.3$
$f_c \geq 35$	$f_{cr} = 1.1 f_c + 5.0$

Fuente: (ACI 318S-08, 2008)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

2.3.2.3. Selección del asentamiento

La selección del asentamiento provee la trabajabilidad del hormigón fresco y depende de la construcción en la que se empleará el hormigón diseñado:

Tabla 2

Asentamiento recomendados en diferentes clases de construcción

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción		
Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Fundaciones: paredes y zapatas reforzadas	12.7	5
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	10	2.5
Losas, Vigas y paredes reforzadas	15	7.6
Columnas de edificaciones	15	7.6
Pavimentos y veredas	7.6	5
Construcción	7.6	2.5

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

2.3.2.4. Selección de Tamaño Máximo Nominal

El establecimiento del tamaño máximo nominal está en función de las dimensiones del elemento o el espaciamiento libre del refuerzo de acero. Se toma como base el análisis granulométrico del agregado grueso para determinar este parámetro.

Tabla 3*Tamaño máximo de agregado sugerido en función del tipo de obra*

Tamaño máximo de agregado recomendado para varias obras				
Dimensión mínima de la sección , cm (pulg)	Tipos de construcción			
	Paredes, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo
6.4 a 12.7 (2.5 a 5)	12.7 a 1.9 (1/2 a 3/4)	1.9 (3/4)	1.9 a 2.5 (3/4 a 1)	1.9 a 3.8 (3/4 a 1/12)
15.2 a 28 (6 a 11)	1.9 a 3.8 (3/4 a 1 1/2)	3.8 (1/1/2)	3.8	3.8 a 7.6 (1 1/2 a 3)
30.5 a 73.7 (12 a 29)	3.8 a 7.6 (1 1/2 a 3)	7.6 (3)	3.8 a 7.6 (1 1/2 a 3)	7.6 (3)
76.2 o más (30 o más)	3.8 a 7.6 (1 1/2 a 3)	15.2 (6)	3.8 a 7.6 (1 1/2 a 3)	7.6 a 15.2 (3 a 6)

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez**2.3.2.5. Selección de Cantidad de agua**

La cantidad de agua en un metro cúbico de hormigón, está condicionada por el agregado establecido en la Tabla 3 y del asentamiento para el diseño seleccionado. Debido a que el método de dosificación del ACI es de tipo empírico, si los materiales requieren mayor cantidad de agua que lo que indica la Tabla 4 significa que tienen una forma o gradación más desfavorable. En caso de aumentar agua se debe aumentar a la vez el cemento para no alterar la relación agua/cemento; en caso de agregados que requieran menos cantidad de agua, no es recomendable disminuir cemento de la dosificación.

Otro parámetro a identificar es el porcentaje de aire en la mezcla, dado que impacta de forma directa en la cohesión y manejabilidad del hormigón mezclado (Caizaguano y Terán, 2020).

Tabla 4*Cantidad de agua de mezclado por m³*

Cantidad de agua de mezclado, litros /m³ de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos								
Tamaño máximo del agregado grueso								
Asentamiento, cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 1/2)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón sin inclusión de aire								
2.5 a 5.1 (1 a 2)	208	198	183	178	163	153	144	124
7.6 a 10.2 (3 a 4)	228	218	203	193	178	168	158	139
15.2 a 17.8 (6 a 7)	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Cantidad de agua de mezclado, litros /m³ de hormigón, requerida en función del tamaño máximo del agregado utilizado en la obra, para diferentes asentamientos								
Tamaño máximo del agregado grueso								
Asentamiento, cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 1/2)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón con inclusión de aire								
2.5 a 5.1 (1 a 2)	183	178	163	153	144	134	124	109
7.6 a 10.2 (3 a 4)	203	193	178	168	158	149	139	117
15.2 a 17.8 (6 a 7)	213	203	188	178	168	158	158	129
Porcentaje de aire atrapado, %	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	4.0	3.0

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez**2.3.2.6. Fijación de la relación agua/cemento**

La relación agua/cemento que sea adoptada estará directamente ligada a la resistencia a la compresión simple alcanzada en el hormigón.

Tabla 5
Relación agua/cemento

Relación agua-cemento (a/c) recomendada, en litros/kg de cemento, para diferentes resistencias a compresión, con y sin inclusión de aire			
Relación agua cemento, (a/c) (litros/kg de cemento)	Litro de agua por cada saco de 50 kg de cemento	Resistencia a la compresión probable a los 28 días (kg/cm ²)	
		Hormigón sin inclusión de aire	Hormigón con inclusión de aire
0.265	15	425	325
0.353	19	350	280
0.445	22.5	280	210
0.53	26.5	210	180
0.623	30	180	140
0.705	34	140	110

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Estas resistencias a la compresión son las esperadas para hormigones con un máximo de 8% de aire atrapado, como se muestra en la Tabla 5.

2.3.2.7. Estimación de la cantidad de agregado grueso

La cantidad de agregado es el valor de un volumen aparente de agregado grueso (ripió) compactado, que además está seco al ambiente por unidad de volumen.

Tabla 6
Volumen aparente del agregado grueso por unidad de volumen

Volumen aparente de agregado grueso, en m ³ , por unidad de volumen de hormigón									
Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen, en m ³ , de agregado grueso seco y compactado por m ³ de hormigón								
	Módulo de finura del agregado grueso								
cm	pulg	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
1	3/8	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
1.25	1/2	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
1.9	3/4	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
2.54	1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
3.87	1 1/2	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
5.08	2	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
7.62	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
15.24	6	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

Fuente: (ACI 211.1-91, 1991)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

2.3.2.8. Factor Cemento y Volumen Real de Cemento

El factor cemento (tomado como kg/m³ al asumir la densidad del agua como 1 kg/lt) se calcula mediante:

$$Factor\ Cemento = \frac{Litros\ de\ agua\ por\ m^3}{a/c} \quad \text{Ec. 2}$$

Una vez determinado el factor cemento, se calcula el volumen real de cemento (m³/m³):

$$Vol.\ Real\ Cemento = \frac{Factor\ Cemento}{Densidad\ Real\ Cemento} \quad \text{Ec. 3}$$

2.3.2.9. Volumen Real de Ripio y Arena

Tomando los datos de volumen aparente de agregado grueso, densidad compactada y densidad en S.S.S., se calcula el volumen real de ripio (m³):

$$Vol.\ Real\ Ripio = Vol.\ Aparente * \frac{Densidad\ Compactada}{Densidad\ S.S.S.} \quad \text{Ec. 4}$$

Para la estimación de la cantidad en volumen de agregado fino se considera un metro cúbico de hormigón:

$$Vol\ Arena = 1m^3 - Vol\ Agua - Vol\ Cemento - Vol\ Ripio - Vol\ Aire \quad \text{Ec. 5}$$

Para la cantidad en peso de cada material se multiplican los volúmenes por los valores de las densidades (Densidad real del cemento y para los agregados densidad S.S.S.)

$$Cantidad\ en\ Peso = V\ Conocido * Densidad \quad \text{Ec. 6}$$

Debido a que el hormigón al momento de su elaboración no se encuentra en condición de Superficie Saturada Seca, se debe realizar una corrección por humedad de los agregados.

2.3.2.10. Corrección por humedad existente en los agregados.

En la dosificación de hormigón, los agregados utilizados no se encuentran en estado de superficie saturada seca (S.S.S.), es decir; pueden estar secos y el agua ser absorbida para saturar los poros de los agregados, o pueden estar húmedos y el agua de los agregados puede combinarse e incrementar la disponibilidad de agua en el hormigón fresco, alterando la relación agua/cemento (Luna, 2014).

Para hacer esta corrección, debido a la humedad preexistente en los agregados, se debe considerar su contenido de humedad y el porcentaje de absorción de cada uno de ellos.

Determinación de contenido de humedad en agregados

Por medio de la siguiente ecuación se puede calcular el contenido de humedad (Luna, 2014):

$$H = \frac{M_o - M_f}{M_o} * 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

- H: Humedad expresada en %.
- Mo: Masa inicial expresada en g.
- Mf: Masa final expresada en g.

Teniendo el dato del contenido de humedad se calcula la porción de agua que se debe agregar o quitar en la mezcla:

$$\Delta_{agua} = P_{agregado} \left(\frac{100 + \%Abs}{100 + \%H} - 1 \right) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

- Δ_{agua} : Variación de agua entre estado saturado y natural.
- $P_{agregado}$: Masa del agregado obtenido de la dosificación en peso expresado en %.
- $\%Abs$: Absorción expresada en %.
- $\%H$: Humedad natural expresada en %.

2.3.3. HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES

En países en vías de desarrollo, la idea de usar fibras para incrementar la resistencia y ductilidad de materiales de construcción se ha materializado a lo largo de los siglos con el empleo de paja, cabello de caballo, etc. en bloques y otros productos. Las fibras apropiadas para su uso en refuerzo de hormigón y de fácil disponibilidad en países en vías de desarrollo, son aquellas de origen natural, como puede ser el sisal, estopa de coco, cáñamo, entre otras. La posibilidad de usar estas fibras en concreto normal, bajo la existencia de métodos simples de producción, ofrecería obviamente un material local de bajo costo para forjados y otros propósitos (Sera et al., 1990).

Hasta la actualidad, fibras como el bambú, madera como fibra celulósica, lana o virutas, tallos y fibras de frutas y semillas han sido empleadas en productos basados en cemento. Sera et al. (1990) indican algunas ventajas en el uso de fibras naturales en compuestos cementicios, tales como:

- Mejoras en la resistencia a la flexión
- Mayor capacidad de soporte de carga post-fisuración
- Aumento de la tenacidad ante impacto
- Mayores resistencias a compresión

Sin embargo, la durabilidad a largo plazo de los compuestos con fibras naturales sigue siendo un problema. Para mejorar la durabilidad, es necesario encontrar maneras de detener o ralentizar el proceso de fragilización del concreto con fibras naturales. Los mejores resultados han sido obtenidos con una reducción de la alcalinidad del agua de poro en la matriz cementicia. Esta reducción de la alcalinidad podría ser lograda reemplazando parte del cemento portland ordinario con puzolanas como el humo de sílice, cenizas volantes o ceniza de cáscara de arroz (Sera et al., 1990).

2.4. FIBRAS NATURALES

2.4.1. GENERALIDADES DE LAS FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales pueden ser categorizadas en relación con su origen: materiales lignocelulósicos, animales, o minerales.

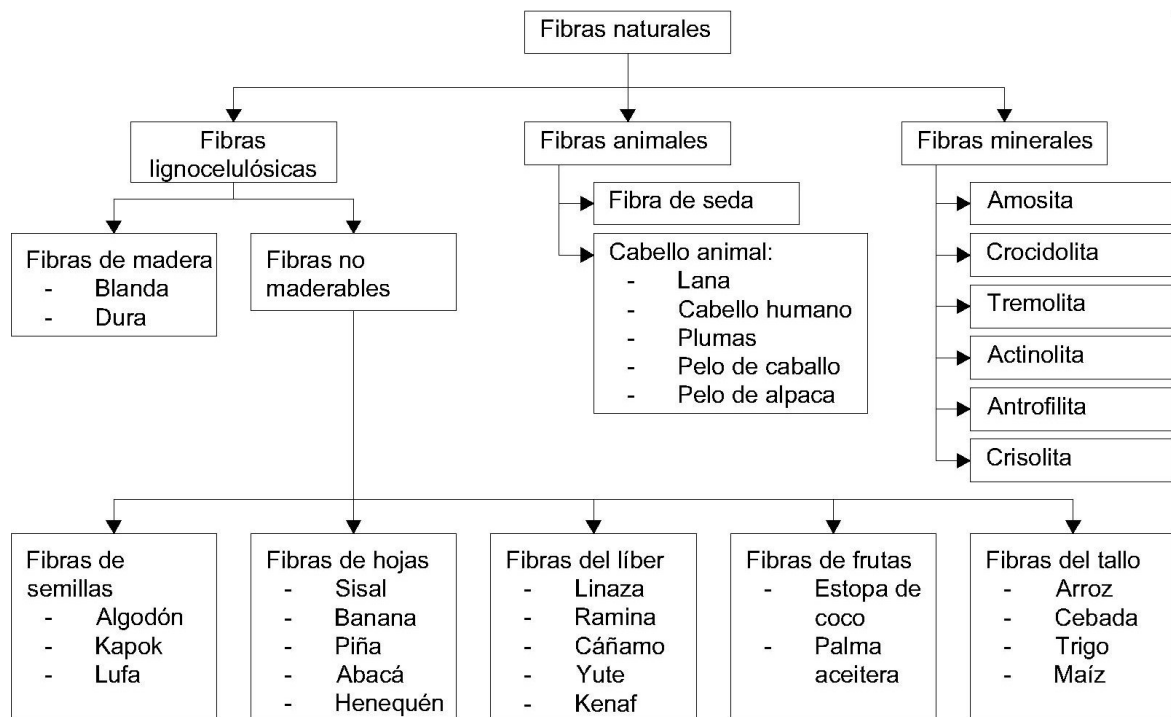


Figura 1. Clasificación de Fibras Naturales

Fuente: (Campilho, 2016)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Las fibras lignocelulósicas tienen un diámetro en el orden de los 10 μm y son, por sí mismas, un material compuesto por una pared celular primaria y tres paredes celulares secundarias. Las paredes celulares incluyen microfibrillas que están orientadas aleatoriamente. El ángulo de estas microfibrillas con respecto al eje principal de la fibra tiene un rol principal en las propiedades de la fibra, dado que ángulos más pequeños con respecto al eje dan gran resistencia, mientras que los ángulos con respecto al eje más altos proporcionan ductilidad (Campilho, 2016).

Dado que las fibras están adheridas entre sí por lignina y fijadas al núcleo por pectina (ambas más débiles que la celulosa), estos constituyentes deben ser removidos para obtener el máximo efecto de refuerzo; aun así, en ocasiones no se

emplea un proceso de remoción para la lignina, por cuestión de tiempo, obteniendo resistencias menores. La longitud de las fibras también juega un rol destacable en la resistencia del material compuesto, en especial cuando la adhesión entre fases es débil (Campilho, 2016).

Algunas de las ventajas de las fibras lignocelulósicas respecto a las fibras artificiales son una menor densidad, menos herramientas en su manipulación, no conlleva riesgos para la salud, biodegradabilidad, disponibilidad de fuentes naturales y renovables y un menor costo por unidad de volumen. Las fibras naturales además proporcionan un mayor grado de flexibilidad de diseño, dado que se doblan en vez de quebrarse durante el procesado. Sin embargo, las propiedades mecánicas varían en relación con el régimen climático impuesto durante el ciclo vegetativo de la especie, lo que complica la estandarización de los procesos. Otros inconvenientes incluyen la complicación en lograr una unión fuerte entre las fibras y la matriz cementicia, y la absorción de humedad, con consecuencias en la resistencia del material compuesto (Campilho, 2016).

2.4.2. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LAS FIBRAS NATURALES

Los materiales compuestos con fibras naturales tienen el potencial de ser más costo-efectivos que aquellos que emplean materiales sintéticos, para características estructurales similares, pudiendo ser producidas o cultivadas en granjas con condiciones controladas. Si se comparan con materiales convencionales, la huella de carbono puede ser reducida drásticamente, y esto se materializa a través de tres vías: (1) menor contaminación durante la fabricación, dado que la etapa de crecimiento de la planta es neutra en emisiones, (2) menor consumo de combustibles y emisiones de CO₂ durante el transporte al sitio de construcción (en los casos que la fibra sea local), y (3) ausencia o reducción significativa de espacio para su destino final y en consumo de energía en esta etapa, dada la biodegradabilidad del material. La reducción en emisiones de CO₂ en el procesamiento de la fibra es altamente variable, por lo que el balance ambiental del material compuesto es difícil de cuantificar (Campilho, 2016).

2.4.3. FIBRA DE ESTOPA DE COCO

El fruto del cocotero (*Cocos Nucifera*) consiste en una drupa, el cual se considera maduro a los doce meses de edad aproximadamente. En el siguiente gráfico se indica la estructura interna de un cocotero.

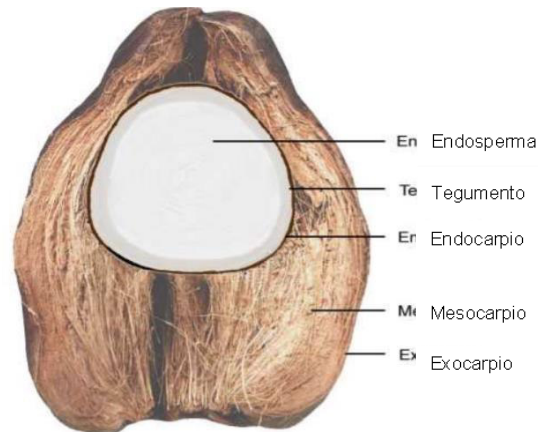


Figura 2. Sección transversal del fruto de cocotero

Fuente: (Puentes y Joya, 2005)

El mesocarpio, en conjunto con el exocarpio, constituye la parte conocida como **estopa de coco**. El exocarpio se trata de la parte externa del fruto, y son tejidos abundantes en fibra, cambiando de tonalidad a lo largo de la maduración del fruto. El mesocarpio se compone de fibras que se extienden a lo largo de la longitud del fruto y entre ellas se encuentra el parénquima. Al madurar el fruto se torna de color café, y se puede separar las fibras para su aprovechamiento, dejando atrás partículas finas (médula) que pueden usarse como sustrato (Puentes y Joya, 2005).

De acuerdo con Puentes y Joya (2005), la cáscara o estopa de coco se encuentra conformada por 30% de fibras y 70% de médula en peso del material seco. La composición química de las fibras de coco es la siguiente:

Tabla 7
Composición química de la fibra de coco

Componente	%
Elementos solubles en agua	5.25
Pectina y compuestos relacionados	3.00
Hemi-celulosa	0.25
Lignina	45.84
Celulosa	43.44
Cenizas	2.22
Total	100.00

Fuente: (Puentes y Joya, 2005)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Algunas de las ventajas de la fibra de coco frente a otras fibras naturales es su cantidad relativamente alta de lignina que le provee mayor resistencia y durabilidad, tolera bien el daño provocado por el agua salada y también resiste temperaturas de hasta 200 °C sin perder sus propiedades (Puentes y Joya, 2005).

2.4.4. FORMAS DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE FIBRA DE COCO

A partir del fruto, una vez este se encuentra completamente maduro, se debe separar la cáscara o estopa del fruto interno. Posteriormente, para poder extraer las fibras de coco se puede realizar, de acuerdo con Puentes y Joya (2005) por el procedimiento tradicional (sea manual o mecánico) o con la ayuda de biotecnología, como se enuncia a continuación:

2.4.4.1. Proceso manual tradicional

Para este procedimiento, se deben sumergir las cáscaras en agua en lugares dispuestos para ese fin, durante períodos de entre varios días o meses de acuerdo con el producto buscado. Durante la inmersión, la cáscara se ablanda y suelta la cutícula exterior y permite extraer posterior con el empleo de golpes en la estopa. Se procede a restregar, lavar, secar a la sombra y separar por medio de una criba las fibras de mayor longitud de la fibra corta y la médula, estas últimas de menor valor comercial (Puentes y Joya, 2005).



Figura 3. Separación de las fibras mediante golpeo

Fuente: (Puentes y Joya, 2005)

2.4.4.2. Proceso mecánico tradicional

Existen máquinas desfibradoras construidas o adaptadas para separar los componentes de la cáscara en seco. Este proceso, si bien permite un mayor volumen de procesamiento, resulta en una emisión de polvo y partículas que pueden llegar a ser nocivas para los operarios o para los alrededores, también es posible que las propiedades mecánicas de la fibra se vean comprometidas (Puentes y Joya, 2005).



Figura 4. Desfibradora de coco

Fuente: (Puentes y Joya, 2005)

2.4.4.3. Proceso moderno de extracción

Un nuevo método usa bacterias específicas que se inoculan al agua de inmersión de las fibras, las cuales propician la rotura del tejido de la estopa, separando las fibras de la médula. Con este método se obtiene un rendimiento de tres meses, a diferencia del método tradicional manual que requiere tiempos de remojo de 10 a 12 meses. Este método permite efluentes de mejor calidad que en el caso del método tradicional, de una excelente calidad. En India ya se emplea este método a escala comercial (Puentes y Joya, 2005).

2.5. TRATAMIENTOS QUÍMICOS APLICADOS A LAS FIBRAS NATURALES

2.5.1. TRATAMIENTOS HIDROFÓBICOS

Los tratamientos químicos, en su mayoría, tienen como principal objetivo reducir el comportamiento hidrofílico que poseen las fibras naturales, lo cual complica la interfaz fibra-matriz del material compuesto ya que las matrices suelen ser hidrofóbicas. Con los tratamientos, se logra alterar la superficie de la fibra para potenciar la adherencia entre las fases. Algunas técnicas químicas para la modificación superficial de las fibras incluyen tratamientos con cloruro de sodio, metacrilato, isocianato, silano, acetilación, mercerización, eterificación, tratamiento enzimático, tratamientos con peróxidos, benzoilación, tratamientos con plasma, ozono, e injerto superficial (A. Ali et al., 2016).

2.5.2. MERCERIZACIÓN

En este proceso (de tipo hidrofóbico), las fibras naturales son tratadas con un álcali, normalmente una solución de hidróxido de sodio, que conduce a la fibrilación y provoca la rotura de los manojos de fibras en fibras más pequeñas. A su vez, induce a las fibras a desarrollar una superficie rugosa que resulta en una mejor adherencia interfacial con la matriz y por tanto mejora las propiedades mecánicas. Otra consecuencia del tratamiento de mercerización es una mayor estabilidad térmica debido a la remoción parcial de lignina y hemicelulosa, sustancias más vulnerables a la degradación (A. Ali et al., 2016).

2.5.3. PUZOLANAS Y ADHERENTES

Este procedimiento es un enfoque diferente al de los tratamientos hidrofóbicos, dado que se pretende reducir la degradación por medio de la adición de una puzolana (por ejemplo, el humo de sílice o metacaolín) en la superficie de las fibras a emplear. Sudhakaran Pillai et al. (2010) recomiendan el uso de humo de sílice para mejorar la durabilidad de las fibras naturales dentro del concreto, dado que encontraron que este tratamiento lograba aumentar la resistencia al ataque de ácidos y cloruros en hormigones con fibras de coco y de bagazo de caña.

Para garantizar mayor unión entre el humo de sílice y la superficie de las fibras, se ha probado con el uso de distintas soluciones adherentes. Silva et al. (2017) mencionan el uso de agua destilada y látex natural, donde resaltan la combinación de humo de sílice y látex como un método alternativo válido para el tratamiento de fibras de coco dado que lograron reducir la degradación en un 42.2%, comparado con fibras sin tratamiento. El humo de sílice en contacto con el hormigón causa un efecto puzolánico, que genera silicatos y aluminatos de calcio que reducen el pH local, y aumentan la resistencia y cohesión de la mezcla. Adicionalmente, el látex reduce el transporte de iones en el agua, lo cual aumenta la reducción del transporte de cloruros, principales responsables de la degradación de las fibras (Silva et al., 2017).

Vivek y Prabalini (2020) emplearon una mezcla de metacaolín y humo de sílice en partes iguales, con una solución adherente basada en goma, como tratamiento de fibras de coco para su uso en hormigón autocompactante, con lo cual se obtuvieron resultados positivos, mejorando en un 51.8%, 44.13% y 37.5% la resistencia a tracción, compresión y flexión, respectivamente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La parte experimental del trabajo de titulación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica, ubicado en la ciudad de Quito.

3.1. AGREGADOS

Los agregados utilizados en el presente trabajo de investigación fueron provistos por la empresa HOLCIM, específicamente de su cantera de agregados localizada en el sector de Pifo, al Nororiente de Quito en la vía Baeza Papallacta Km 2 1/2. La adquisición de los agregados se lo realizó en un solo lote con el cual se logró cubrir la demanda de hormigón para los diseños patrones y las probetas finales.



Figura 5. Cantera Pifo-HOLCIM

Fuente: (HOLCIM)

El ripio adquirido se denomina Piedra 67, la cual es un producto de la trituración de rocas, posee un color gris y tiene un tamaño máximo nominal de 12.5 mm. La arena utilizada en la investigación se denomina Arena no Lavada.



Figura 6. Agregado grueso en presentación de 40 kg

Fuente: Rodríguez y Vélez

Para el muestreo de los agregados se tomará en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 695 *Áridos. Muestreo*, para garantizar así la calidad del producto y determinar si los agregados deben ser aceptados o rechazados para la conformación de mezcla.

El tamaño máximo nominal de los agregados se lo determina en el laboratorio siguiendo lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872.

3.1.1. AGREGADO GRUESO

3.1.1.1. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es realizado en baso a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696 *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se pesa la muestra hasta obtener el peso mínimo indicado en la NTE INEN 696, luego se debe secar en el horno por $24 \pm$ horas a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y pesar la muestra inicial.
- Se colocan los tamices de forma descendente, el orden es el mostrado en la Tabla 8.

Tabla 8*Orden de tamices agregado grueso*

Tamiz	Abertura (mm)
2"	50
1 1/2"	37.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
#4	4.75
#8	2.36
Bandeja	

Fuente: (Luna, 2014, pág. 75)**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez

- Se coloca toda la muestra en el tamiz superior y se lo tapa. En la tamizadora, se lo agita de 3 a 5 minutos.
- Se determina la masa retenida en los respectivos tamices.

El módulo de finura se lo determina como lo establece la Norma INEN 696: "Calcular el módulo de finura mediante la sumatoria de los porcentajes totales de material que es más grueso que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150 µm (No. 100), 300 µm (No. 50), 600 µm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8"), 19,0 mm (3/4"), 37,5 mm (1 1/2") y tamices mayores que crecen en la relación 2 a 1" (NTE INEN 696, 2014, pág. 6):

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos Acumulados de la serie de tamices}}{100} \quad \text{Ec. 9}$$

Una manera de determinar la validez del ensayo es verificando que la pérdida total de la muestra no sea mayor del 0.3% de la muestra inicial.

3.1.1.2. Densidad relativa y absorción

Se define la densidad relativa como la relación existente entre la masa y el volumen que ocupa el agregado.

Conocer la absorción y la densidad relativa en condición de superficie saturada seca (Estado S.S.S.) es sumamente importante al momento de determinar la dosificación de las mezclas. La densidad relativa (S.S.S.) se la define como el cociente de la masa con el volumen total del agregado que se encuentra completamente saturado en agua, sin considerar el agua de su superficie. La absorción se define como la capacidad del agregado para llenar sus espacios vacíos (Rengifo & Yupangui, 2013).

La determinación de estos parámetros se los realiza en base a lo descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 857 *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso*.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Con el tamaño máximo nominal, se divide la muestra hasta lograr el peso mínimo el mismo que está indicado en la Norma INEN 857, se procede a lavar hasta conseguir que el agua quede clara, y se sumerge la muestra en agua por 24 4 horas para alcanzar el estado de saturación,
- Retirar la muestra del agua y secarla para eliminar el agua de la superficie del agregado, hasta que los agregados pierdan su brillo debido a la humedad, alcanzando el estado S.S.S.
- Pesar la muestra y determinar la masa aparente del agua a 23°C 2°C.
- Secar la muestra por 24 4 horas a 110°C 5°C en el horno.
- Sacar la muestra del horno, dejar enfriarla y pesar.

Las ecuaciones para determinar los parámetros necesarios son:

$$Densidad\ Relativa = \frac{997,5 * A}{(B - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

$$Densidad\ Relativa\ S.S.S = \frac{997,5 * B}{(B - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 11}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{997,5 * A}{(A - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{A} * 100 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Muestra en estado S.S.S, en g
- C: Muestra aparente en agua, en g

3.1.1.3. Densidad aparente suelta y compactada

La densidad aparente suelta de una muestra sin que presente alguna condición de compactación, mostrará una gran cantidad de vacíos entre partículas. La densidad aparente compactada es la densidad aparente de una muestra de agregado compactada por apisonamiento en cada capa de material, cada una con igual volumen, la cantidad de vacíos entre partículas disminuyen por el varillado de cada capa (Barros & Ramírez, 2012).

La densidad aparente suelta, así mismo como la densidad compactada, se obtienen para definir el peso volumétrico del agregado en condición suelta y compactada, los mismos que se usarán para convertir los volúmenes a masa.

El procedimiento que se seguirá, son los establecidos por la Norma Técnica Ecuatoria INEN 858 *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos*. El procedimiento a desarrollar es el siguiente:

- Determinar el volumen y la masa del recipiente.
- Del volumen total del recipiente se tomará un volumen de muestra correspondiente de 4/3 a 6/3 y secar al horno por 24 ± 4 a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, sacar y dejar enfriar.

a) Densidad Suelta

- Por paladas se coloca el agregado desde una altura no mayor a los 50 mm, para evitar la compactación de la muestra.
- Con una regleta de exceso, nivelar, para que los agregados sobresalidos llenen los vacíos de la superficie.
- Pesarse el recipiente con la masa del agregado.

b) Densidad compactada

- Con una pala llenar el molde, se lo hará en 3 capas iguales y en cada capa se varillará uniformemente 25 veces.
- Con una regleta de excesos, enrasar, para llenar los vacíos por debajo del borde del molde.
- Pesarse el recipiente con la masa del agregado.

La ecuación para determinar la densidad es:

$$Densidad_{(suelta-compacta)} = \frac{M_2 - M_1}{V} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

- M_1 : Masa del recipiente vacío, en kg
- M_2 : Masa del recipiente junto a la masa del agregado, en kg
- V : volumen del recipiente, en m^3

3.1.1.4. Abrasión

Por medio del ensayo de abrasión se puede cuantificar una medida de desgaste en las superficies del agregado grueso, para realizar este procedimiento se usan unas esferas que le dan la carga abrasiva, y se las somete a revoluciones en la Máquina de los Ángeles.

Los parámetros se determinan según lo expuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 860 *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.7mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles*. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- De acuerdo con la Tabla 9, se selecciona la gradación de acuerdo con las masas retenidas, se tamiza hasta conseguir las masas necesarias, se puede lavar y secar al horno a $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ o secar al horno y retirar el polvo, para eliminar los finos de la muestra.

Tabla 9*Gradación de las muestras resultantes*

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
		Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37.5	25.0	1250 \pm 25	-	-	-
25.0	19.0	1250 \pm 25	-	-	-
19.0	12.5	1250 \pm 10	2500 \pm 10	-	-
12.5	9.5	1250 \pm 10	2500 \pm 10	2500 \pm 10	-
9.5	6.3	-	-	2500 \pm 10	-
6.3	4.8	-	-	-	-
4.8	2.4	-	-	-	5000 \pm 10
Total		5000 \pm 10	5000 \pm 10	5000 \pm 10	5000 \pm 10

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

- Con los resultados obtenidos de la gradación se selecciona la carga abrasiva de acuerdo con la Tabla 10.

Tabla 10*Especificación para la carga*

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 \pm 10
B	11	4584 \pm 25
C	8	3330 \pm 20
D	6	2500 \pm 15

Fuente: (NTE INEN 860, 2011)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

- Colocar la muestra y la carga abrasiva en la Máquina de los Ángeles.

- Hacer rotar el cilindro de la máquina de 30 a 33 rev/min, de las 500 vueltas en total que se debe dar, solo completar 100 revoluciones para obtener el coeficiente de uniformidad.
- Pesarse la muestra retenida en el tamiz #12 y volver a colocarla en la máquina.
- Nuevamente hacer rotar el cilindro de la máquina las 400 revoluciones faltantes.
- Pesarse la muestra retenida en el tamiz #12.

Las ecuaciones para calcular el porcentaje de abrasión y el coeficiente de uniformidad son:

$$\text{Abrasión (Desgaste)} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} (\%) \quad \text{Ec. 15}$$

$$CU = \frac{M_0 - M_{100}}{M_0 - M_{500}} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

- M_0 : Masa inicial, en g
- M_{100} : Masa a las 100 revoluciones, en g
- M_{500} : Masa a las 500 revoluciones, en g

3.1.1.5. Resultados de la caracterización del agregado grueso

En la tabla 11 se indican los resultados finales de los ensayos del agregado grueso.

Tabla 11
Resultados de agregado grueso

Propiedad	Unidad	Valor obtenido
Densidad (SH)	gr/cm ³	2.19
Densidad (SSS)	gr/cm ³	2.23
Densidad aparente	gr/cm ³	2.29
Densidad relativa (SH)	gr/cm ³	2.2
Densidad relativa (SSS)	gr/cm ³	2.24
Densidad relativa aparente	gr/cm ³	2.3
Absorción	%	1.99
Contenido de humedad	%	2.71
Abrasión	%	24
Tamaño nominal	cm	2.54

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.1.2. AGREGADO FINO

3.1.2.1. Análisis Granulométrico

El procedimiento a realizarse sigue los mismos pasos explicados en el literal 3.1.1.1 Análisis Granulométrico para agregados gruesos, de igual forma el cálculo del módulo de finura. En la Tabla 12, se presentan los tamices utilizados.

Tabla 12
Tamices para la granulometría del agregado fino

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

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.1.2.2. Densidad relativa y absorción

Los parámetros se determinan según lo expuesto en la Norma Técnica Ecuatoria INEN 856 *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.*

Se siguieron los pasos expuestos a continuación:

- De la muestra total, dividir para obtener un peso aproximado de 1 kg, sumergir en agua por 24 ± 4 horas para conseguir el estado de saturación.
- Verter el agua, evitando perder finos, poner la muestra en una superficie que no absorba humedad y que este expuesta a un poco de aire caliente, revolver la muestra constantemente.
- Al paso que el agua se va evaporando, determinar la presencia de humedad a través de:

En la superficie que no absorbe humedad, colocar el cono con la menor abertura hacia arriba, llenarlo con arena rebasando su límite, con un compactador dar 25 golpes desde una altura de no más de 5mm, dejándolo caer por gravedad. Limpiar el cono y sin moverlo levantarlo verticalmente. Si la arena se mantiene en la forma del cono significa que la arena aún está húmeda, si presenta un leve desbordamiento la muestra está en la condición S.S.S., y si se cae totalmente la muestra está demasiado seca.

En arenas que no se desmoronan con facilidad, para determinar la humedad colocar alrededor de 100 g de material en una superficie plana, limpia, seca, de color oscuro y que no absorba humedad. Luego de 1 a 3 segundos retirar la muestra y si existe una huella de humedad por más de 1 a 2 segundos, la muestra aún está húmeda. Si la huella desaparece en un lapso de 1 a 2 segundos se considera que la muestra está en una condición saturada superficialmente seca.

- De la muestra con condición saturada superficialmente seca colocar cerca de 500 ± 10 g, llenar con agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, cubriendo la muestra sin sobrepasar del cuello del picnómetro, y agitar manualmente.
- Sacar todo el aire posible y llenar con agua hasta alcanzar la marca de calibración en el picnómetro. Determinar la masa en conjunto.
- Retirar la muestra del picnómetro, colocar en un recipiente y secar al horno a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, sacar, dejar enfriar y pesar.
- Pesar el picnómetro vacío y con agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ lleno hasta la línea

de calibración.

Las ecuaciones para calcular la densidad correspondiente y la absorción son:

$$\text{Densidad Relativa S.S.S.} = \frac{997,5 * S}{(B + S - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \text{Ec. 17}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(S - A)}{A} * 100 \text{ (\%)} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Masa del picnómetro + agua, en g
- C: Masa del picnómetro + agregado+ agua, en g
- S: Masa de la muestra Superficie Saturada Seca (S.S.S.), en g

3.1.2.3. Densidad aparente suelta y compactada

Para estas magnitudes se siguen los mismos pasos explicados en el literal 3.1.1.3 para agregados gruesos, de igual forma el cálculo de las densidades se utiliza las mismas fórmulas. Con la diferencia de que el molde tiene menores dimensiones.

3.1.2.4. Contenido orgánico de arena

Este ensayo determina las impurezas orgánicas que afectan a la hidratación del cemento retrasando el fraguado, esta interrupción afecta tanto a la resistencia como a la durabilidad del hormigón, además que dificulta a la buena adherencia entre los agregados (Rengifo & Yupangui, 2013).

Los parámetros se determinan según lo expuesto en la Norma Técnica Ecuatoria INEN 855 Áridos. *Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.*

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Colocar la muestra de agregado fino en un recipiente de vidrio graduado hasta aproximadamente 130 cm³.
- Colocar el hidróxido de sodio (NaOH), hasta los 130 cm³ , y llenar hasta los 200 cm³.

- Tapar el recipiente, agitar repetidamente y con fuerza y dejar reposar por 24 horas.

Se usa la escala de Gardner, que tiene vidrios de color normalizado para determinar el color, como se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13

Tamices empleados en la granulometría del agregado fino

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

Fuente: (NTE INEN 860, 2011, pág. 3)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.1.2.5. Resultados de la caracterización del agregado fino

En la Tabla 14 se muestran los valores obtenidos para los distintos ensayos del agregado fino.

Tabla 14

Resultados de agregado fino

Propiedad	Unidad	Valor obtenido
Densidad (SH)	gr/cm ³	1.893
Densidad (SSS)	gr/cm ³	2.35
Densidad aparente	gr/cm ³	3.57
Densidad relativa (SH)	gr/cm ³	1.88
Densidad relativa (SSS)	gr/cm ³	2.364
Densidad relativa aparente	gr/cm ³	2.357
Absorción	%	2.07
Contenido de humedad	%	2.65
Módulo de finura	-	2.76
Contenido orgánico	Placa Gardner	#0

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.2. CEMENTO

Para la parte experimental de la presente investigación, se utilizó el cemento Hidráulico Holcim tipo GU. Este cemento cumple con la Norma INEN 2380, por lo que puede ser utilizado en todos los tipos de obras constructivas donde no se requieran propiedades especiales, además cuenta con una ecoetiqueta que proporciona una reducción de 30% de emisiones de CO₂ (HOLCIM, 2020).



Figura 7. Cemento Holcim Fuerte Tipo GU

Fuente: (HOLCIM)

Algunas de las características del cemento Holcim Fuerte tipo GU son (HOLCIM, 2020):

- Ofrece mezclas con buena trabajabilidad.
- Logra un fraguado apropiado.
- Decrementa la posibilidad de fisuración y el calor de hidratación.
- Produce reducida exudación y segregación en la mezcla.
- Logra cumplir con los estándares para la construcción de edificios.

3.2.1. DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

La densidad real del cemento cuantifica el cociente entre la masa de cemento y el volumen desplazado de un líquido dentro de un recipiente de ensayo. Se usaron como referencia los requisitos expuestos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 156 *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.*

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Asegurarse de que las condiciones ambientales sean las requeridas, temperatura a 23 °C y humedad al 65% (recomendada).
- Pesar 64 gr de cemento a condiciones ambientales.
- Se coloca el reactivo en el frasco de Le Chatelier hasta alcanzar una marca entre 0 a 1 cm³ en la parte baja del cuello. Se sumerge el frasco en agua y se toma la primera lectura tanto del volumen como del peso.
- Se coloca en capas iguales los 64 gr del cemento, se debe evitar la adherencia del cemento en las paredes, luego se coloca el tapón en el frasco.
- Se elimina las burbujas de aire, moviendo con mucho cuidado el frasco de Le Chatelier.
- Se destapa el frasco y se lo coloca en el recipiente de agua a las condiciones ambientales, de uno a dos minutos, luego se toma la lectura del volumen final y la masa final.



Figura 8. Determinación de la densidad real del cemento

Fuente: Rodríguez y Vélez

La ecuación para calcular la densidad real del cemento es la siguiente:

$$Densidad\ real = \frac{M2 - M1}{V2 - V1} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

- Densidad real, en g/cm³.

- M1: Masa del frasco y reactivo, en g.
- M2: Masa del frasco, cemento y reactivo, en g.
- V1: Lectura del volumen en el cuello inferior, en cm³.
- V2: Lectura del volumen en el cuello superior, en cm³.

3.2.2. CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

Se considera que una cantidad de cemento ha alcanzado la consistencia normal cuando todas las partículas que lo componen han logrado hidratarse. Para lograr esta condición, de manera estandarizada, se usan los pasos indicados en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 157 *Cemento Hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.*

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Preparación de la pasta

- Se extraen como muestra 500 gramos de cemento.
- Se coloca la paleta mezcladora y el recipiente limpio y seco.
- Se procede a llenar la probeta con agua, siendo esta un porcentaje del peso de cemento de entre el 20% y el 30%.
- Verter el agua, agregar el cemento y esperar que el cemento absorba el agua durante 30 segundos.
- Mezclar durante 30 segundos con una velocidad lenta de la mezcladora.
- Detener la mezcladora por 15 segundos, durante este tiempo recoger con la espátula toda la pasta adherida a la pared.
- Mezclar durante 60 segundos con una velocidad media de la mezcladora.

Ensayo de consistencia con el aparato de Vicat

Una vez preparada la pasta, la segunda parte del ensayo es la siguiente:

- Se forma rápidamente una bola y se la arroja seis veces de una mano a la otra, con una separación de alrededor de 15 cm.
- Si la pasta presenta buenas condiciones, se introduce la bola de pasta por la parte más ancha del molde tronco cónico, previamente engrasado, hasta llenarlo completamente.

- Se retira el exceso de pasta en la parte ancha y se asienta el molde sobre la placa.
- Enrasar la parte angosta del molde con una espátula, evitando comprimirla.
- Colocar el molde con la pasta en el aparato de Vicat, descendiendo la sonda Tetmayer en el borde superior del molde, estableciendo como cero del vástago.
- Posteriormente, se centra el molde con la pasta debajo del vástago y se lo suelta.
- Se obtiene la consistencia normal, al penetrar la sonda 10 ± 1 mm, luego de 30 segundos de haber soltado el vástago del aparato de Vicat.
- Si no se consigue la consistencia normal, el ensayo debe repetirse.

La ecuación para determinar la consistencia normal del cemento es la siguiente:

$$C\% = \frac{M_w}{M_c} * 100\%$$

Donde:

- C%= Consistencia normal en %.
- Mw= Masa de agua.
- Mc= Masa de cemento.

3.2.3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

En la Tabla 15 se indican los resultados de los ensayos implementados en el cemento:

Tabla 15

Resultados de ensayos en el cemento

Propiedad	Unidad	Valor obtenido
Densidad real	g/cm ³	2.68
Densidad aparente suelta	g/cm ³	0.98
Densidad aparente compactada	g/cm ³	1.20
Humedad consistencia normal	%	23%

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.3. ADITIVOS

No fueron empleados aditivos en la conformación de la mezcla de hormigón.

3.4. FIBRAS DE ESTOPA DE COCO

3.4.1. EXTRACCIÓN Y OBTENCIÓN DE FIBRAS

Las estopas fueron adquiridas en la localidad de Cojimíes, a un productor local. La parroquia de Cojimíes es un importante sitio de producción cocotera. La extracción del fruto fue realizada de manera manual, con las estopas siendo apartadas por encargo. Estas, al momento de ser adquiridas eran el resultado de la cosecha en seco del fruto de coco, por lo que tenían una coloración parda. En el sitio, la estopa es apilada al aire libre a espera de ser incinerada, dado que, por el momento, no ha sido planteada su revalorización.



Figura 9. Vía de acceso a Cojimíes

Fuente: Rodríguez y Vélez



Figura 10. Aspecto inicial de la estopa de coco

Fuente: Rodríguez y Vélez

El proceso de extracción de las fibras fue completamente manual. En primera instancia, se separó el exocarpio y el endocarpio, estando las estopas en el estado en que fueron adquiridas, para conservar únicamente el mesocarpio, el cual contiene las fibras y la médula. También se eliminó los fragmentos de estopa de longitudes muy cortas (resultado del uso de machete en la extracción del fruto) y aquellos atacados por el moho. Posteriormente, se secó el mesocarpio al sol para facilitar su almacenamiento y eliminar temporalmente la humedad que adquirió la estopa en el sitio de extracción.

Lo siguiente fue realizar la separación de los componentes del mesocarpio: fibra y médula. Para ello se mantuvo el mesocarpio en remojo por 24 horas. Posteriormente, se ejecutó la separación manual de las fibras, que se hizo alternando ciclos de desfibrado y enjuague, para así eliminar la mayor cantidad posible de médula.

En esta etapa un mayor tiempo de remojo, que fomentara la fermentación, habría facilitado la limpieza de las fibras, pero se prefirió hacerlo de manera intensiva debido a limitaciones en el sitio de almacenamiento y por las molestias que esto puede provocar (malos olores y vectores).



Figura 11. Estopas de coco en remojo

Fuente: Rodríguez y Vélez

Una vez las fibras fueron desacopladas, se secaron al sol durante tres días, siendo estas removidas constantemente para lograr un secado homogéneo. Después de ser secadas, se procedió a separar las fibras más sueltas de aquellas que requerían aún separación manual. Finalmente, se concluyó con el corte de las fibras.

3.4.2. LONGITUD DE FIBRA

La longitud de la fibra incluida en la mezcla de hormigón es una variable de notoria influencia en las prestaciones mecánicas del producto final. Como demostraron Ahmad et al. (2020), los mejores resultados, por lo general, se obtienen con longitudes de fibra de coco cercanas a los 5 mm (comparado con 2.5 y 7.5 mm, las otras longitudes tomadas en cuenta en el estudio).

En la norma ACI 544.1R-96 (1997) se indica que la longitud recomendada para cortar las fibras de coco es de 1.5 pulgadas (3.77 cm). Teniendo estas dos referencias en consideración, se decidió por cortar a una longitud de 4 cm. Para el corte se emplearon tijeras de jardinería, dada la no disponibilidad de herramientas automatizadas.

3.4.3. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

3.4.3.1. Mercerización

Este tratamiento consistió en sumergir las fibras cortadas en una solución de hidróxido de sodio o NaOH del 4% en peso. Se mantuvieron las fibras en contacto con la solución durante 24 horas, a lo que posteriormente fueron enjuagadas con agua corriente hasta lograr una solución neutra. El agua presentó una coloración café, dada la cantidad de lignina y otros componentes que fueron separados de la superficie de las fibras.



Figura 12. Sosa cáustica y fibras después de la mercerización

Fuente: Rodríguez y Vélez

Finalmente, se dejaron las fibras escurrir y fueron secadas con secadora durante 10 minutos, para obtener condiciones cercanas a superficie saturada seca o S.S.S.

3.4.3.2. Humo de sílice + resina

La goma arábica es un tipo de resina extraída de ciertas especies de acacia. Este material se ha empleado en la conformación de materiales compuestos como aglutinante, junto con metacaolín (un tipo de puzolana), cal y fibras de cáñamo, con resultados positivos en el incremento de la resistencia a flexión y compresión, como lo demuestra el estudio de Brzyski (2021). El tratamiento de humo de sílice junto con goma busca replicar los efectos beneficiosos de ambos materiales en la reducción de la degradación de las fibras a nivel local (en las inmediaciones de las fibras) de manera similar a lo demostrado por Vivek y Prabalini (2020).



Figura 13. Humo de sílice y goma arábica en presentación en polvo

Fuente: Rodríguez y Vélez

Para realizar este tratamiento, se preparó una solución de una parte de goma arábica en polvo por dos partes de agua, de manera que se obtuviera una adecuada adherencia. Posteriormente, se sumergieron las fibras cortadas en la solución durante un minuto y se escurrieron, para finalmente agregar el humo de sílice, de manera similar a una “apanadura”, y dejar secar las fibras tratadas.



Figura 14. Fibras con el tratamiento de humo de sílice

Fuente: Rodríguez y Vélez

3.4.4. ENSAYO DE FIBRAS

Después de realizar los tratamientos, se extrajeron 50 muestras de fibra para las tres tipologías existentes (sin tratamiento, después del tratamiento con NaOH y después del tratamiento con humo de sílice). Se midió su longitud y masa y fueron etiquetadas, para posteriormente ser ensayadas en la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial en la EPN. Allí se determinaron mediante pruebas de laboratorio la tenacidad, elongación, densidad lineal y resistencia a tracción de las fibras.

3.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS FINALES DE HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES

3.5.1. CANTIDAD DE PROBETAS CILÍNDRICAS

Las probetas cilíndricas de hormigón cuentan con dimensiones de 150x300mm, además se tiene una muestra de 7 probetas por tipología y por tiempo de curado, contando así con un total de 210 probetas para ensayo.



Figura 15. Cilindros de hormigón

Fuente: Rodríguez y Vélez

El número de probetas de hormigón se presenta en la Tabla 16:

Tabla 16

Número de probetas a ensayar

Tratamiento químico	f'c [kg/cm ²]	% en volumen de fibra de coco	Ensayos a compresión			# Muestras por tipología
			7 días	28 días	56 días	
Tratamiento 1	210	0.5%	7	7	7	21
		1.0%	7	7	7	21
	240	0.5%	7	7	7	21
		1.0%	7	7	7	21
Tratamiento 2	210	0.5%	7	7	7	21
		1.0%	7	7	7	21
	240	0.5%	7	7	7	21
		1.0%	7	7	7	21
Sin fibras	210	-	7	7	7	21
	240	-	7	7	7	21
TOTAL DE PROBETAS CILÍNDRICAS A ENSAYAR						210

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.5.2. PREPARACIÓN DE MEZCLA

3.5.2.1. Dosificación preliminar

Siguiendo los criterios del ACI, se plantearon las siguientes dosificaciones, expresados como proporción en peso del cemento (cemento, agregado fino y grueso, y agua):

Tabla 17*Dosificación preliminar de 210 kgf/cm²*

c/c	af/c	ag/c	a/c
1	1.32	2.81	0.53

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 18***Dosificación preliminar de 240 kgf/cm²*

c/c	af/c	ag/c	a/c
1	1.16	2.61	0.39

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**3.5.2.2. Dosificación definitiva**

Para comprobar que la dosificación es la apropiada, se realizó un ensayo a compresión a los 7 días de curado de dos cilindros de hormigón. Al comprobar que no se llegaba a las resistencias referenciales (igual al 65% de la resistencia de diseño), se optó por modificar la dosificación. Esta última ya alcanzó la resistencia referencial a los 7 días, y por tanto fue tomada como definitiva.

Tabla 19*Dosificación definitiva de 210 kgf/cm²*

c/c	af/c	ag/c	a/c
1	2.07	1.66	0.57

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 20***Dosificación definitiva de 240 kgf/cm²*

c/c	af/c	ag/c	a/c
1	1.77	1.36	0.5

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

A esta dosificación se le descontó una cantidad del agregado proporcional al volumen ocupado por las fibras, de acuerdo con el porcentaje empleado.

3.5.2.3. Propiedades físicas de fibras

Para determinar la absorción de las fibras se usó el mismo procedimiento que el empleado para los agregados. Para la densidad S.S.S. se siguió de manera similar el procedimiento enunciado por Caizaguano y Terán (2020):

- (1) Sumergir las fibras durante 24 ± 4 horas,
- (2) Pasado ese período de tiempo, secar con una toalla hasta alcanzar condiciones de Superficie Seca Saturada o S.S.S.,
- (3) Llenar un recipiente aforado hasta una medida arbitraria de agua (V_1) y pesar (M_1), a mayor cantidad de agua, mayor precisión en las lecturas,
- (4) Sumergir nuevamente en el recipiente aforado hasta que las fibras queden totalmente inmersas en el agua,
- (5) Medir el aumento de volumen en el recipiente (V_2),
- (6) Pesarse el recipiente con las fibras (M_2)

Con la anterior información se puede calcular la densidad S.S.S. con la expresión:

$$\text{Densidad S.S.S.} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \quad \text{Ec. 20}$$

De la información de las propiedades físicas de las fibras se tienen los siguientes resultados, tal como se indican en la Tabla 17:

Tabla 21

Características físicas de la fibra de coco sin tratamiento

Densidad S.S.S. (kg/m³)	Absorción (%)
582	145.5

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.5.3. ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS

Para realizar el ensayo de compresión, se requiere preparar los cilindros para ensayar a la edad establecida de 7, 14, 28 y 56 días; se toman dos mediciones del diámetro y tres de la altura, con esto se obtiene el diámetro y altura promedio del cilindro, estos valores son utilizados para determinar la superficie de carga. Se pesa la probeta para determinar su densidad. El cilindro para ser ensayado se lo requiere

en condiciones húmedas, por lo cual una vez medido y pesado se lo cubre con una tela húmeda para evitar la excesiva pérdida de humedad.

Se coloca el cilindro con los retenedores en la máquina de ensayo y se somete a una carga máxima hasta romper el espécimen y obtener su tipo de falla, registrando la carga máxima soportada antes de la rotura (NTE INEN 1573, 2010).

Con la carga máxima, se puede obtener el esfuerzo máximo del cilindro de hormigón o $f'c$, mediante la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi}{4} \times D_{prom}^2} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima resistida

A = Área transversal del cilindro

D_{prom} = Diámetro promedio del cilindro

3.5.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para encontrar el módulo de elasticidad de los especímenes, se tomaron dos muestras por tipología de mezcla, a los 56 días de curado. Se siguió la metodología establecida en la norma ASTM C469. Cada cilindro fue colocado en el compresómetro el cual, mediante un deformímetro, registró la deformación longitudinal, paralelamente a la fuerza aplicada sobre el mismo, en semejanza con la Figura 16.



Figura 16. Compresómetro

Fuente: Rodríguez y Vélez

Una vez conocidos estos valores, se pudo calcular el esfuerzo aplicado S con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} \times D_{prom}^2} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

P = Carga aplicada

A = Área transversal del cilindro

D_{prom} = Diámetro promedio del cilindro

Al mismo tiempo, se calculó la deformación unitaria ε con la expresión:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_{prom}} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

ε = Deformación unitaria longitudinal

ΔL = Variación de longitud (obtenida del compresómetro)

L_{prom} = Longitud promedio del cilindro

Una vez registrados los valores de esfuerzo y deformación unitaria, se calculó el módulo de elasticidad con la ecuación a continuación expuesta:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

S_2 = Esfuerzo equivalente al 40% de la carga última

S_1 = Esfuerzo equivalente a la 50 millonésima de deformación unitaria longitudinal

ε_2 = Deformación unitaria longitudinal equivalente al 40% de la carga última

3.6. DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO

3.6.1. PROCESO DE INCINERACIÓN DEL RESIDUO DE ESTOPA DE COCO

La disposición de las estopas, residuo de la cosecha del fruto de coco, por parte de las plantaciones se realiza en su mayoría a través de los siguientes métodos:

- Vertido en esteros, ríos y manglares de los alrededores
- Disposición en las plantaciones a manera de fertilizante
- Incineración

El proceso de descomposición de la estopa de coco es muy lento, lo que hace que estas se terminen acumulando en grandes pilas, que muchas veces terminan siendo incineradas. Al quemarse, se generan gases de efecto invernadero como el CO₂, produciendo un impacto ambiental negativo en la atmósfera (Vilela, 2020).

Para cuantificar la cantidad de CO₂ emitida por la incineración de la estopa de coco, es necesario partir de su composición química. Las moléculas orgánicas que componen la estopa contienen carbono, el cual al oxidarse durante la combustión produce dióxido de carbono. Es posible conocer la cantidad de CO₂ generada por unidad de estopa realizando un balance de carbono, como se muestra a continuación:

3.6.1.1. Composición química

Para cuantificar la generación de CO₂ por incineración, y la cantidad de este que es teóricamente confinada en el hormigón, es necesario diferenciar entre estopa (materia prima) y fibra (elemento agregado a la mezcla), dado que el primero permite conocer las emisiones salvadas de manera indirecta y el segundo las de manera directa. Complementando la información de la Tabla 8, se indica la composición química de la cáscara en su conjunto (contando fibra y médula) en la Tabla 22:

Tabla 22*Composición química de la estopa de coco*

Componente	%
Elementos solubles en agua	26.00
Pectina y compuestos relacionados	14.25
Hemi-celulosa	8.50
Lignina	29.23
Celulosa	21.07
Cenizas	0.95
Total	100.00

Fuente: (Puspaningrum et al., 2020, p. 4)**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez

Entre los dos tratamientos escogidos, se tiene que considerar que la mercerización produce una alteración de la estructura química de las fibras, reduciendo el porcentaje de lignina y pectina, aumentando el de celulosa. La composición química después de realizar un tratamiento de mercerización (NaOH al 5%) varía, de acuerdo con Jabar (2017) como se ilustra en la Tabla 23:

Tabla 23*Efecto de la mercerización en la composición química de la fibra de coco*

Componente	Incremento de masa (%)	Pérdida de masa (%)
Total		4.21
Pectina		10.91
Hemi-celulosa		9.35
Lignina		6.19
Celulosa	8.31	

Fuente: (Jabar, 2017, p. 17)**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez

Con estos datos, se puede tener la composición química de las fibras después del tratamiento (considerando que los demás componentes no se alteran) como muestra la Tabla 24:

Tabla 24*Composición química de fibras de coco posterior a la mercerización*

Componente	%
Elementos solubles en agua	5.25
Pectina y compuestos relacionados	2.66
Hemi-celulosa	0.23
Lignina	42.80
Celulosa	46.84
Cenizas	2.22
Total	100.00

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**3.6.1.2. Cantidad de carbono por molécula**

Las moléculas que componen la estopa de coco son orgánicas, es decir, están compuestas por carbono, a manera de cadenas poliméricas. Para cuantificar el porcentaje en masa de carbono de las moléculas (unidades funcionales) se usó la siguiente expresión:

$$\%C_{molécula} = \frac{\text{moles de carbono}}{\text{moles de molécula}} \times \frac{(MM_C)}{MM_{molécula}} \times 100 \quad \text{Ec. 25}$$

Donde $MM_{molécula}$ es la masa molecular de la molécula orgánica y MM_C es la masa molecular del carbono.

Los componentes principales a consideración tienen las siguientes fórmulas moleculares y masas moleculares de sus unidades funcionales en g/mol, como se expresa en la Tabla 25.

Tabla 25*Porcentaje de carbono en moléculas de la fibra de coco*

Componente	Fórmula molecular (unidad funcional)	Masa molecular (g/mol)	%Masa carbono
Pectina	$C_6H_{10}O_7$	194.139	37.11%
Celulosa	$C_6H_{10}O_5$	162.141	44.44%
Hemi-celulosa (glucosa+ xilosa+ arabinosa-agua)	$16(C_6H_{12}O_6)+$ $42(C_5H_{10}O_5)+$ $23(C_5H_{10}O_5)-$ $80(H_2O)$	11194.21	45.17%
Lignina	Indeterminada	Indeterminada	63.4%

Fuente: (Encinas Soto, 2016, p. 67; Vilela, 2020, p. 43)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

3.6.1.3. Cantidad de carbono en estopa y fibra

Con la composición molecular y los porcentajes de carbono calculados, se puede estimar la cantidad en masa de carbono existente en la estopa y la fibra, por cada 100 gramos, siguiendo la metodología expuesta por Vilela (2020), es decir, multiplicando los porcentajes de carbono de las moléculas componentes por la masa de estas, y sumando todos los aportes.

Estas cantidades se encuentran en la Tabla 26.

Tabla 26*Cantidad de carbono por 100 g de estopa y fibra sin tratar*

Componente	%C	Cantidad de carbono en 100 g			
		Estopa		Fibra sin tratar	
		Masa total (g)	Masa carbono (g)	Masa total (g)	Masa carbono (g)
Pectina	37.11%	14.25	5.29	3.00	1.11
Celulosa	44.44%	21.07	9.36	43.44	19.30
Hemi-celulosa	45.17%	8.50	3.84	0.25	0.11
Lignina	63.40%	29.23	18.53	45.84	29.06
Total			37.02		49.59

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Durante la combustión, las sustancias que componen la estopa de coco se oxidan, proceso por el cual el carbono se combina con el oxígeno atmosférico, produciendo CO_2 . La siguiente reacción lo describe de manera simplificada:



Sumado a la reacción anterior, se conoce que el peso molecular del carbono es de 12.01 g/mol y el del oxígeno atmosférico es de 32 g/mol. Lo que significa que por cada 12.01 g de carbono se producen 44.01 g de CO₂. Para conocer el CO₂ total producido por la combustión de 100 g de materia (sea de estopa o fibra) se usa la siguiente expresión:

$$m_{CO_2} = \frac{\text{moles } CO_2}{\text{moles } C} \times \frac{PM_{CO_2}}{PM_C} \times m_C \quad \text{Ec. 27}$$

Donde PM_{CO_2} es el peso molecular del CO₂. Así, por cada 100 g de estopa:

$$m_{CO_2 \text{ estopa}} = \frac{1 \text{ mol } CO_2 \times 44.01 \text{ g/mol } CO_2}{1 \text{ mol } C \times 12.01 \text{ g/mol } C} \times 37.02 \text{ g } C = 135.67 \text{ g } CO_2 / 100 \text{ g}$$

Si se considera como base de cálculo 100 g de peso seco de la estopa de coco, descontando la humedad de 26 g del análisis químico:

$$m_{CO_2 \text{ estopa seca}} = 135.67 \text{ g } CO_2 \times \left(\frac{100}{100 - 26} \right) = 183.34 \text{ g } CO_2 / 100 \text{ g}$$

Paralelamente, por cada 100 g de fibra sin tratar:

$$m_{CO_2 \text{ fibra}} = \frac{44.01 \text{ g/mol } CO_2}{12.01 \text{ g/mol } C} \times 49.59 \text{ g } C = 181.73 \text{ g } CO_2 / 100 \text{ g}$$

Si se considera como base de cálculo 100 g de peso seco de la fibra de coco, descontando la humedad de 5.25 g del análisis químico:

$$m_{CO_2 \text{ fibra seca}} = 181.73 \text{ g } CO_2 / 100 \text{ g} \times \left(\frac{100}{100 - 5.25} \right) = 191.80 \text{ g } CO_2 / 100 \text{ g}$$

3.6.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DE COMPONENTES DE UNA OBRA CIVIL SIN UTILIZAR FIBRAS NATURALES

Dentro del alcance de la presente investigación, se busca cuantificar las emisiones de CO₂ que pueden ser salvadas por el uso de materiales naturales. En el proceso constructivo, las emisiones de CO₂ generadas durante el ciclo de vida de los

componentes de una construcción (por ejemplo, el hormigón), son altamente variables dadas las circunstancias particulares de cada proyecto, como la localización de la materia prima, la distancia al destino final, la tecnología empleada, entre otros factores.

Vázquez (2016) realizó la estimación de las emisiones de CO₂ involucradas en la producción de 1 m³ de hormigón, durante las fases de transporte de materia prima, producción y transporte del hormigón premezclado al sitio de construcción, para un caso de estudio en la ciudad de Cuenca. De esta manera, determinó que la huella de carbono por cada metro cúbico de hormigón era igual a 42.83 kg de CO₂.

3.6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE COMPONENTES DE UNA OBRA CIVIL UTILIZANDO FIBRAS NATURALES

3.6.3.1. Cantidad de fibras usadas por metro cúbico de hormigón

Para encontrar la cantidad de fibras empleadas en la mezcla de hormigón hace falta conocer el porcentaje en volumen de fibras que se emplearán y la densidad de dichas fibras. Con esto en consideración, se puede emplear la siguiente expresión:

$$m_{fibra} = V_h \times \%V_{fibra} \times \rho_{d,fibra} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

m_{fibra} : masa de las fibras

V_h : volumen de hormigón

$\%V_{fibra}$: porcentaje en volumen de fibras

$\rho_{d,fibra}$: densidad seca de las fibras

Considerando que la absorción es del 145.5%, se deduce que, por unidad de fibra de coco en condiciones S.S.S. (las condiciones que ocupan las fibras en la mezcla), se tiene un 59.27% de agua y un 40.73% de fibras. Dada la densidad las fibras de 582 kg/cm³, se tienen 237.04 kg/m³ de densidad seca (descontando los vacíos que permanecen al retirar el agua).

3.6.3.2. Emisiones de CO₂ ahorradas

Una vez hallada la masa total de fibra en la mezcla, se pueden calcular las emisiones directas prevenidas al emplear fibra de coco:

$$E_{CO_2} \text{ directas} = m_{d, \text{fibra}} \times \frac{m_{CO_2} \text{ fibra seca}}{100 \text{ g}} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde

$E_{CO_2} \text{ directas}$: Emisiones directas de CO₂ aportadas por la fibra

Si bien esta es la cantidad que realmente se empleó en la mezcla, hay que considerar que el procesamiento de las fibras parte desde la estopa extraída en la naturaleza. Conociendo que estas fibras representan el 30% del peso seco de la estopa de coco, resta estimar la cantidad de estopa original, de tal manera que se cuantifique el ahorro indirecto de emisiones. Para ello es posible utilizar la siguiente ecuación:

$$m_{d, \text{estopa}} = \frac{m_{d, \text{fibra}}}{0.3} \quad \text{Ec. 30}$$

Una vez se encuentra la masa teórica de estopa seca, para cuantificar el CO₂ confinado de manera indirecta hace falta multiplicar por la masa de CO₂ por unidad de masa de estopa:

$$E_{CO_2} \text{ indirectas} = m_{d, \text{estopa}} \times \frac{m_{CO_2} \text{ estopa seca}}{100 \text{ g}} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde

$E_{CO_2} \text{ indirectas}$: Emisiones indirectas de CO₂ por incineración de la estopa

La misma secuencia puede ser empleada para encontrar las emisiones directas e indirectas involucradas en las fibras tratadas.

Partiendo de los cálculos de Vázquez (2016), en los que determinó que el CO₂ emitido al producir 1 m³ de hormigón es de 42.83 kg, se puede establecer el ahorro de emisiones debido al uso de fibras como

$$E_{CO_2} \text{ restantes} = E_{CO_2} \text{ hormigón} - E_{CO_2} \text{ salvadas} \quad \text{Ec. 32}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL CO₂ SALVADO AL EMPLEAR FIBRAS NATURALES

4.1.1. AHORRO DIRECTO DE EMISIONES DE CO₂

A continuación, se detalla en la Tabla 27 el ahorro de emisiones de CO₂ contabilizado a partir del porcentaje de fibras que realmente se ocuparon en la mezcla, es decir, la fracción de la estopa que realmente se previno de ser incinerada.

Tabla 27

Ahorro en emisiones directas de CO₂ por metro cúbico de hormigón

%Fibra	Volumen [lt]	Masa de fibra seca [kg]	Emisiones CO ₂ salvadas [kg]	Emisiones CO ₂ restantes [kg]	Ahorro en emisiones [%]
0.5%	5	1.185	2.273	40.557	5.31%
1%	10	2.370	4.546	38.284	10.62%

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

4.1.2. AHORRO INDIRECTO DE EMISIONES DE CO₂

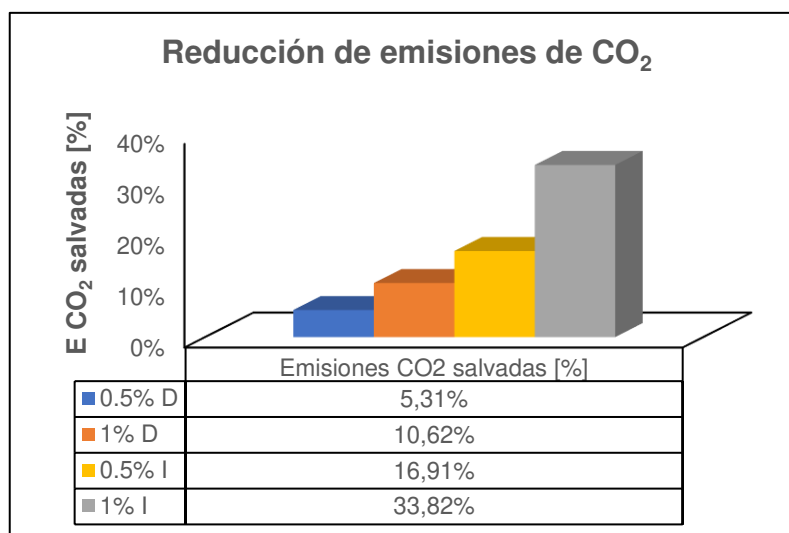
En la Tabla 28 se establece el ahorro en emisiones de CO₂ como resultado de la prevención de la incineración de la estopa como un todo, es decir, al procesar tanto la fibra como sus subproductos (los cuales tienen también un potencial de revalorización) y por tanto ambos se previenen ser incinerados.

Tabla 28*Ahorro en emisiones indirectas de CO₂ por metro cúbico de hormigón*

%Fibra	Volumen [lt]	Masa teórica de estopa inicial [kg]	Emisiones CO ₂ salvadas [kg]	Emisiones CO ₂ restantes [kg]	Ahorro en emisiones [%]
0.5%	5	3.951	7.246	35.587	16.91%
1%	10	7.901	14.486	28.344	33.82%

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

En la Figura 17 se indican gráficamente las emisiones salvadas por el uso de fibra de coco, tanto en su contabilización directa por las fibras usadas como por los efectos indirectos de la no incineración de la estopa como un todo.

**Figura 17.** Reducción de emisiones de CO₂ por empleo de fibras de coco**Elaborado por:** Rodríguez y Vélez

Como se observa en los valores obtenidos, es posible obtener un ahorro en emisiones atmosféricas considerables al emplear fibra de coco en la conformación de mezclas de hormigón, en especial considerando en la estimación a toda la materia prima, por lo que se demuestra que el uso de fibra de coco produce un beneficio ambiental positivo en la conformación de una obra civil determinada.

4.2. FIBRAS NATURALES

En la Tabla 30 se indican los resultados obtenidos en las pruebas hechas a las fibras, tanto sin recibir tratamiento (ST), después del tratamiento en NaOH (SC) y después del recubrimiento con humo de sílice y goma arábica (HS) en el Centro Textil Politécnico de la EPN.

Tabla 29

Propiedades físicas y mecánicas de las fibras de coco

TIPO DE FIBRA		Vel. Prueba [mm/min]	Fuerza Rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break [s]	Tenacidad [N/tex]
ST	Media	30	11.4	0.0943	72.42	37.8	0.159
	Desviación Estándar	0	5.67	0.05	34.31	18.28	0.04
SC	Media	30	14.4	0.1368	132.96	54.8	0.108
	Desviación Estándar	0	7.91	0.1021	76.68	41	0.137
HS	Media	30	5.75	0.0895	54.97	35.9	0.105
	Desviación Estándar	0	4.22	0.1127	40.33	45.1	0.105

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Como se evidenció anteriormente, el tratamiento de NaOH o sosa cáustica promovió un incremento en la elongación máxima de las fibras en comparación a las fibras sin tratar y a las fibras con tratamiento de humo de sílice. Así mismo, produjo un incremento notable en la densidad lineal en relación a las otras tipologías. Se puede apreciar estas diferencias en la Figura 18 y Figura 19.

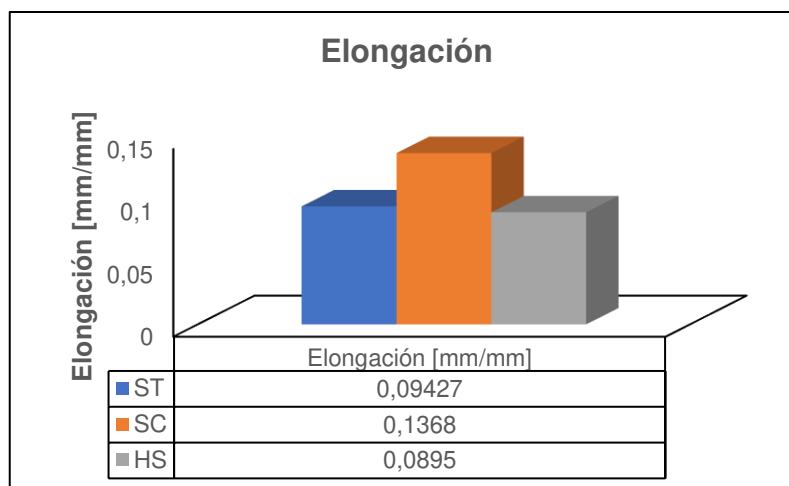


Figura 18. Elongación de muestras de fibra

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

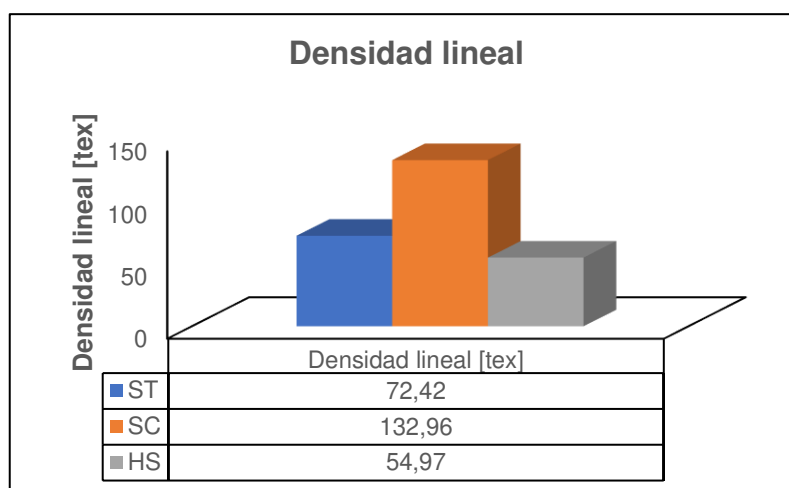


Figura 19. Densidad lineal de muestras de fibra

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

La fuerza de rotura promedio fue de mayor magnitud en el caso de las fibras tratadas con NaOH que los otros tipos de fibras. Si bien este tratamiento redujo la tenacidad de las fibras en relación a las fibras sin tratar, sigue produciendo resultados ligeramente mayores que en el caso del humo de sílice y goma arábica, por lo que sería más viable su empleo en obras a escala real. Esto se observa en la Figura 20 y Figura 21.

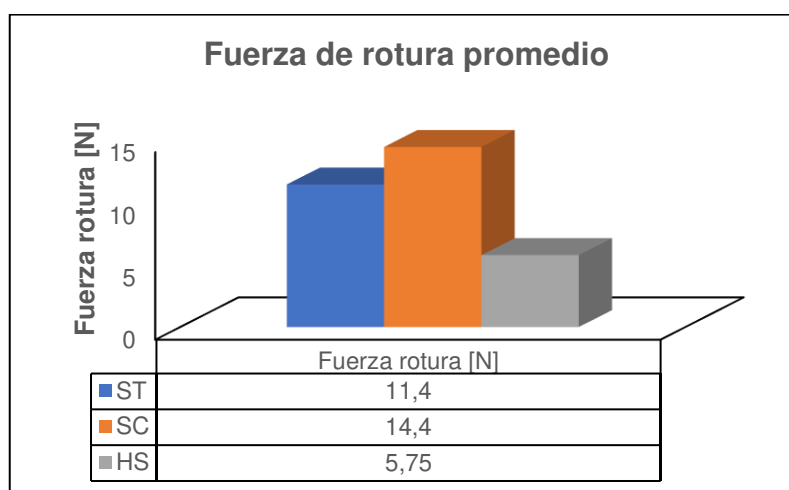


Figura 20. Fuerza de rotura de muestras de fibra

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

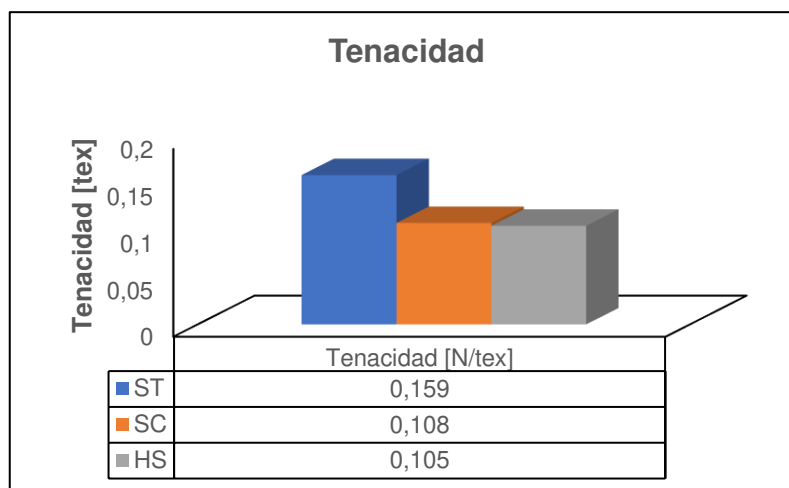


Figura 21. Tenacidad de muestras de fibra

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS HORMIGONES CON FIBRA NATURAL

Para la identificación de las diferentes tipologías de cilindros de hormigón se siguió la siguiente codificación indicada en la Tabla 30, seguida de la resistencia de diseño, tiempo de curado y porcentaje de fibra:

Tabla 30

Codificación de cilindros de hormigón

SF	Cilindros sin fibra
SC	Cilindros con fibra Tratamiento NaOH
HS	Cilindros con fibra Tratamiento humo de sílice

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

4.3.1. DOSIFICACIONES EMPLEADAS EN MEZCLA

Las siguientes dosificaciones fueron ajustadas para los contenidos de humedad de agregados tomados antes de la elaboración de las probetas. Para las resistencias esperadas de 210 y 240 kgf/cm², y contenido de humedad de agregados fino y grueso de 2.66% y 2.72%, respectivamente, se tienen las siguientes dosificaciones por ciclo (para 7 cilindros) en las Tablas 31 y 32:

Tabla 31*Dosificación para $f'c=210$ kgf/cm² sin fibras*

Agua	10.25	kg
Cemento	18.13	kg
A. Fino	37.56	kg
A. Grueso	30.15	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 32***Dosificación para $f'c=240$ kgf/cm² sin fibras*

Agua	10.57	kg
Cemento	21.15	kg
A. Fino	37.47	kg
A. Grueso	28.83	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

En el caso de las probetas con fibras, dependiendo del tratamiento se redujo el volumen equivalente de fibra en la cantidad de agregado grueso. La densidad de las fibras en las condiciones de llegada al laboratorio (diferentes a S.S.S.) fueron de 500 y 750 kg/cm³ para las fibras con el tratamiento de NaOH y de humo de sílice, respectivamente.

Para los cilindros elaborados con fibras tratadas en solución de NaOH se tuvieron las siguientes dosificaciones, como se detalla en las Tablas 33, 34, 35 y 36:

Tabla 33*Dosificación para cilindros SC-210 (0.5% de fibra)*

Agua	10.25	kg
Cemento	18.13	kg
A. Fino	37.56	kg
A. Grueso	29.64	kg
Fibra	0.119	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 34***Dosificación para cilindros SC-210 (1% de fibra)*

Agua	10.25	kg
Cemento	18.13	kg
A. Fino	37.56	kg
A. Grueso	29.12	kg
Fibra	0.237	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 35*Dosificación para cilindros SC-240 (0.5% de fibra)*

Agua	10.57	kg
Cemento	21.15	kg
A. Fino	37.47	kg
A. Grueso	28.30	kg
Fibra	0.121	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 36***Dosificación para cilindros SC-240 (1% de fibra)*

Agua	10.57	kg
Cemento	21.15	kg
A. Fino	37.47	kg
A. Grueso	27.78	kg
Fibra	0.241	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Para los cilindros elaborados con fibra tratada con humo de sílice y goma arábica se emplearon las siguientes dosificaciones, indicadas en las Tablas 37, 38, 39 y 40:

Tabla 37*Dosificación para cilindros HS-210 (0.5% de fibra)*

Agua	10.25	kg
Cemento	18.13	kg
A. Fino	37.56	kg
A. Grueso	29.64	kg
Fibra	0.178	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez**Tabla 38***Dosificación para cilindros HS-210 (1% de fibra)*

Agua	10.25	kg
Cemento	18.13	kg
A. Fino	37.56	kg
A. Grueso	29.12	kg
Fibra	0.356	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 39*Dosificación para cilindros HS-240 (0.5% de fibra)*

Agua	10.57	kg
Cemento	21.15	kg
A. Fino	37.47	kg
A. Grueso	28.30	kg
Fibra	0.181	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 40*Dosificación para cilindros HS-240 (1% de fibra)*

Agua	10.57	kg
Cemento	21.15	kg
A. Fino	37.47	kg
A. Grueso	27.78	kg
Fibra	0.362	kg

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

4.3.2. DENSIDAD

A continuación, se presentan las densidades obtenidas para las diferentes tipologías de fibra, en las Tablas 41, 42 y 43.

Tabla 41*Densidad en cilindros sin fibra*

Cantidad de fibra	Código	Densidad [T/m ³]		Densidad promedio [T/m ³]	
		Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Sin fibra	SF-210-14	2.271	0.008	2.265	0.019
	SF-210-28	2.271	0.024		
	SF-210-56	2.254	0.016		
Sin fibra	SF-240-14	2.250	0.022	2.259	0.019
	SF-240-28	2.256	0.012		
	SF-240-56	2.273	0.013		

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 42*Densidad en cilindros con fibra - tratamiento con NaOH*

Cantidad de fibra	Código	Densidad [T/m ³]		Densidad promedio [T/m ³]	
		Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
0.5% fibra - sosa cáustica	SC-210-14	2.285	0.006	2.287	0.021
	SC-210-28	2.305	0.019		
	SC-210-56	2.270	0.016		
0.5% fibra - sosa cáustica	SC-240-14	2.295	0.033	2.272	0.028
	SC-240-28	2.263	0.021		
	SC-240-56	2.258	0.010		
1% fibra - sosa cáustica	SC-210-14	2.302	0.013	2.298	0.011
	SC-210-28	2.294	0.007		
	SC-210-56	2.298	0.011		
1% fibra - sosa cáustica	SC-240-14	2.279	0.014	2.273	0.017
	SC-240-28	2.279	0.022		
	SC-240-56	2.262	0.006		

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 43*Densidad en cilindros con fibra - tratamiento con humo de sílice*

Cantidad de fibra	Código	Densidad [T/m ³]		Densidad promedio [T/m ³]	
		Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
0.5% fibra - humo de sílice	HS-210-14	2.277	0.013	2.278	0.023
	HS-210-28	2.284	0.034		
	HS-210-56	2.273	0.013		
0.5% fibra - humo de sílice	HS-240-14	2.276	0.009	2.274	0.010
	HS-240-28	2.268	0.008		
	HS-240-56	2.277	0.010		
1% fibra - humo de sílice	HS-210-14	2.283	0.012	2.284	0.017
	HS-210-28	2.291	0.023		
	HS-210-56	2.277	0.008		
1% fibra - humo de sílice	HS-240-14	2.256	0.018	2.261	0.013
	HS-240-28	2.261	0.009		
	HS-240-56	2.265	0.008		

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Al comparar los resultados en la Figura 22 se observa que, en el caso de los cilindros de resistencias de diseño de 210 kgf/cm², las densidades varían entre sí, obteniéndose mayores densidades a mayor cantidad de fibra.

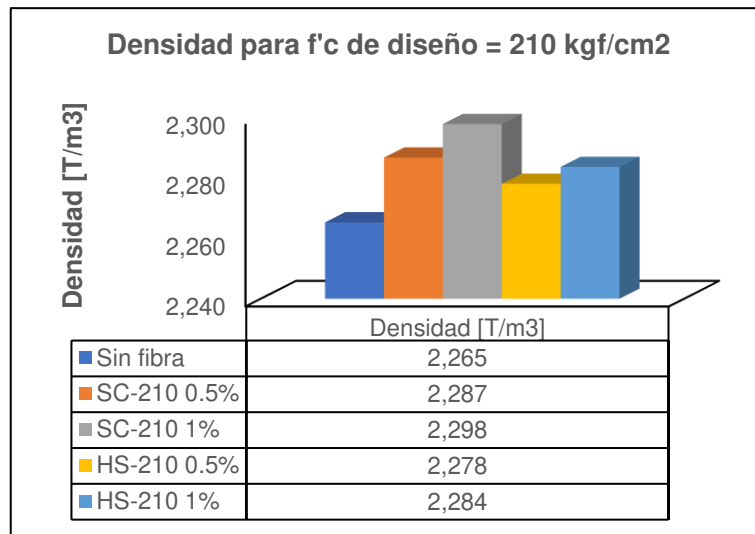


Figura 22. Densidad en cilindros con resistencia esperada de 210 kgf/cm²

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Para la resistencia de diseño de 240 kgf/cm², por otro lado, se observa que las densidades son casi iguales en todas las tipologías de cilindros, a excepción de los cilindros sin fibras y los cilindros HS-240 (1% de fibra), que es ligeramente menor. Esto se puede apreciar en la Figura 23.

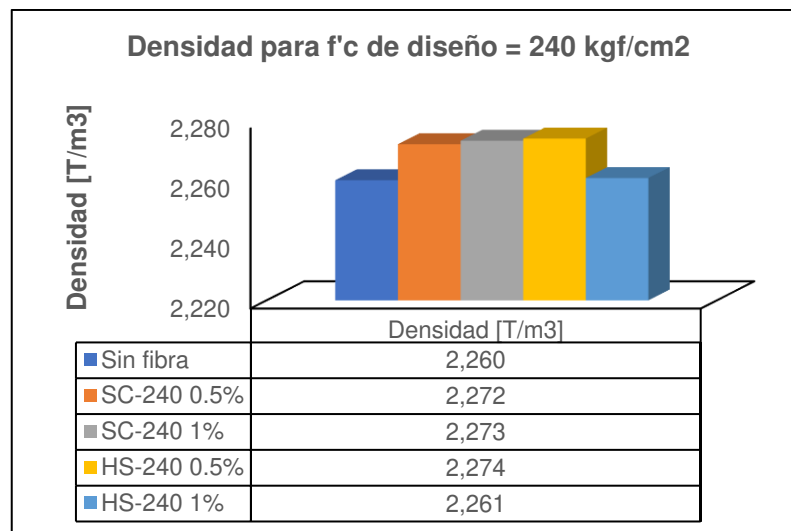


Figura 23. Densidad en cilindros con resistencia esperada de 210 kgf/cm²

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Se evidencia que, con los porcentajes planteados de fibras, no se aprecian diferencias significativas entre las densidades de cualquiera de las tipologías,

siendo ligeramente mayor en todos los cilindros de 210 kgf/cm², que, si bien tienen variaciones entre sí, pueden deberse más a las variaciones en los agregados que al contenido de fibra.

4.3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A continuación, se presentan las resistencias a compresión obtenidas para las diferentes tipologías de fibra, y para distintas edades de curado y asentamientos, en las Tablas 44, 45 y 46.

Tabla 44

Resistencia a la compresión en cilindros sin fibra

Cantidad de fibra	Código	Resistencia esperada [kgf/cm ²]	Tiempo de curado [días]	Asentamiento [cm]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]	
					Media	Desviación estándar
Sin fibra	SF-210-14	210	14	6	204.06	7.02
	SF-210-28		28	8	237.23	16.71
	SF-210-56		56	8	274.39	27.63
Sin fibra	SF-240-14	240	14	5	272.81	6.51
	SF-240-28		28	5	315.77	15.48
	SF-240-56		56	6	374.08	18.77

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 45

Resistencia a la compresión en cilindros con fibra - tratamiento con NaOH

Cantidad de fibra	Código	Resistencia esperada [kgf/cm ²]	Tiempo de curado [días]	Asentamiento [cm]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]	
					Media	Desviación estándar
0.5% fibra - sosa cáustica	SC-210-14	210	14	9	208.73	8.87
	SC-210-28		28	8	271.00	9.76
	SC-210-56		56	8	348.21	16.85
0.5% fibra - sosa cáustica	SC-240-14	240	14	6	214.69	30.34
	SC-240-28		28	6	290.86	31.79
	SC-240-56		56	5	368.65	18.49
1% fibra - sosa cáustica	SC-210-14	210	14	8	216.10	12.18
	SC-210-28		28	9	268.97	4.27
	SC-210-56		56	8	303.78	17.11
1% fibra - sosa cáustica	SC-240-14	240	14	5	227.61	10.82
	SC-240-28		28	5	309.15	11.29
	SC-240-56		56	6	350.36	23.47

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Tabla 46*Resistencia a la compresión en cilindros con fibra - tratamiento con humo de sílice*

Cantidad de fibra	Código	Resistencia esperada [kgf/cm ²]	Tiempo de curado [días]	Asentamiento [cm]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]	
					Media	Desviación estándar
0.5% fibra - humo de sílice	HS-210-14	210	14	6	188.52	6.30
	HS-210-28		28	8	252.42	16.33
	HS-210-56		56	10	250.80	14.62
0.5% fibra - humo de sílice	HS-240-14	240	14	6	245.87	9.81
	HS-240-28		28	6	314.23	9.68
	HS-240-56		56	7	319.08	35.56
1% fibra - humo de sílice	HS-210-14	210	14	7	246.36	13.79
	HS-210-28		28	8	246.62	13.00
	HS-210-56		56	6	289.81	18.89
1% fibra - humo de sílice	HS-240-14	240	14	7	219.14	19.53
	HS-240-28		28	5	265.20	14.05
	HS-240-56		56	7	334.00	22.81

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

En todos los casos se obtuvieron resistencias mayores a la resistencia de diseño a los 28 días. Sin embargo, se puede constatar la sensibilidad de las mezclas al asentamiento, dado que en cilindros donde este valor es alto (mayor a 8 cm y a 6 cm en el caso de resistencias de 210 kgf/cm² y 240 kgf/cm², respectivamente) la resistencia es inferior a sus contrapartes de la misma dosificación.

Para los cilindros con resistencias de diseño de 210 kgf/cm² se obtuvo un mejor desempeño en aquellos con fibra tratada con NaOH, en relación con los cilindros sin fibras, tal como se ilustra en la Figura 24. La mayor resistencia se alcanzó con 0.5% en volumen de fibras.

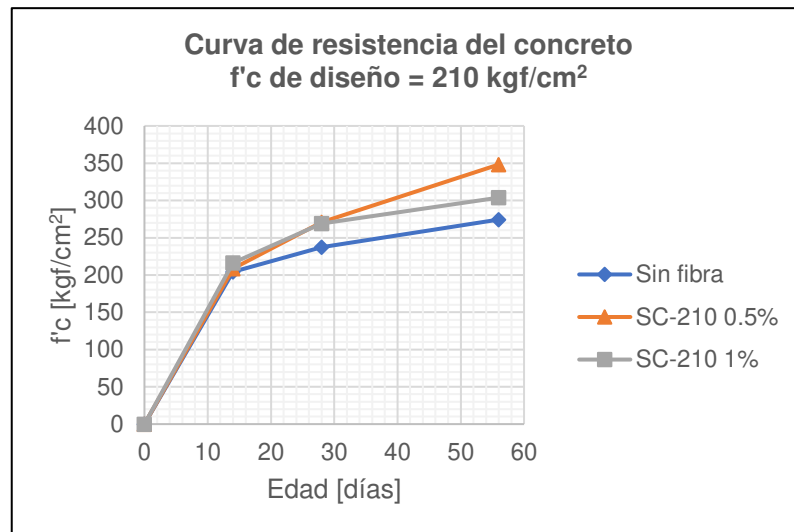


Figura 24. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 210 kgf/cm², tipo SC

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Como se indica en la Figura 25, para los cilindros con resistencias de diseño de 240 kgf/cm², son mayores las resistencias en aquellos sin fibras, y en los cuales esta está presente, la mayor resistencia se encuentra en los de 1% de fibra hasta los 28 días de curado; para los 56 días la resistencia es mayor en los cilindros con 0.5% de fibra.

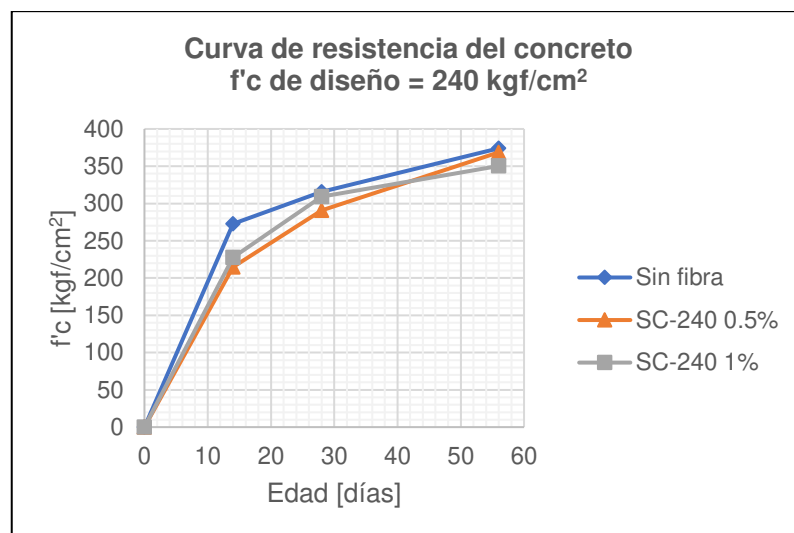


Figura 25. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 240 kgf/cm², tipo SC

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Los cilindros donde se incorporó humo de sílice presentaron valores menos consistentes dada la existencia de variaciones importantes en el asentamiento entre edades de curado. En el caso de los cilindros con resistencias de diseño de 210 kgf/cm^2 , como se aprecia en la Figura 26, se obtuvieron mejores resultados en los cilindros con 0.5% de fibra a los 28 días de curado, los cuales presentan asentamientos similares.

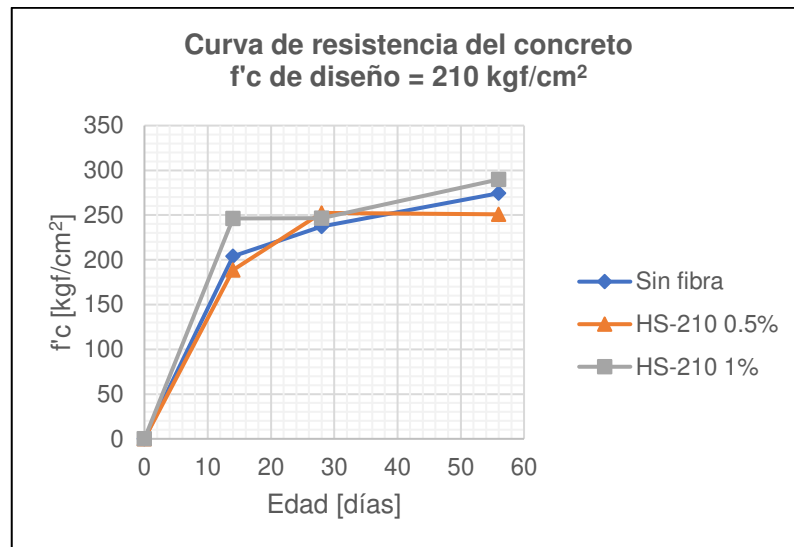


Figura 26. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 210 kgf/cm^2 , tipo HS

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Para los cilindros con resistencias de diseño de 240 kgf/cm^2 , resultan mayores las resistencias en aquellos sin fibras, y en los cuales esta última está presente, la mayor resistencia se encuentra en los de 1% de fibra hasta los 28 días de curado; para los 56 días de curado la resistencia es mayor en los cilindros con 0.5% de fibra.

De manera similar al caso de cilindros con fibras tratadas con NaOH, los cilindros sin fibras alcanzaron mayores resistencias, y hasta los 28 días de curado los cilindros con 0.5% de fibra superan a los de 1%, revirtiéndose esta tendencia a partir de los 56 días, como se visualiza en la Figura 27.

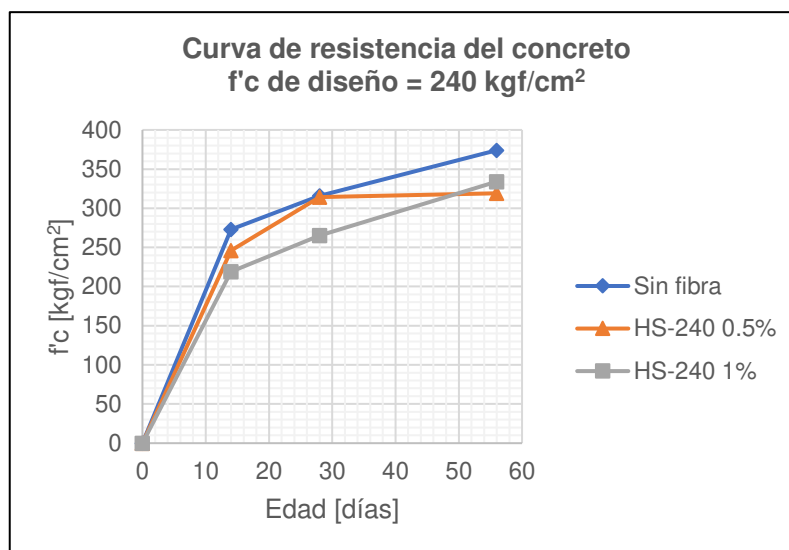


Figura 27. Curva de resistencia de concreto para resistencias de diseño de 240 kgf/cm², tipo HS

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Si se incluye la posible variación en los resultados debido a la divergencia en los asentamientos (dado que los asentamientos excesivos se correlacionan con bajas resistencias), se puede apreciar que las tendencias entre los cilindros con fibras tratadas con NaOH se asemejan a los que contienen fibras tratadas con humo de sílice, aunque se lograron, en general, resistencias ligeramente mayores en los cilindros con fibras tratadas con NaOH.

4.3.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD

A través de los gráficos de esfuerzo – deformación unitaria se pueden hacer comparaciones entre las diferentes dosificaciones y su capacidad de absorber energía antes de la falla, cualidad conocida también como tenacidad. En la Figura 28 se observa que los cilindros SC alcanzaron mayor magnitud en esfuerzos y deformaciones previas a la falla del cilindro que los HS, además de tener un comportamiento muy similar a lo observado en los cilindros sin fibras, para resistencias de diseño de 210 kgf/cm² y volumen de fibras del 0.5%.

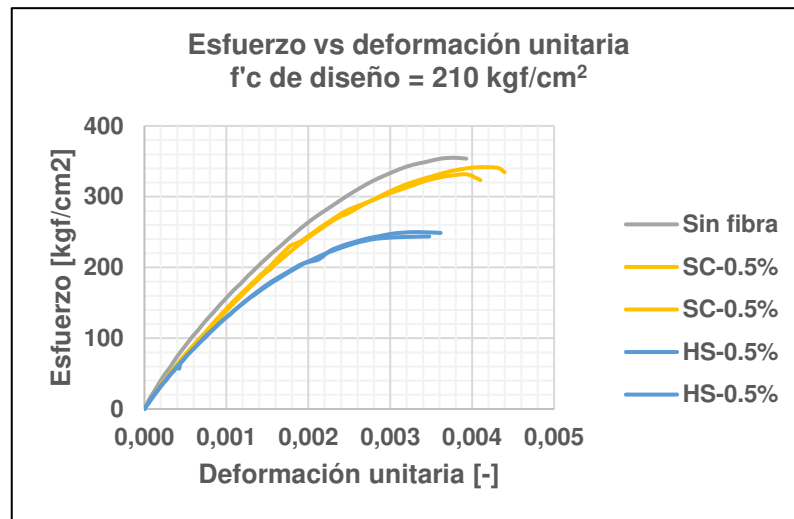


Figura 28. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 210 kgf/cm^2 (volumen de fibras del 0.5%)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Para la misma resistencia de 240 kgf/cm^2 y porcentaje de volumen de fibra del 1%, se mantiene una mayor tenacidad en los cilindros SC que en los cilindros HS (ambos menores a los cilindros sin fibra), pero con una brecha menor que en el caso anterior entre las dos tipologías, como se puede constatar en la Figura 29.

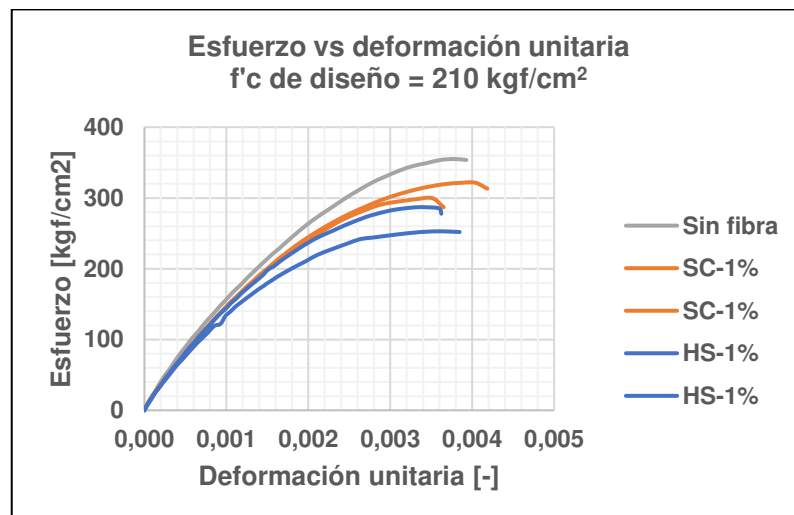


Figura 29. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 210 kgf/cm^2 (volumen de fibras del 1%)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Para los cilindros con resistencias de diseño de 240 kgf/cm² y porcentaje de volumen de fibra del 0.5%, se obtuvo una vez más una mayor tenacidad (muy cerca de los cilindros sin fibra) para los cilindros SC, con una brecha significativa en relación con los cilindros HS (entre los dos cilindros de la misma tipología también existieron diferencias notables), esto representado en la Figura 30.

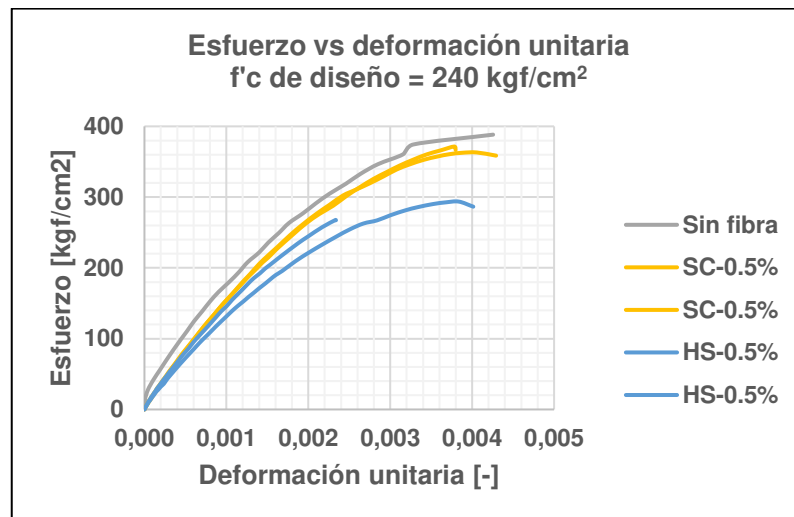


Figura 30. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 240 kgf/cm² (volumen de fibras del 0.5%)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Con la resistencia de diseño de 240 kgf/cm² y porcentaje de volumen de fibra del 1%, se encontró una tenacidad similar tanto para el caso de los cilindros SC como de uno de los cilindros HS, teniendo el cilindro restante resultados atípicos.

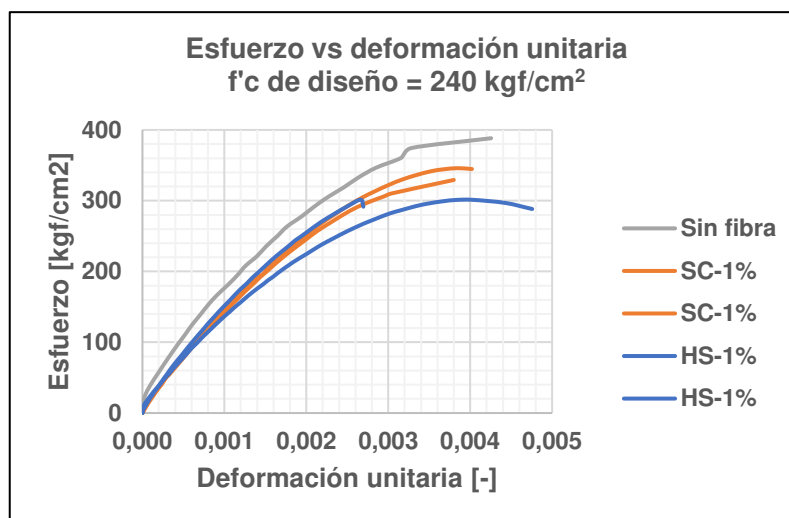


Figura 31. Curvas esfuerzo - deformación unitaria para resistencia de diseño de 240 kgf/cm² (volumen de fibras del 1%)

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

En la Tabla 47 se indican los valores de módulo de elasticidad obtenidos a los 56 días de curado, para las diferentes tipologías de mezcla consideradas.

Tabla 47

Módulos de elasticidad para 56 días de curado

Cantidad de fibra	Código	Módulo de elasticidad [kgf/cm ²]
Sin fibra	SF-210-56	153957
	SF-240-56	164785
0.5% fibra - sosa cáustica	SC-210-56	138189
	SC-240-56	152391
1% fibra - sosa cáustica	SC-210-56	146645
	SC-240-56	143522
0.5% fibra - humo de sílice	HS-210-56	131914
	HS-240-56	140057
1% fibra - humo de sílice	HS-210-56	144251
	HS-240-56	140803

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

En todos los casos, el módulo de elasticidad obtenido en los cilindros con fibras fue menor al resultante de cilindros sin fibras. Para la resistencia de diseño de 210 kgf/cm² se obtuvieron valores mayores de módulo de elasticidad en los que empleaban 1% de fibras, con relación a los que usaban un 0.5%, como se indica en la Figura 32.

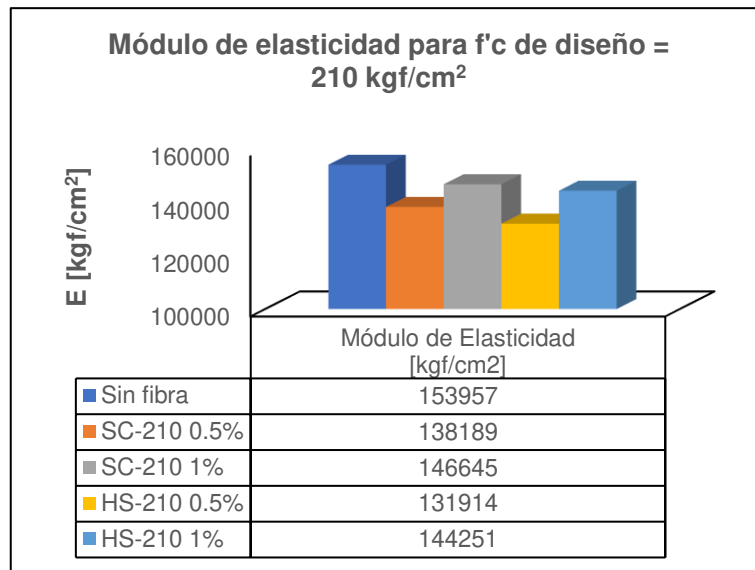


Figura 32. Módulo de elasticidad para resistencias de diseño de 210 kgf/cm²

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Como se constata en la Figura 33, para la resistencia de diseño de 240 kgf/cm², los módulos de elasticidad tienden a ser mayores para los cilindros con menor porcentaje de fibras, siendo superior en el caso de los cilindros con fibras tratadas con NaOH.

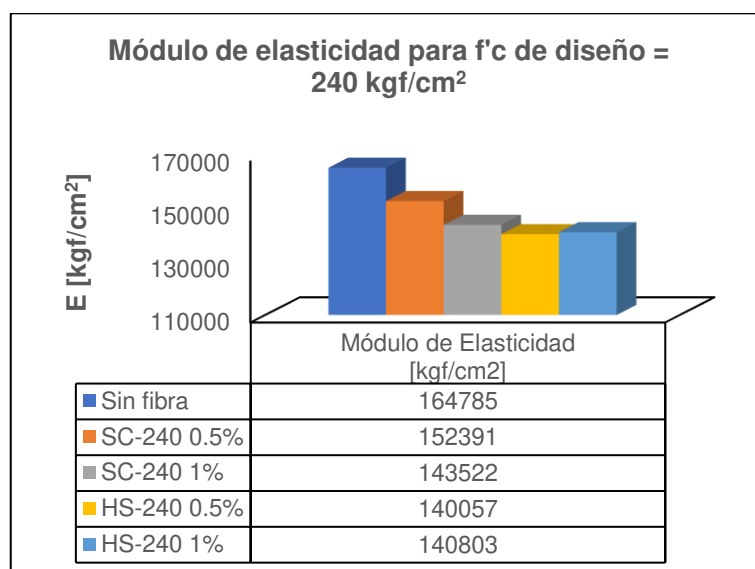


Figura 33. Módulo de elasticidad para resistencias de diseño de 240 kgf/cm²

Elaborado por: Rodríguez y Vélez

Se puede observar que la adición de fibras en general reduce la rigidez del hormigón, y que, entre los cilindros SC y HS, los primeros sufren de una menor reducción en comparación con los segundos. Además, la dosificación de 210 kgf/cm² resulta menos afectada debido a la adición de fibras que la de 240 kgf/cm².

4.4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS APLICADOS A LA FIBRA DE COCO

Durante la realización de los tratamientos a la fibra de coco, se observó que el tratamiento de NaOH producía fibras con calidad más uniforme, dado que la goma arábica no lograba estabilizar el humo de sílice alrededor de la fibra, desprendiéndose una parte de este último de la superficie de la fibra. Es posible que el uso de otro aglomerante produjese una mayor adhesión de humo de sílice y por tanto mayor uniformidad en los resultados obtenidos en los cilindros.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos muestran un claro ahorro en emisiones de CO₂ al ambiente cuando se valora el uso de la fibra de coco y todos sus subproductos en la conformación de mezclas, teniendo valores de ahorro de emisiones del 16.91% y 33.82% por cada metro cúbico de hormigón para un porcentaje de fibra del 0.5% y 1% respectivamente.
- Cuando se valora solo el uso de la fibra de coco como componente en la mezcla, también se obtiene un ahorro en la emisión de CO₂ al ambiente, teniendo el 5.31% y 10.62% de ahorro por cada metro cúbico de hormigón para un porcentaje de fibra del 0.5% y 1% respectivamente.
- El tratamiento químico que proveyó de mejores propiedades físicas y mecánicas a la fibra fue el de NaOH, teniendo un incremento notable en los valores de fuerza de rotura, de elongación máxima y densidad lineal.
- La densidad obtenida en los cilindros de resistencia de diseño de 210 kgf/cm² es ligeramente más alta cuando se emplea mayor cantidad de fibra ya sea para cualquiera de los dos tratamientos, siendo así los cilindros sin fibra los que menor densidad presentan. Esto sería un efecto contrario al esperado, sin embargo, puede deberse a incertidumbres en los materiales más que a la adición de fibra.
- Para las resistencias de diseño de 240 kgf/cm² se tienen densidades muy similares tanto como para los cilindros en los que se empleaba fibra como para los que no contenían fibra.
- Se logró constatar que, para ambos tratamientos y ambos porcentajes de fibra incluida en la mezcla, las resistencias de diseño obtenidas fueron mayores que las resistencias de diseño esperadas una vez ensayados los cilindros a los 28 días.

- El tratamiento químico de NaOH presenta mejores resultados para la resistencia de diseño de 210 kgf/cm² en el cual se emplea el 0.5% de fibra, donde se tiene una resistencia de 271 kgf/cm² a los 28 días de curado frente a los 237.23 kgf/cm² obtenidos en los cilindros sin fibra. Cuando se emplea este mismo tratamiento para la resistencia de diseño de 240 kgf/cm², se presentan mejores resultados al utilizar 1% de fibra, obteniendo así una resistencia de 309 kgf/cm² a los 28 días de curado frente a los 315.77 kgf/cm² obtenidos en los cilindros sin fibra.
- El tratamiento químico de humo de sílice presenta mejores resultados para la resistencia de diseño de 210 kgf/cm² en el cual se emplea el 0.5% de fibra, donde se tiene una resistencia de 252.42 kgf/cm² a los 28 días de curado frente a los 237.23 kgf/cm² obtenidos en los cilindros sin fibra. Cuando se emplea este mismo tratamiento para la resistencia de diseño de 240 kgf/cm², se presentan mejores resultados al utilizar 0.5% de fibra, obteniendo así una resistencia de 314.23 kgf/cm² a los 28 días de curado frente a los 315.77 kgf/cm² obtenidos en los cilindros sin fibra.
- Los cilindros con fibras tratadas con sosa cáustica alcanzaron una tenacidad y un módulo de elasticidad más cercanos a los cilindros sin fibras a comparación de los cilindros con fibras tratadas con humo de sílice, lo que significaría que estos últimos tienen un comportamiento más frágil ante compresión.
- Para la dosificación de 240 kgf/cm², los cilindros con fibras alcanzaron un comportamiento más parecido en las curvas esfuerzo – deformación entre ambos tratamientos que en la dosificación de 210 kgf/cm², donde se evidencia una mayor brecha a favor del tratamiento con sosa cáustica.
- El uso de fibras en las mezclas de hormigón reduce la rigidez del hormigón, siendo el tratamiento de humo de sílice donde más se evidencia esta reducción.

5.2. RECOMENDACIONES

- Considerar las especificaciones técnicas de los proveedores de las materias primas del hormigón como datos de referencia, aun así, procurar realizar los respectivos ensayos en laboratorio.
- Proveer un curado continuo y adecuado al hormigón, teniendo en cuenta siempre la humedad que se le provee a los cilindros, para así evitar irregularidades en las resistencias esperadas.
- Al momento de la fabricación de los cilindros, tener especial cuidado al enrazar las superficies de estos, debido a que en el instante que se realicen los ensayos a compresión, estas superficies deben repartir la carga lo más uniforme posible.
- Cuando se realizan las mezclas de hormigón incluyendo la fibra de coco, asegurarse que esta se encuentre en estado S.S.S., además procurar introducirla a la concreteira antes de agregar el material cementante.
- Asegurarse de abastecerse de suficiente material en condiciones estables de humedad, tanto en agregado grueso como fino, para que la dosificación calculada no se vea afectada por cambios de propiedades en estos agregados.
- Se recomienda tener especial cuidado en el asentamiento obtenido para cada mezcla de hormigón, ya que muchas veces, aunque la dosificación sea la correcta, la resistencia esperada se puede ver afectada por asentamientos obtenidos fuera de los límites.
- Cuando se desconoce de resultados previos de dosificaciones, es recomendable realizar la mayor cantidad de pruebas posibles, para determinar así una dosificación patrón.
- Para futuras prácticas con hormigones que incluyan algún tipo de fibra natural, como lo es la de coco, se recomienda utilizar algún método de limpieza de diferente al manual, ya que este método puede resultar impráctico de realizar.
- Se recomienda realizar la mezcla de hormigón con la ayuda de hormigoneras con una capacidad de producción mayor al que se tiene con una concreteira pequeña, para así obtener resultados más uniformes de la misma muestra.

Bibliografía

- ACI 211.1-91. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI 318S-08. (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.
- ACI 544.1R-96. (1997). *(Reapproved 2009) State-of-the-art report on fiber reinforced concrete*. American Concrete Institute.
- Agopyan, V. (1988). Vegetables Fibre Reinforced Building Materials - Developments in Brazil and other Latin American Countries. En *Concrete Technology and Design* (Vol. 5). Blackie and Son Ltd.
- Ahmad, W., Farooq, S. H., Usman, M., Khan, M., Ahmad, A., Aslam, F., Yousef, R. Al, Abduljabbar, H. Al, Sufian, M., Alyousef, R., Abduljabbar, H. Al y Sufian, M. (2020). Effect of coconut fiber length and content on properties of high strength concrete. *Materials*, 13(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ma13051075>
- Albinante, S. R., Pacheco, É. B. A. V. y Visconte, L. L. Y. (2013). Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Quimica Nova*, 36(1), 114–122. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021>
- Ali, A., Shaker, K., Nawab, Y., Jabbar, M., Hussain, T., Militky, J. y Baheti, V. (2016). Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review: *Journal of Industrial Textiles*, 47(8), 2153–2183. <https://doi.org/10.1177/1528083716654468>
- Ali, M. (2012). Natural fibres as construction materials. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 3(3), 80–89. <https://doi.org/10.5897/JCECT11.100>
- Andrade, A. y Sono, J. (2014). *Aplicación del ensayo de curado acelerado en cilindros de hormigón sometidos a compresión simple* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6443>

- ASTM C469. (2014). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C595. (2012). *Especificación de estándar para cementos hidráulicos mezclados*. American Society for Testing and Materials.
- Barros y Ramírez. (2012). Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de PIFO. *Tesis (Título en Ingeniería Civil), Quito. Universidad Central del Ecuador*.
- Brzyski, P. (2021). The Influence of Gum Arabic Admixture on the Mechanical Properties of Lime-Metakaolin Paste Used as Binder in Hemp Concrete. *Materials*, 14(22), 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14226775>
- Caizaguano, P. y Terán, G. (2020). *Caracterización del hormigón con fibras naturales del raquis de la palma africana de aceite y la estopa de coco* [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21247>
- Campilho, R. D. S. G. (2016). *Natural fiber composites* (Vol. 4, Número 2). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351050944-1>
- Conrado, B. y Rojas, S. (2012). *Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guayllabamba* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/512>
- Dueñas, L. R. y Macías, N. (2018). La diversificación relacionada de la producción del coco en Riochico – Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, noviembre. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/12/produccion-coco-ecuador.html>
- Encinas Soto, K. K. (2016). *Determinación del mecanismo de hidrólisis ácida de hemicelulosa de Cenchrus ciliaris* [Tesis de Postgrado, Universidad de Sonora]. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/520>
- Ferraz, J. M., Del Menezzi, C. H., Teixeira, D. E. y Martins, S. A. (2011). Effects of

- treatment of Coir Fiber and Cement/Fiber ratio on properties of Cement-bonded Composites. *BioResources*, 6(3), 3481–3492. https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_06_3_3481_Ferraz_DTM_Treat_coir_Fiber_Cement_Composite
- Freire, M. (2019). *Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero* [Tesis de Grado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12603>
- Fuentelsaz, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas profesión*, 5(18), 5–13. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6125940&info=resumen&idioma=SPA>
- HOLCIM. (2014). *Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*. Portal Directa. https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf
- HOLCIM. (2020). *Usos y recomendaciones cemento Holcim Fuerte*. Página w. https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/atoms/files/holcim_fuerte_v2.pdf
- Jabar, J. M. (2017). The Effect of Surface Modifications on Chemical Composition of the Oil Palm and Coir Fibres. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.20431/2349-0403.0401002>
- Jácome, R. (2015). *Hormigones de alta resistencia ($f'c = 62$ mpa) utilizando agregados del sector de Pifo y cemento armado especial-Lafarge* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4574>
- Juárez, C., Rodríguez, P., Rivera, R. y Rechy, M. de los Á. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierías*, 7(22), 7–8. http://eprints.uanl.mx/1318/1/art_delalechuguilla.pdf
- Luna, G. (2014). *Estudio del Hormigón* (1ª ed.). Edicumbre.
- Manzano, V. (2002). *El tamaño de la muestra*. Universidad de Sevilla.

<http://asignatura.us.es/dadpsico/apuntes/EpTamMuestra.pdf>

- Moreno, D. (2012). *Efecto del tratamiento alcalino y explosión de vapor alcalino sobre las propiedades de la fibra de cumare y su interface con una matriz de PLA* [Tesis de Grado, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/11580>
- NTE INEN 1108. (2011). *Agua Potable. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 151. (2005). *Cemento. Definición de términos relacionados con el cemento hidráulico*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 157. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 695. (2010). *Áridos, muestreo*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_695-1.pdf
- NTE INEN 696. (2014a). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 696. (2014b). NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. En *Determinación del tamaño de partículas en arido fino y grueso*. (Vol. 1, Número Primera Edición).
- NTE INEN 855. (2010). *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 856. (2011). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Específica) y Absorción del Arido Grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- NTE INEN 858. (2010). *Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 860. (2011). *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm (1½") mediante el uso de la máquina de Los Ángeles*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos Para Hormigón. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Orbe, L. y Zuñiga, P. (2013). *Optimización de la relación agua/cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI - ASTM* [Quito, 2013.]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6470>
- Osorio, J., Varón, F. y Herrera, J. (2007). Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar. *Dyna*, 74(153), 69–79. <http://ref.scielo.org/fh6tvr>
- Patazca, P. y Tafur, J. (2013). *Evaluación comparativa de la resistencia a compresión y a flexión del concreto convencional, concreto con fibra de acero Sikafiber CHO 80/60 NB, y concreto con fibra sintética Sikafiber Force PP/PE-700/55* [Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/1133>
- Puentes, L. H. y Joya, E. (2005, agosto). Reconocimiento de características, obtención y utilización de la estopa de coco. *Artesanías de Colombia S.A.*, 1–68. <https://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/bitstream/001/3945/5/INST-D2005.53.1.pdf>
- Puerta, C. E., Russián, T., Ruiz, C. A., Intercomunal, R. B., Vela, C.-L., Hatillo, E. y Falcón, E. (2012). Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 298–306. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4688395>
- Puspaningrum, T., Haris, Y. H., Sailah, I., Yani, M. y Indrasti, N. S. (2020). Physical

- and mechanical properties of binderless medium density fiberboard (MDF) from coconut fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012011>
- Quintero, S. y González, L. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 2(20), 134–150. <https://www.redalyc.org/pdf/852/85202010.pdf>
- Ramón, A. G. (2017). *Influencia de la fibra de yute en el diseño de hormigones para resistencia a la compresión de 21 a 35 Mpa con agregados de la cantera de Pifo* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14412>
- Rengifo, M. y Yupangui, R. (2013). *Estudio del hormigón celular* [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6841>
- Romea, C. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. OmniaScience Monographs. <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/download/77/311/491-1?inline=1>
- Sera, E. E., Robles-Austriaco, L. y Pama, R. P. (1990). Natural Fibers as Reinforcement. *Journal of Ferrocement*, 20(2), 109–124. https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/42865/IDL-42865_v20n2.pdf?sequence=2#page=6
- Silva, E. J. da, Marques, M. L., Velasco, F. G., Fornari Junior, C., Luzardo, F. M. y Tashima, M. M. (2017). A new treatment for coconut fibers to improve the properties of cement-based composites – Combined effect of natural latex/pozzolanic materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 12, 44–51. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2017.04.003>
- Sudhakaran Pillai, M., Sivaraja, M. y Kandasamy, S. (2010). Effect of silica fume surface treatment on natural fibres in resisting chloride resistance in concrete. *Material Science Research India*, 7(1), 209–214. <https://doi.org/10.13005/msri/070126>

- Torres, M., Paz, K. y Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. En *Boletín Electrónico No. 02* (pp. 1–13). Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS_02_DETERMINACION_TAMAÑO_MUESTRA.pdf
- Vázquez, K. (2016). *Análisis del inventario del ciclo de vida en la determinación de la energía contenida y las emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del hormigón premezclado; caso de estudio: planta premezcladora de la ciudad Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Vela, B., Yovera, G. y Rogger, L. (2016). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Adicionado con Fibra de Estopa de Coco*. [Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/3167>
- Vilela, J. (2020). *Sensibilización sobre la importancia del manejo de desechos de estopa de cocotero frente al cambio climático. Caso de estudio manglar de la REMACAM, en las comunidades Pampanal de Bolívar y Tambillo. Periodo 2015-2019* [Tesis de Especialización, FLACSO Ecuador]. <http://hdl.handle.net/10469/16794>
- Villegas, N. H. y Vélez, R. P. (2007). *Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo* [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1650>
- Vivek, S. S. y Prabalini, C. (2020). Experimental and microstructure study on coconut fibre reinforced self compacting concrete (CFRSCC). *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(1), 111–123. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00302-7>

ANEXOS

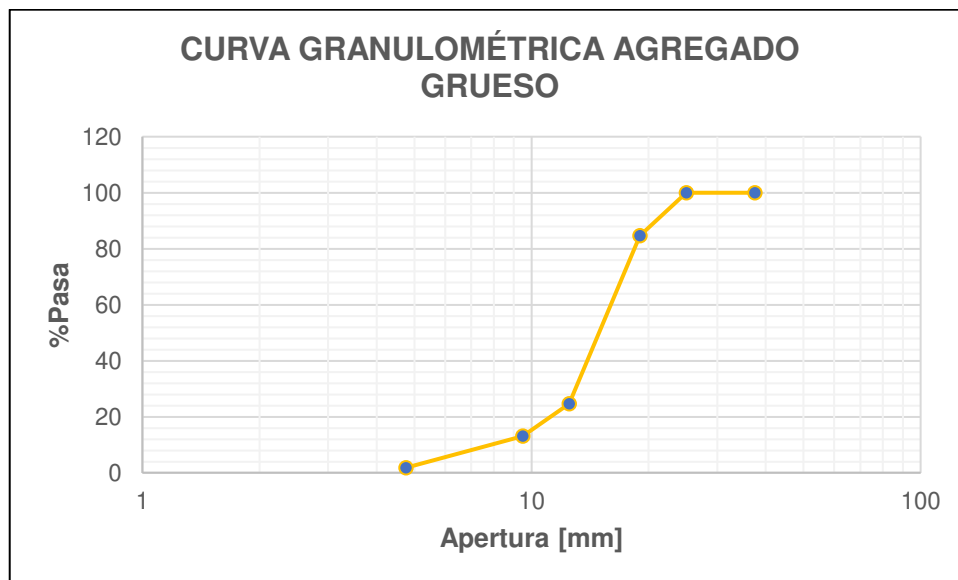
ANEXO N° 1
ENSAYOS EN AGREGADO GRUESO

Análisis Granulométrico

Norma NTE INEN 696

GRANULOMETRIA GRUESO						
TAMIZ	ABERTURA [mm]	PESO RET PARCIAL [g]	PESO RETENIDO ACUMULADO [g]	%RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUM.	%QUE PASA
1 1/2	37.5	0	0	0.00	0.00	100.00
1	25	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19	2.17	2.17	15.35	15.35	84.65
1/2	12.5	8.48	10.65	59.97	75.32	24.68
3/8	9.5	1.64	12.29	11.60	86.92	13.08
4	4.75	1.59	13.88	11.24	98.16	1.84
PASA 4		0.26	14.14	1.84	100.00	0.00
TOTAL			14.14	100.00		

Tamaño Máximo	1"
Tamaño Máximo Nominal	1"
Módulo de Finura MF	3.59



Densidad relativa y absorción

Norma NTE INEN 857, 858

Densidad Relativa

DATO	DESCRIPCIÓN
A	Masa en aire de la muestra seca al horno, g.
B	Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.
C	Masa aparente en agua de la muestra saturada, g

DATOS		
A	4001	g
B	4081	g
C	2263	g

DESCRIPCIÓN DENSIDAD	FÓRMULA	VALOR [kg/m ³]
En condiciones secas al horno	SH = $997,5A/(B-C)$	2195.268
En condiciones saturada superficialmente seca	SSS = $997,5B/(B-C)$	2239.163
Densidad relativa aparente	SA = $997,5A/(A-C)$	2296.316

Absorción

ABSORCIÓN	FÓRMULA	VALOR [%]
	$((B-A)/A)*100$	2.00

Contenido de Humedad

$$P = 100(W-D)/D$$

DATO	DESCRIPCIÓN
P	Contenido de humedad evaporable de la muestra
W	Masa de la muestra original, g
D	Masa de la muestra seca, g

MUESTRA 1			MUESTRA 2		
W1	1295	g	W2	1745	g
D1	1235	g	D2	1735	g
P1	4.858	%	P2	0.576	%
			W _{prom}	2.717	%

Abrasión

Norma NTE INEN 860

Tamaño Nominal:	1"	Fecha de Muestreo:	14/07/2021
Fuente:	Holcim	Fecha de Ensayo:	15/07/2021

PARÁMETRO	DATO	MAGNITUD
Tipo de Muestra	Árido Grueso	
Gradación	B	
Número de Esferas	11	esferas
Número de Revoluciones	500	
A= Peso Inicial	5000	gr.
C= Peso Retenido en el tamiz No. 12 a las (500/1000) Revoluciones	3800	gr.
Porcentaje de Pérdida	24	%

Observaciones: El porcentaje máximo de pérdida en peso del agregado se limita al 50% por lo tanto la muestra ensayada se encuentra dentro de la resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación.



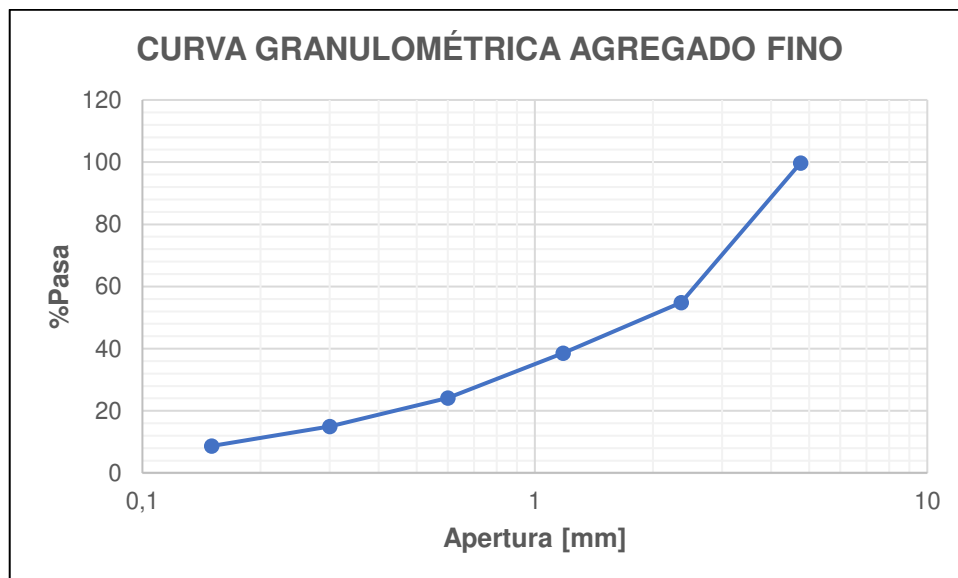
ANEXO N° 2
ENSAYOS EN AGREGADO FINO

Análisis Granulométrico

Norma NTE INEN 696

GRANULOMETRIA FINO						
TAMIZ	ABERTURA [mm]	PESO RET PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO [g]	%RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	%QUE PASA
4	4.75	3.59	3.59	0.304	0.304	100
8	2.36	530.06	533.65	44.820	45.124	55
16	1.18	192.95	726.6	16.315	61.439	38.561
30	0.6	169.9	896.5	14.366	75.806	24.194
50	0.3	108.44	1004.94	9.169	84.975	15.025
100	0.15	74.87	1079.81	6.331	91.306	8.694
PASA 100		102.82	1182.63	8.694	100.000	0.000
TOTAL			1182.63	100		

Módulo de Finura	
MF=	2.76



Densidad relativa y aparente y absorción

Norma NTE INEN 856, 858

Densidad Relativa y Aparente

DATO	DESCRIPCIÓN
A	Muestra seca al horno, en g
B	Masa del picnómetro + agua, en g
C	Masa del picnómetro + agregado+ agua, en g
S	Masa de la muestra Superficie Saturada Seca (S.S.S.), en g

DENSIDAD		
PIC+W+AGR	991.4	C
W+PIC	702.2	B
PIC	212.1	
Masa saturada	501.3	S
Masa seca	401.4	A

RESULTADOS	
Densidad (SH)	1.893
Densidad (SSS)	2.358
Densidad aparente	3.578
Densidad relativa (SH)	1.888
Densidad relativa (SSS)	2.364
Densidad relativa aparente	2.358

Absorción

ABSORCION		
AG+REC	828	
AG+REC SEC	817.8	
BASE	325.4	
muestra seca	492.4	A
masa saturada	502.6	S
ABSORCION	2.071%	

Contenido de humedad

$$P = 100(W-D)/D$$

DATO	DESCRIPCIÓN
P	Contenido de humedad evaporable de la muestra
W	Masa de la muestra original, g
D	Masa de la muestra seca, g

MUESTRA 1			MUESTRA 2		
W1	765	g	W2	780	g
D1	745	g	D2	760	g
P1	2.685	%	P2	2.632	%
			Wprom	2.658	%

Contenido orgánico de arena

NTE INEN 855

Agregado Fino		Fecha de Muestreo:	14/07/2021
Fuente	Holcim	Fecha de Ensayo:	15/07/2021

TIPO DE MUESTRA	Árido Fino		
PROCEDIMIENTO	Solución de Color Normalizado		
	Comparador de Colores		X

Color Natural de la Muestra	Negro				
	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
Contenido Orgánico Aceptable					
Color Escala Gardner	1	2	3	4	5

Observaciones: La muestra ensaya no presenta contenido orgánico y respecto a la escala de Gardner no se encuentra en este rango ya que presenta un color transparente, se concluye que no contiene impurezas.



ANEXO N° 3
ENSAYOS EN CEMENTO

Densidad aparente suelta y compactada

Norma NTE INEN 858

DENSIDAD APARENTE DEL CEMENTO	
DENSIDAD SUELTA	
V molde [cm ³]	2735
P molde [g]	1652
P1 [g]	4330
P2 [g]	4334
Densidad 1 [g/cm ³]	0.98
Densidad 2 [g/cm ³]	0.98
Densidad promedio [g/cm ³]	0.98
DENSIDAD COMPACTADA	
V molde [cm ³]	2735
P molde [g]	1652
P1 [g]	4911
P2 [g]	4943
Densidad 1 [g/cm ³]	1.19
Densidad 2 [g/cm ³]	1.20
Densidad promedio [g/cm ³]	1.20



Densidad real

NTE INEN 156

DENSIDAD REAL CEMENTO		
Dato	Muestra 1	Muestra 2
Li	0.6	1
Lf	24.6	24.8
m [g]	64	64
Densidad real [g/cm ³]	2.67	2.69
Densidad promedio [g/cm ³]	2.68	



Consistencia normal

NTE INEN 157

CONSISTENCIA CEMENTO		
Dato	Muestra 1	Muestra 2
Peso cemento [g]	500.13	500.24
Peso agua [g]	160	150
Descenso sonda [mm]	30	10
Consistencia normal hum.	23%	



ANEXO N° 4
DOSIFICACIÓN PRELIMINAR

Dosificación de 210 kgf/cm²

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN - ACI 211 (SIN INTRODUCCIÓN DE AIRE)			
CEMENTO			
Tipo	1		
Peso específico	2.68	g/cm ³	
Peso/saco	50	kg/saco	
AGUA			
Densidad	1	kg/dm ³	
AGREGADO FINO			
Peso específico seco	2.358	gr/cm ³	
Absorción	2.072%		
Contenido de humedad	2.658%		
Módulo de finura	2.76		
AGREGADO GRUESO			
TMN	1	in	
Peso específico seco	2.239	gr/cm ³	
Peso seco compactado	1487	kg/m ³	
Absorción	2.000%		
Contenido de humedad	2.717%		
RESISTENCIA REQUERIDA			
f'c	210	kg/cm ²	
ASENTAMIENTO			
Asentamiento esperado	8	in	
¿Se incorpora aire?	NO		
PROBETAS			
N° probetas	7		
Altura	0.3	m	
Diámetro	0.15	m	
Desperdicios	7%		
FIBRAS			
Longitud	3.81	cm	
Diámetro	0.83	mm	
Capacidad de absorción	145.5%		
Contenido de humedad	0%		
Densidad S.S.S.	582	kg/m ³	
%Fibras	0.5%		
CÁLCULOS			
1) Resistencia promedio			
f'cr=	294	kg/cm ²	
2) Tamaño máximo nominal			
TMN=	1	in	
3) Asentamiento			
Asentamiento	8	in	BLANDA
Aire incorp?=	NO		
4) Volumen unitario de agua			
Agua req=	202	l/m ³	
5) Contenido de aire			
Cont. Aire=	2%		
6) Relación agua/cemento			
a/c=	0.55	Sin corregir	
7) Factor cemento			
factor cemento=	365.75	kg/m ³	
8) Contenido de agregado grueso			
Vol agregado grueso s.c.=	0.674		
Peso agregado grueso sc=	1002.2	kg/m ³	
9) Cálculo de volúmenes absolutos parciales			
Cemento	0.136	m ³	
Agua	0.202	m ³	
Aire	0.015	m ³	
A. Grueso	0.448	m ³	
Σ	0.801	m³	
10) Contenido de agregado fino			
A. Fino=	469.0	kg/m ³	
11) Valores de diseño de mezcla			
Cemento	365.7	kg/m ³	
Agua	202.0	l/m ³	
A. Fino	469.0	kg/m ³	Seco
A. Grueso	1002.2	kg/m ³	Seco
12) Corrección por humedad del agregado			
Cemento	365.7	kg/m ³	
Agua	192.1	l/m ³	
A. Fino	481.5	kg/m ³	Real
A. Grueso	1029.5	kg/m ³	Real
13) Proporción en peso			
c/c	af/c	ag/c	a/c
1	1.32	2.81	0.53
14) Peso por tanda de un saco			
Cemento	50.0	kg/saco	
Agua	26.3	l/saco	
A. Fino	65.8	kg/saco	
A. Grueso	140.7	kg/saco	
15) Cantidad de material para probetas sin fibra			
Volumen probetas=	0.037	m ³	
Cemento	14.5	kg	
Agua	7.6	l	
A. Fino	19.1	kg	
A. Grueso	40.9	kg	
Σ	82.1	m³	
15) Cantidad de material para probetas con fibra			
Volumen probetas=	0.037	m ³	
Vol. Fibra=	0.00019	m ³	
Fibra en peso=	0.108	kg	
Cemento	14.5	kg	
Agua	7.6	l	
A. Fino	19.1	kg	
A. Grueso	40.8	kg	
Fibra	0.108	kg	
Σ	82.1	m³	

Dosificación para 240 kgf/cm²

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN - ACI 211 (SIN INTRODUCCIÓN DE AIRE)			
CEMENTO			
Tipo	1		
Peso específico	2.68	g/cm ³	
Peso/saco	50	kg/saco	
AGUA			
Densidad	1	kg/dm ³	
AGREGADO FINO			
Peso específico seco	2.358	gr/cm ³	
Absorción	2.072%		
Contenido de humedad	2.658%		
Módulo de finura	2.76		
AGREGADO GRUESO			
TMN	1	in	
Peso específico seco	2.239	gr/cm ³	
Peso seco compactado	1487	kg/m ³	
Absorción	2.000%		
Contenido de humedad	2.717%		
RESISTENCIA REQUERIDA			
f'c	240	kg/cm ²	
ASENTAMIENTO			
Asentamiento esperado	6	in	
¿Se incorpora aire?	NO		
PROBETAS			
N° probetas	7		
Altura	0.3	m	
Diámetro	0.15	m	
Desperdicios	7%		
FIBRAS			
Longitud	3.81	cm	
Diámetro	0.83	mm	
Capacidad de absorción	145.5%		
Contenido de humedad	0%		
Densidad S.S.S.	582	kg/m ³	
%Fibras	0.5%		
CÁLCULOS			
1) Resistencia promedio			
f'cr=	324	kg/cm ²	
2) Tamaño máximo nominal			
TMN=	1	in	
3) Asentamiento			
Asentamiento	6	in	BLANDA
Aire incorp?=	NO		
4) Volumen unitario de agua			
Agua req=	202	l/m ³	
5) Contenido de aire			
Cont. Aire=	2%		
6) Relación agua/cemento			
a/c=	0.51	Sin corregir	
7) Factor cemento			
factor cemento=	393.70	kg/m ³	
8) Contenido de agregado grueso			
Vol agregado grueso s.c.=	0.674		
Peso agregado grueso sc=	1002.2	kg/m ³	
9) Cálculo de volúmenes absolutos parciales			
Cemento	0.147	m ³	
Agua	0.202	m ³	
Aire	0.015	m ³	
A. Grueso	0.448	m ³	
Σ	0.812	m³	
10) Contenido de agregado fino			
A. Fino=	444.4	kg/m ³	
11) Valores de diseño de mezcla			
Cemento	393.7	kg/m ³	
Agua	202.0	l/m ³	
A. Fino	444.4	kg/m ³	Seco
A. Grueso	1002.2	kg/m ³	Seco
12) Corrección por humedad del agregado			
Cemento	393.7	kg/m ³	
Agua	192.2	l/m ³	
A. Fino	456.2	kg/m ³	Real
A. Grueso	1029.5	kg/m ³	Real
13) Proporción en peso			
c/c	af/c	ag/c	a/c
1	1.16	2.61	0.49
14) Peso por tanda de un saco			
Cemento	50.0	kg/saco	
Agua	24.4	l/saco	
A. Fino	57.9	kg/saco	
A. Grueso	130.7	kg/saco	
15) Cantidad de material para probetas sin fibra			
Volumen probetas=	0.037	m ³	
Cemento	15.6	kg	
Agua	7.6	l	
A. Fino	18.1	kg	
A. Grueso	40.9	kg	
Σ	82.3	m³	
15) Cantidad de material para probetas con fibra			
Volumen probetas=	0.037	m ³	
Vol. Fibra=	0.00019	m ³	
Fibra en peso=	0.108	kg	
Cemento	15.6	kg	
Agua	7.6	l	
A. Fino	18.1	kg	
A. Grueso	40.8	kg	
Fibra	0.108	kg	
Σ	82.3	m³	

ANEXO N° 5
ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS SIN FIBRAS

Norma NTE INEN 1573

Ensayo a compresión – Cilindros SF-210

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SF-210-14						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	8/12/2021						
Fecha ensayo	22/12/2021						
Diámetro 1 [mm]	153.50	152.20	152.19	150.45	152.98	154.12	153.39
Diámetro 2 [mm]	154.32	152.53	152.46	150.94	153.57	150.50	153.49
Altura 1 [mm]	305.55	302.54	304.31	303.45	307.25	306.40	308.15
Altura 2 [mm]	305.42	303.40	304.90	303.06	307.23	305.37	306.22
Altura 3 [mm]	306.27	303.06	305.72	303.02	307.21	305.40	306.85
Masa [kg]	12.91	12.46	12.64	12.25	12.91	12.71	12.90
Carga máxima [KN]	375.60	359.80	346.80	352.90	388.40	354.20	386.50
Tipo de falla	5	5	5	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	205.794	201.155	193.989	201.695	214.574	198.168	213.066
Volumen [l]	5.688	5.525	5.558	5.407	5.669	5.570	5.678
Densidad [ton/m ³]	2.270	2.255	2.274	2.265	2.277	2.282	2.272

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SF-210-28						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	25/8/2021						
Fecha ensayo	22/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	154.60	151.63	150.91	151.36	152.07	151.06	153.52
Diámetro 2 [mm]	152.91	151.12	152.47	154.87	153.58	150.24	152.98
Altura 1 [mm]	304.10	301.00	299.00	303.00	299.00	300.00	304.00
Altura 2 [mm]	302.00	300.00	301.00	303.00	299.00	297.00	303.00
Altura 3 [mm]	300.00	299.00	298.00	302.00	297.00	298.00	303.00
Masa [kg]	12.51	12.34	12.34	12.65	12.31	12.30	12.68
Carga máxima [KN]	450.70	380.40	377.90	423.50	436.50	425.60	477.90
Tipo de falla	5	5	5	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	247.440	215.466	213.159	234.455	242.570	243.391	264.105
Volumen [l]	5.608	5.399	5.410	5.573	5.472	5.318	5.595
Densidad [ton/m ³]	2.231	2.286	2.281	2.270	2.249	2.313	2.266

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5		
Identificación	SF-210-56						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	25/8/2021						
Fecha ensayo	10/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.02	153.93	151.22	152.12	151.17	151.71	150.36
Diámetro 2 [mm]	151.06	154.88	152.63	151.33	151.03	151.63	150.55
Altura 1 [mm]	299.50	305.55	300.02	301.21	300.08	306.41	299.83
Altura 2 [mm]	300.42	307.01	301.02	302.41	300.86	307.38	300.37
Altura 3 [mm]	301.08	307.32	303.29	301.39	299.92	307.36	299.09
Masa [kg]	12.18	12.83	12.21	12.35	12.05	12.60	12.11
Carga máxima [KN]	539.60	478.10	546.00	512.40	477.50	634.60	563.60
Tipo de falla	5	5	4	5	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	306.993	260.278	307.026	288.892	271.447	358.048	323.146
Volumen [l]	5.381	5.741	5.465	5.454	5.385	5.548	5.329
Densidad [ton/m ³]	2.263	2.235	2.234	2.264	2.238	2.271	2.272

Ensayo a compresión – Cilindros SF-240

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SF-240-14						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración							
Fecha ensayo	6/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.48	149.72	151.58	152.80	152.85	153.27	150.17
Diámetro 2 [mm]	151.93	150.16	150.00	151.13	151.06	153.18	150.41
Altura 1 [mm]	299.97	299.18	306.08	299.93	299.47	304.90	300.87
Altura 2 [mm]	300.50	298.56	306.22	299.91	300.20	305.31	299.67
Altura 3 [mm]	300.64	300.95	306.30	300.60	300.22	305.51	301.65
Masa [kg]	12.12	11.92	12.56	12.16	12.10	12.65	12.05
Carga máxima [KN]	487.40	482.60	494.20	491.30	478.20	482.70	456.50
Tipo de falla							
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	274.870	278.608	282.097	276.122	268.795	266.845	262.314
Volumen [l]	5.429	5.289	5.468	5.444	5.440	5.628	5.335
Densidad [ton/m ³]	2.232	2.254	2.297	2.234	2.224	2.248	2.259

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SF-240-28						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración							
Fecha ensayo	20/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	153.98	154.06	151.07	149.65	154.07	151.95	152.43
Diámetro 2 [mm]	153.41	154.28	152.34	150.19	152.85	152.20	152.22
Altura 1 [mm]	303.76	305.76	299.95	305.74	305.90	303.61	303.47
Altura 2 [mm]	304.75	304.84	299.92	307.91	304.32	303.70	303.46
Altura 3 [mm]	303.75	306.34	301.06	305.94	305.45	304.35	302.76
Masa [kg]	12.75	12.78	12.24	12.33	12.77	12.43	12.39
Carga máxima [KN]	548.82	573.52	583.52	582.80	595.55	556.53	517.49
Tipo de falla	4	4	4	4	4	4	
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	301.545	313.177	329.077	336.544	328.223	312.330	289.466
Volumen [l]	5.642	5.706	5.428	5.411	5.645	5.520	5.526
Densidad [ton/m ³]	2.260	2.240	2.255	2.279	2.262	2.252	2.242

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SF-240-56						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración							
Fecha ensayo	18/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	148.25	149.37	151.03	153.12	151.51	150.93	152.13
Diámetro 2 [mm]	149.47	149.93	151.31	151.31	151.84	150.36	153.81
Altura 1 [mm]	300.27	301.21	302.80	306.72	304.04	302.27	305.46
Altura 2 [mm]	301.17	300.81	301.63	307.39	304.40	302.29	305.16
Altura 3 [mm]	300.26	300.74	301.48	308.97	303.96	302.53	304.42
Masa [kg]	11.93	12.09	12.32	12.68	12.45	12.13	12.86
Carga máxima [KN]	572.24	674.35	670.50	694.30	646.75	642.15	704.39
Tipo de falla	4	4	5	4	5	4	
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	335.171	390.814	380.811	388.933	364.879	367.258	390.698
Volumen [l]	5.231	5.293	5.420	5.599	5.495	5.389	5.606
Densidad [ton/m ³]	2.281	2.284	2.273	2.265	2.266	2.251	2.294

ANEXO N° 6
ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS SC

Norma NTE INEN 1573

Ensayo a compresión – Cilindros SC-210-0.5%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-14						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	8/9/2021						
Fecha ensayo	22/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.59	152.45	151.75	151.93	154.16	152.77	152.26
Diámetro 2 [mm]	150.83	153.16	150.97	152.26	154.88	152.36	152.24
Altura 1 [mm]	298.00	302.00	300.00	300.00	302.00	302.00	300.00
Altura 2 [mm]	297.00	301.00	298.00	303.00	301.00	304.00	300.00
Altura 3 [mm]	299.00	304.00	298.00	303.00	303.00	300.00	299.00
Masa [kg]	12.24	12.70	12.32	12.51	12.89	12.64	12.43
Carga máxima [KN]	377.90	351.40	360.60	375.30	349.80	356.10	393.70
Tipo de falla	5	5	4	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	214.515	195.329	204.289	210.567	190.148	198.565	220.441
Volumen [l]	5.351	5.544	5.374	5.487	5.663	5.521	5.456
Densidad [ton/m ³]	2.287	2.291	2.293	2.280	2.276	2.289	2.278

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-28						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	13/9/2021						
Fecha ensayo	11/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.27	150.74	151.15	151.41	151.31	154.17	148.16
Diámetro 2 [mm]	151.21	151.68	150.90	150.02	152.79	151.73	151.42
Altura 1 [mm]	302.80	301.80	301.20	299.90	303.10	303.90	300.00
Altura 2 [mm]	303.10	301.10	300.80	298.80	304.10	304.20	299.80
Altura 3 [mm]	303.00	299.90	301.20	298.90	303.40	303.60	298.90
Masa [kg]	12.74	12.41	12.35	12.39	12.74	12.78	12.08
Carga máxima [KN]	471.70	469.20	484.90	498.50	500.80	457.10	462.40
Tipo de falla	4	4	5	4	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	267.654	266.341	275.928	284.835	281.146	253.602	267.481
Volumen [l]	5.443	5.404	5.393	5.338	5.511	5.584	5.279
Densidad [ton/m ³]	2.341	2.296	2.290	2.321	2.312	2.289	2.288

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-56						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	8/9/2021						
Fecha ensayo	8/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.02	150.30	153.37	151.26	150.89	150.22	154.00
Diámetro 2 [mm]	150.21	149.79	153.45	149.52	153.78	150.97	152.91
Altura 1 [mm]	303.64	300.50	304.01	301.26	305.14	299.82	307.65
Altura 2 [mm]	302.77	302.98	304.58	301.62	303.89	298.31	306.32
Altura 3 [mm]	302.73	302.10	303.45	300.26	305.73	300.09	304.07
Masa [kg]	12.32	12.26	12.80	12.20	12.49	12.05	12.78
Carga máxima [KN]	670.00	655.20	681.10	626.40	656.00	597.50	601.50
Tipo de falla	2	4	5	2	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	380.803	377.722	375.616	359.464	366.898	341.946	331.524
Volumen [l]	5.435	5.338	5.619	5.348	5.557	5.333	5.660
Densidad [ton/m ³]	2.267	2.297	2.278	2.281	2.247	2.260	2.258

Ensayo a compresión – Cilindros SC-210-1%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-14						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	8/9/2021						
Fecha ensayo	22/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.56	149.68	149.81	150.38	154.90	152.34	152.80
Diámetro 2 [mm]	151.27	149.58	150.29	150.62	153.35	152.26	150.51
Altura 1 [mm]	299.00	302.00	298.00	299.00	301.00	302.00	296.00
Altura 2 [mm]	298.00	300.00	300.00	299.00	303.00	302.00	299.00
Altura 3 [mm]	299.00	301.00	300.00	299.00	303.00	304.00	297.00
Masa [kg]	12.27	12.30	12.23	12.16	12.98	12.70	12.39
Carga máxima [KN]	389.10	392.50	364.80	329.60	409.85	398.10	388.20
Tipo de falla	5	4	5	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	220.275	227.532	210.293	188.867	223.934	222.758	219.070
Volumen [l]	5.378	5.293	5.293	5.319	5.641	5.514	5.371
Densidad [ton/m ³]	2.282	2.324	2.311	2.286	2.301	2.303	2.307

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-28						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	13/9/2021						
Fecha ensayo	11/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.49	150.08	149.84	150.65	149.84	152.54	153.31
Diámetro 2 [mm]	152.24	152.29	150.42	151.79	150.75	153.19	151.79
Altura 1 [mm]	300.60	300.30	305.80	300.90	298.90	301.00	304.90
Altura 2 [mm]	300.90	300.10	304.90	302.80	301.10	303.10	303.90
Altura 3 [mm]	301.70	300.70	302.90	300.90	300.90	301.30	304.00
Masa [kg]	12.51	12.44	12.31	12.41	12.23	12.71	12.73
Carga máxima [KN]	471.00	474.70	470.60	478.10	453.70	487.10	492.30
Tipo de falla	4	5	4	4	4	4	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	265.061	269.552	270.993	271.357	260.688	270.547	274.566
Volumen [l]	5.453	5.392	5.391	5.416	5.328	5.539	5.561
Densidad [ton/m ³]	2.294	2.307	2.283	2.292	2.296	2.295	2.289

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-210-56						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	8/9/2021						
Fecha ensayo	8/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.57	149.71	150.63	153.07	151.27	149.98	152.48
Diámetro 2 [mm]	154.34	150.10	149.82	152.11	151.48	150.05	150.01
Altura 1 [mm]	305.93	299.81	301.10	307.29	301.10	299.20	300.05
Altura 2 [mm]	305.18	300.94	301.44	307.26	300.73	300.18	299.78
Altura 3 [mm]	306.16	300.50	300.11	306.86	300.96	300.22	302.01
Masa [kg]	13.00	12.14	12.14	12.89	12.47	12.26	12.46
Carga máxima [KN]	523.00	557.10	557.10	597.80	502.80	557.80	528.40
Tipo de falla	2	4	5	4	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	288.258	321.767	320.398	333.231	284.792	321.699	299.807
Volumen [l]	5.655	5.302	5.333	5.617	5.416	5.300	5.401
Densidad [ton/m ³]	2.299	2.290	2.276	2.295	2.303	2.313	2.307

Ensayo a compresión – Cilindros SC-240-0.5%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-14						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	30/8/2021						
Fecha ensayo	13/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.00	152.00	150.00	150.00	152.00	150.00	150.00
Diámetro 2 [mm]	152.00	152.00	150.00	150.00	155.00	150.00	150.00
Altura 1 [mm]	302.00	306.00	300.00	300.00	305.00	300.00	300.00
Altura 2 [mm]	303.00	301.00	300.00	300.00	303.00	300.00	300.00
Altura 3 [mm]	303.00	304.00	303.00	305.00	304.00	301.00	300.00
Masa [kg]	12.40	12.72	12.35	11.95	12.95	12.45	12.03
Carga máxima [KN]	350.50	335.10	427.70	311.40	457.90	431.10	327.90
Tipo de falla	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	198.200	188.247	246.716	179.629	252.229	248.678	189.147
Volumen [l]	5.456	5.510	5.319	5.331	5.626	5.307	5.301
Densidad [ton/m ³]	2.273	2.308	2.322	2.242	2.302	2.346	2.269

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-28						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	31/8/2021						
Fecha ensayo	28/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.97	150.94	153.12	151.32	150.28	151.83	153.80
Diámetro 2 [mm]	152.14	151.02	153.34	151.88	149.92	152.03	153.78
Altura 1 [mm]	300.59	300.42	306.70	302.70	299.99	300.18	309.99
Altura 2 [mm]	302.40	300.71	306.96	302.79	299.91	301.11	305.00
Altura 3 [mm]	301.60	301.40	306.89	303.91	302.41	300.82	304.96
Masa [kg]	12.30	12.38	12.92	12.44	12.00	12.27	12.74
Carga máxima [KN]	483.90	581.80	604.00	551.90	480.00	466.20	453.60
Tipo de falla	5	5	5	5	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	271.641	331.265	333.880	311.676	276.516	262.136	248.919
Volumen [l]	5.475	5.386	5.659	5.472	5.322	5.451	5.696
Densidad [ton/m ³]	2.246	2.299	2.283	2.274	2.255	2.251	2.237

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-56						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	6/9/2021						
Fecha ensayo	8/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.60	153.31	151.54	151.03	152.80	152.00	153.10
Diámetro 2 [mm]	152.24	153.92	151.43	150.87	153.20	151.50	155.01
Altura 1 [mm]	301.86	303.22	306.35	306.89	304.76	310.09	306.70
Altura 2 [mm]	300.66	304.54	305.82	306.90	303.77	307.91	304.28
Altura 3 [mm]	300.80	304.83	306.94	307.45	304.99	310.95	303.72
Masa [kg]	12.24	12.65	12.49	12.47	12.72	12.65	12.75
Carga máxima [KN]	719.10	725.10	698.60	728.90	659.30	644.50	679.70
Tipo de falla	4	5	4	4	4	2	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	407.065	398.815	395.121	415.186	365.545	363.251	371.712
Volumen [l]	5.422	5.638	5.522	5.496	5.598	5.600	5.683
Densidad [ton/m ³]	2.257	2.244	2.262	2.269	2.272	2.259	2.243

Ensayo a compresión – Cilindros SC-240-1%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-14						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	8/9/2021						
Fecha ensayo	22/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.05	152.10	153.27	153.32	151.25	149.47	150.30
Diámetro 2 [mm]	149.28	151.80	148.48	153.18	152.18	150.79	151.32
Altura 1 [mm]	298.00	303.00	299.00	304.00	302.00	300.00	301.00
Altura 2 [mm]	298.00	304.00	300.00	305.00	303.00	298.00	300.00
Altura 3 [mm]	296.00	304.00	300.00	303.00	303.00	299.00	297.00
Masa [kg]	11.93	12.49	12.10	12.81	12.58	12.14	12.13
Carga máxima [KN]	385.16	406.70	399.60	412.80	413.50	426.70	362.10
Tipo de falla	5	5	4	5	5	4	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	223.173	228.620	227.841	228.129	233.163	245.713	206.638
Volumen [l]	5.231	5.507	5.358	5.607	5.472	5.293	5.347
Densidad [ton/m ³]	2.281	2.268	2.259	2.284	2.299	2.294	2.269

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-28						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	13/9/2021						
Fecha ensayo	11/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.53	151.60	151.23	149.27	151.61	152.58	153.43
Diámetro 2 [mm]	150.64	150.32	149.20	149.91	151.76	152.89	154.50
Altura 1 [mm]	303.69	303.82	304.24	302.54	307.91	310.91	307.54
Altura 2 [mm]	303.35	303.77	303.78	302.63	307.38	310.05	306.54
Altura 3 [mm]	303.81	303.79	303.88	302.22	307.50	310.43	307.08
Masa [kg]	12.28	12.34	12.25	12.11	12.94	12.96	12.87
Carga máxima [KN]	536.40	567.50	523.80	517.40	574.70	567.50	534.30
Tipo de falla	4	5	5	4	5	4	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	307.020	323.209	301.287	300.098	324.188	315.740	292.538

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	SC-240-56						
Descripción	-						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	6/9/2021						
Fecha ensayo	8/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.23	150.38	153.82	149.02	152.14	150.22	154.00
Diámetro 2 [mm]	151.89	152.24	154.15	150.22	151.25	150.97	152.91
Altura 1 [mm]	304.22	300.70	305.43	302.08	300.56	299.82	307.65
Altura 2 [mm]	303.97	302.37	305.56	302.62	300.60	298.31	306.32
Altura 3 [mm]	305.23	301.16	306.50	300.84	299.39	300.09	304.07
Masa [kg]	12.46	12.26	12.86	12.06	12.23	12.05	12.78
Carga máxima [KN]	682.30	651.20	667.60	686.70	590.30	597.50	601.50
Tipo de falla	4	5	4	1	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	385.520	369.165	365.427	398.134	332.944	341.946	331.524
Volumen [l]	5.493	5.420	5.695	5.307	5.425	5.333	5.660
Densidad [ton/m ³]	2.268	2.262	2.258	2.272	2.254	2.260	2.258

Nota: Existen cilindros que, por motivos de fuerza mayor, no pudieron ser ensayados en su fecha correspondiente. A estos se le hizo la corrección correspondiente a la edad requerida, a través de interpolación.

ANEXO N° 7
ENSAYOS A COMPRESIÓN EN CILINDROS HS

Norma NTE INEN 1573

Ensayo a compresión – Cilindros HS-210-0.5%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-14						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	13/9/2021						
Fecha ensayo	27/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.62	151.37	155.01	151.52	151.32	151.60	150.88
Diámetro 2 [mm]	153.00	151.80	153.58	151.96	151.76	152.21	151.42
Altura 1 [mm]	304.53	306.67	307.46	305.52	303.37	307.74	305.13
Altura 2 [mm]	306.35	306.32	307.14	307.18	302.35	307.72	306.22
Altura 3 [mm]	304.56	306.12	307.01	306.52	300.93	308.31	304.47
Masa [kg]	12.62	12.61	13.00	12.71	12.44	12.70	12.53
Carga máxima [KN]	345.90	334.40	336.70	319.50	328.50	334.30	354.10
Tipo de falla	5	5	5	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	192.260	188.884	183.561	180.099	185.662	188.033	201.164
Volumen [l]	5.596	5.529	5.744	5.541	5.451	5.581	5.478
Densidad [ton/m ³]	2.255	2.281	2.263	2.294	2.282	2.276	2.287

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-28						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	13/9/2021						
Fecha ensayo	11/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.71	151.00	150.48	151.21	150.28	151.44	153.19
Diámetro 2 [mm]	151.37	150.38	150.43	150.39	149.53	151.39	153.47
Altura 1 [mm]	308.32	298.30	306.00	307.34	300.67	305.37	312.38
Altura 2 [mm]	306.20	299.70	307.17	308.82	300.35	305.43	312.35
Altura 3 [mm]	304.20	298.20	307.19	307.88	301.32	305.73	312.85
Masa [kg]	13.06	12.16	12.38	12.52	12.08	12.46	13.00
Carga máxima [KN]	391.50	453.70	447.50	429.60	456.20	488.80	442.60
Tipo de falla	5	4	5	5	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	221.268	259.323	256.579	245.190	263.490	276.716	244.342
Volumen [l]	5.523	5.328	5.454	5.501	5.308	5.501	5.771
Densidad [ton/m ³]	2.364	2.282	2.270	2.276	2.276	2.265	2.253

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-56						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	15/9/2021						
Fecha ensayo	10/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.57	150.68	150.65	150.60	152.87	149.70	151.10
Diámetro 2 [mm]	150.61	151.53	150.20	150.80	151.49	149.53	150.62
Altura 1 [mm]	304.09	299.18	299.11	299.37	302.89	300.05	300.15
Altura 2 [mm]	303.35	299.60	299.76	299.68	302.81	299.70	300.92
Altura 3 [mm]	302.78	300.26	299.93	300.47	302.76	299.32	300.04
Masa [kg]	12.30	12.12	12.00	12.15	12.55	12.06	12.29
Carga máxima [KN]	483.40	442.20	463.00	409.50	417.70	420.60	438.40
Tipo de falla	5	4	5	4	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	276.666	251.363	265.572	234.028	234.094	243.871	250.013
Volumen [l]	5.404	5.374	5.324	5.348	5.508	5.269	5.369
Densidad [ton/m ³]	2.276	2.255	2.254	2.272	2.279	2.289	2.289

Ensayo a compresión – Cilindros HS-210-1%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-14						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	15/9/2021						
Fecha ensayo	29/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.32	150.81	151.42	151.84	152.16	150.53	152.64
Diámetro 2 [mm]	150.81	149.32	152.97	150.88	151.31	150.89	153.26
Altura 1 [mm]	302.16	304.40	306.73	309.58	306.88	303.98	308.63
Altura 2 [mm]	300.57	304.24	308.38	308.62	305.37	304.93	308.36
Altura 3 [mm]	303.12	303.99	306.56	309.66	308.11	305.02	307.33
Masa [kg]	12.34	12.31	12.72	12.71	12.74	12.39	12.79
Carga máxima [KN]	410.90	436.90	441.90	427.20	490.90	413.70	423.00
Tipo de falla	4	4	4	4	4	5	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	235.250	251.805	247.608	242.019	276.734	236.397	234.683
Volumen [l]	5.376	5.380	5.589	5.565	5.548	5.435	5.661
Densidad [ton/m ³]	2.295	2.288	2.276	2.284	2.297	2.280	2.259

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-28						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	14/9/2021						
Fecha ensayo	12/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.51	154.43	151.43	151.66	149.54	151.66	152.09
Diámetro 2 [mm]	151.53	153.56	153.42	151.73	148.76	151.02	151.19
Altura 1 [mm]	303.19	307.92	309.63	303.82	302.57	307.89	307.72
Altura 2 [mm]	303.47	307.67	309.64	304.12	302.66	308.16	306.98
Altura 3 [mm]	304.52	307.94	309.45	304.31	302.90	307.97	307.64
Masa [kg]	12.43	13.05	12.84	12.59	12.40	12.69	12.63
Carga máxima [KN]	453.10	488.20	420.70	435.50	400.30	407.90	453.50
Tipo de falla	4	4	4	4	4	4	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	257.849	267.193	235.018	245.633	233.550	231.147	255.971
Volumen [l]	5.441	5.734	5.649	5.496	5.289	5.541	5.552
Densidad [ton/m ³]	2.285	2.276	2.273	2.291	2.345	2.290	2.275

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-210-56						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	210						
Fecha Elaboración	15/9/2021						
Fecha ensayo	10/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	151.42	150.84	152.19	150.49	153.07	153.04	153.29
Diámetro 2 [mm]	149.38	149.43	150.57	151.35	153.35	153.38	153.17
Altura 1 [mm]	299.95	300.41	299.12	299.28	306.21	306.48	305.76
Altura 2 [mm]	299.90	300.24	299.84	299.70	306.43	305.79	306.04
Altura 3 [mm]	299.17	299.78	300.60	299.74	306.40	305.60	304.75
Masa [kg]	12.14	12.08	12.29	12.14	12.82	12.90	12.89
Carga máxima [KN]	486.40	515.10	553.80	543.60	523.70	457.40	519.30
Tipo de falla	4	5	5	4	5	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	279.087	296.598	313.658	309.761	289.567	252.908	287.059
Volumen [l]	5.324	5.314	5.397	5.359	5.648	5.641	5.634
Densidad [ton/m ³]	2.280	2.273	2.277	2.265	2.270	2.287	2.288

Ensayo a compresión – Cilindros HS-240-0.5%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-240-14						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm2]	240						
Fecha Elaboración	14/9/2021						
Fecha ensayo	28/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.10	152.71	151.77	149.88	151.59	153.71	150.85
Diámetro 2 [mm]	152.68	151.12	154.00	150.17	152.63	153.94	152.57
Altura 1 [mm]	308.83	307.74	305.31	301.14	305.79	307.58	303.77
Altura 2 [mm]	308.29	309.00	307.62	302.11	307.39	307.72	302.40
Altura 3 [mm]	306.02	306.99	308.46	303.22	305.51	307.05	301.01
Masa [kg]	12.77	12.74	12.73	12.19	12.72	13.03	12.41
Carga máxima [KN]	465.20	451.90	418.70	408.60	442.80	433.30	448.30
Tipo de falla	4	4	4	4	4	4	4
Resistencia obtenida [kg/cm2]	259.997	254.145	232.495	235.620	248.389	237.671	252.803
Volumen [l]	5.612	5.581	5.638	5.341	5.565	5.714	5.466
Densidad [ton/m3]	2.275	2.283	2.258	2.282	2.286	2.280	2.270

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-240-28						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm2]	240						
Fecha Elaboración	14/9/2021						
Fecha ensayo	12/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.68	150.29	151.52	153.95	151.31	151.83	150.88
Diámetro 2 [mm]	150.79	150.48	151.60	153.06	151.66	151.19	150.23
Altura 1 [mm]	305.52	302.48	304.64	307.00	303.35	305.69	303.12
Altura 2 [mm]	305.36	302.15	304.67	306.72	303.50	306.12	303.30
Altura 3 [mm]	305.31	301.21	304.47	307.22	303.14	305.79	303.43
Masa [kg]	12.33	12.19	12.45	12.91	12.33	12.51	12.32
Carga máxima [KN]	559.10	558.90	578.80	537.40	539.30	559.50	550.30
Tipo de falla	4	5	5	5	4	4	5
Resistencia obtenida [kg/cm2]	319.376	320.750	327.040	296.001	305.023	316.343	315.101
Volumen [l]	5.450	5.363	5.495	5.681	5.467	5.514	5.399
Densidad [ton/m3]	2.262	2.273	2.266	2.272	2.255	2.269	2.282

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-240-56						
Descripción	0.5%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	15/9/2021						
Fecha ensayo	10/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	149.34	153.72	152.87	152.65	151.61	151.30	150.44
Diámetro 2 [mm]	150.44	153.29	153.01	153.04	152.07	150.59	151.56
Altura 1 [mm]	301.29	304.20	299.42	304.97	303.07	299.04	299.22
Altura 2 [mm]	301.26	304.06	300.18	305.83	303.24	300.89	299.84
Altura 3 [mm]	301.22	304.62	300.51	304.63	302.14	299.26	300.67
Masa [kg]	12.10	12.83	12.44	12.83	12.48	12.25	12.22
Carga máxima [KN]	590.60	702.90	595.00	544.00	552.60	516.00	470.50
Tipo de falla	4	5	5	4	4	5	5
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	341.184	387.159	330.153	302.230	311.085	293.936	267.822
Volumen [l]	5.316	5.632	5.512	5.599	5.483	5.364	5.371
Densidad [ton/m ³]	2.276	2.278	2.257	2.292	2.276	2.284	2.275

Ensayo a compresión – Cilindros HS-240-1%

Edad: 14 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-240-14						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	16/9/2021						
Fecha ensayo	30/9/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.22	154.85	150.75	149.52	152.13	150.32	149.71
Diámetro 2 [mm]	149.74	153.66	151.79	151.32	152.97	151.11	151.08
Altura 1 [mm]	301.50	304.80	301.40	301.10	302.80	301.10	302.50
Altura 2 [mm]	301.00	304.00	300.90	300.90	306.90	302.10	301.00
Altura 3 [mm]	300.90	304.00	301.10	300.10	303.90	304.90	299.10
Masa [kg]	12.23	12.87	12.35	12.05	12.40	12.05	12.10
Carga máxima [KN]	374.50	432.00	378.10	371.40	335.00	361.20	376.80
Tipo de falla	5	4	5	4	4	5	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	213.233	235.639	214.458	213.045	186.836	206.384	216.215
Volumen [l]	5.391	5.686	5.412	5.344	5.566	5.400	5.345
Densidad [ton/m ³]	2.269	2.263	2.282	2.255	2.228	2.231	2.264

Edad: 28 días

Probeta	1	2	3	4	5	6	7
Identificación	HS-240-28						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	16/9/2021						
Fecha ensayo	14/10/2021						
Diámetro 1 [mm]	150.85	151.65	151.88	151.60	151.60	153.58	150.20
Diámetro 2 [mm]	150.28	150.81	152.54	152.02	151.47	153.97	150.51
Altura 1 [mm]	299.80	300.35	307.71	305.20	305.72	307.08	300.84
Altura 2 [mm]	297.70	300.58	307.69	305.75	305.51	304.94	300.63
Altura 3 [mm]	299.30	300.18	305.49	306.19	305.16	305.55	302.48
Masa [kg]	12.07	12.20	12.53	12.53	12.50	12.81	12.13
Carga máxima [KN]	401.61	465.50	448.70	470.60	470.80	502.30	468.20
Tipo de falla	5	4	5	5	4	5	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	229.931	264.171	251.368	265.028	266.104	275.697	268.805
Volumen [l]	5.322	5.395	5.586	5.534	5.509	5.680	5.350
Densidad [ton/m ³]	2.268	2.261	2.243	2.264	2.269	2.255	2.267

Edad: 56 días

Probeta	1	2	3	4	5		
Identificación	HS-240-56						
Descripción	1.0%						
Resistencia esperada [kg/cm ²]	240						
Fecha Elaboración	15/9/2021						
Fecha ensayo	10/11/2021						
Diámetro 1 [mm]	152.31	154.42	151.59	151.50	151.35	151.30	147.90
Diámetro 2 [mm]	151.57	154.04	151.61	151.06	152.95	151.49	150.05
Altura 1 [mm]	305.02	304.35	302.61	301.15	304.05	300.05	302.11
Altura 2 [mm]	302.41	304.00	302.38	301.59	304.15	299.84	301.53
Altura 3 [mm]	302.54	305.01	300.57	301.21	306.62	301.33	300.81
Masa [kg]	12.36	12.92	12.39	12.26	12.54	12.26	11.93
Carga máxima [KN]	634.70	617.50	587.60	602.30	653.10	537.70	513.30
Tipo de falla	4	5	5	4	5	5	4
Resistencia obtenida [kg/cm ²]	356.833	336.931	331.837	341.579	366.165	304.480	300.183
Volumen [l]	5.500	5.688	5.449	5.416	5.544	5.408	5.255
Densidad [ton/m ³]	2.247	2.272	2.274	2.264	2.262	2.267	2.270

ANEXO N° 8
VALORES ESFUERZO - DEFORMACIÓN

Norma ASTM C469

Ensayo módulo de elasticidad – Cilindros SF

SF-210-56

PROBETA 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
3.0	0.000007
4.2	0.000013
7.1	0.000026
9.7	0.000039
10.9	0.000046
12.5	0.000052
13.4	0.000059
15.1	0.000065
21.3	0.000098
24.2	0.000114
30.5	0.000147
33.6	0.000164
39.9	0.000196
51.4	0.000262
56.1	0.000294
61.5	0.000327
73.1	0.000393
83.3	0.000458
93.4	0.000527
111.7	0.000657
120.9	0.000720
129.9	0.000788
138.0	0.000854
147.4	0.000922
154.4	0.000981
171.0	0.001115
177.9	0.001181
193.0	0.001308
201.1	0.001380
207.7	0.001439
215.3	0.001511
228.7	0.001645
245.2	0.001806
261.9	0.001979
286.7	0.002286
299.5	0.002450
311.4	0.002620
322.3	0.002787
339.0	0.003117
345.0	0.003271
349.0	0.003434
353.7	0.003928

PROBETA 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
2.0	0.000007
3.7	0.000013
6.6	0.000026
9.5	0.000039
10.8	0.000046
12.1	0.000052
13.3	0.000059
14.6	0.000065
20.6	0.000098
23.6	0.000114
29.1	0.000147
32.1	0.000163
37.3	0.000195
48.6	0.000261
53.8	0.000293
58.9	0.000326
68.9	0.000391
77.9	0.000456
86.9	0.000521
105.4	0.000655
113.8	0.000716
122.4	0.000782
131.4	0.000850
139.3	0.000912
147.2	0.000977
163.1	0.001107
170.7	0.001176
183.8	0.001303
190.6	0.001368
197.3	0.001433
204.4	0.001505
216.3	0.001628
230.7	0.001794
243.0	0.001957
266.3	0.002286
276.9	0.002449
285.6	0.002612
294.0	0.002784
304.8	0.003107
308.8	0.003276
308.9	0.003426

SF-240-56

PROBETA 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
13.9	0.000007
27.7	0.000043
41.6	0.000108
55.5	0.000187
69.3	0.000266
83.2	0.000348
97.1	0.000433
110.9	0.000521
124.8	0.000607
138.7	0.000705
152.5	0.000800
166.4	0.000908
180.3	0.001036
194.1	0.001154
208.0	0.001259
221.9	0.001400
235.7	0.001511
249.6	0.001643
263.5	0.001764
277.3	0.001938
291.2	0.002092
305.1	0.002262
318.9	0.002459
332.8	0.002636
346.7	0.002852
360.5	0.003157
374.4	0.003282
388.3	0.004256

Ensayo módulo de elasticidad – Cilindros SC-210

SC-210-56-1
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
2.7	0.000007
6.3	0.000027
8.6	0.000040
9.9	0.000047
11.1	0.000053
12.3	0.000060
16.6	0.000083
22.5	0.000117
28.0	0.000150
41.2	0.000233
51.3	0.000300
56.7	0.000333
85.8	0.000534
95.2	0.000600
113.3	0.000734
123.2	0.000807
130.5	0.000867
138.6	0.000934
146.9	0.001000
162.2	0.001137
169.8	0.001204
191.3	0.001404
197.7	0.001474
204.8	0.001544
216.8	0.001667
232.6	0.001847
267.9	0.002338
278.0	0.002508
294.6	0.002838
307.8	0.003181
312.6	0.003335
316.9	0.003515
321.4	0.003858
321.7	0.004035
313.2	0.004185

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
2.5	0.000007
7.3	0.000027
9.8	0.000040
11.0	0.000047
12.3	0.000053
13.5	0.000060
17.5	0.000083
23.5	0.000116
28.5	0.000150
41.9	0.000233
51.4	0.000299
56.6	0.000333
85.9	0.000532
95.4	0.000599
114.0	0.000735
122.5	0.000805
130.5	0.000872
137.7	0.000931
146.8	0.001008
161.7	0.001138
169.0	0.001204
188.6	0.001400
195.5	0.001467
201.7	0.001530
214.8	0.001670
229.2	0.001840
264.3	0.002335
274.2	0.002508
289.6	0.002851
296.1	0.003170
298.5	0.003327
299.8	0.003513

SC-210-56-0.5
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
2.7	0.000013
7.3	0.000040
10.7	0.000060
11.8	0.000067
14.2	0.000083
16.9	0.000100
21.9	0.000134
27.0	0.000167
37.0	0.000234
52.0	0.000334
72.9	0.000468
80.0	0.000534
105.8	0.000735
114.3	0.000802
130.8	0.000935
139.4	0.001005
147.0	0.001069
154.9	0.001139
162.3	0.001202
177.6	0.001339
184.5	0.001403
205.1	0.001607
211.9	0.001673
227.6	0.001837
255.9	0.002171
269.3	0.002345
298.6	0.002839
308.2	0.003006
323.0	0.003340
334.7	0.003691
338.5	0.003848
341.3	0.004025
340.4	0.004325
334.5	0.004395

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
6.5	0.000033
10.2	0.000052
14.1	0.000078
15.6	0.000085
16.5	0.000091
17.7	0.000098
23.1	0.000131
27.8	0.000163
38.1	0.000229
52.6	0.000327
71.4	0.000457
80.4	0.000523
105.3	0.000719
113.9	0.000784
131.0	0.000915
139.6	0.000984
147.6	0.001046
155.2	0.001111
162.9	0.001180
177.7	0.001314
184.9	0.001379
229.6	0.001768
233.2	0.001830
236.8	0.001902
254.7	0.002124
267.8	0.002291
294.7	0.002781
303.0	0.002951
315.9	0.003271
327.2	0.003604
330.1	0.003761
331.5	0.003941

Ensayo módulo de elasticidad – Cilindros SC-240

SC-240-56-1
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
1.3	0.000007
5.5	0.000027
8.3	0.000040
9.7	0.000047
10.9	0.000053
12.2	0.000060
17.7	0.000087
23.4	0.000120
26.2	0.000140
29.4	0.000160
36.0	0.000200
41.1	0.000237
57.2	0.000334
67.2	0.000401
85.8	0.000534
95.6	0.000605
104.6	0.000671
113.3	0.000735
122.2	0.000802
139.6	0.000935
147.2	0.001005
170.7	0.001206
178.2	0.001269
185.6	0.001336
196.2	0.001470
206.5	0.001540
236.9	0.001840
251.7	0.002001
280.3	0.002341
304.0	0.002675
313.2	0.002836
322.6	0.003013
336.3	0.003343
341.6	0.003524
344.4	0.003677
344.8	0.004021

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
3.2	0.000013
6.9	0.000033
9.3	0.000046
10.5	0.000052
11.8	0.000059
13.0	0.000065
18.4	0.000098
24.1	0.000131
30.0	0.000163
45.6	0.000261
54.2	0.000327
63.2	0.000392
90.3	0.000588
98.9	0.000654
116.1	0.000784
124.2	0.000850
132.7	0.000918
140.1	0.000980
147.5	0.001046
162.9	0.001176
171.3	0.001248
192.2	0.001438
198.9	0.001506
205.4	0.001569
228.4	0.001804
242.6	0.001967
280.7	0.002457
290.8	0.002618
306.2	0.002951
329.3	0.003800

SC-240-56-0.5
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
1.4	0.000006
5.5	0.000026
7.7	0.000039
8.8	0.000045
10.2	0.000052
11.3	0.000058
15.1	0.000081
20.9	0.000113
26.1	0.000145
39.7	0.000226
50.0	0.000291
56.3	0.000326
85.7	0.000517
95.4	0.000581
115.0	0.000710
124.0	0.000775
132.7	0.000840
142.0	0.000907
150.5	0.000969
167.3	0.001101
176.4	0.001169
200.4	0.001360
211.7	0.001453
229.4	0.001621
261.7	0.001934
277.2	0.002109
310.7	0.002584
319.6	0.002751
339.0	0.003078
352.7	0.003407
357.4	0.003575
360.6	0.003720
363.1	0.004056
358.6	0.004292

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
2.2	0.000007
6.1	0.000026
9.0	0.000039
10.3	0.000046
11.8	0.000052
12.9	0.000059
17.1	0.000082
22.8	0.000115
28.7	0.000148
42.1	0.000230
52.8	0.000295
57.9	0.000328
88.4	0.000528
97.4	0.000590
117.0	0.000725
125.6	0.000787
134.9	0.000856
143.7	0.000918
152.2	0.000984
168.9	0.001118
176.9	0.001184
199.9	0.001378
207.8	0.001443
214.4	0.001509
229.3	0.001640
246.9	0.001810
287.7	0.002302
301.4	0.002463
325.7	0.002794
344.6	0.003116
352.7	0.003276
360.5	0.003447
371.5	0.003782
366.7	0.003798

Ensayo módulo de elasticidad – Cilindros HS-210

HS-210-56-1
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
11.1	0.000049
13.5	0.000062
16.3	0.000082
18.7	0.000095
24.2	0.000127
27.6	0.000147
31.6	0.000176
34.2	0.000196
45.4	0.000271
49.2	0.000297
54.0	0.000330
64.4	0.000402
79.0	0.000516
89.5	0.000598
98.1	0.000670
104.6	0.000729
110.7	0.000781
119.3	0.000853
122.1	0.000928
140.2	0.001056
146.5	0.001111
152.0	0.001173
157.4	0.001232
170.8	0.001389
176.0	0.001458
178.9	0.001490
188.7	0.001621
201.2	0.001811
211.3	0.001981
228.9	0.002317
235.7	0.002481
242.0	0.002638
246.1	0.002922
249.0	0.003121
252.3	0.003435
252.9	0.003618
251.9	0.003847

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
3.0	0.000013
3.6	0.000016
4.8	0.000023
5.5	0.000026
6.5	0.000033
10.8	0.000056
12.6	0.000065
16.0	0.000085
24.3	0.000128
28.3	0.000154
31.1	0.000170
35.3	0.000196
46.9	0.000268
50.8	0.000295
56.4	0.000331
65.7	0.000393
75.6	0.000462
85.6	0.000527
94.3	0.000596
110.6	0.000717
120.0	0.000792
128.4	0.000858
137.5	0.000933
150.7	0.001051
158.2	0.001123
163.9	0.001172
178.4	0.001316
182.3	0.001358
191.1	0.001447
204.3	0.001591
209.4	0.001643
221.8	0.001797
245.0	0.002128
253.6	0.002298
270.9	0.002651
275.6	0.002769
281.5	0.002969
284.3	0.003103
286.8	0.003450
285.3	0.003597
277.8	0.003623

HS-210-56-0.5
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
5.1	0.000027
6.5	0.000037
8.3	0.000047
10.3	0.000057
13.1	0.000070
18.0	0.000100
23.8	0.000137
25.1	0.000143
27.8	0.000167
33.2	0.000204
37.8	0.000237
41.6	0.000267
51.1	0.000334
61.9	0.000414
68.9	0.000470
77.1	0.000531
86.1	0.000607
94.1	0.000674
103.7	0.000751
117.5	0.000881
124.6	0.000948
131.6	0.001024
137.8	0.001084
149.6	0.001208
157.0	0.001288
160.6	0.001335
184.9	0.001645
200.8	0.001875
208.4	0.001999
224.0	0.002306
233.5	0.002549
237.7	0.002693
242.2	0.003000
243.0	0.003160
237.4	0.003594

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
32.8	0.000203
35.0	0.000223
37.5	0.000236
40.0	0.000260
45.0	0.000293
51.9	0.000343
57.4	0.000383
60.3	0.000406
64.9	0.000439
68.1	0.000466
71.5	0.000489
75.2	0.000516
82.1	0.000573
86.3	0.000613
90.5	0.000646
94.7	0.000682
100.4	0.000736
108.7	0.000806
112.9	0.000846
127.0	0.000972
135.3	0.001055
144.9	0.001152
157.8	0.001288
179.9	0.001548
193.6	0.001748
205.8	0.001938
223.7	0.002267
229.6	0.002387
232.8	0.002467
240.4	0.002700
244.1	0.002860
247.6	0.003016
250.0	0.003346
248.8	0.003616

Ensayo módulo de elasticidad – Cilindros HS-240

HS-240-56-1
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
3.1	0.000003
4.4	0.000010
5.6	0.000017
6.4	0.000020
9.3	0.000033
11.9	0.000047
14.7	0.000060
15.9	0.000067
22.3	0.000100
24.7	0.000117
27.5	0.000133
30.6	0.000150
38.6	0.000200
44.1	0.000233
49.8	0.000266
54.9	0.000300
60.5	0.000333
70.7	0.000399
79.8	0.000466
99.5	0.000603
109.7	0.000676
117.4	0.000736
126.7	0.000802
143.2	0.000932
151.2	0.000999
160.7	0.001079
175.5	0.001202
190.0	0.001332
204.2	0.001465
211.7	0.001535
219.0	0.001604
231.3	0.001734
238.2	0.001808
249.7	0.001937
256.2	0.002014
268.9	0.002167
292.3	0.002503
301.5	0.002663
291.6	0.002696

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
11.6	0.000020
14.0	0.000033
15.0	0.000040
16.7	0.000050
22.1	0.000083
27.1	0.000116
31.9	0.000149
34.5	0.000169
43.2	0.000232
47.8	0.000265
52.6	0.000302
56.5	0.000332
73.9	0.000464
82.3	0.000531
91.2	0.000597
98.7	0.000663
106.8	0.000730
114.2	0.000796
121.6	0.000862
136.8	0.001002
143.4	0.001068
149.7	0.001128
156.4	0.001197
169.5	0.001330
176.3	0.001406
182.2	0.001476
192.9	0.001599
213.0	0.001838
236.7	0.002169
246.3	0.002322
257.2	0.002504
268.2	0.002713
274.0	0.002839
286.6	0.003158
292.4	0.003340
296.2	0.003499
301.0	0.003824
301.2	0.004030
296.9	0.004428
288.3	0.004756

HS-240-56-0.5
PROBET
A 1

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
8.7	0.000043
10.6	0.000053
12.6	0.000067
15.3	0.000083
20.6	0.000117
25.8	0.000150
32.2	0.000200
36.3	0.000237
46.1	0.000300
50.7	0.000334
59.6	0.000400
68.4	0.000467
85.5	0.000604
93.9	0.000671
101.3	0.000734
108.8	0.000801
116.7	0.000867
124.2	0.000934
131.5	0.001001
146.1	0.001138
152.4	0.001204
159.0	0.001271
164.9	0.001335
178.2	0.001478
184.4	0.001541
190.1	0.001605
209.6	0.001845
233.0	0.002172
254.6	0.002509
262.7	0.002672
267.2	0.002839
281.4	0.003186
285.9	0.003336
292.6	0.003680
293.7	0.003837
286.5	0.004014

PROBET
A 2

Esfuerzo [kgf/cm ²]	Def. Axial Unitaria [-]
0	0
4.3	0.000017
6.4	0.000027
7.7	0.000033
9.1	0.000040
12.1	0.000053
14.1	0.000067
20.1	0.000100
23.3	0.000117
29.1	0.000150
31.6	0.000167
36.8	0.000200
42.6	0.000237
52.2	0.000300
57.0	0.000333
67.3	0.000403
77.0	0.000467
86.0	0.000537
95.3	0.000600
104.0	0.000667
121.3	0.000804
130.0	0.000870
138.7	0.000937
146.0	0.001004
162.6	0.001137
170.3	0.001204
177.9	0.001267
192.4	0.001410
204.5	0.001534
216.9	0.001671
234.7	0.001874
244.4	0.001997
267.8	0.002334
267.3	0.002337

ANEXO N° 9
ENSAYOS EN FIBRAS



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



INFORME No. CTP-ITI-2021-07-03

Página 1 de 3

DEPARTAMENTO SOLICITANTE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DICA

Ing. Nicolay Yanchapanta

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

MATERIAL QUE ENTREGA

Una muestra de fibra de coco sin tratamiento.

TRABAJO SOLICITADO:

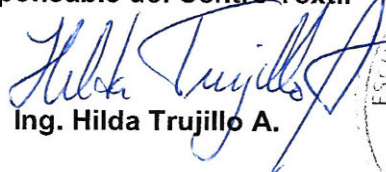
Determinar tenacidad, elongación a la rotura, título y contenido de humedad

FECHA DE RECEPCION ORDEN DE TRABAJO: 2021 / 07 / 08

FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME: 2021 / 07 / 13

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO: DQ-OTI007-2021

Responsable del Centro Textil


Ing. Hilda Trujillo A.



Director del Centro Textil

OMAR FERNANDO BÓNILLA HIDALGO
Firmado digitalmente
por OMAR FERNANDO
BONILLA HIDALGO

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

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



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2021-07-03

Página 2 de 3

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

Probeta	Vel. prueba [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	6,90	0,07828	57,07	31,4	0,121
2	30	9,50	0,11783	46,77	47,2	0,203
3	30	19,00	0,10058	96,27	40,3	0,198
4	30	6,78	0,08056	51,00	32,2	0,133
5	30	15,60	0,11318	93,46	45,4	0,167
6	30	26,60	0,09166	164,42	36,7	0,161
7	30	15,00	0,07281	70,48	29,2	0,212
8	30	11,80	0,07104	88,89	28,5	0,132
9	30	18,00	0,10105	94,33	40,5	0,190
10	30	12,60	0,09875	73,85	39,6	0,170
11	30	9,04	0,09454	46,58	37,9	0,194
12	30	6,08	0,04982	67,59	20	0,090
13	30	8,46	0,09724	48,62	38,9	0,174
14	30	22,60	0,30427	153,23	122	0,148
15	30	10,30	0,07501	93,99	30,1	0,110
16	30	7,58	0,10122	37,71	40,6	0,201
17	30	5,69	0,05173	48,85	20,7	0,116
18	30	7,00	0,04173	60,87	16,7	0,115
19	30	8,54	0,09638	46,27	38,6	0,185
20	30	12,00	0,08779	56,59	35,2	0,213
21	30	6,23	0,05171	58,74	20,7	0,106
23	30	13,50	0,11592	66,46	46,4	0,204
24	30	21,90	0,0829	157,07	33,2	0,140
25	30	7,63	0,12124	41,49	48,6	0,184
26	30	13,70	0,09387	66,50	37,6	0,206
27	30	6,48	0,08898	39,60	35,7	0,164
28	30	7,26	0,08918	68,54	35,7	0,106
29	30	10,10	0,10484	55,56	42,1	0,181
30	30	4,96	0,05986	49,39	24	0,101
31	30	6,90	0,07828	57,07	31,4	0,121
32	30	9,50	0,11783	46,77	47,2	0,203
33	30	19,00	0,10058	96,27	40,3	0,198
Media	30	11,40	0,09427	72,42	37,8	0,159
Desviación estándar	0	5,67	0,05	34,31	18,28	0,040

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

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





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2022-01-01

Página 1 de 3

DEPARTAMENTO SOLICITANTE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DICA

Ing. Nicolay Yanchapanta

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

MATERIAL QUE ENTREGA

Dos grupos de muestras de fibra de coco con tratamientos de humo de sílice y NaOH.

TRABAJO SOLICITADO:

Determinar tenacidad, elongación a la rotura, título,

FECHA DE RECEPCION ORDEN DE TRABAJO: 2022 / 01 / 24

FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME: 2022 / 01 / 25

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO: DQ-OTI0001-2022

Responsable del Centro Textil



Firmado electrónicamente por:
HILDA LUCIA
TRUJILLO
AREVALO

Ing. Hilda Trujillo A.

Director del Centro Textil

OMAR FERNANDO Firmado digitalmente
BONILLA por OMAR FERNANDO
HIDALGO BONILLA HIDALGO

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

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



INFORME No. CTP-ITI-2022-01-01

Página 2 de 3

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

Probeta	Vel. prue [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	TiempoalBreak [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	5,75	0,0895	54,97	35,90	0,105
2	30	4,22	0,1127	40,33	45,10	0,105
3	30	7,56	0,0913	63,41	36,70	0,119
4	30	7,02	0,1123	67,00	45,00	0,105
5	30	5,78	0,0159	69,89	6,39	0,083
6	30	5,95	0,1206	33,52	48,40	0,178
7	30	11,7	0,0105	172,28	4,23	0,068
8	30	10,1	0,1013	69,23	40,70	0,146
9	30	3,22	0,0805	39,13	32,40	0,082
10	30	5,39	0,1332	47,25	53,30	0,114
11	30	3,36	0,0588	26,84	23,50	0,125
12	30	17,7	0,1070	85,45	42,90	0,207
13	30	3,2	0,0920	36,02	36,90	0,089
14	30	4,29	0,1171	41,07	47,20	0,104
15	30	3,74	0,0968	36,96	38,90	0,101
16	30	8,34	0,0739	69,70	29,60	0,120
17	30	5,52	0,1171	37,33	46,90	0,148
18	30	5,84	0,0662	79,44	26,50	0,074
19	30	17,7	0,0216	227,68	8,69	0,078
21	30	7,84	0,1205	80,77	48,40	0,097
23	30	11,7	0,1041	91,62	41,90	0,128
24	30	7,02	0,0128	101,10	5,18	0,069
25	30	5,14	0,0858	52,43	34,50	0,098
26	30	7,77	0,0900	57,31	36,10	0,135
27	30	5,49	0,0871	47,62	35,00	0,115
28	30	14,6	0,0973	130,27	39,00	0,112
29	30	9,91	0,0665	97,88	26,70	0,101
30	30	7,96	0,1022	53,07	41,00	0,150
31	30	8,04	0,0761	81,40	30,50	0,099
32	30	4,21	0,0311	51,01	12,50	0,083
33	30	7,54	0,0831	71,40	33,30	0,111
34	30	3,88	0,0300	42,86	13,77	0,030
Media	30	5,75	0,0895	54,97	35,90	0,105
Desviación estándar	0	4,22	0,1127	40,33	45,10	0,105

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



INFORME No. CTP-ITI-2022-01-01

Página 3 de 3

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

Probeta	Vel. prueba [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	Tiempo al Break [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	7,39	0,1089	83,39	43,60	0,089
2	30	19,50	0,1122	131,07	44,90	0,149
3	30	6,84	0,1117	74,23	44,70	0,092
4	30	5,63	0,1251	56,47	50,10	0,100
5	30	8,46	0,1334	59,81	53,40	0,141
6	30	5,06	0,0235	91,67	9,45	0,055
7	30	17,80	0,1523	143,78	61,10	0,124
8	30	6,29	0,1522	50,28	60,90	0,125
9	30	3,89	0,0578	52,90	23,20	0,074
10	30	5,76	0,1139	38,64	45,60	0,149
11	30	2,26	0,0276	41,81	11,10	0,054
12	30	11,40	0,0532	184,05	21,30	0,062
13	30	7,68	0,1114	7,33	44,60	1,048
14	30	10,20	0,1043	127,72	42,00	0,080
15	30	8,27	0,0935	77,65	37,60	0,107
16	30	8,16	0,0886	78,24	35,70	0,104
17	30	3,94	0,0723	51,45	29,00	0,077
18	30	5,19	0,1023	53,22	41,00	0,097
19	30	8,29	0,0883	58,79	35,50	0,141
20	30	3,86	0,0801	64,65	32,20	0,060
21	30	6,95	0,1126	84,57	45,20	0,082
23	30	5,02	0,0924	53,99	37,20	0,093
24	30	7,07	0,1182	62,50	47,40	0,113
25	30	7,88	0,1587	55,75	63,70	0,141
26	30	8,37	0,1239	76,70	49,60	0,109
Media	30	14,40	0,1368	132,96	54,80	0,108
Desviación estándar	0	7,91	0,1021	76,68	41,00	0,137

Responsable del Centro Textil



Firmado electrónicamente por:
HILDA LUCIA
TRUJILLO
AREVALO

Ing. Hilda Trujillo A.

Director del Centro Textil

OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO
Firmado digitalmente por OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO

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

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