



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS
CON FIBRA DE COCO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

LILIANA JULISSA MALAVE MALAVE
JONATHAN FABIAN REYES BORBOR

TUTOR:

ING. ALEJANDRO CRISOSTOMO VELIZ AGUAYO, PhD

LA LIBERTAD, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios Todopoderoso, por dame la vida, la sabiduría y la fuerza para alcanzar esta meta. A mis padres, Rocio y Luis, por su constante apoyo y la confianza depositada en cada paso de este proceso educativo, por cada sacrificio que hicieron para que este momento llegara, por enseñarme a valorar que con esfuerzo ninguna meta es imposible. A mis hermanos, por sus palabras de aliento, para motivarme a superar las situaciones más complejas.

Malavé Malavé Liliana

Dedico en primer lugar a Dios por brindarme sabiduría, fortaleza y salud en los momentos más difíciles que se me presentaron y de esta forma culminar este logro alcanzado. A mis padres y familiares por su constante apoyo incondicional, por brindarme su cariño, consejos y por realizar un sinnúmero de sacrificios para desarrollar mi formación. A mis amigos y compañeros que me acompañaron a lo largo de este proceso. A los docentes, su dedicación y el don de impartir conocimientos me inculcaron a estudiar, investigar para elaborar este proyecto.

Reyes Borbor Jonathan

AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a aquellos docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena que compartieron un poco de su conocimiento y sabiduría a lo largo de este hermoso camino. De manera especial, agradezco al Ingeniero Alejandro Véliz, mi tutor de tesis, y al docente Ingeniero Richard Ramírez: su valioso conocimiento y orientación fueron esenciales en el desarrollo de este proceso de titulación.

Malavé Malavé Liliana

A Dios, por ser mi guía en el camino correcto, llenándome de esperanza y serenidad en los momentos más difíciles. A mis padres, por su amor incondicional, por sus valiosos consejos, por ser un ejemplo por seguir y pensar que con esfuerzo, dedicación y voluntad. A mi compañera de trabajo Liliana Malavé, su responsabilidad, compromiso, paciencia, colaboración fue de gran importancia. A mi tutor, por impartir sus conocimientos y su predisposición oportuna. Su guía fue relevante para la obtención de excelentes resultados.

Reyes Borbor Jonathan

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Trabajo de Integración Curricular denominado **“INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”**, elaborado por los Sres. MALAVÉ MALAVÉ LILIANA JULISSA y REYES BORBOR JONATHAN FABIAN, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberlo dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR



Ing. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, Ph. D.

La Libertad, a los 20 del mes de Julio del año 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Malavé Malavé, Liliana Julissa y Reyes Borbor, Jonathan Fabian**

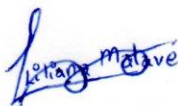
DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación **“INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”**, previo a la obtención del título de **Ingenieros Civiles**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 17 del mes de Julio del año 2026

LOS AUTORES



Malavé Malavé Liliana Julissa



Reyes Borbor Jonathan Fabian

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Malavé Malavé, Liliana Julissa y Reyes Borbor, Jonathan Fabian**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación denominado **“INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 17 del mes de Julio del año 2026

LOS AUTORES



Malavé Malavé Liliana Julissa



Reyes Borbor Jonathan Fabian

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”**, elaborado por los estudiantes **MALAVE MALAVE LILIANA JULISSA** y **REYES BORBOR JONATHAN FABIAN**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio, luego de haber cumplido con los requerimientos de valoración, el presente trabajo de titulación, se encuentra con un 2% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el siguiente certificado.

Adjunto del reporte de análisis.

Atentamente,



Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo Ph. D.

DOCENTE TUTOR

C.I.: 0908182280

La Libertad, a los 21 del mes de Julio del año 2026

REPORTE DE ANÁLISIS (ANTIPLAGIO)



Certificado de análisis
Compilatio Studium

tesis Malave-Reyes plagio(1)

ID : f39c1ca6192f587a1a882f852074e52db664c280



2%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : tesis Malave-Reyes plagio(1).txt
Tamaño del archivo original : 515,29 kB
Número de palabras : 17.725

Depositante : Nestor Orrala Vera
Fecha de depósito : 21 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 21 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

<1%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

<1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Fuentes de similitudes (sección 2/2)



Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones
1	 EFECTO DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO EN LA DIFUSIÓN DE... localhost/xmlui/bitstream/123456789/3183/3/TESIS%20jonathan_alvarado... 🔗	<1%	

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"INFLUENCIA DEL USO DEL NAOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO"**, de los estudiantes: **LILIANA JULISSA MALAVE MALAVE** y **JONATHAN FABIAN REYES BORBOR**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

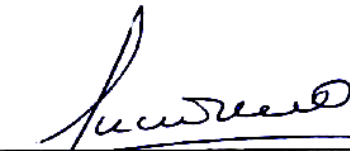
En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 19 de Julio del 2026


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529

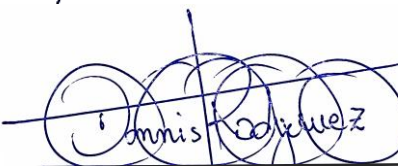
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Ph.D.

DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Dennis Rodríguez Suárez, MSc.

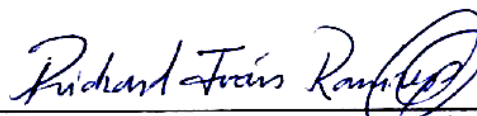
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz

Aguayo, PhD.

DOCENTE TUTOR



Ing. Richard Ramírez Palma, MSc.

DOCENTE GUIA DE LA UIC

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICACION GRAMATICAL Y ORTOGRAFICA	ix
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	x
CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. ANTEDECENTES	3
1.3. HIPÓTESIS	6
1.3.1. Hipótesis general.....	6
1.3.2. Hipótesis Específicas.	6
1.4. OBJETIVOS	7
1.4.1. Objetivo General.	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. ALCANCE	7
1.6. VARIABLES.....	9

1.6.1.	Variables Independientes	9
1.6.2.	Variables Dependientes.....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....		10
2.1.	EL HORMIGÓN	10
2.1.1.	Definición y Generalidades.....	10
2.1.2.	Composición del Hormigón.....	10
2.1.3.	Propiedades mecánicas del Hormigón.	11
2.1.4.	Diseño de Mezcla de Hormigón.....	12
2.2.	LA FIBRA DE COCO (COIR).....	12
2.2.1.	Origen y Disponibilidad.....	12
2.2.2.	Composición Química de la Fibra de Coco.	13
2.2.3.	Propiedades Físicas y Mecánicas de la Fibra de Coco.....	13
2.2.4.	Ventajas y Desventajas del Uso de la Fibra de Coco en Hormigón. 14	
2.3.	PRETRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)	15
2.3.1.	Fundamento del Tratamiento Alcalino (Mercerización).....	15
2.3.2.	Efectos del Pretratamiento con NaOH sobre la Fibra de Coco.....	15
2.3.3.	Parámetros del Pretratamiento.	15
2.3.4.	Técnicas de Caracterización de la Fibra Tratada.	16
2.4.	HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF)	16
2.4.1.	Concepto y Clasificación.	16
2.4.2.	Mecanismo de Acción de las Fibras en la Matriz Cementicia.	17
2.4.3.	Influencia de la Dosificación de Fibras.....	18
2.4.4.	Antecedentes de Investigación sobre Fibra de Coco en Hormigón. 19	
2.5.	NORMAS TÉCNICAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD	19
2.5.1.	ASTM C39: Resistencia a la compresión de Cilindros de Hormigón.	19
2.5.2.	ASTM C31: Preparación y Curado de Especímenes de Hormigón.	20
2.5.3.	ASTM C143: Asentamiento del Hormigón Fresco.....	20
2.5.4.	INEN 2874: Fibras Naturales.....	20
2.5.5.	Otras Normas Aplicables.	20
2.6.	ANÁLISIS DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN	21

2.6.1.	Análisis de Precio Unitario (APU).....	21
2.6.2.	Viabilidad Económica de Materiales Alternativos en Construcción.....	22
CAPITULO III: METODOLOGÍA		23
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	23
3.1.1.	Tipo.	23
3.1.2.	Diseño.	23
3.2.	MÉTODO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.2.1.	Método.	24
3.2.2.	Enfoque.	24
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	25
3.3.1.	Población.....	25
3.3.2.	Muestra.....	25
3.4.	UBICACIÓN Y MATERIAL DE ESTUDIO	27
3.4.1.	Ubicación.	27
3.4.2.	Fuente de los agregados.	27
3.4.3.	Fuente de la fibra.....	28
3.4.4.	Cemento.	28
3.5.	OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE COCO.....	29
3.6.	METODOLOGÍA DEL O. E. I: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO	30
3.6.1.	Caracterización física de la fibra de coco.	30
3.6.2.	Estimación gravimétrica de fracciones lignocelulósicas mediante tratamiento químico secuencial.....	33
3.6.3.	Caracterización mecánica de la fibra de coco.....	36
3.6.4.	Aplicación de tratamiento alcalino a la fibra de coco para la mejora de su adherencia.	40
3.6.5.	Evaluación del efecto del pretratamiento químico sobre las propiedades de la fibra de coco.	41
3.6.6.	Diseño experimental factorial para la evaluación de variables en mezclas de hormigón reforzado con fibra de coco.	44

3.7.	METODOLOGÍA DEL O. E. II: DISEÑO DE HORMIGÓN DE RESISTENCIA 240 kg/cm ² , CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA.	
		44
3.7.1.	Granulometría.	44
3.7.2.	Contenido de Humedad.....	46
3.7.3.	Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado grueso.	48
3.7.4.	Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado fino.....	49
3.7.5.	Peso volumétrico varillado del agregado grueso.	51
3.7.6.	Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso.....	52
3.7.7.	Absorción.....	53
3.7.8.	Diseño.	55
3.7.9.	Elaboración de probetas.	65
3.8.	METODOLOGÍA DEL O. E. III: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO.	72
3.8.1.	Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón patrón con resistencia de diseño $f'c = 240$ kg/cm ²	72
3.8.2.	Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón $f'c = 240$ kg/cm ² con incorporación del 1% de fibra de coco.....	73
3.8.3.	Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón con resistencia de diseño $f'c'=280$ kg/cm ²	73
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		74
4.1.	RESULTADOS DEL O. E. I: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO	75
4.2.	RESULTADOS DEL O. E. II: DISEÑO DE HORMIGÓN DE RESISTENCIA 240 kg/cm ² , CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRAS	85
4.2.1.	Caracterización de los agregados.....	85
4.2.2.	Resistencia a la compresión del diseño de mezcla patrón y con adición de fibra de coco.	92
4.3.	RESULTADOS DEL O. E. III: ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	95
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		101
5.1.	CONCLUSIONES	101
5.2.	RECOMENDACIONES	103

BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del Hormigón	12
Tabla 2 Distribución de probetas de Hormigón	26
Tabla 3 Parámetros del tratamiento con NaOH.....	27
Tabla 4 Resistencia requerida promedio f_{cr}	55
Tabla 5 Asentamiento según el tipo de estructura.....	56
Tabla 6 Asentamiento según la consistencia de la mezcla	57
Tabla 7 Volumen unitario del agua	58
Tabla 8 Contenido de aire atrapado.....	59
Tabla 9 Relación agua-cemento	60
Tabla 10 Valores para calcular el Módulo de Finura-Agregado Fino.....	61
Tabla 11 Valores del diseño de mezcla	62
Tabla 12 Valores corregidos por humedad.....	63
Tabla 13 Valores corregidos por absorción.....	64
Tabla 14 Valores de diseño corregido	64
Tabla 15 Cantidad de material para probetas	66
Tabla 16 Cantidad de material considerando desperdicio	67
Tabla 17 Cantidad de fibra por porcentaje	71
Tabla 18 Esfuerzos de la fibra de coco.....	76
Tabla 19 Combinaciones del tratamiento para las variables	77
Tabla 20 Efectos promedios	78
Tabla 21 Suma de cuadrados.	79

Tabla 22 Suma de cuadrados del error.	79
Tabla 23 Cuadrado medio	80
Tabla 24 Valor de P.....	80
Tabla 25 Residuales y adecuación del modelo.....	80
Tabla 26 Residuales y adecuación del modelo.....	80
Tabla 27 Residuales y adecuación del modelo.....	81
Tabla 28 Residuales y adecuación del modelo.....	81
Tabla 29 Probabilidad normal	81
Tabla 30 Residuales contra el rendimiento predicho	83
Tabla 31 Resumen de Caracterización de Fibra de Coco.....	84
Tabla 32 Granulometría del Agregado Grueso	85
Tabla 33 Granulometría del Agregado Fino.....	87
Tabla 34 Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso.....	88
Tabla 35 Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino	89
Tabla 36 Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso	89
Tabla 37 Densidad Saturada Superficialmente Seca del Agregado Grueso (D.S.S.S.)	89
Tabla 38 Densidad Saturada Superficialmente Seca del Agregado Fino (D.S.S.S.).....	90
Tabla 39 Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso	90
Tabla 40 Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.....	91
Tabla 41 Porcentaje de Humedad del Agregado Grueso	91
Tabla 42 Porcentaje de Humedad del Agregado Fino.....	91
Tabla 43 Resumen de valores obtenidos de ensayos previo al diseño de mezclas	92

Tabla 44 Análisis de precio unitario del patrón	97
Tabla 45 Análisis de precio unitario para un diseño de $f'c=280\text{kg/cm}^2$	98
Tabla 46 Análisis de precio unitario para un diseño de $f'c=240\text{kg/cm}^2 + 1\%$ de fibra de coco tratada con NaOH.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Observación de la fibra de coco mediante microscopía	31
Figura 2 Densidad de la fibra	33
Figura 3 Medición de resistencia mediante dinamómetro modelo NEL-A-1000N	38
Figura 4 Temperatura de la solución alcalina	41
Figura 5 Fibras individuales de coco	43
Figura 6 Granulometría del agregado fino	46
Figura 7 Colocación de muestra al horno modelo 21-350ERS-00157	47
Figura 8 Preparación del agregado grueso para ensayo de densidad:	49
Figura 9 Ensayo de densidad del agregado fino:	50
Figura 10 Ensayo de peso volumétrico	52
Figura 11 Colocación de agregado fino	53
Figura 12 Agregado grueso para absorción	54
Figura 13 Revenimiento del hormigón	57
Figura 14 Cilindros de Hormigón	65
Figura 15 Ensayo para determinar el tiempo de fraguado:	68
Figura 16 Elaboración de mezclas de hormigón:	71
Figura 17 Combinaciones entre concentración de NaOH y temperatura.....	78
Figura 18 Gráfica de probabilidad normal	82
Figura 19 Residuales contra el rendimiento predicho.....	83
Figura 20 Granulometría del agregado grueso	86

Figura 21 Granulometría del agregado fino	88
Figura 22 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 7 días.....	93
Figura 23 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 14 días.....	93
Figura 24 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 28 días.....	94
Figura 25 Comparativa de los resultados de resistencia a la compresión.	95

“INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”

Autores: Malavé Malavé Liliana Julissa y Reyes Borbor Jonathan Fabian

Tutor: Ing. Alejandro Véliz Aguayo, PhD.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la viabilidad técnica y económica de un hormigón de 240 kg/cm² incorporando fibra de coco pretratada con hidróxido de sodio (NaOH), mediante la evaluación de su comportamiento mecánico y la comparación de sus costos respecto al hormigón convencional. Para ello, se analizó el efecto del pretratamiento químico sobre la fibra mediante ensayos de caracterización física, química y mecánica, con el fin de identificar las modificaciones producidas en sus propiedades y su interacción con la matriz cementicia. Posteriormente, se elaboraron mezclas de hormigón incorporando porcentajes de 0.5 %, 1%, 1,5 %, 2 % y 2.5 % de fibra de coco pretratada, las cuales fueron evaluadas mediante ensayos basados en la norma ASTM C39 para determinar el porcentaje de incorporación más adecuado. Finalmente, se efectuó un análisis de precios unitarios por metro cúbico para comparar la competitividad económica del hormigón reforzado con fibra respecto al hormigón convencional. Los resultados demostraron que el 1% de fibra de coco pretratada con NaOH fue el porcentaje óptimo de incorporación, al presentar el mejor comportamiento frente al ensayo de resistencia a la compresión en comparación con las demás dosificaciones evaluadas. Asimismo, el análisis económico mostro un costo de \$129,28 USD/m³ para el hormigón convencional y de \$129,69 USD/m³ para el hormigón reforzado con fibra de coco, representando una diferencia de apenas 0,41 USD/m³ (0,32 %), se realiza esta comparación económica debido a que ambos alcanzan resistencias similares. En consecuencia, se concluye que el hormigón con 1% de fibra de coco pretratada constituye una alternativa técnica y económicamente competitiva, favoreciendo además el aprovechamiento sostenible de un residuo agroindustrial.

Palabras clave: hormigón reforzado, fibra de coco, ACI 211.1, resistencia a la compresión, análisis de precio unitario.

“INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE COCO”

Autores: Malavé Malavé Liliana Julissa y Reyes Borbor Jonathan Fabian

Tutor: Ing. Alejandro Véliz Aguayo, PhD.

ABSTRACT

The present research aimed to determine the technical feasibility of a 240 kg/cm² concrete incorporating coconut fiber pretreated with sodium hydroxide (NaOH), through the evaluation of its mechanical behavior and the comparison of its costs with respect to conventional concrete. To this end, the effect of chemical pretreatment on the fiber was analyzed through physical, chemical, and mechanical characterization tests, in order to identify the modifications produced in its properties and its interaction with the cementitious matrix. Subsequently, concrete mixtures were prepared, incorporating percentages of 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, and 2.5% of pretreated coconut fiber, which were evaluated through tests based on ASTM C39 standard to determine the most suitable incorporation percentage. Finally, a unit price analysis per cubic meter was carried out to compare the economic competitiveness of fiber-reinforced concrete with respect to conventional concrete. The results demonstrated that 1% of coconut fiber pretreated with NaOH was the optimal incorporation percentage, as it exhibited the best performance in the compressive strength test compared to the other dosages evaluated. Likewise, the economic analysis showed a cost of \$129.28 USD/m³ for conventional concrete and \$129.69 USD/m³ for coconut fiber-reinforced concrete, representing a difference of only \$0.41 USD/m³ (0.32%). Consequently, it is concluded that concrete with 1% pretreated coconut fiber constitutes a technically and economically competitive alternative, as it improves the mechanical performance of the material without significantly increasing its cost, while also promoting the sustainable use of an agro-industrial waste product.

Keywords: reinforced concrete, coconut fiber, ACI 211.1, compressive strength, unit price analysis.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector de la construcción en Ecuador enfrenta varios retos, entre ellos la demanda de los materiales de construcción, que se ha incrementado en los últimos años. Esto plantea la necesidad de minimizar el impacto ambiental generado por el sector, pues la producción de estos materiales implica el uso intensivo de recursos naturales y genera grandes cantidades de emisiones de CO₂ según lo manifiestan Villao-Vera & Llangarí-Romero (2024), por ello se ha promovido la utilización de materiales naturales alternativos que contribuyan a la elaboración de hormigones sin comprometer su viabilidad económica.

Chandrakar et al. (2023), manifiestan que la utilización de fibras naturales en la construcción de hormigones ha demostrado ser una alternativa viable, debido a que la fibra de coco es un material que existe en grandes cantidades y aporta beneficios como bajo costo y mayor durabilidad. Esta fibra se obtiene de un residuo agroindustrial que se genera en grandes cantidades en zonas tropicales y permite transformar el residuo en un material útil para la construcción.

Para la elaboración de hormigones se debe considerar que la fibra de coco previamente debe ser tratada con agentes químicos antes de su incorporación a la mezcla, debido a que presenta ciertas características hidrofílicas y ciertas impurezas superficiales (Mohammadi et al., 2024), las cuales afectan y existe el riesgo de que la fibra y la matriz cementicia no desarrollen una adecuada adherencia lo que puede ocasionar que la mezcla del hormigón no alcance la resistencia requerida.

El propósito de este proyecto es analizar la relación costo-beneficio entre hormigón convencional y hormigón reforzado con fibra de coco expuesta a pretratamiento con NaOH en función de las mejoras mecánicas obtenidas en comparación con el hormigón convencional.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El hormigón presenta ciertas limitaciones en su comportamiento mecánico, como la fragilidad, la fisuración y el elevado peso propio. Estas limitaciones han impulsado la investigación de alternativas que mejoren las propiedades mecánicas del material sin

incrementar significativamente los costos. En este contexto, se plantea la incorporación de fibras naturales en las mezclas de hormigón como refuerzo, debido a que son accesibles, económicas y presentan un menor impacto ambiental.

En la industria de la construcción, particularmente en la elaboración de hormigón, se ha incrementado el uso de fibras naturales como material de refuerzo debido a su capacidad para mejorar determinadas propiedades mecánicas del hormigón. Entre las diferentes alternativas disponibles, la fibra de coco ha despertado un interés creciente por su amplia disponibilidad en varias regiones del Ecuador y por constituir un residuo agroindustrial con potencial de valorización.

No obstante, Li Zhijian et al. (2007) señalan que la fibra de coco en su estado natural presenta un comportamiento hidrofílico, lo que dificulta su adecuada adherencia e integración con la matriz cementicia. Esta condición puede afectar la calidad de la mezcla y, en consecuencia, disminuir las propiedades mecánicas del hormigón si la fibra no recibe un tratamiento previo adecuado.

Esta incompatibilidad físico-química que existe entre la fibra lignocelulósica y la matriz alcalina del hormigón constituye uno de los principales obstáculos para su utilización práctica en el sector de la construcción.

Monsalve Arias et al. (2025) mencionan que la fibra de coco tiende a absorber agua debido a los compuestos presentes en su superficie, por ello que cuando se mezcla con el hormigón, la mezcla puede presentar una menor resistencia. Esto ocurre porque no existe la transferencia adecuada de cargas entre la mezcla y el refuerzo lo que provoca una limitada capacidad para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas de hormigón con estas fibras según Lakhiar et al. (2021).

Para tratar las fibras de coco se utiliza frecuentemente el hidróxido de sodio puesto que este compuesto es capaz de modificar la estructura lignocelulósica de la fibra lo que permite que las fibras de coco, al entrar en contacto, con la mezcla de cemento presenten una mayor rugosidad superficial favoreciendo su adherencia con la matriz cementicia y contribuya a mejorar la durabilidad del hormigón. Tal mercerización conduce a la extracción parcial de la hemicelulosa, lignina y ceras superficiales, incrementando la rugosidad superficial de la fibra y

exponiendo grupos funcionales de celulosa que mejoran el anclaje mecánico y la unión química con la matriz cementicia de acuerdo con Bianchi Martinelli et al. (2023).

Según Martinelli et al. (2024) es importante estudiar a fondo la concentración de hidróxido de sodio para determinar cómo este actúa al entrar en contacto con la mezcla de hormigón reforzado, debido a que será posible observar claramente los cambios microscópicos que ocurren en las fibras.

Para la fabricación del hormigón con fibra de coco es esencial considerar los gastos adicionales que están relacionados con el proceso que se utiliza mediante reactivos químicos, la mano de obra y la gestión de los residuos, por lo tanto, es fundamental llevar un análisis minucioso de costos que determine un costo de producción de cada metro cubico al utilizar. Por medio de esta evaluación exhaustiva se permitirá conocer la viabilidad técnica y económica para poder aplicar en proyectos de construcción donde se ocupe el hormigón con cuidado al medio ambiente.

1.2. ANTEDECENTES

En el ámbito de la Ingeniería Civil es importante minimizar el impacto ambiental de manera significativa; en este contexto se ha optado por la incorporación de fibras de coco en la construcción de hormigones. Estas fibras son de origen natural lo que permite que las construcciones sean más amigables con el ambiente. (Paricaguán et al., 2013) Estudios permitieron llegar a la conclusión de que la implementación de fibras de coco en la construcción de hormigones resulta eficaz debido a que se logró comprobar que dichas fibras aportan beneficios a la estructura, mejorando las propiedades mecánicas del hormigón, lo que resulta a una disminución en el impacto ambiental.

Según la investigación de Vera-Sánchez et al. (2024) titulada “Mejora del Concreto Estructural con Fibras de Coco” se ha analizado cómo las fibras de coco han contribuido a mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. Se ha evidenciado en este trabajo unas mejoras tanto en la ductilidad como en la absorción en un 1%; así mismo aumento de su resistencia a la compresión en un 10%.

Para Quintero García & González Salcedo (2006) la fibra de estopa de coco aporta beneficios en la mezcla de hormigón, el contenido recomendado de fibra de coco corresponde

a porcentajes volumétricos de 0,5% y 1,5% y con una longitud de 2.5 cm lo que incrementa la resistencia a la compresión, con cantidades del 1,5% de fibra y 2 cm de longitud ofreció los mejores resultados dentro de la investigación. Finalmente, concluyeron que las fibras del coco logran penetrar en los espacios vacíos reduciendo la formación de grietas. Los autores manifiestan que cuando la fibra de coco es tratada con hidróxido de sodio, las fibras presentan una mejor adherencia a la matriz de hormigón incrementando la resistencia mecánica del material.

En el estudio de Sánchez Rengifo (2024), sobre la “Influencia de la adición de las fibras de coco en las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Tarapoto 2024”, el objetivo fue estudiar las propiedades físicas y mecánicas mediante la incorporación de fibras de coco en la mezcla de hormigón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para este estudio se utilizaron tres probetas de hormigón, cada una de ellas contenía diferentes porcentajes de fibra de coco, las cuales fueron puestas a ensayos para medir su resistencia a compresión. Con base en los resultados obtenidos se concluyó que a medida que aumenta el contenido de fibra de coco que se utilice en la mezcla esta tiende ser menos resistente a la compresión, por esta razón al incorporar un contenido de fibra como el 3% se reduce significativamente la resistencia a la compresión pasando de 277.8 kg/cm^2 en el hormigón patrón a 77.8 kg/cm^2 en el hormigón al 3% de fibra de coco, en consecuencia, se recomienda emplear contenidos inferiores al 1% con el fin de que la mezcla no presente reducciones significativas en su resistencia a compresión.

Según García González (2015), “Estudio de factibilidad para la industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa de Oro – Esmeraldas” indica que la cáscara de coco posee diversas propiedades mecánicas, las cuales aportan durabilidad cuando se mezcla con otros materiales, además, se evidenció que la utilización de la fibra de coco ayuda a reducir la contaminación ambiental de estos desechos debido a que son arrojados en grandes cantidades, así mismo también representa una alternativa económica debido a que puede obtenerse a bajo costo y en cualquier provincia de la costa ecuatoriana ya que el 70% de la población se dedica a la producción de coco.

De acuerdo con Giler Llor & López Ponce (2022) en su estudio titulado “Análisis de factibilidad de la incorporación de fibra del coco al mortero tradicional para mejorar sus capacidades mecánicas” concluyeron que el uso de fibras de coco únicamente es viable en la

construcción de ciertos elementos, pero no en estructuras de gran envergadura debido a que no alcanza la resistencia requerida. Lo anterior se debe a que al incorporar las fibras de coco la mezcla tiende a demandar una mayor cantidad de agua y además se requiere la incorporación de materiales complementarios.

Según Rodríguez Ponce & Vélez Cuadros (2022) se enfocaron en determinar cuál de los dos tratamientos químicos presentan mejores resultados. El primer tratamiento consistió en tratar las fibras de estopa de coco con el hidróxido de sodio mediante mercerización con NaOH al 4% y el segundo consistió en tratar humo de sílice y goma arábica, reemplazando entre el 0,5% y el 1% del volumen del agregado grueso para hormigones con resistencia de diseño de 210 y 240 kg/cm². Los autores concluyeron que el tratamiento más eficiente es tratar las estopas de coco con hidróxido de sodio debido a que presenta mejoras en las propiedades del hormigón en comparación con el hormigón tradicional, especialmente en la dosificación de 210 kg/cm² superando al hormigón convencional.

De acuerdo con Cedeño Vélez et al. (2024), en su estudio titulado “Fibra de coco y su efecto en la resistencia a la compresión simple y porosidad del hormigón”, el estudio tuvo como objetivo principal determinar cómo la sustitución parcial del agregado fino por fibra de coco afecta la resistencia a compresión en diferentes porcentajes (0,5%, 1,5% y 3%), de acuerdo con la investigación afecta la resistencia a la compresión simple y porosidad del hormigón de 21 MPa, para ello las fibras de coco fueron tratadas con cal, luego de su secado se estableció una longitud de 3 cm para todas las fibras las mismas que luego fueron incorporadas a la mezcla del hormigón, como resultado, se evidenció que las fibras de coco sí ayudan a las propiedades físicas y mecánica, los autores concluyeron que se recomienda utilizar hasta un 1,5% de fibra de coco debido a que con esa cantidad de fibra se obtiene una resistencia adecuada y niveles de porosidad favorables en el hormigón.

En el estudio de Soriano Pérez et al. (2026), sobre la “Evaluation of the Mechanical Properties of Coconut-Fiber- and Plastic-Fiber- Reinforced Concrete” se utilizó el hidróxido de sodio para tratar la fibra de coco, con el fin de aumentar la adherencia entre las fibras y la mezcla, por ello se emplearon fibras de coco de 100 y 200 mm. Como resultado, se evidenció que la adición con el 1% de fibra corta (100 mm) obtuvo el mayor incremento de resistencia a

compresión con un +15.0% respecto a la mezcla de control, en conclusión, el 1% de fibra corta (100 mm) es óptimo para mejorar la resistencia a compresión.

Estos antecedentes resultan alentadores para incorporar fibra de coco como un material de refuerzo en mezclas de hormigón, debido a su bajo costo y disponibilidad en la zona, contando con respaldo científico en diversos estudios, así como sus propiedades de refuerzo mecánico y su adecuada disposición ambiental. Facilitando su degradación y aprovechando un residuo agroindustrial un producto de la cadena de residuos generados en el país.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general.

El hormigón elaborado con fibra de coco pretratada con NaOH alcanzará una resistencia a la compresión superior a 240 kg/cm² y presentará propiedades mecánicas comparables o superiores a las del hormigón convencional, con un costo de producción competitivo con respecto al del hormigón tradicional, demostrando su viabilidad técnica-económica como alternativa sostenible en la construcción.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E.1.: El pretratamiento químico de las fibras de coco con NaOH modificará positivamente sus características físicas, químicas y mecánicas. Al disminuir parcialmente el contenido de hemicelulosa y lignina en su superficie, aumentará su resistencia a la tracción y mejorará su adherencia con la matriz cementicia, lo que favorecerá su incorporación al hormigón.

H.E.2.: Al agregar fibra de coco pretratada con NaOH en el hormigón convencional, se alcanzará una resistencia a la compresión superior a 240 kg/cm² después de 28 días de curado. Esto se determinará mediante ensayos de compresión en cilindros según la norma ASTM C39, lo que permitirá demostrar que la fibra mejora el desempeño mecánico respecto al hormigón convencional.

H.E.3.: La incorporación de fibra de coco pretratada con hidróxido de sodio (NaOH) en la elaboración de hormigón de 240 kg/cm² permitirá obtener un costo de producción por metro

cúbico económicamente competitivo en comparación con un hormigón convencional de la misma resistencia.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Determinar la viabilidad técnica y económica de un hormigón de 240 kg/cm² reforzado con fibra de coco pretratada con hidróxido de sodio (NaOH), mediante la comparación de su resistencia a compresión y el análisis de precio unitario frente a un hormigón convencional sin fibra, para valorar su aplicabilidad como alternativa sostenible en la construcción.

1.4.2. Objetivos Específicos.

O.E.1.: Analizar el efecto del pretratamiento químico con NaOH en la fibra de coco, mediante ensayos de caracterización física, química y mecánica, para determinar su comportamiento al incorporarse al hormigón.

O.E.2.: Evaluar el efecto de la fibra de coco pretratada en un hormigón convencional de 240 kg/cm², mediante la elaboración de cilindros y la realización de ensayos según la norma ASTM C39, para determinar su impacto en la resistencia a la compresión.

O.E.3.: Comparar el costo del hormigón convencional con el hormigón reforzado con fibra de coco mediante un análisis de precios unitarios por metro cúbico, para determinar la diferencia económica entre ambos tipos de hormigón.

1.5. ALCANCE

Este proyecto de investigación analizará el uso de la fibra de coco como refuerzo en el hormigón, con el objetivo de identificar las propiedades más favorables para su incorporación al hormigón y determinar el efecto del tratamiento químico aplicado a la fibra de coco mediante el uso del hidróxido de sodio (NaOH) para modificar su composición superficial, eliminar impurezas y mejorar su compatibilidad con matrices cementicias.

El estudio analiza tres criterios esenciales: el rendimiento de la fibra de coco, su compatibilidad con el hormigón y la viabilidad económica en la aplicación en la construcción.

Para conocer de lleno se realizarán ensayos de caracterización física (mediante microscopía y densidad), química (mediante ensayos químicos) y mecánica (mediante dinamómetro modelo NEL-A-1000N) en las fibras tratadas; también se observará el comportamiento de las fibras tratadas al ser incorporadas a las mezclas de hormigón, analizando las propiedades del hormigón obtenido tanto en estado fresco (mediante el ensayo de revenimiento) como en estado endurecido (mediante los ensayos de compresión y densidad).

La finalidad de la investigación es evaluar el efecto de la fibra de coco pretratada en un hormigón convencional de resistencia nominal de 240 kg/cm², para ello se fabricarán 54 cilindros de prueba (10 cm de diámetro y 20 cm de altura) a los cuales se les realizarán ensayos de compresión de acuerdo con las normas ASTM aplicables (como ASTM C39 para la resistencia a la compresión, ASTM C31 para la preparación y curado de las probetas de ensayo)

En el trabajo se detallará el diseño de mezclas de hormigón convencional, las mezclas reforzadas con diversas dosificaciones de fibra (del 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% con respecto al peso del cemento), la elaboración de los cilindros, el control del curado de los cilindros, la realización del ensayo de resistencia a la compresión a las diferentes edades de curado y la comparación de los resultados obtenidos con el hormigón convencional de referencia que no contenía fibra. También se contempla el análisis de la influencia de la fibra pretratada sobre la resistencia y posibles variaciones en la calidad del hormigón obtenido, permitiendo de este modo conocer el efecto que la fibra de coco pretratada puede tener sobre el comportamiento mecánico del hormigón y su posible aplicación en estructuras convencionales de hormigón.

La investigación consiste en comparar el costo de un hormigón convencional con el de un hormigón reforzado con fibra de coco pretratada, mediante un análisis de precios unitarios (APU). El alcance del estudio consiste en determinar el costo real del hormigón convencional y del hormigón reforzado con fibra de coco, considerando el costo de la fibra de coco, su pretratamiento químico y su dosificación en la mezcla. Adicionalmente, se realizará un análisis económico (considerando equipos, mano de obra, materiales y transporte, cuando corresponda) entre ambas alternativas, con el objetivo de determinar la diferencia de costos y valorar la viabilidad del refuerzo de fibra de coco para aplicaciones constructivas convencionales.

El alcance que determina el estudio es establecer el costo del hormigón tradicional con el compuesto con fibra de coco. Al desarrollar esto constituye un análisis de la fibra de coco,

se analiza los detalles químicos previos y las proporciones específicas para su respectiva mezcla. Asimismo, la investigación incorporó una evaluación económica que estructuró a detalle todos los costos de materiales y gastos de fabricación. Este análisis financiero sirvió como el indicador clave para determinar si la implementación de la nueva mezcla es técnicamente viable y sostenible.

1.6. VARIABLES

El sistema de variables que se ejecutará en esta investigación se basa de un enfoque de causa y efecto. Se divide en dos categorías; variables independientes y variables dependientes. De esta manera, la relación entre ambas categorías permitirá contrastar la hipótesis general planteada en el estudio.

1.6.1. Variables Independientes

La concentración de hidróxido de sodio y temperatura del tratamiento para determinar la efectividad del tratamiento químico. Otra variable independiente es el porcentaje de fibra de coco que se añadirá al hormigón.

1.6.2. Variables Dependientes

La resistencia a la compresión de la mezcla de hormigón, la trabajabilidad del nuevo material en estado fresco y el costo de producción por metro cúbico del hormigón.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EL HORMIGÓN

Es un material compuesto y presenta similitudes con una piedra natural. El hormigón se elabora a partir de la mezcla de cemento, agua y áridos (arena y grava). Debido a sus favorables propiedades mecánicas y de durabilidad, este material se mantiene como el eje central de la construcción a nivel internacional. Su aplicación incide principalmente por su notable resistencia a la compresión, cualidad indispensable para cerciorar la integridad de edificaciones e infraestructuras. Su formulación química le otorga una alta durabilidad que frena la degradación prematura ante la intemperie. Del mismo modo, la facilidad de puesta en obra y su capacidad de ser moldeado en infinitas formas según las necesidades del proyecto técnico lo convierten en una solución altamente versátil y eficiente.

2.1.1. Definición y Generalidades.

El hormigón está compuesto por materiales como, cemento, arena y agua. El cemento de uso general se obtiene a partir de la cocción de piedra caliza y arcilla a altas temperaturas entre 1350 y 1400 °C. Una vez realizada la mezcla de estos elementos se obtiene el clínker el cual se pulveriza junto con yeso para obtener el cemento de uso común; en el mercado existe una gran variedad de cementos según su composición. El cemento gris es el más común y este material es muy utilizado en el sector de la construcción, por su alta durabilidad y propiedades mecánicas adecuadas (Franco-Luján et al., 2023).

2.1.2. Composición del Hormigón.

- **Cemento:** El cual es el encargado de mantener la cohesión de la mezcla, el cemento GU se obtiene a partir de la molienda conjunta de clínker y yeso, a esta mezcla se añade agua formando así una mezcla solida la cual aportará resistencia y durabilidad al hormigón.
- **Materiales áridos:** El hormigón está compuesto por materiales áridos granulares como: grava, arena y piedra triturada, estos elementos aportan volumen y estabilidad al hormigón ya que contribuyen a llenar los vacíos que se encuentran dentro de la mezcla (Smarzewski & Stolarski, 2022).

- **Agregados finos:** En la composición del hormigón también se encuentran los agregados finos como la arena, que atraviesa una malla de 4,75 mm (Nº4), estos agregados se obtienen fácilmente mediante la trituración de rocas, estos materiales ayudan a formar una mezcla más densa, la cual es capaz de reducir los vacíos presentes en la mezcla (Acebo et al., 2009).
- **Agregados de gran tamaño:** Es un elemento fundamental en la producción del hormigón, está constituido por partículas de origen natural o triturado, proporciona resistencia y durabilidad al hormigón. Para ser considerados agregados de gruesos deben presentar un tamaño superior a 4.75 mm como piedras naturales o piedras trituradas, estos agregados aportan mayor durabilidad a la mezcla, siempre que se disponga de una adecuada granulometría y dosificación del agregado se favorece la obtención de un hormigón de adecuada calidad y resistencia (Zavaleta Payehuanca, 2024).
- **Agua:** El agua desempeña un papel importante en la mezcla del hormigón, a la mezcla se le debe incorporar una cantidad adecuada de agua para obtener una mezcla sólida con adecuada trabajabilidad y proporcione la durabilidad requerida, por lo que es necesario encontrar el punto de equilibrio entre el agua y el cemento (a/c). La cantidad de agua utilizada debe controlarse cuidadosamente para garantizar una hidratación adecuada sin generar una retracción excesiva o debilitar el hormigón (Tandaso Elizalde, 2025).
- **Aditivos:** Los aditivos pueden incorporarse o no en el hormigón, su utilización depende del tipo de estructura que se pretenda construir debido a que algunas estructuras requieren acelerantes de fraguado, superplastificantes, reductores de agua, etc. Estos aditivos proporcionan al hormigón propiedades específicas como reducir el tiempo de fraguado y el consumo de agua, aumentar la durabilidad (Cárdenas Guilcapi & Cárdenas Martínez, 2022).

2.1.3. Propiedades mecánicas del Hormigón.

A continuación, se detallan en la Tabla 1 las propiedades físicas y mecánicas fundamentales del hormigón, las cuales constituyen la línea base operativa del material, estas variables permitirán analizar sus ventajas y establecer un punto de comparación objetivo frente a nuevas mezclas y alternativas de dosificación.

Tabla 1

Propiedades del Hormigón

Propiedad	Descripción
Trabajabilidad	Facilidad con la que el hormigón puede ser mezclado, transportado y colocado.
Resistencia a compresión	Capacidad del hormigón endurecido para resistir cargas de compresión.
Durabilidad	Capacidad de resistir el deterioro frente a condiciones ambientales.
Densidad	Masa por unidad de volumen; oscila entre 2200 a 2500 kg/m ³ en hormigones normales.
Módulo de elasticidad	Relación entre esfuerzo y deformación; varía según la resistencia del hormigón.

Nota. (Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado (FIHP), 2015); (Mindess, Young, & Darwin, 2003)

2.1.4. Diseño de Mezcla de Hormigón.

En el sector de la construcción el diseño de mezcla de hormigón constituye una etapa fundamental, por ello en la ingeniería de materiales se utiliza la norma del American Concrete Institute (ACI) , este es el método más utilizado para calcular las cantidades necesarias de agua, cemento, agregados finos, agregados gruesos y aditivos, que conformarán la mezcla con el fin de garantizar que el hormigón alcance la durabilidad requerida calculando proporciones basadas en la resistencia de diseño especificada, el tamaño máximo del agregado grueso y el asentamiento requerido (Mostafaei et al., 2023).

2.2. LA FIBRA DE COCO (COIR)

2.2.1. Origen y Disponibilidad.

La fibra de coco proviene del cocotero (Cocos nucifera), el cual constituye un recurso renovable debido a su amplia producción y cultivo en regiones tropicales, por lo que la fibra de coco es de fácil obtención a partir de cáscaras maduras, inmaduras o verdes del fruto (Rojas, 2015, como se citó en Bermudez Diaz, 2021).

Los cocos pueden recolectarse en estado maduro o tierno, esto depende del uso previsto para la fibra y de las exigencias industriales (Juárez Piedra, 2023). Se conoce que la fibra de coco marrón posee características diferentes a la fibra de coco tierna (denominadas fibra de coco blanca), particularmente en cuanto a su resistencia mecánica, la cual es inferior a la de la fibra de coco marrón.

2.2.2. Composición Química de la Fibra de Coco.

Para utilizar las fibras de coco, primero es necesario estudiar sus propiedades químicas. Es importante tener en cuenta que la fibra de coco, al igual que otras fibras vegetales, contienen un lumen en su zona central, la fibra de coco está compuesta de múltiples capas, es importante mencionar que todas sus capas son fibrilares, sin embargo, no todas presentan el mismo grosor y composición, las capas internas tienden a ser más delgadas. La pared celular está compuesta por capas concéntricas múltiples, las cuales se pueden clasificar en una pared primaria externa (S1), una pared secundaria interna (S3) y una pared secundaria central (S2). (Stelte et al., 2023).

Estructuralmente, estas capas de naturaleza fibrilar muestran variaciones morfológicas en el grosor y en la dirección de los haces de celulosa que las componen. Esta distribución polimérica es fundamental, ya que determina propiedades físicas clave como la porosidad interna, la densidad del filamento y su comportamiento frente a la absorción de humedad.

La composición química de la fibra de coco depende de varios factores, entre los que se encuentran el grado de madurez, la variedad y la zona de cultivo, entre las fibras vegetales más utilizadas en ingeniería, la fibra de coco contiene mayor cantidad de celulosa la misma que va del 27 al 36 % en peso, la hemicelulosa del 17 al 23 % y la lignina del 37% a 42%. (Stelte et al., 2023).

2.2.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Fibra de Coco.

En investigaciones las fibras de coco han sido ampliamente estudiadas debido a su utilización recurrente en el ámbito de la construcción. Las mismas actúan como material de refuerzo en el hormigón creando una base de conocimiento para integrar estos residuos como complemento en materiales compuestos (San Andrés et al., 2023). Entre sus principales características se encuentran:

- **Morfología:** Estructura tubular con microfibrillas concéntricas y relieves superficiales compuestos por escamas de entre 30-50 μm de longitud y entre 15-40 μm de ancho.
- **Densidad:** La fibra de coco presenta un peso específico de 1.1 y 1.5 g/cm^3 .
- **Resistencia a la tracción:** Oscila entre 105 y 593 MPa, siendo inferior a la de otras fibras, sin embargo, resulta suficiente para actuar material de refuerzo en matrices cementicias.
- **Módulo de elasticidad:** De 3.03 GPa, lo que la califica como una fibra de rigidez baja, lo que posibilita una deformación más amplia previa al fallo. (Hasan, Horváth, Kóczán, et al., 2021).

2.2.4. Ventajas y Desventajas del Uso de la Fibra de Coco en Hormigón.

La fibra de coco al ser un recurso renovable y de bajo impacto ambiental, ha experimentado un auge significativo en la industria de la construcción durante los últimos años. Este material bio-compuesto ha comenzado a desplazar gradualmente a refuerzos sintéticos y metálicos tradicionales, tales como las fibras de polipropileno y de acero.

Una de sus principales ventajas mecánicas es integrarse homogéneamente en la matriz cementante, los filamentos actúan como un micro-relleno que sella los canales capilares. Esto contribuye a reducir los vacíos internos, lo que disminuye la porosidad del hormigón y bloquea la permeabilidad ante agentes agresivos.

Al incorporar fibras de coco en la mezcla con el hormigón es necesario considerar ciertos factores que pueden afectar en el diseño estructural debido a su composición química y física. Según Morales Guzmán & Ceballos Vargas (2025) el hormigón con fibras presenta una mayor resistencia en comparación con el hormigón simple, lo cual evidencia que la utilización de fibras de coco en la construcción de hormigones resulta conveniente porque ayuda a reforzar de manera significativa las estructuras constructivas sobre todo en contextos en los que la resistencia a la penetración de cloruros es un elemento fundamental del diseño. (Bediako et al., 2025).

2.3. PRETRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)

2.3.1. Fundamento del Tratamiento Alcalino (Mercerización).

Debido a que la fibra es de origen natural, es necesario modificarlos enlaces de hidrógeno presente en la fibra natural, lo que incrementa la rugosidad superficial, es necesario tratarla con tratamiento químico para modificar sus propiedades superficiales y mejorar su compatibilidad con la matriz cementicia, en este caso se ha optado por utilizar el hidróxido de sodio para eliminar parcialmente componentes superficiales e impurezas de la fibra y a la vez eliminar las impurezas presentes. El tratamiento químico puede modificar la composición química de la fibra y en ocasiones afectar el desempeño mecánico del hormigón reforzado con fibra tratada. (Hasan, Horváth, Bak, et al., 2021).

2.3.2. Efectos del Pretratamiento con NaOH sobre la Fibra de Coco.

El hidróxido de sodio se utiliza ampliamente para tratar las fibras naturales, debido a que presenta un bajo costo y facilidad de aplicación. Al tratar las fibras con NaOH se observa una modificación en su composición química superficial, lo que favorece entre la fibra y la matriz cementicia, mejorando el comportamiento mecánico de material compuesto.

Los hallazgos indicaron que las fibras tratadas con álcali presentaban una resistencia a la tracción mayor en comparación con las fibras no tratadas, evidenciando la efectividad del tratamiento químico para mejorar su desempeño mecánico. Cuando las fibras naturales son sometidas a tratamientos químicos se busca modificar sus propiedades y mejorar su desempeño, por lo que resulta importante optimizar la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) según (Ru et al., 2022).

2.3.3. Parámetros del Pretratamiento.

Para lograr un pretratamiento adecuado de las fibras naturales es necesario tener en cuenta la concentración de hidróxido de sodio (NaOH, % en peso) que se va a utilizar, el tiempo de inmersión de las fibras y la temperatura de exposición de la fibra a la solución alcalina, el

procedimiento de lavado hasta obtener un pH neutro y, por último, el método de secado empleado después del tratamiento.

Al tratar la fibra de coco, se debe considerar que, si la concentración de hidróxido de sodio excede el nivel óptimo, las propiedades mecánicas de la fibra pueden deteriorarse, la elasticidad de la fibra disminuirá una vez que el módulo de elasticidad ha alcanzado su valor máximo. (Valášek et al., 2021).

2.3.4. Técnicas de Caracterización de la Fibra Tratada.

Existen diversas técnicas que permiten caracterizar las propiedades de la fibra mediante diferentes ensayos de caracterización: la resistencia a la tracción, el diámetro, la longitud, el contenido de humedad, la absorción, el contenido de celulosa, hemicelulosa lignina, y la elongación de la fibra.

Thandavamoorthy et al. (2023) analizaron las curvas de degradación térmica para estimar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, a partir de las pérdidas de masa asociadas a distintos intervalos de temperatura de degradación. El análisis termogravimétrico se realiza directamente a la fibra.

2.4. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF)

2.4.1. Concepto y Clasificación.

El hormigón reforzado con fibras se caracteriza por aportar una mayor durabilidad y mejorar determinadas propiedades mecánicas del hormigón, el hormigón simple, al no contener fibras en su composición, tiende a ser menos resistente y es más susceptible a la aparición de fisura debido a su naturaleza frágil por lo que la incorporación de fibras surge como una alternativa para mitigar la fragilidad del hormigón simple.

Diversas investigaciones han demostrado que la incorporación de fibras sintéticas, como las de polipropileno, mejora las propiedades mecánicas del hormigón. En este sentido, Tan et al. (2025) reportaron el aumento de resistencias cuando se incorporan pequeñas cantidades de fibras de polipropileno (Monofilamento, Macro y Barchip) en fracciones volumétricas del 0.1%, 0.2% y 0.3% en mezclas de hormigón. Los resultados con la mejor dosificación

mostraron incrementos en la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción indirecta de un 4.84%, 10.02% y 15.83% respectivamente con respecto al hormigón sin fibras.

Según el material del que están constituidas, las fibras utilizadas como refuerzo se dividen en cuatro grupos básicos: acero, vidrio, sintéticas y naturales.

- **Fibras de acero:** Son utilizadas con frecuencia, especialmente en la construcción de grandes estructuras debido a que estas ayudan a controlar la formación y propagación de fisuras en su interior. Asimismo, la incorporación de fibras en el hormigón contribuye a reducir la aparición de grietas y disminuye los problemas asociados a la deformación durante el proceso de endurecimiento o secado (da Silva Neto et al., 2025).
- **Fibras sintéticas:** Las fibras sintéticas han adquirido mayor relevancia en los últimos años debido a su bajo costo y a la amplia variedad de aplicaciones que ofrecen. Estas fibras presentan propiedades específicas, que contribuyen a mejorar determinadas propiedades el hormigón, como el control de fisuras, la durabilidad y el comportamiento mecánico posterior al agrietamiento.
- **Fibras naturales:** Las fibras naturales o vegetales se caracterizan por son bajo costo, disponibilidad y carácter renovable dado que pueden obtenerse de recursos vegetales como la madera, el bagazo de caña de azúcar y diversos residuos agroindustriales, la incorporación de fibras naturales en el hormigón puede considerarse una evolución de prácticas constructivas empleadas desde tiempos antiguos en las que se incorporaban fibras vegetales, como la paja, a mezclas de arcillas para mejorar su comportamiento mecánico y reducir la fisuración.
- **Fibras de vidrio:** Las fibras de vidrio presentan una elevada resistencia mecánica y una buena capacidad de refuerzo; sin embargo, algunas variedades pueden verse afectadas por el ambiente alcalino presente en las matrices cementicias, por lo que generalmente se emplean fibras de vidrio resistentes a los álcalis para aplicaciones en hormigón.

2.4.2. Mecanismo de Acción de las Fibras en la Matriz Cementicia.

La utilización de fibras naturales ayuda a reducir la formación y propagación de fisuras en la superficie, por lo que resulta importante seleccionar adecuadamente el tipo de fibra que se incorporará al hormigón. Cada fibra presenta propiedades físicas, químicas y mecánicas

diferentes, por consiguiente, la incorporación de una fibra adecuada puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del hormigón.

Para evaluar el rendimiento del hormigón reforzado con fibras, es necesario estudiar previamente las características de la fibra que se incorporará a la mezcla y a la matriz cementicia, con el fin de analizar los mecanismos de interacción que se desarrollan entre ambos materiales. Esto se debe a que cada tipo de fibra presenta diferentes mecanismos de interacción, incluyendo la atracción electrostática, el anclaje mecánico y las fuerzas intermoleculares como, las fuerzas de Van der Waals y el enlace de hidrógeno. Las características fisicoquímicas de la zona interfacial entre la fibra y la matriz son las que determinan la intensidad y naturaleza de la adhesión entre ambos materiales.

La durabilidad de la interfaz matriz-fibras dependerá de las características de la matriz cementicia y del tipo de fibra utilizado, factores que resultan cruciales para garantizar el rendimiento a largo plazo del hormigón. Esto se debe a que no todas las fibras presentan el mismo comportamiento dentro de la matriz cementicia; algunas fibras desarrollan una mayor adherencia con la matriz cementicia que otras. Por ello, resulta fundamental caracterizar previamente la fibra para aplicar el tratamiento más adecuado para optimizar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas (Lin et al., 2023).

2.4.3. Influencia de la Dosificación de Fibras.

La dosificación de las fibras es un factor clave para determinar el rendimiento mecánico del hormigón reforzado, ya que su efecto no es lineal, sino que responde a un punto óptimo más allá del cual las propiedades tienden a deteriorarse. Se ha demostrado que la implementación de fibras en porcentajes bajos contribuye a una mejor distribución de esfuerzos internos y retrasa el avance de microfisuras además de aumentar la ductilidad del material. Por el contrario, cuando se incorporan cantidades elevadas de fibra, la trabajabilidad de la mezcla disminuye y pueden generarse vacíos o zonas de segregación (ratoneras), afectando negativamente el desempeño del hormigón.

W. Ahmad et al. (2020) estudiaron el efecto de las fibras de coco con longitudes de 25 mm, 50 mm y 75 mm, así como concentraciones de 0,5%, 1%, 1,5% y 2%. Los hallazgos experimentales evidenciaron incrementos en la resistencia en el hormigón, especialmente

cuando se utilizaron fibras de 50 mm de longitud y una dosificación del 1,5 % respecto a la masa de cemento.

2.4.4. Antecedentes de Investigación sobre Fibra de Coco en Hormigón.

Los materiales biodegradables han despertado un creciente interés a nivel mundial debido a su potencial para reducir el impacto ambiental asociado al uso de materiales convencionales. En este contexto, la fibra de coco destaca como una alternativa sostenible, ya que posee propiedades mecánicas que pueden contribuir a mejorar determinadas características del hormigón, especialmente en términos de resistencia y durabilidad. Asimismo, en ciertas aplicaciones puede presentar comportamientos comparables a los de algunas fibras sintéticas. Sin embargo, la compatibilidad entre la fibra de coco y la matriz cementicia continúa siendo objeto de estudio, debido a que su comportamiento depende de incorporación en la mezcla (Gu et al., 2022).

Las fibras actúan como elementos de control y puenteo de grietas, contribuyen a reducir la propagación de fisuras y retrasan la falla del hormigón sometido a esfuerzos de tracción, lo que retrasa su eventual fallo. En particular, las fibras de coco se emplean principalmente para controlar la formación y propagación de grietas en la estructura, las propiedades mecánicas del hormigón, particularmente la resistencia a la compresión y a la tracción, pueden verse favorecidas. La longitud de la fibra puede influir en la resistencia del hormigón, pero por lo general esta tiende a aumentar hasta un 31 % y un 38 %. (Shah et al., 2021).

2.5. NORMAS TÉCNICAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD

2.5.1. ASTM C39: Resistencia a la compresión de Cilindros de Hormigón.

Las normas de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales ASTM C39 son ampliamente utilizadas a nivel mundial desde hace aproximadamente 80 años, principalmente se utilizan para determinar la resistencia a la compresión del hormigón. Asimismo, en el sector del transporte se utilizan ampliamente para la construcción de puentes y carreteras para asegurar

que la estructura alcance la durabilidad requerida, se emplean como referencia para el control de calidad en la dosificación, mezcla y colocación del hormigón (Nasrin et al., 2024).

2.5.2. ASTM C31: Preparación y Curado de Especímenes de Hormigón.

La norma ASTM C31/C31M se basa en el proceso de elaboración y curado de especímenes de hormigón, los ensayos para determinar la resistencia se realizan en especímenes cilíndricos que presentan dimensiones de 100 mm x 200 mm, las cuales permanecen cubiertos por 24 horas con el objetivo de evitar la pérdida de humedad, posteriormente se lleva a cabo el curado el cual verificar técnicamente bajo las condiciones de temperatura establecidas (El-Mohair et al., 2020).

2.5.3. ASTM C143: Asentamiento del Hormigón Fresco.

La norma ASTM C143 establece el procedimiento para determinar el asentamiento del hormigón fresco, este ensayo permite evaluar si existe la consistencia y trabajabilidad de la mezcla de hormigón una vez que la mezcla es retirada del molde (Wang et al., 2025). En estudios de hormigón modificado cuando se utilizan materiales alternativos el ensayo debe realizarse bajo las normas ASTM C143/C143M.

2.5.4. INEN 2874: Fibras Naturales.

La normativa INEN 2874 establece criterios sobre las fibras naturales, su clasificación y sus tratamientos. Los diferentes tratamientos que pueden aplicarse y uno de los procesos más importantes, es la aplicación hidróxido de sodio para ello es necesario considerar varios factores como la concentración del compuesto, temperatura, tiempo de exposición y procedimiento de lavado con abundante agua una vez transcurrido el tiempo de inmersión hasta obtener un pH neutro en el agua de lavado.

2.5.5. Otras Normas Aplicables.

El desarrollo de esta investigación incluye la implementación de las siguientes normas técnicas: ASTM C138 se utiliza para determinar la densidad del hormigón fresco, la norma ASTM C33 establece los requisitos de calidad del cemento GU empleado si estos materiales

utilizados cumplen con los requisitos de calidad, la norma ASTM C150 verifica la calidad del cemento GU que se va a utilizar y la norma ASTM C1602 para verificar la calidad del agua empleada en la mezcla y garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, se garantiza mediante el cumplimiento de estas normas.

2.6. ANALISIS DE COSTOS EN LA PRODUCCION DE HORMIGON

2.6.1. Análisis de Precio Unitario (APU).

El análisis de precio unitario es una herramienta fundamental porque permite determinar y analizar el Análisis de Precios Unitarios (APU) que tendría una actividad constructiva específica.

El Análisis de Precios Unitarios APU posibilita una comparación objetiva y cuantitativa entre el costo de producción del hormigón convencional y el hormigón con fibra de coco pretratada. En este estudio el objetivo del análisis de precios unitarios es mostrar el costo de producción del hormigón con fibra de coco respecto hormigón convencional. En el hormigón reforzado con fibra se debe considerar que se suma el costo adicional asociado a la fibra del compuesto utilizado y del proceso de tratamiento y secado.

Al incorporar fibras de coco tratadas con hidróxido de sodio a la mezcla para la elaboración de hormigón se debe considerar que este proceso llevará más tiempo, ya que previamente debe procesarse la fibra de coco para ello se requiere utilizar agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH), además de los materiales convencionales como el agua, los agregados y el cemento.

Otro factor que se debe considerar es el precio y la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) utilizado, la fibra tratada presenta una mejor adherencia a la mezcla, lo que significa que se utilizará mayor cantidad de fibra, por ello resulta necesario determinar cada uno de los costos de los materiales empleados. Este proceso puede disminuir el volumen de fibra requerido por metro cúbico y mitigar parcialmente el costo extra del tratamiento. Finalmente, la medición precisa de estos materiales asegura que el APU represente de manera precisa el costo real de producción del hormigón reforzado.

2.6.2. Viabilidad Económica de Materiales Alternativos en Construcción.

Desde una perspectiva económica y técnica, el tratamiento con hidróxido de sodio para las fibras de coco resulta completamente viable debido a las ventajas competitivas que introduce en la mezcla. Esta sustancia alcalina remueve la capa de lignina y pectina, permitiendo que los filamentos naturales se adhieran con mayor fuerza a la pasta de cemento.

Esta mejora en la adherencia reduce la porosidad capilar y la capacidad de absorción del material compuesto, consolidando una alternativa de refuerzo de bajo costo que compite eficazmente con los aditivos sintéticos tradicionales. La optimización de esta interfase promueve el uso de subproductos agrícolas locales, impulsando una técnica más sostenible y con menor huella de carbono.

Mediante análisis realizados se ha llegado a la conclusión que el costo que se utiliza para dar tratamiento a las fibras, en este caso el uso del hidróxido de sodio (NaOH) es el mismo costo que se utilizaría en la cantidad de fibra sin tratar, la comercialización de hidróxido de sodio tiende a tener precios moderados razón por la cual si se incluyen en los presupuestos finales este no podrá elevar demasiado el costo final.

La amplia disponibilidad de este insumo en el mercado industrial ecuatoriano garantiza un canal de suministro constante y cotizaciones comerciales altamente competitivas. Esta accesibilidad económica permite incorporar el material dentro del presupuesto operativo del proyecto sin alterar los costos unitarios ni comprometer la rentabilidad.

Las fibras naturales desempeñan un papel crucial en la construcción sostenible al ser utilizadas como refuerzo en matrices de hormigón para elementos interiores y exteriores. Su incorporación tridimensional mejora la tenacidad del compuesto, optimiza la resistencia a la tracción y mitiga eficazmente la propagación de fisuras por contracción. Se están convirtiendo progresivamente en un material de creciente interés para la industria de la construcción (Jamshaid et al., 2023)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

La presente investigación es de carácter experimental, fundamentado en la manipulación controlada de la variable independiente, en este caso el porcentaje de dosificación de la fibra de coco. Previo a su incorporación en la matriz cementante, este refuerzo fue sometido a un tratamiento de modificación superficial mediante alcalinización (mercerización)

Lozada (2014) sostiene que el propósito de la investigación aplicada es producir conocimiento que se aplique directamente en el sector productivo o en la sociedad. Este proyecto es una investigación aplicada y explicativa, que pretende que los conocimientos obtenidos sirvan de guía para su aplicación en futuras investigaciones, puesto que se ha demostrado que la utilización de fibras de coco como material de refuerzo ayuda a aprovechar los recursos renovables de manera eficiente. En relación con los tipos de investigación, Nieto Esteban (2018) afirma que en la investigación explicativa “La formulación de hipótesis es esencial, ya que orienta el rumbo a seguir en la investigación” (pp.2-3), para optimizar el uso de los recursos y del tiempo es fundamental formular buenas hipótesis adecuadas.

3.1.2. Diseño.

La investigación adopta un diseño experimental con grupo de control, en el que se manipula de manera intencional la variable independiente: el porcentaje de fibra de coco pretratada con NaOH incorporada en la mezcla. Se establecen seis grupos de comparación: un grupo patrón constituido por un hormigón tradicional de 240 kg/cm² sin fibra, y cinco grupos experimentales con diferentes cantidades de fibra. El contenido de fibra de coco incorporado, asimismo se determina la concentración adecuada de hidróxido de sodio, empleándose diferentes contenidos de fibra respecto al contenido de cemento.

Para que los resultados obtenidos sean válidos se han utilizado exactamente las mismas cantidades de los materiales constituyentes de la mezcla en todos los grupos.

3.2. MÉTODO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

El método utilizado en esta investigación es de tipo experimental debido a que se basa en una hipótesis acerca de cómo el tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) afecta las propiedades mecánicas de la fibra de coco y su impacto en el hormigón, compuesto que modifica las propiedades de la fibra de coco. La verificación de esta hipótesis se realiza mediante la elaboración de diferentes cilindros de hormigón cada uno con diferentes cantidades de fibra, el procedimiento se desarrolla de acuerdo con la norma ASTM C39 lo que permite obtener información confiable.

3.2.2. Enfoque.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo; los datos obtenidos se derivan de ensayos de laboratorio, los cuales producen resultados numéricos que pueden ser medidos y comparados. Entre ellos la resistencia a la compresión, el porcentaje de incorporación de fibra de coco y el costo por metro cúbico de hormigón. Esto permite determinar relaciones causales entre las propiedades mecánicas del hormigón obtenido y el pretratamiento químico con NaOH de la fibra de coco, lo que permite que las conclusiones de la investigación se fundamenten pruebas empíricas, objetivas y reproducibles en condiciones controladas de laboratorio, en este caso, se puede comparar los niveles de resistencia a compresión, el costo por cada metro cúbico y el costo del hidróxido de sodio empleado, por esta razón las conclusiones de la investigación estarán sustentadas en los resultados experimentales obtenidos.

Como señala Cárdenas (2018), la investigación cuantitativa responde a las preguntas de investigación mediante datos numéricos, en la cual los resultados obtenidos de una muestra se pueden generalizar a una población más amplia. Para garantizar la solidez del proyecto, se trabaja con análisis estadísticos y numéricos precisos, los cuales facilitan el procesamiento matemático de variables complejas. Esta aproximación cuantitativa permite calcular coeficientes exactos, evaluar correlaciones significativas y proyectar tendencias con un margen de error controlado. Como resultado, cada una de las mediciones se transforma en un indicador objetivo para respaldar las conclusiones.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población.

Para la población se han considerado dos grupos, el primer grupo corresponde a varias mezclas de hormigón las cuales serán elaboradas para evaluar la resistencia a compresión de 240 kg/cm², las mezclas estarán conformadas por cemento de uso general, agua potable y agregados, estos materiales serán obtenidos de fuentes disponibles en la provincia de Santa Elena. Todas las probetas y elementos estructurales susceptibles de ser elaborados pueden ser generados con estas mezclas bajo condiciones estandarizadas de elaboración y curado.

El segundo componente que se utilizará en esta investigación corresponde al principal elemento de estudio, la cual será utilizada como refuerzo en la construcción de hormigones. La fibra fue obtenida del cantón La Libertad y debe ser sometida previamente a un tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH), se utilizarán diferentes cantidades en cada muestra que permitan observar cómo sus propiedades superficiales se modifican, con el propósito de alterar sus propiedades superficiales y mejorar su adherencia con la matriz cementante.

3.3.2. Muestra.

La muestra estará conformada por cincuenta y cuatro probetas de hormigón, de las cuales cuarenta y cinco están divididas para las diferentes edades de ensayo y corresponden a las distintas proporciones de fibra de coco, en este caso 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% de acuerdo con la Tabla 2, las cuales serán sometidas a un tratamiento químico con hidróxido de sodio (NaOH) previo a su adición en el hormigón, los nueve especímenes restantes corresponden al grupo patrón, de esta manera se evaluará la resistencia a compresión de cada dosificación y se determinará el porcentaje óptimo de fibra de coco, para su incorporación como material de refuerzo en el hormigón, cada una contendrá un porcentaje diferente de fibra lo que permitirá determinar el porcentaje óptimo de fibra de coco, en todas las muestras la fibra será tratada con hidróxido de sodio (NaOH).

Arias-Gómez et al. (2016) mencionan que, de todas las muestras obtenidas, debe seleccionarse una de manera aleatoria, así se garantizará que todas las muestras tengan la misma posibilidad de ser seleccionadas de ser incluidas en el estudio.

A continuación, se detalla el inventario consolidado de las probetas fabricadas, especificando la configuración del diseño patrón, las dosificaciones graduales de fibra y sus respectivas edades de rotura. Esta organización de los datos permite estructurar de forma clara las muestras experimentales antes de su evaluación mecánica.

Tabla 2

Distribución de probetas de Hormigón

Grupo	Descripción	% Fibra	Cilindros 7 d	Cilindros 14 d	Cilindros 28 d	Total
Patrón	Hormigón sin fibra	0	3	3	3	9
I	HFT	0.5	3	3	3	9
II	HFT	1	3	3	3	9
III	HFT	1.5	3	3	3	9
IV	HFT	2	3	3	3	9
V	HFT	2.5	3	3	3	9
Total						54

La dosificación y el acondicionamiento de la fibra de coco se establecieron rigurosamente a través de un diseño factorial 2^k . Esta herramienta estadística se implementó con el propósito de evaluar el impacto simultáneo y la interacción entre dos variables críticas: la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y la temperatura aplicada durante el proceso de tratamiento térmico.

Tal como se detalla en la Tabla 3, el análisis de ambos factores resulta fundamental, ya que no solo define la concentración óptima del agente químico para la de lignificación de la fibra, sino que también permite maximizar la remoción de impurezas superficiales, garantizando una mejor adherencia en la matriz final. La distribución interna de estos especímenes se estructuró de manera sistemática, respondiendo directamente a la combinación de las variables y parámetros de diseño previamente establecidos.

Tabla 3*Parámetros del tratamiento con NaOH*

Concentración de NaOH (%)	Temperatura (°C)	Número de muestras (u)
4	80	9
4	80	9
5	70	9
6	60	9
6	80	9
Total		54

3.4. UBICACIÓN Y MATERIAL DE ESTUDIO

3.4.1. Ubicación.

Este proyecto de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Suelos, Asfaltos y Hormigón perteneciente a la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicado en el campus principal de la institución, en la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena, Ecuador. El laboratorio se localiza en las coordenadas geográficas 2°14'00" S y 80°52'40" O.

3.4.2. Fuente de los agregados.

Los agregados empleados para el diseño de las mezclas de hormigón fueron adquiridos en el establecimiento comercial “Disensa S.A.” ubicado en la Vía Principal a La Libertad S/N, sector Barrio Amantes de Sumpa, parroquia Santa Elena, provincia de Santa Elena, Ecuador. La ubicación geográfica del sitio corresponde a las coordenadas 2° 13' 46.56" S y 80° 54' 19.08" O. Los materiales fueron seleccionados por su disponibilidad comercial.

El agregado grueso (piedra de ¾") provino de la cantera “Calizas Huayco”, correspondiente a un yacimiento de roca caliza, la cantera se encuentra ubicada en el km 12,5 de la Vía a la Costa, en el sector Cerro Azul, parroquia Chongón, en Guayaquil, provincia del

Guayas, Ecuador. Su localización geográfica aproximada corresponde a las coordenadas 2°10'46,56" S y 79°59'26,07" O, a una altitud de 29 m s.n.m.

El agregado fino (arena gruesa) fue extraído del “Río Milagro”, ubicado en el cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador. Este río pertenece a la cuenca hidrográfica del río Guayas, posee una longitud de aproximadamente 49,5 km; nace cerca de la parroquia Mariscal Sucre y desemboca en el río Chimbo. Las zonas autorizadas para la extracción y abastecimiento del material se localizan aproximadamente en las coordenadas geográficas 2°07'15" S y 79°38'20" O, 2°08'40" S y 79°40'12" O.

Todos los materiales utilizados como agregados fueron caracterizados de acuerdo con las normas de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM), con la finalidad de verificar la calidad de los agregados y el cumplimiento de los requisitos para la elaboración de un hormigón con resistencia a compresión $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$. Para ello, se determinaron propiedades fundamentales como la granulometría, densidad, contenido de humedad y demás parámetros requeridos para el adecuado diseño de la mezcla de hormigón.

3.4.3. Fuente de la fibra.

La fibra de coco utilizada en la presente investigación fue adquirida a comerciantes locales del cantón la Libertad, quienes se abastecen de grandes cantidades de coco provenientes de la parroquia Río Chico, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. Esta zona constituye uno de los principales centros de producción y comercialización de productos derivados del coco, tales como el agua de coco, la pulpa y el jugo., lo que garantiza la disponibilidad de materia prima para la obtención de la fibra empleada en el estudio.

Esta industria genera gran cantidad de desechos orgánicos que se recolectan cada semana para posteriormente ser quemados al aire libre generando así grandes cantidades de dióxido de carbono, contribuyendo a la contaminación del aire o son depositados en vertederos donde pueden llegar a descomponerse en un periodo aproximado de 10 años de manera natural.

3.4.4. Cemento.

El cemento utilizado para la construcción del hormigón es el cemento Holcim Fuerte de Uso General certificado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, se utiliza en la

construcción de columnas, cimientos, entre otros, se emplea en la elaboración de morteros para mampostería de bloques o ladrillos y para el recubrimiento de paredes.

3.5. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE COCO

La fibra de coco utilizada en la presente investigación fue obtenida a partir de cocos maduros adquiridos a comerciantes dedicados a la comercialización de este producto (ver Anexo 8a). Para su obtención, se tomó como referencia la metodología propuesta por Montero Bernabé & Román Tipantuña (2022). El procedimiento se realizó de forma manual, iniciando con la separación de la cáscara externa y lisa del mesocarpio fibroso donde se encuentran las fibras y la médula. Posteriormente, el mesocarpio fue cortado en fragmentos de menor tamaño para facilitar la separación de las fibras, descartándose aquellos que presentaban signos de deterioro o presencia de moho, con el fin de evitar la contaminación del material.

A continuación, el material seleccionado fue sometido a un proceso de remojo durante 24 horas una vez transcurrido este tiempo, los fragmentos fueron retirados del agua, subdivididos en piezas más pequeñas y expuestos al secado solar durante tres días, removiéndolos periódicamente para favorecer un secado uniforme. Finalmente, se realizó la separación manual de las fibras hasta obtener fibras individuales aptas para su posterior tratamiento y caracterización (ver Anexos 8b, 8c, 8d, 9a y 9b).

El siguiente paso para emplear las fibras de coco como material de refuerzo en el hormigón consistió en establecer una longitud uniforme, con el propósito de garantizar una distribución homogénea dentro de la mezcla, facilitar el proceso de amasado y evitar la formación de aglomeraciones que puedan afectar la trabajabilidad del material. La revisión de la literatura permitió identificar investigaciones como las desarrolladas por Ali et al. (2022) y de Varghese & Unnikrishnan (2023) quienes evaluaron diferentes longitudes de fibra en hormigones reforzados. Entre las longitudes estudiadas, las fibras de 5 cm mostraron un desempeño mecánico favorable, evidenciando mejoras en las propiedades del hormigón reforzado con fibras. Tomando como referencia los antecedentes analizados, se seleccionó una longitud uniforme de 5 cm para las fibras empleadas en esta investigación, se adoptó con el propósito de optimizar la adherencia con la matriz y garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos mecánicos durante los ensayos.

3.6. METODOLOGÍA DEL O. E. I: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO

3.6.1. Caracterización física de la fibra de coco.

La fibra de coco presenta diversas propiedades físicas que pueden variar en función de factores como el grado madurez del fruto, las condiciones de cultivo y la zona de procedencia. Según J. Ahmad et al. (2022), entre las principales características de esta fibra se encuentran la longitud, diámetros, el módulo de elasticidad, la absorción y otras propiedades relacionadas con su comportamiento mecánico. Debido a la influencia de estos factores, las características físicas de la fibra de coco pueden presentar variaciones significativas entre diferentes muestras, por lo que resulta necesario caracterizarlas antes de su utilización como material de refuerzo en el hormigón.

3.6.1.1. Mediante microscopia óptica trinocular.

Para analizar con mayor detalle las características físicas de la fibra de coco, se utilizó un microscopio trinocular. Este equipo dispone de tres puertos ópticos: dos destinados a la observación directa por parte del usuario y un tercer puerto diseñado para el acoplamiento de cámaras o sistemas de capturas de imágenes. Debido a esta configuración, el microscopio trinocular es ampliamente utilizado en investigaciones científicas y trabajos de laboratorio, considerando que permite observar, registrar y documentar con precisión las características morfológicas de las muestras analizadas.

Materiales:

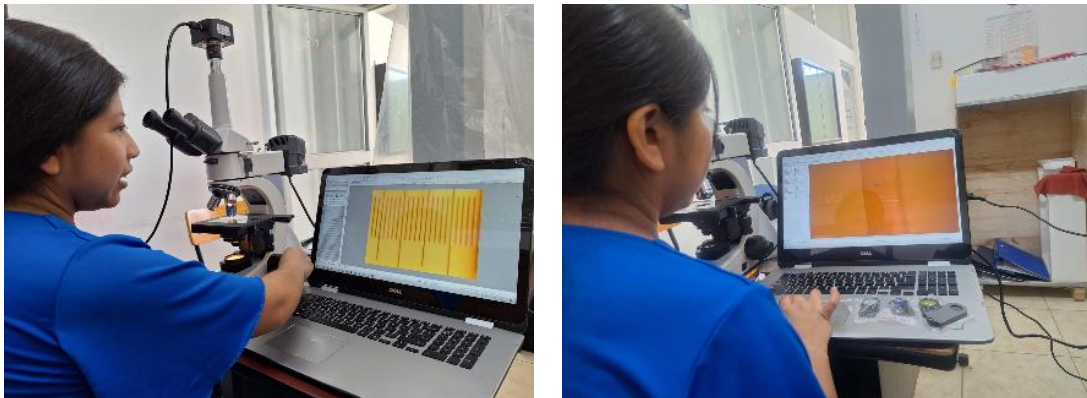
- Equipo: Microscopio trinocular OMAX M83EZ (con una cámara modelo MU2003 USB incluida para la digitalización de imágenes).
- Muestra: Fibra de coco seca y tratada.
- Preparación de las muestras: Pinzas de disección, cubreobjetos y portaobjetos.
- Software: Programa AmScope Versión: x64, 4.12.25996.20240707
- calibrado para calcular diámetros de muestras de fibra de coco en micras (μm).
- Regla micrométrica.

Procedimiento:

- Muestra: Prepara una pequeña cantidad de fibra de coco.
- Preparación del microscopio y modifique la fuerza de la luz.
- Ubicar el portaobjetos en la platina mecánica.
- Utilice el micrómetro (enfoque fino) para concentrarse en la textura y el objetivo inicial.
- Iluminación: Para aumentar el contraste de la fibra translúcida, ajuste el diafragma iris y el condensador.
- Diámetro de la fibra: Utilice el ocular micrométrico o una cámara modelo MU2003 digital OMAX que esté colocada en el puerto trinocular para medir la longitud del grosor.
- Utilice una reglilla micrométrica para calibrar el software de medición (por ejemplo, ToupView) y así validar los datos en micrómetros (μm) sobre longitud, diámetro y área tal como se muestra en la Figura 1a.
- Capture microfotografías por medio del puerto trinocular conforme se ilustra en la Figura 1b.

Figura 1

Observación de la fibra de coco mediante microscopía



(a) Calibración del microscopio, (b) Medición del diámetro de fibra

3.6.1.2. Densidad de la fibra de coco mediante frasco de Chapman.

Para analizar a detalle las características físicas de la fibra de coco, se realizó el ensayo de densidad de esta mediante el frasco de Chapman, siguiendo la norma ASTM 128. Este método para densidad y absorción de agregados finos. Requiere adaptaciones (como el uso del

picnómetro o el frasco de Chapman) para asegurar que el agua sature completamente la porosidad interna de la fibra antes del pesaje sumergido.

Material y equipos:

- Frasco de Chapman (capacidad 450 ml, graduado desde 200 ml)
- Balanza analítica (precisión 0.01 g)
- Muestra de fibra de coco seca (secada en horno a 100 ± 5 °C)
- Agua destilada
- Embudo de vidrio
- Varilla metálica para eliminar burbujas de aire
- Recipiente y espátula

Procedimiento:

- Sumergir la fibra de coco en agua durante 24 ± 4 horas para saturar los poros.
- Llenar el frasco de Champan con agua destilada hasta la marca de 200 ml, verificando que no queden burbujas de aire.
- Pesar 25 g muestra de fibra de coco.
- Introducir la muestra en el frasco poco a poco, empleando el embudo, evitando que quede material adherido al cuello del frasco.
- Girar suavemente el frasco para eliminar las burbujas de aire atrapadas entre las fibras como se observa en la Figura 2a.
- Dejar reposar hasta que el nivel de agua se estabilice y realizar la lectura final del volumen como podemos ver en la Figura 2b.

Para realizar el cálculo de la densidad, se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación (1).

$$Gs_{fibra\ de\ coco} = \frac{PMSSS}{lectura_{final} - lectura_{inicial}} \quad (1)$$

Donde:

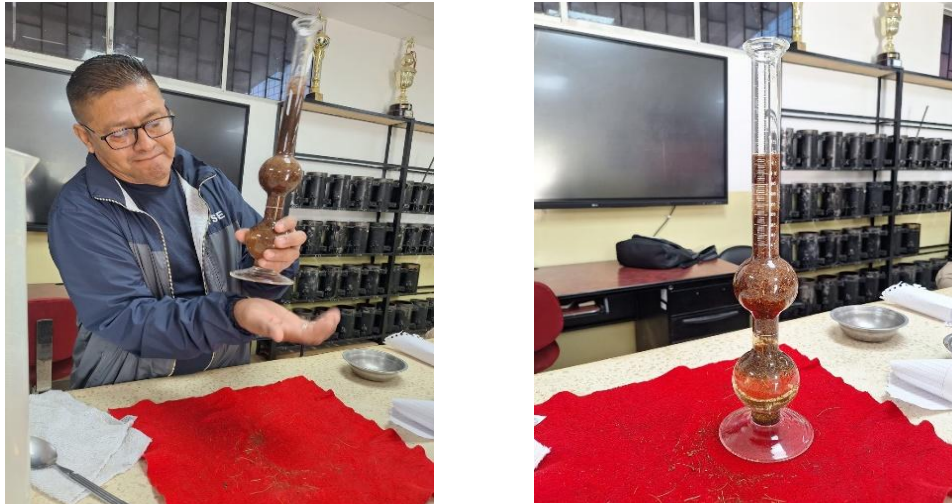
P.M.S.S.S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

lectura_{inicial} = Lectura inicial del frasco de Chapman + agua destilada

$lectura_{final} = \text{Lectura final del frasco de Chapman} + \text{muestra}$

Figura 2

Densidad de la fibra



(a) Eliminación de burbujas atrapadas, (b) Muestra en reposo

3.6.2. Estimación gravimétrica de fracciones lignocelulósicas mediante tratamiento químico secuencial.

Los componentes químicos de la fibra de coco pueden variar dentro de determinados intervalos, dependiendo de factores como la variedad del coco, el grado de madurez, las condiciones de cultivo y el método de extracción empleado. La caracterización química de esta fibra se fundamenta en la determinación de sus principales constituyentes, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, compuestos que influyen directamente en sus propiedades físicas, mecánicas y en su interacción con la matriz cementicia. Debido a que se trata de una fibra de origen vegetal, la celulosa constituye uno de sus componentes estructurales más importantes.

Los principales componentes químicos de la fibra de coco son la celulosa, la hemicelulosa, la lignina, las pectinas y las ceras. La proporción de estos constituyentes puede variar en función del grado de madurez de la fibra, su procedencia. Cada uno de estos componentes desempeña un papel importante en la adherencia entre la matriz cementicia.

- **Celulosa:** Componente estructural principal, proporciona estabilidad y resistencia mecánica.
- **Hemicelulosa:** Polímero con ramificaciones que funciona como una matriz aglutinante.
- **Lignina:** Polímero aromático intrincado que aporta firmeza, sostenimiento y resistencia a la descomposición térmica/biológica.
- **Pectinas:** Elementos que aglutinan a las microfibrillas.
- **Ceras:** Impureza superficial de carácter hidrofóbico.

3.6.2.1. Porcentaje de hemicelulosa presente en la fibra de coco.

Materiales:

- Fibra de coco seca y sin tratar.
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 5 %
- Agua destilada.
- Balanza analítica de precisión $\pm 0,001$ g.
- Vasos de precipitación de 250 y 500 ml.
- Probetas graduadas (100 y 250 ml).
- Agitador de vidrio.
- Estufa.
- Pinzas metálicas.
- Horno de secado modelo 21-350ERS-00157 (60-105 °C).

Procedimiento:

- Secar y pesar aproximadamente 1 g de fibra.
- Preparar una solución de NaOH al 5 % de concentración.
- Sumergir la fibra y dejarla hervir en la solución durante 30 minutos.
- Retirar la fibra y lavar con abundante agua destilada hasta alcanzar pH neutro.
- Secar la muestra en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 60 °C hasta masa constante.
- Pesar nuevamente.

- Para realizar el cálculo del porcentaje de hemicelulosa, se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación (2).

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} * 100 \quad (2)$$

Donde:

P_0 = *Peso muestra seca*

P_1 = *Peso muestra despues de aplicar la solucion de NaOH*

3.6.2.2. Porcentaje de lignina presente en la fibra de coco.

Materiales:

- Fibra de coco sin hemicelulosa.
- Agua oxigenada de 10 VOL.
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 5 %
- Agua destilada.
- Balanza analítica de precisión $\pm 0,001$ g.
- Vasos de precipitación de 250 y 500 ml.
- Probetas graduadas (100 y 250 ml).
- Agitador de vidrio.
- Embudo de vidrio.
- Pinzas metálicas.
- Horno de secado modelo 21-350ERS-00157 (60-105 °C).

Procedimiento:

- Utilizar la fibra previamente tratada para eliminar hemicelulosa.
- Sumergir la muestra en una solución de una parte de agua oxigenada + dos partes agua + 0.5% NaOH, durante 24 horas.
- Lavar la fibra con agua destilada hasta neutralizar.
- Secar en horno modelo 21-350ERS-00157 a 60 °C hasta peso constante.
- Registrar el peso final.

- Para realizar el cálculo del contenido de lignina, se lo encuentra a partir de la ecuación (3).

$$\% \text{ Lignina} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} * 100 \quad (3)$$

Donde:

P_0 = *Peso inicial de muestra*

P_1 = *Peso despues del lavado de eliminación de hemicelulosa*

P_2 = *Peso final de muestra*

3.6.2.3. Porcentaje de celulosa presente en la fibra de coco.

La celulosa constituye el último componente químico determinado dentro del proceso de caracterización de la fibra. Su contenido se calcula a partir de los resultados obtenidos en las etapas previas de análisis, permitiendo determinar el porcentaje de celulosa presente en la muestra evaluada. Para ello, se emplea la ecuación (4), mediante la cual se obtiene el porcentaje de celosa correspondiente a la fibra analizada.

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{P_2}{P_0} * 100 \quad (4)$$

3.6.3. Caracterización mecánica de la fibra de coco.

Entre las principales propiedades mecánicas de la fibra de coco se encuentran la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad, la elongación, la tenacidad y la flexibilidad. Estas características permiten evaluar el comportamiento de la fibra frente a la aplicación de cargas y deformaciones, siendo fundamentales para determinar su potencial como material de refuerzo en matrices cementantes y otros materiales compuestos.

3.6.3.1. Tracción de la fibra mediante dinamómetro motorizado.

Para la determinación de las propiedades mecánicas de la fibra de coco se utilizó un dinamómetro, instrumento de alta precisión empleada para medir fuerzas de tracción, compresión y torsión en materiales. Para el desarrollo de la investigación se aplicó la marca Nanbei Instruments Limited, modelo Nel-A-1000N. antes de utilizar las fibras de coco se

realizó tratamientos con resina epóxica en sus extremos, con el fin de prevenir que ocurra daños o deslizamientos, mediante estos análisis permitió asegurar transmisión de esfuerzos lo que determino resultados confiables.

Materiales:

- Fibra de coco
- Resina epóxica
- Guantes
- Jeringuilla
- Recipiente de plástico
- Regla
- Marcador permanente.
- Banco de pruebas motorizado (UTM): Sistema electromecánico que puede ejercer tracción a una velocidad controlada y constante (generalmente entre 1 mm/min y 300 mm/min, en función de si se trata de tejido o fibra individual).
- Célula de carga: Sensor para calcular la fuerza ejercida. Para fibras individuales se aconseja una celda de 100 N.
- Mordazas de sujeción: Deben asegurarse de que la fibra no se rompa ni se deslice debido a la presión del agarre.

Procedimiento:

- Los elementos A (resina base) y B (endurecedor) de la resina epóxica fueron proporcionados de manera equivalente (1:1 en volumen), en concordancia con lo que indicaba el fabricante para garantizar una mezcla balanceada.
- Antes de ser aplicados sobre el material fibroso, ambos componentes fueron homogeneizados por medio de una mezcla continua a mano, hasta que la mezcla quedó uniforme y sin grumos.
- Las fibras de coco fueron preparadas y medidas, dejando una sección central de 5 cm sin impregnación, que corresponde a la zona útil para evaluar los experimentos en el dinamómetro modelo NEL-A-1000N.

- La resina epóxica fue aplicada de manera uniforme sobre los extremos de la fibra, en las secciones adyacentes a la zona de ensayo.
- Las muestras impregnadas fueron dispuestas en superficie plana y sometidas a curado a temperatura ambiente hasta alcanzar su endurecimiento completo, antes de ser utilizadas en las pruebas experimentales.
- Seguido de la lectura de diámetros en el microscopio, se implementó el uso de un dinamómetro de la marca Nanbei modelo NEL-A-1000N como se observa en la Figura 3a.
- Este procedimiento se lo realiza a tres muestras o de ser necesario las que el ensayo amerite como se muestra en la Figura 3b.
- Por medio de la maquina se realiza la determinación del esfuerzo a tracción.
- La velocidad que se utilizó en el dinamómetro modelo NEL-A-1000N para realizar los ensayos fue de 3 mm/min.

Figura 3

Medición de resistencia mediante dinamómetro modelo NEL-A-1000N



(a) Ensayo de tensión a la fibra, (b) Software del dinamómetro

3.6.3.2. Tenacidad.

Esta propiedad resulta fundamental en materiales sometidos a impactos, cargas dinámicas o acciones sísmicas, permite evaluar la cantidad de energía por unidad de volumen que pueden soportar antes de producirse la falla. En las fibras, la tenacidad también puede

expresarse como la relación entre la fuerza de rotura y la densidad lineal, lo que permite comparar su resistencia mecánica independiente de su diámetro o grosor.

La tenacidad de rotura de las fibras ensayadas se las calcula a partir de la aplicación de la ecuación (5).

$$B = \frac{F}{T} \quad (5)$$

Donde:

B : Tenacidad de rotura.

F : Fuerza de rotura

T : Densidad lineal.

3.6.3.3. Elongación.

La elongación es el incremento de longitud que experimenta un material cuando se somete a una fuerza de tracción. Esta propiedad permite evaluar la capacidad del material para deformarse antes de alcanzar la rotura y constituye un indicador importante de su ductilidad. El porcentaje de elongación se determina mediante la relación entre la variación de longitud y la longitud inicial de la muestra, conforme a la ecuación (6).

$$\%E_p = \frac{E * R}{C * L} * 100 \quad (6)$$

Donde:

E_p : % de elongación

E : La distancia desde el inicio de la gráfica hasta la fuerza de pretensión de la fibra, medida en mm.

R : Rapidez del ensayo, mm/min

C : Rapidez del grafico de registro, mm/min.

L : Longitud nominal de la muestra, mm

3.6.4. Aplicación de tratamiento alcalino a la fibra de coco para la mejora de su adherencia.

El tratamiento alcalino es un proceso químico que se utiliza una solución de hidróxido de sodio (NaOH) para modificar las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco natural, dicho tratamiento es utilizado para eliminar impurezas superficiales, ceras, grasas, pectinas y partes de componentes amorfos que se presenta en la fibra, con ello ayuda a reforzar el hormigón.

Materiales:

- Fibra de coco: Seca y limpia.
- Hidróxido de sodio (NaOH): Sosa cáustica en concentración del 50 %.
- Agua destilada: Útil para preparar la solución y lavar las fibras.
- Peachimetro: instrumento para medir la neutralidad del pH al final.
- Recipiente de plástico o vidrio: Necesario para evitar recipientes metálicos, debido a que el NaOH reacciona con muchos metales.
- Balanza de precisión y probeta
- Equipo de protección personal: Guantes de nitrilo, gafas de seguridad, mascarilla para el vapor y mandil.
- Horno modelo 21-350ERS-00157: Para el secado de la fibra.
- Estufa: útil para alcanzar la temperatura requerida.

Procedimiento:

- Elaboración de la solución: Para obtener la concentración necesaria, diluya el NaOH en agua destilada.
- Calentamiento en estufa: Calentar la solución en estufa hasta alcanzar la temperatura requerida como se observa en la Figura 4.
- Inmersión: Introduzca la fibra de coco dentro del contenedor con la solución alcalina (ver Anexo 11a).

- Tiempo de respuesta: El tiempo puede variar dependiendo del propósito, en este caso el tiempo estimado de inmersión fue de 30 minutos en el horno modelo 21-350ERS-00157 conservando la temperatura óptima.
- Lavado: Extraiga las fibras del horno modelo 21-350ERS-00157 y enjuáguelas con agua destilada en gran cantidad hasta que el pH del agua de enjuague sea neutro (más o menos entre 6 y 7) (ver Anexo 11b).
- Secado: Seque la fibra en un horno modelo 21-350ERS-00157 a unos 30 °C, durante 4 horas removiendo la muestra cada hora, luego verifique que esté seca.
- Pesar las cantidades a utilizar de acuerdo con el porcentaje a aplicarse en el diseño (ver Anexo 12).

Figura 4

Temperatura de la solución alcalina



Utilización de termómetro modelo 4192 para comprobar que la solución alcalina llegó a la temperatura requerida.

3.6.5. Evaluación del efecto del pretratamiento químico sobre las propiedades de la fibra de coco.

El tratamiento químico de fibras lignocelulosa consiste en la modificación de su estructura mediante el uso de agentes químicos, tales como álcalis, ácidos o sales. Estos tratamientos alteran parcialmente la composición de componentes como lignina, la

hemicelulosa y otros compuestos amorfos presentes en la fibra, generando cambios en su morfología superficial y en sus propiedades fisicoquímicas.

Materiales:

- Fibra de coco natural sin tratamiento previo (muestra patrón).
- Hidróxido de sodio (NaOH) en concentración del 50 %.
- Agua destilada para preparación de soluciones.
- Balanza analítica de precisión (0,001 g)
- Recipientes de vidrio para inmersión de fibras.
- Termómetro de laboratorio modelo: 4192.
- Horno modelo 21-350ERS para secado a temperatura controlada ($60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)

Procedimiento:

- La materia prima fue obtenida en el mercado de la provincia de Santa Elena, en el cantón La Libertad. Se confirmó que era originaria del área Río Chico, la misma que pertenece al cantón Portoviejo, correspondiente a la provincia de Manabí. Antes de procesar, se llevó a cabo una selección manual de las muestras, en la que se eliminaron aquellas que mostraban contaminación visible, deterioro físico o rasgos que pudieran poner en riesgo la integridad del estudio.
- Después, se llevó a cabo la extracción del mesocarpio (fibra de la fruta). Este fue sometido a un proceso de maceración en agua a temperatura ambiente durante 24 horas para eliminar las impurezas superficiales y los restos orgánicos que estaban pegados a las fibras. Una vez transcurrido ese tiempo, las fibras se extrajeron del medio acuoso y se les aplicó un procedimiento de desfibrado manual con el objetivo de separarlas y conseguir fibras individuales como se muestra en la Figura 5a.
- Hasta llegar a un grado de humedad apropiado, las muestras conseguidas se mantuvieron en condiciones ambientales controladas durante al menos tres días, como paso previo al tratamiento de mercerización con una solución de hidróxido sodio (NaOH).

- Se determinó la cantidad de masa de hidróxido de sodio (NaOH) y agua destilada en el laboratorio, con concentraciones del 4 %, y 6 %, para cada combinación experimental que se definió en el diseño de tratamientos.
- Las muestras para el pretratamiento alcalino fueron distribuidas, tomadas aleatoriamente y ubicadas en envases individuales correctamente etiquetados, según la concentración de NaOH que se les asignó tal como se muestra en la Figura 5b.
- Las soluciones fueron sumergidas en la solución alcalina y se colocaron en un horno modelo 21-350ERS-00157 de convección forzada a temperatura controlada (60° C y 80°C) después de que la temperatura objetivo fue lograda. Se mantuvieron así durante el periodo determinado (30 minutos para cada combinación) para cada grupo experimental (ver Anexo 10a y 10b).
- Una vez terminado el tiempo de tratamiento, se sacaron las muestras del horno modelo 21-350ERS-00157 y se lavaron con agua destilada repetidamente para alcanzar un pH neutro ($\text{pH} \approx 7,0$), verificado mediante peachimetro, medidor de pH (ver Anexo 10c).

Figura 5

Fibras individuales de coco



(a) Desfibración manual, (b) Distribución de fibra para diseño factorial 2^k

3.6.6. Diseño experimental factorial para la evaluación de variables en mezclas de hormigón reforzado con fibra de coco.

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en investigaciones experimentales que involucran múltiples factores, puesto que permiten analizar tanto los efectos individuales como las interacciones entre las variables que influyen sobre una respuesta determinada. En particular, el diseño factorial 2^k resulta de gran utilidad en las etapas iniciales de una investigación, importante en las etapas iniciales del trabajo experimental, cuando se requiere evaluar simultáneamente varios factores y determinar cuáles ejercen una influencia significativa sobre el fenómeno estudiado. Este diseño permite estudiar (k) factores, cada uno con dos niveles de análisis, utilizando el menor número de corridas experimentales posible dentro de un esquema factorial completo.

Se desarrolló un experimento mediante un diseño factorial de 2^k , en el cual se evaluaron dos factores de estudio: el primer factor fue la concentración de hidróxido de sodio con niveles 4% y 6%, mientras que el segundo factor utilizado fue la temperatura de tratamiento, con niveles 60 ° y 80 °. La combinación de estos factores dio lugar a cuatro tratamientos experimentales: 4% con 60 °, 6% con 60 °, 4% con 80 °, 6% con 80 °. Para cada tratamiento se realizaron 3 réplicas, y como variable de respuesta se evaluó el esfuerzo de tracción de las fibras expresado en megapascals (MPa).

3.7. METODOLOGÍA DEL O. E. II: DISEÑO DE HORMIGÓN DE RESISTENCIA 240 kg/cm², CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA.

3.7.1. Granulometría.

La granulometría de los agregados corresponde a la distribución de tamaños de las partículas que conforman los agregados finos y gruesos utilizados en la elaboración del hormigón. Para su determinación se emplea un conjunto de tamices normalizados que permiten clasificar las partículas según su tamaño. Este análisis es fundamental, ya que una adecuada distribución granulométrica favorece el empaquetamiento de los agregados, mejora la

trabajabilidad de la mezcla y contribuye a la obtención de un hormigón homogéneo, resiste y económicamente eficiente.

Materiales:

- Agregado grueso y Agregado fino.
- Juego de tamices normalizados ASTM: Tamices de 25.4 mm (1”), 16.05 mm (3/4”), 12.7mm (1/2”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8), 1.18 mm (No. 16), 0.600 mm (No. 30), 0.300 mm (No. 50) y 0.150 mm (No. 100), con fondo colector.
- Balanza de precisión.
- Cepillo de cerdas de bronce: Para limpiar los tamices sin dañar la malla.
- Bandejas y espátulas metálicas: Para recoger y transferir el material retenido en cada tamiz.

Procedimiento:

Agregado grueso:

- Secar la muestra de piedra en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 ± 5 °C, Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar la muestra seca con precisión de 0.1 g.
- Ensamblar los tamices en orden descendente de abertura de arriba hacia abajo: 25.4mm – 16.05mm – 12.7mm – 9.5 mm– fondo.
- Verter la muestra sobre el tamiz superior. Tapar el juego de tamices, luego realizar agitación manual enérgica y continua.
- Retirar cada tamiz y pesar la masa retenida en cada uno con precisión de 0.1 g. Verificar que la suma de las masas retenidas más el fondo sea ≥ 99.5 % de la masa inicial (pérdida máxima aceptada: 0.5 %).
- Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa.

Agregado fino:

- Secar la muestra de arena en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 ± 5 °C, Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar la muestra seca con precisión de 0.1 g.
- Ensamblar los tamices en orden descendente de abertura de arriba hacia abajo: 9.5 mm – 4.75 mm – 2.36 mm – 1.18 mm – 0.600 mm – 0.300 mm – 0.150 mm – fondo.
- Verter la muestra sobre el tamiz superior. Tapar el juego de tamices, luego realizar agitación manual enérgica y continua como se muestra en la Figura 6.
- Retirar cada tamiz y pesar la masa retenida en cada uno con precisión de 0.1 g. Verificar que la suma de las masas retenidas más el fondo sea ≥ 99.5 % de la masa inicial (pérdida máxima aceptada: 0.5 %).
- Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa.

Figura 6

Granulometría del agregado fino



3.7.2. Contenido de Humedad.

El contenido natural de humedad corresponde a la cantidad total de agua que presenta el agregado en el momento del ensayo, incluyendo tanto el agua contenida en sus poros permeables como la humedad superficial. Su determinación es fundamental para corregir la

cantidad de agua de mezclado y mantener la relación agua/cemento establecido en el diseño del hormigón.

Materiales:

- Muestra de agregado: Masa mínima: 500 g para arena; 1 500 g para grava. Obtenida por cuarteo inmediatamente antes del ensayo para evitar pérdida de humedad.
- Balanza: Precisión ± 0.1 g para agregado fino; ± 1 g para agregado grueso.
- Recipiente metálico: Bandeja o tara metálica de masa conocida.
- Horno modelo 21-350ERS-00157: Temperatura regulable a 110 ± 5 °C.

Procedimiento:

- Obtener la muestra del agregado por cuarteo y pesarla inmediatamente.
- Registrar la masa de la tara vacía.
- Calcular la masa húmeda del agregado.
- Colocar la muestra en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 ± 5 °C hasta obtener masa constante (generalmente 24 horas para agregados gruesos y 16 horas para finos) de acuerdo con la Figura 7.
- Retirar del horno modelo 21-350ERS-00157 y pesar nuevamente.

Figura 7

Colocación de muestra al horno modelo 21-350ERS-00157



3.7.3. Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado grueso.

La densidad específica de masa se define formalmente como la relación matemática entre la masa del agregado grueso y la de un volumen equivalente de agua destilada a una temperatura de 23 °C. Este parámetro físico es clave en la caracterización de materiales y permite estandarizar las propiedades esenciales para el diseño y control de calidad.

Materiales:

- Muestra de agregado grueso: Masa mínima: 2 000 g (retenida en el tamiz No. 4 = 4.75 mm).
- Balanza con capacidad de pesaje hidrostático: Equipada con gancho y canasta de malla metálica sumergible; precisión ± 0.5 g.
- Canasta de malla metálica: Abertura de malla No. 6 (3.35 mm) o menor, con soporte para inmersión en agua.
- Recipiente de inmersión (tanque de agua): Suficientemente grande para sumergir completamente la canasta con el agregado.
- Paño absorbente (franela): Para llevar el agregado a condición de superficie seca saturada (SSS).

Procedimiento:

- Lavar el agregado grueso para eliminar polvo y partículas finas. Secar al horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 ± 5 °C, dejar enfriar a temperatura ambiente tal como se observa en la Figura 8^a.
- Sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente durante 24 ± 4 horas.
- Retirar la muestra del agua y secarla superficialmente con el paño absorbente hasta llevarla a condición S.S.S. (superficie seca saturada):
- Pesar la muestra en condición S.S.S. al aire.
- Colocar la muestra en la canasta de malla e introducirla en el tanque de agua conforme se ilustra en la Figura 8b.
- Pesar la muestra sumergida en agua y registrar.
- Retirar la muestra del tanque, secarla en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 ± 5 °C, dejar enfriar y pesar.

Figura 8

Preparación del agregado grueso para ensayo de densidad:



(a) Lavado del material, (b) Sumergir material en agua

3.7.4. Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado fino.

Debido al tamaño reducido de sus partículas, la densidad específica del agregado fino se determina mediante el ensayo de frasco de Chapman, el método mide el desplazamiento de agua, a diferencia del agregado grueso.

Este procedimiento se aplica al material que pasa a través del tamiz No. 4 (4,75 mm) y permite determinar con precisión la densidad específica de las partículas que conforman el agregado fino (ver Anexo 2).

Materiales:

- Muestra de agregado fino: Masa aproximada: 500 g. Material pasante por el tamiz No. 4 (4.75 mm),
- Frasco de Chapman: Capacidad 450 ml.
- Balanza: Capacidad mínima 1 000 g; precisión ± 0.1 g.
- Molde cónico metálico: Base superior 40 mm, base inferior 90 mm, altura 75 mm (ASTM C128).
- Varilla de compactación: Diámetro 25 mm, masa 340 ± 15 g, cara de golpeo plana (ASTM C128).

- Termómetro modelo 4192: Rango 0 – 50 °C; precisión ± 0.5 °C.
- Agua destilada: Para llenar el frasco de Chapman y evitar la influencia de minerales disueltos.
- Bandejas y espátulas metálicas: Para extender la muestra y facilitar el secado superficial.

Procedimiento:

- Sumergir 500 g de arena en agua durante 24 horas para saturar los poros.
- Extender la arena saturada sobre una bandeja y secarla.
- Verificar la condición S.S.S. con el molde cónico: llenar el molde en tres capas, aplicar 25 golpes con la varilla compactadora por capa según se observa en la Figura 9a. Levantar el molde; si el cono de arena se derrumba parcialmente, la arena está en condición S.S.S. Si el cono se mantiene rígido, la arena aún tiene humedad superficial excesiva; si se desmorona completamente, está demasiado seca.
- Pesar 500 g de arena en condición S.S.S. e introducirla en el frasco de Chapman.
- Añadir agua destilada hasta completar el 90 % del volumen del frasco de Chapman. Agitar suavemente conforme se ilustra en la Figura 9b.
- Completar el frasco de Chapman hasta su volumen calibrado con agua.

Figura 9

Ensayo de densidad del agregado fino:



(a) Preparación del material, (b) Arena en el frasco de Chapman.

3.7.5. Peso volumétrico varillado del agregado grueso.

El peso volumétrico compactado determina la relación entre la masa del agregado grueso y el espacio ocupado tras aplicar un procedimiento normado de varillado. Este parámetro técnico es indispensable en el diseño de mezclas, ya que permite calcular de forma precisa la cantidad de vacíos intergranulares y optimizar la compacidad del material.

Este valor suele ser superior al peso unitario suelto, se emplea en el método del volumen absoluto para diseñar mezclas (ver Anexo 1).

Materiales:

- Recipiente cilíndrico metálico calibrado: Igual al empleado en el ensayo de peso unitario suelto (Capacidad 10 L o 3 L)
- Varilla compactadora de acero: Longitud 600 mm, diámetro 16 mm, extremo semiesférico. (ASTM C29).
- Balanza de precisión: Capacidad mínima 30 kg; precisión ± 0.1 g.
- Pala o cuchara metálica: Para llenar el recipiente en tres capas de igual altura.
- Regla metálica enrasadora: Superficie plana y rígida, longitud mínima 30 cm.
- Muestra de agregado seco al horno modelo 21-350ERS-00157: Secada a 110 ± 5 °C.

Procedimiento:

- Secar la muestra de agregado a 110 °C. Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Determinar y registrar la masa del recipiente vacío.
- Llenar el recipiente en tres capas de igual volumen (aproximadamente 1/3 del recipiente cada una) como se observa en la Figura 10a.
- Compactar cada capa con 25 golpes uniformemente distribuidos de la varilla compactadora, penetrando ligeramente la capa inferior sin golpear el fondo del recipiente en la primera capa como se muestra en la Figura 10b.
- Al terminar la tercera capa, enrasar la superficie con la regla metálica.
- Pesar el conjunto (recipiente + agregado compactado) y registrar la masa total.
- Repetir el procedimiento un mínimo de tres (3) veces y promediar los resultados.

Figura 10

Ensayo de peso volumétrico



(a) Colocación de agregado grueso, (b) Varillado del material

3.7.6. Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso.

Este ensayo normalizado permite cuantificar con precisión la masa por unidad de volumen del agregado en estado suelto. Dicho parámetro físico resulta indispensable garantizando una dosificación exacta y reproducible de las materias primas durante el diseño de mezclas de hormigón. A continuación, se presentan los materiales utilizados y el procedimiento experimental correspondiente, esto influirá directamente en la dosificación y comportamiento de la mezcla de hormigón.

Materiales:

- Recipiente cilíndrico metálico calibrado: Capacidad: 10 L para agregado grueso; 3 L para fino. Debe ser rígido, impermeable y con dimensiones certificadas.
- Balanza de precisión: Capacidad mínima 30 kg; precisión ± 0.1 g (ASTM E11).
- Pala o cuchara metálica: Para verter el material desde una altura constante de 50 mm sobre el borde del recipiente.
- Regla metálica enrasadora: Superficie plana y rígida, longitud mínima 30 cm.
- Muestra de agregado seco al horno modelo 21-350ERS-00157: Secada a 110 °C hasta masa constante (ASTM C566).

Procedimiento:

- Secar la muestra de agregado en el horno modelo 21-350ERS-00157 a 110 °C, dejar enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.
- Determinar y registrar la masa del recipiente vacío con la balanza calibrada.
- Llenar el recipiente dejando caer el agregado con pala o cuchara desde una altura no mayor a 50 mm sobre el borde superior del recipiente, evitando sacudidas o compactación según se observa en la Figura 11.
- Enrasar la superficie del recipiente con la regla metálica, eliminando el exceso de material sin compactar.
- Pesar el conjunto (recipiente + agregado) y registrar la masa total.
- Repetir el procedimiento un mínimo de tres (3) veces y calcular el promedio.

Figura 11

Colocación de agregado fino



3.7.7. Absorción.

La absorción en los agregados representa el incremento porcentual de su masa debido al agua alojada en los poros permeables del material. Por otra parte, el estado de secado absoluto se logra al someter el espécimen a una temperatura constante de 110 °C en el horno hasta alcanzar una masa invariable. Este control gravimétrico es fundamental y permite corregir con precisión la cantidad de agua efectiva que realmente participará en la reacción de la mezcla.

Materiales:

- Muestras de arena y piedra.
- Agua.
- Balanza analítica (con precisión de 0.1 g).
- Horno de secado modelo 21-350ERS-00157.
- Recipientes adecuados para las muestras (bandejas)
- Paños o toallas absorbentes.

Procedimiento:

- Preparar las muestras de arena y piedra (secado inicial).
- Registrar el peso de las muestras secas.
- Sumergir las muestras en agua por un tiempo determinado (24 horas).
- Retirar el exceso de agua superficial de las muestras (condición saturada y superficialmente seca, S.S.S.).
- Registrar el peso de las muestras en condición S.S.S. como se observa en la Figura 12.
- Secar las muestras en horno modelo 21-350ERS-00157 hasta peso constante.
- Registrar el peso de las muestras secas finales.

Figura 12

Agregado grueso para absorción



3.7.8. Diseño.

Para el diseño de la mezcla de hormigón es necesario disponer de los materiales constituyentes como: agua, cemento, agregados finos y gruesos. Conviene establecer las proporciones adecuadas de cada material para garantizar la homogeneidad de la mezcla, y alcanzar los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos para el proyecto (ver Anexo 3). Esta dosificación busca un balance óptimo entre la economía de materiales y el control de calidad, garantizando las propiedades mecánicas exigidas por las normativas de construcción vigentes y de esta forma cumpla la demanda en términos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

3.7.8.1. Resistencia requerida promedio f'_{cr} .

De acuerdo con la Tabla 4, la resistencia promedio requerida constituye el valor del diseño utilizado para la elaboración de una mezcla de hormigón. Con el fin de asegurar la seguridad estructural y compensar la variabilidad natural del material (que ocurre durante la elaboración, transporte, vaciado y curado), debe ser superior a la resistencia especificada a la compresión (f'_c), representa el nivel de desempeño mecánico que debe alcanzar la mezcla. La resistencia promedio requerida, calculada mediante ecuación (7), permite garantizar que el hormigón alcance el desempeño mecánico esperado y cumpla con las condiciones de seguridad y estabilidad exigidas para los elementos estructurales.

Tabla 4

Resistencia requerida promedio f'_{cr}

Resistencia a Compresión f'_c (kg/cm ²)	Resistencia a Compresión Requerida f_{cr} (kg/cm ²)
< 210	$f'_{cr} = f'_c + 70$
210 – 350	$f'_{cr} = f'_c + 85$
> 350	$f'_{cr} = 1,10f'_c + 50$

Nota. De acuerdo con el “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = f'_c + 0.85 \text{ kg/cm}^2 \quad (7)$$

$$f'_{cr} = 240 \frac{kg}{cm^2} + 0.85kg/cm^2$$

3.7.8.2. Revenimiento.

También conocido como asentamiento o slump, es un ensayo de control de calidad que tiene como objetivo evaluar la trabajabilidad, fluidez y consistencia del hormigón fresco según se observa en la Figura 13a. Dependiendo del tipo de elemento estructural que se va a construir, la Tabla 5 muestra valores mínimos y máximos de revenimiento recomendados. Dichas directrices sirven como control de calidad para adaptar la mezcla a las dimensiones de los encofrados.

Tabla 5

Asentamiento según el tipo de estructura

Tipo de Estructura	Máximo (pulg.)	Mínimo (pulg.)
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota. De acuerdo al “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

La disminución de altura que experimenta la mezcla después de retirar el molde troncocónico se mide en centímetros tal como se muestra en la Figura 13b. Esta medición permite evaluar la trabajabilidad del hormigón fresco, proporcionando información sobre la facilidad con la que puede ser transportado, colocado y compactado en obra.

Asimismo, el ensayo permite identificar posibles variaciones en la dosificación o en el contenido de agua de la mezcla. Al medir la fluidez inicial en estado fresco, el diseñador puede detectar a tiempo problemas de segregación o un exceso en la relación agua/cemento antes del vaciado definitivo.

Esta evaluación rápida en obra funciona como un filtro de control de calidad esencial para asegurar la uniformidad de la estructura. Finalmente, la clasificación de los valores de asentamiento según la consistencia del hormigón se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Asentamiento según la consistencia de la mezcla

Consistencia del concreto	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poca
Plástica	3" a 4"	Ok
Húmeda	$\geq 5"$	Poca

Nota. De acuerdo con el “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

Se requiere para este diseño una consistencia plástica con un asentamiento de 3" a 4". Este rango es ideal porque ofrece la trabajabilidad necesaria para facilitar la colocación y el vibrado del hormigón sin riesgo de segregación.

Figura 13

Revenimiento del hormigón



(a) Mezcla patrón, (b) Mezcla con fibra

3.7.8.3. Volumen unitario del agua.

Como se observa en la Tabla 7, la cantidad de agua requerida en una mezcla de hormigón está relacionada con la trabajabilidad de la mezcla y con las reacciones de hidratación del cemento. La dosificación del contenido de agua debe calcularse con precisión para garantizar la trabajabilidad y fluidez requeridas del hormigón.

Este volumen hídrico debe ser suficiente para facilitar los procesos de colocación, vaciado y compactación mecánica en el encofrado, evitando la segregación del material. De esta manera, se previene un incremento perjudicial en la relación agua/cemento (a/c), factor crítico que elevaría la porosidad capilar y comprometería directamente la resistencia a la compresión y la durabilidad estructural.

Tabla 7

Volumen unitario del agua

Asentamiento (cm)	9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1½")	50 mm (2")
Concreto SIN aire incorporado						
2.5 – 5.0	207	199	190	179	166	154
7.5 – 10.0	228	216	205	193	181	169
15.0 – 17.5	243	228	216	202	190	178
Concreto CON aire incorporado						
2.5 – 5.0	181	175	168	160	150	142
7.5 – 10.0	202	193	184	175	165	157
15.0 – 17.5	216	205	197	184	174	166

Nota. De acuerdo al “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

Con el propósito de garantizar la consistencia óptima del material, se estableció una dosificación estricta de 205 l/m³ de agua dentro de los parámetros de este diseño experimental.

3.7.8.4. Contenido de aire atrapado.

Corresponde al volumen de aire atrapado o vacíos presentes en la mezcla de hormigón que se originan durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y compactación. Este

contenido de aire forma parte del volumen total de la mezcla y puede influir en sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

Como se observa en la Tabla 8, el contenido de aire atrapado en hormigones convencionales generalmente oscila entre el 1% al 3% del volumen total de la mezcla. Este vacío residual es el resultado del proceso natural de colocación y compactación, y su control riguroso es indispensable puesto que un exceso de porosidad puede reducir drásticamente la resistencia a la compresión.

Tabla 8

Contenido de aire atrapado

TMN del Agregado Grueso	Aire Atrapado Aproximado (%)
9.5 mm (3/8")	3.0
12.5 mm (1/2")	2.5
19 mm (3/4")	2.0
25 mm (1")	1.5
37.5 mm (1½")	1.0
50 mm (2")	0.5

Nota. De acuerdo al “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

En esta investigación se ha tratado un contenido de aire atrapado del 2.0 % en la mezcla, valor de referencia estándar que permite simular las condiciones reales de compactación del hormigón convencional.

3.7.8.5. Relación de Agua- Cemento.

Como se observa en la Tabla 9, la relación agua/cemento constituye uno de los parámetros más importante en la preparación de mezclas de hormigón porque influye directamente en la resistencia, durabilidad, permeabilidad y calidad superficial del hormigón. La optimización de la relación agua/cemento (a/c) es crucial para regular la trabajabilidad en estado fresco, asegurando que el compuesto final desarrolle la porosidad mínima necesaria para alcanzar el desempeño mecánico requerido.

Tabla 9*Relación agua-cemento*

f'_{cr} (kg/cm ²)	a/c en peso (Sin aire incorporado)	a/c en peso (Con aire incorporado)
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	0.36
450	0.38	—

Nota. De acuerdo al “Criterio general del diseño de mezcla aplicando el método ACI”

Para la realización del cálculo de la relación agua cemento, de ser necesario se aplicará la ecuación (8).

La relación agua cemento es de: 0,515

$$y = y_0 = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (8)$$

$$\frac{a}{c} = 0,47 = \frac{0,47 - 0,54}{350 - 300} (325 - 350)$$

$$\frac{a}{c} = 0.515$$

3.7.8.6. Cálculo del factor cemento.

El contenido de cemento constituye un parámetro fundamental en la dosificación del hormigón debido a que, un incremento en la cantidad de cemento puede mejorar determinadas propiedades como la resistencia a la compresión y la durabilidad del hormigón. Una cantidad adecuada de cemento, combinada con una correcta relación de agua-cemento, permite alcanzar las propiedades mecánicas requeridas por el diseño. Para determinar el contenido de cemento necesario en la mezcla, se emplea la ecuación (9).

$$\text{factor cemento} = \frac{\text{volumen unitario del agua}}{\text{relacion agua cemento}} \quad (9)$$

$$factor\ cemento = \frac{205}{0,515}$$

$$factor\ cemento = 398,06\text{kg/m}^3$$

El análisis de proporciones determinó un factor de cemento de 398,06 kg/m³ por metro cúbico de mezcla, un valor balanceado que favorece tanto la trabajabilidad en estado fresco como la durabilidad a largo plazo del hormigón.

3.7.8.7. Determinación del volumen del agregado fino.

Como se observa en la Tabla 10, este parámetro permite determinar el volumen del agregado grueso requerido en la mezcla, su cálculo se realiza mediante la ecuación (10) y depende, entre otros factores, de las características granulométricas de los agregados. Para ello, previamente se efectúa un análisis granulométrico que permite determinar el módulo de finura del agregado fino. De acuerdo con las recomendaciones utilizadas en el diseño de mezclas, el módulo de finura de la arena suele encontrarse en un rango aproximado de 2.3 mm a 3.1 mm.

Tabla 10

Valores para calcular el Módulo de Finura-Agregado Fino

Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado
3/8"	247.1	13.86%	13.86%
No 4	155.3	8.71%	22.57%
No 8	176.2	9.88%	32.45%
No 16	212.4	11.91%	44.36%
No 30	258.4	14.49%	58.85%
No 50	507.6	28.46%	87.31%
No 100	169.8	9.52%	96.83%
Fondo	56.6	3.17%	
TOTAL	1783.4 g	100 %	356.23

$$Mf_{arena} = \frac{\sum de \% acumulado}{100} \quad (10)$$

Los ensayos de tamizado efectuados determinaron la composición cuantitativa por fracciones del agregado fino, validando su calidad como material al cumplir con lo especificado en la normativa técnica.

3.7.8.8. Volumen absoluto del agregado fino.

El volumen del agregado fino corresponde al volumen absoluto ocupado por las partículas sólidas del agregado fino, sin considerar los espacios vacíos entre ellas. Se obtiene sustrayendo los volúmenes de los demás componentes del volumen total de la mezcla.

Volumen absoluto del agregado fino.

Volumen (cemento + agua + agregado grueso + aire) = 0,70 m³

Agregado fino = 1 – 0,70 = 0,30 m³

Peso del agregado fino en estado seco = 0,30 x 2,63 x 1000

Peso del agregado fino en estado seco = 789 kg/m³

3.7.8.9. Valores del diseño de mezcla.

La Tabla 11 presenta los valores del diseño de mezcla, donde se detallan las cantidades de todos materiales utilizados para la elaboración del hormigón con sus respectivas unidades.

Tabla 11

Valores del diseño de mezcla

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	398,06	kg/m ³
Agua	205	lt/m ³
Agregado fino	789	kg/m ³
Agregado grueso	875,64	kg/m ³

Los valores para la dosificación del diseño de mezcla se determinaron mediante balances volumétricos establecidos en el método ACI, técnica que optimiza la relación gravimétrica de los agregados en el hormigón.

3.7.8.10. Corrección por contenido de humedad.

Como se observa en la Tabla 12, corresponde al ajuste matemático realizado para considerar la humedad natural de los agregados en el diseño de la mezcla de hormigón. Este procedimiento permite determinar las cantidades reales de agua y agregados que deben incorporarse a la mezcla, garantizando que la relación agua/cemento establecido en el diseño no se vea alterada. Para determinar el contenido de humedad corregido se emplea la ecuación (11).

Tabla 12

Valores corregidos por humedad

Descripción	Piedra	Arena	Unidad
Porcentaje de humedad	0,48	2,63	%
Valor de diseño de mezcla	875,64	789	kg/m ³

$$C_h = \text{valor de diseño de mezcla} \left(1 + \frac{\% \text{ de humedad}}{100} \right) \quad (11)$$

C_h - Corrección de humedad

$$\text{Piedra} = 875,64 \left(1 + \frac{0,48}{100} \right) = 879,84 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena} = 789 \left(1 + \frac{2,63}{100} \right) = 809,8 \text{ kg/m}^3$$

Se aplicaron los valores corregidos por humedad en los agregados fino y grueso antes del proceso de dosificación, procedimiento para compensar el aporte hídrico de los áridos y asegurar la consistencia real de la mezcla.

3.7.8.11. Corrección por absorción.

Como se observa en la Tabla 13, la información corresponde al ajuste realizado en el diseño de la mezcla para compensar el agua que los agregados absorben o aportan durante el mezclado, la corrección por absorción se calcula a partir de la ecuación (12).

Tabla 13*Valores corregidos por absorción*

Descripción	Piedra	Arena	
Porcentaje de absorción	2,13	1,53	%
Porcentaje de humedad	0,48	2,63	%
Valor de diseño de mezcla	875,64	789	kg/m ³

$$Absorción = \left(\frac{\% \text{ de humedad} - \% \text{ de absorción}}{100} \right) * \text{valor de diseño de mezcla} \quad (12)$$

$$Absorción_{piedra} = \left(\frac{0,48 - 2,13}{100} \right) * 875,64 = -14,49 \text{ kg/m}^3$$

$$Absorción_{arena} = \left(\frac{2,63 - 1,53}{100} \right) * 789 = +8,68 \text{ kg/m}^3$$

El diseño final incluyó los valores corregidos por absorción con el fin de regular la demanda hídrica real dentro de la matriz, garantizando que la fluidez del hormigón fresco y la trabajabilidad de la mezcla.

3.7.8.12. Valores de diseño de mezcla corregida.

Una vez de realizada la corrección del contenido de humedad y de absorción de los agregados, la Tabla 14 presenta los valores de diseño corregidos.

Tabla 14*Valores de diseño corregido*

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	398,06	kg/m ³
Agua	210,81	lt/m ³
Agregado fino	809,8	kg/m ³
Agregado grueso	879,84	kg/m ³

Los valores del diseño de mezcla corregida consolidan el balance gravimétrico tras unificar los efectos de humedad y absorción, estableciendo las masas de los agregados.

3.7.8.13. Relación de Agua–Cemento corregido.

El cálculo de la relación agua cemento corregida resulta ser un factor indispensable en el diseño y aquella se lo realiza por medio de la ecuación (13).

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{\text{Agua}}{\text{cemento de diseño}} \quad (13)$$

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{210,81}{398,06} = 0,53$$

La relación agua-cemento corregida representa el factor efectivo de fluidos que reaccionará con el ligante tras descontar los efectos de los áridos.

3.7.9. Elaboración de probetas.

3.7.9.1. Hormigón sin adición de fibra de coco.

Las probetas de hormigón son especímenes elaborados para evaluar las propiedades de resistencia a la compresión, son fundamentales para el control de calidad del hormigón. Como se muestra en la Figura 14, tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas del hormigón y cómo este responde cuando se somete a diferentes condiciones de carga, la realización de estos ensayos es fundamental.

Figura 14

Cilindros de Hormigón



3.7.9.2. Cálculo de materiales para nueve probetas.

Datos:

Altura = 0,20 m

Diámetro = 0,10 m

$Volumen = 0,00157 \text{ m}^3 \times 9 = 0,014 \text{ m}^3$

$Cemento = 396,06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,01 = 3,98 \text{ kg}$

$Agua = 210,81 \times 0,01 = 2,11 \text{ lt}$

$Agregado \text{ fino} = 809,8 \times 0,01 = 8,10 \text{ kg}$

$Agregado \text{ grueso} = 879,84 \times 0,01 = 8,80 \text{ kg}$:

La Tabla 15 detalla la cantidad de materiales y sus respectivas unidades, requeridas para la elaboración de las 9 probetas (ver Anexo 4).

Tabla 15

Cantidad de material para probetas

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	3,98	kg
Agua	2,11	l
Agregado fino	8,10	kg
Agregado grueso	8,80	kg

3.7.9.3. Cálculos de los Desperdicios.

Datos:

- Cemento 3,98 kg
- agua 2,11 l,
- agregado fino 8,10 kg
- agregado grueso 8,80 kg.

Se le aumentara un 30% de desperdicio.

$Cemento = 3,98 \times 1,30 = 5,17 \text{ kg}$

$$\text{Agua} = 2,11 \times 1,30 = 2,74 \text{ lt}$$

$$\text{Agregado fino} = 8,10 \times 1,30 = 10,53 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 8,80 \times 1,30 = 11,44 \text{ kg}$$

En la Tabla 16 se presentan las cantidades de materiales, con sus unidades correspondientes, para 9 probetas considerando desperdicio.

Tabla 16

Cantidad de material considerando desperdicio

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	5,17	kg
Agua	2,74	lt
Agregado fino	10,53	kg
Agregado grueso	11,44	kg

Se realizó un ajuste en los pesos gravimétricos de los componentes del hormigón modificado, este proceso garantiza la obtención del volumen real necesario para el llenado completo de la totalidad de las probetas.

3.7.9.4. Determinación del tiempo de fraguado por el método de Vicat.

Es un equipo de laboratorio que se emplea para medir la consistencia normal y los tiempos de fraguado (inicial y final) de la pasta de cemento y, en determinados procedimientos, de morteros que son los componentes fundamentales del hormigón (ver Anexo 16a). Permite verificar el comportamiento del cemento durante el proceso de fraguado y que fragüe a una velocidad apropiada.

Materiales:

- Cemento
- Placa de vidrio
- Agregado grueso
- Agregado fino
- Agua

- Fibra de coco
- Maquina (Aguja de Vicat)

Procedimiento:

- Se elabora una mezcla estandarizada de pasta de cemento una vez preparados todos los materiales tal como se muestra en la Figura 15a.
- La muestra se coloca en un molde troncocónico situado por debajo del aparato de Vicat (ver Anexo 16b).
- Se deja caer durante 30 segundos con un émbolo de 300 g una aguja de acero cuya medida es de 1 mm, conforme se ilustra en la Figura 15b.
- El tiempo de fraguado está determinado por la profundidad alcanzada en intervalos regulares 15 minutos.

Figura 15

Ensayo para determinar el tiempo de fraguado:



(a) Preparación de materiales, (b) Ejecución del ensayo

3.7.9.5. Ensayo de determinación de contenido de aire mediante la olla de Washington.

El método tiene como fundamento la Ley de Boyle-Mariotte: si se ejerce una presión conocida sobre una muestra de hormigón fresco que está contenida en un envase hermético (la "olla de Washington"). Como consecuencia, el aire atrapado en la mezcla se comprime,

permitiendo determinar el contenido de aire presente en el hormigón fresco mediante la variación de presión registrada por el equipo

La reducción de volumen del aire atrapado en la mezcla, controlada y medida mediante un manómetro calibrado para la lectura directa del contenido de aire, permite determinar de forma precisa el porcentaje de aire presente en la muestra de hormigón fresco.

Materiales:

- Medidor de aire tipo B (Olla de Washington), con manómetro calibrado.
- Bomba manual de aire incorporada al equipo.
- Varilla compactadora lisa de acero.
- Mazo de goma.
- Cucharón o pala.
- Regla metálica o llana.
- Recipiente para la muestra de hormigón.
- Agua
- Franela o paño.
- Mezcla de hormigón con porcentaje óptimo de fibra de coco (1 %).

Procedimiento:

- Obtener una muestra de hormigón fresco.
- Remezcla la muestra con la pala antes de llenar el recipiente, para asegurar homogeneidad.
- Humedecer ligeramente el interior del recipiente (olla de Washington).
- Llenar el recipiente en tres capas de igual volumen aproximado.
- Compactar cada capa con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente, penetrando ligeramente en la capa anterior.
- Después de compactar cada capa, golpear el exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para eliminar burbujas de aire atrapadas por la varilla.
- Enrasar la superficie con la regla metálica desde el centro a los bordes, retirando el excedente y dejando una superficie lisa y plana.

- Limpiar completamente el borde del recipiente y la zona de sello para garantizar un cierre hermético.
- Colocar la tapa sobre el recipiente base y asegurar con las abrazaderas o pernos, garantizando un cierre hermético.
- Cerrar la válvula principal y abrir las dos válvulas de purga (petcocks).
- Inyectar agua a través de una de las válvulas hasta que salga por la otra, eliminando todo el aire atrapado en la cámara superior.
- Cerrar ambas válvulas de purga.
- Bombear aire con la bomba manual hasta llevar la aguja del manómetro a la línea de presión inicial indicada por el fabricante (presión de referencia).
- Esperar unos segundos a que la presión se estabilice y, de ser necesario, ajustar nuevamente a la línea de referencia.
- Abrir la válvula principal que comunica la cámara de aire con el recipiente que contiene el hormigón.
- Golpear suavemente los costados del equipo para liberar burbujas de aire adheridas y permitir que la presión se equilibre.
- Leer directamente el porcentaje de aire indicado por la aguja del manómetro (lectura sin corregir, A_1).
- Liberar la presión abriendo las válvulas de purga antes de desmontar el equipo.
- Desmontar la tapa y verificar visualmente la muestra (ausencia de vacíos grandes, segregación, etc.).

3.7.9.6. Elaboración de probetas con adición de fibra de coco.

Al incorporar las fibras de coco en la mezcla de hormigón se busca evaluar el efecto del tratamiento con hidróxido de sodio sobre las propiedades de la fibra (ver Anexo 13a y 13b), permitiendo analizar su comportamiento y distribución dentro de la matriz cementante de esa manera se logra evidenciar de cómo estas se compactan fácilmente durante el proceso de mezclado del hormigón tal como se muestra en la Figura 16a.

Para este estudio la cantidad de fibra de coco que se utilizará se establecerá como un porcentaje respecto al peso del cemento, tal como se muestra en la Figura 16b, donde se incorpora fibra de coco con un porcentaje del 2,5 % con respecto al peso del cemento, se

consideró un ajuste en la cantidad de agua de mezclado debido a la capacidad de absorción de agua de la fibra de coco.

Los datos expuestos en la Tabla 17 revelan que cantidad de fibra por porcentaje se utilizará en el diseño de mezcla de hormigón reforzado con fibra de coco.

Tabla 17

Cantidad de fibra por porcentaje

Material	Cantidad	Unidad
0,5 % de fibra de coco	25,85	g
1,0 % de fibra de coco	51,70	g
1,5 % de fibra de coco	77,55	g
2,0 % de fibra de coco	103,40	g
2,5 % de fibra de coco	129,25	g

El cálculo de la cantidad de fibra por porcentaje permitió establecer los pesos exactos del residuo, garantizando la reproducibilidad del ensayo y el control riguroso de la variable independiente del estudio.

Figura 16

Elaboración de mezclas de hormigón:



(a) Hormigón reforzado con fibra, (b) Adición de fibra.

3.8. METODOLOGÍA DEL O. E. III: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO.

3.8.1. Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón patrón con resistencia de diseño $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

Para garantizar la viabilidad técnica y económica de cualquier proyecto de construcción, es indispensable contar con presupuestos confiables y bien estructurados, que permitan desglosar adecuadamente los costos asociados a cada actividad, optimizar su asignación y mejorar el aprovechamiento de los recursos para lo cual resulta fundamental el uso la herramienta denominada Análisis de Precios Unitarios (APU).

El análisis debe realizarse de manera rigurosa, considerando la procedencia de los materiales, distancias de transporte y los precios vigentes del mercado local. Para determinar el costo total puesto en obra, el análisis se estructura en dos componentes principales.

3.8.1.1. Costos directos:

Son los materiales físicos que son indispensables para ejecutar la obra o que forman parte de ella de manera permanente:

- Materiales: Precio en planta o cantera
- Equipos: Costo por hora de alquiler o de transporte.
- Mano de Obra: La cuadrilla necesaria (operadores, ayudantes y oficiales) junto con sus correspondientes beneficios sociales.
- Margen de beneficios y costos indirectos: porcentajes que se aplican al costo directo.

3.8.1.2. Costos indirectos (gastos generales):

- Gestión de la obra, almacenes, seguridad.

3.8.2. Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón $f'_c = 240$ kg/cm² con incorporación del 1% de fibra de coco.

Consiste en la evaluación detallada que se lleva a cabo sobre una unidad de obra para identificar sus características constructivas y los componentes de costos que la integran.

El costo por unidad de la fibra de coco se estableció a través del análisis de los gastos relacionados con el transporte de la materia prima, el costo del hidróxido de sodio (NaOH) empleado en la eliminación de impurezas y la mano de obra necesaria para procesar la fibra. Es importante considerar estos rubros para poder determinar el precio unitario de la fibra de coco.

3.8.3. Análisis de precios unitarios de la mezcla de hormigón con resistencia de diseño $f'_c = 280$ kg/cm².

El análisis de precio unitarios es una metodología de cálculo que determina el costo unitario de una actividad o elemento constructivo. Considerando todos los recursos necesarios para su ejecución, para asegurar el éxito de un proyecto de construcción, constituye una herramienta indispensable para la planificación y control de costos ya que integra todos los recursos que serán utilizados para garantizar una ejecución eficiente del proyecto.

Fuentes de información y costos de referencia.

Para respaldar los valores que se introducen en un APU es necesario emplear:

- Tablas de datos oficiales: Guías de costos que han sido publicadas por ministerios de Obras Públicas o entidades gubernamentales locales.
- Precios del mercado local: Muestras comerciales de empresas que brindan servicios de transporte o suministro de materiales.
- Bases de datos especializadas: Software y plataformas de presupuestos que gestionan los precios vigentes y sueldos en función de cada región o provincia.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación evidencian que el tratamiento alcalino aplicado a la fibra de coco mejora significativamente la adherencia entre la matriz cementante y la fibra. Este tratamiento químico modifica superficie de la fibra, removiendo ceras, impurezas superficiales y parte de los componentes no celulósicos que obstaculizan la interacción con el cemento, favoreciendo una distribución más uniforme de los esfuerzos dentro de la matriz cementante.

Luego de realizar el tratamiento químico (ver Anexos 10a, 10b y 10c), las fibras fueron observadas a través de un microscopio óptico y se utilizaron las capacidades del dinamómetro modelo NEL-A-1000N para ejecutar pruebas bajo velocidad controlada, procedimiento analítico que cuantificó las propiedades de rigidez y los límites de resistencia mecánica de cada filamento acondicionado.

Los resultados obtenidos evidencian que existe un equilibrio entre las modificaciones superficiales inducidas por el tratamiento y la conservación de las propiedades mecánicas de la fibra. Posteriormente, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en probetas de hormigón tradicional y hormigones con diferentes porcentajes de adición de fibra de coco del (0,5 %, 1,0 %, 1,5 %, 2,0 % y 2,5 %) diseñados para una resistencia a la compresión de 240 kg/cm², previo a los ensayos se realizaron las mediciones de diámetros, altura y masa (ver Anexos 14a y 14b).

La investigación tiene como finalidad comparar entre la resistencia a la compresión de un diseño de hormigón hidráulico tipo GU y hormigones reforzados con fibra de coco (ver Anexos 15a, 15b y 15c). Los resultados obtenidos aportan información relevante para optimizar el diseño de mezclas de hormigón sostenible, demostrando la viabilidad de sustituir materiales convencionales por subproductos orgánicos.

4.1. RESULTADOS DEL O. E. I: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO

La caracterización de la fibra de coco es fundamental debido a la heterogeneidad intrínseca de los materiales lignocelulósicos, cuyas propiedades físicas, químicas y mecánicas definen el éxito de su aplicación. Este diagnóstico permite evaluar la efectividad de los tratamientos superficiales orientados a optimizar la adherencia interfacial con la matriz cementante y regular la porosidad capilar. Asimismo, identificar su capacidad de absorción hídrica y su resistencia a la tracción resulta indispensable para ajustar las relaciones volumétricas de diseño, garantizando un hormigón con alta estabilidad, trabajabilidad y durabilidad.

Una vez obtenido los datos como se observa en la Tabla 18, al caracterizar la fibra de coco se consolida como una etapa fundamental dentro de la investigación, de esta forma permite conocer sus propiedades mecánicas, químicas y físicas, las cuales determinan su interacción con la matriz cementicia y su capacidad de refuerzo en el hormigón.

Este procedimiento proporciona la información necesaria para seleccionar y acondicionar las fibras de manera adecuada, mejorar las dosificaciones y anticipar el comportamiento mecánico y la durabilidad del material compuesto, lo que contribuye a obtener resultados experimentales más fiables y reproducibles.

El diseño factorial aplicado en la investigación, detallado metodológicamente en la Tabla 19, incluye la estructuración y combinación de las variables independientes analizadas. Este enfoque sistemático permite evaluar simultáneamente los efectos principales y las interacciones cruzadas de los factores de estudio sobre la matriz cementante, garantizando una modelación matemática óptima con el menor número de corridas experimentales en el laboratorio.

En este caso, se evalúan de forma sistemática los efectos de la concentración de hidróxido de sodio y la temperatura del proceso de mercerización, cuya interacción física y tendencias operativas se ilustran de manera secuencial a través de la Figura 16. Este enfoque estadístico multivariable permite identificar los puntos de optimización para el acondicionamiento químico superficial.

Tabla 18*Esfuerzos de la fibra de coco*

Esfuerzo (MPa)						
	A (% de NaOH)	B(temperatura)	I	II	III	Promedio
-1	4	60	86,8568486	109,662815	129,65375	108,724471
A	6	60	99,7664237	77,2131361	76,4921017	84,4905539
B	4	80	136,937574	133,065495	77,8313983	115,944822
Ab	6	80	99,7237541	77,1897446	95,9536658	90,9557215

Análisis: Los resultados de esfuerzos obtenidos en la presente investigación corresponden a fibras sometidas previamente al tratamiento químico descrito anteriormente con el propósito de mejorar sus propiedades superficiales y mecánicas, Asimismo, un aspecto fundamental para la determinación de estos resultados fue la medición de los diámetros de las fibras de coco, la cual se realizó mediante el microscopio trinocular, a partir del cual se obtuvieron las mediciones de diámetros, dato fundamental para calcular el esfuerzo desarrollado por cada una de las fibras evaluadas y posteriormente determinar un valor promedio representativo para el análisis de los resultados. A continuación, por medio de tabla se presentan los resultados obtenidos en el diseño factorial.

Tabla 19

Combinaciones del tratamiento para las variables

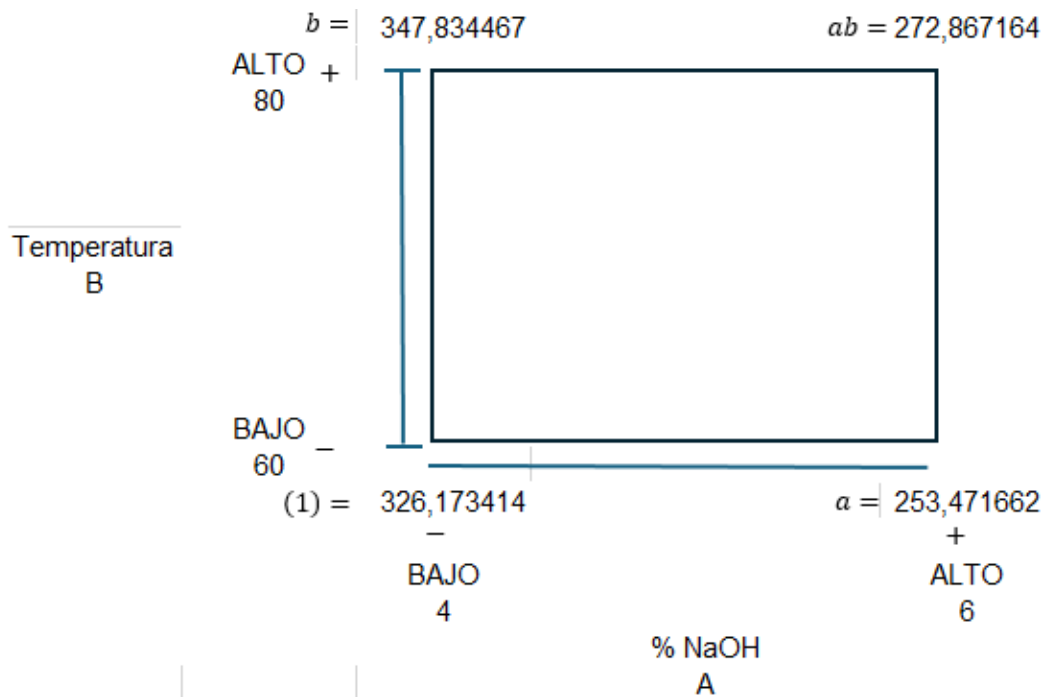
Combinaciones de tratamiento		REPLICA			Esfuerzo (MPa)
		I	II	III	
4	60	86,86	109,66	129,65	108,72
6	60	99,77	77,21	76,49	84,49
4	80	136,94	133,07	77,83	115,94
6	80	99,72	77,19	95,95	90,96

Análisis: Se presentan los esfuerzos promedio obtenidos como resultado de las combinaciones de tratamiento contemplados en el diseño factorial, ordenamiento empírico que sirve de base cuantitativa para calcular la varianza y la significancia de cada factor en estudio.

A continuación, se presenta en la Figura 17 el diagrama construido mediante los signos algebraicos utilizados para el cálculo de los efectos del diseño factorial. Esta matriz gráfica de contrastes ortogonales resulta indispensable para evaluar la dirección y magnitud de los efectos principales, así como sus interacciones de orden superior. Al sistematizar los cambios de nivel (positivo y negativo) de cada variable independiente, el modelo permite calcular matemáticamente los coeficientes de regresión con absoluta precisión, identificando la significancia real del tratamiento sobre las propiedades del biocompuesto.

Figura 17

Combinaciones entre concentración de NaOH y temperatura



A continuación, la Tabla 20 detalla el impacto independiente de cada factor sobre la variable de respuesta a través de sus efectos principales, ordenamiento estadístico que facilita la identificación de los parámetros críticos y las interacciones significativas del proceso experimental.

Tabla 20

Efectos promedios

Variable	Efectos promedios
A	-24,61150915
B	6,842759274
AB	-0,377591664

El cálculo de los efectos promedio permitió cuantificar el impacto neto e individual de cada variable independiente sobre el material.

A continuación, la Tabla 21 muestra la medida de variabilidad total de los datos experimentales y la descompone en porciones atribuibles a cada factor.

Tabla 21

Suma de cuadrados.

Variable	Suma de cuadrados
$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2$	125772,631
$\frac{y_{...}^2}{4n}$	120069,351
	5703,2794

A través del desglose de la suma de cuadrados se aisló el error experimental respecto al efecto real de los parámetros operativos, demostrando la robustez del modelo estadístico y la confiabilidad de los datos de tracción obtenidos en el laboratorio.

En la siguiente Tabla 22 correspondiente a la suma de cuadrados del error, se detalla la variación en la variable de respuesta que los factores estudiados y sus interacciones no logran explicar. Este residuo matemático cuantifica la dispersión provocada por la variabilidad intrínseca de la fibra vegetal y el fondo experimental, siendo un indicador crítico para diagnosticar la precisión global, la confiabilidad y la capacidad predictiva del diseño factorial.

Tabla 22

Suma de cuadrados del error.

Variable	Suma de cuadrados del error
SS_E	3745,202465

A continuación, la Tabla 23 detalla el cuadrado medio del modelo, calculados al dividir cada suma de cuadrados entre sus respectivos grados de libertad, su importancia radica en que transforman las sumas de variabilidad en valores comparables a una misma escala.

Tabla 23*Cuadrado medio*

Variable	Suma de cuadrado	grado de libertad	Cuadrado medio
A	1817,17915	1	1817,179148
B	140,470063	1	140,4700634
AB	0,4277264	1	0,427726395
ERROR	3745,20247	8	468,1503081

A continuación, la Tabla 24 indica el valor de P, cuya importancia está en medir la probabilidad de obtener los resultados bajo el supuesto de que la hipótesis nula es verdadera.

Tabla 24*Valor de P*

Variable	Valor de P
A	0,084
B	0,793
AB	0,631

Análisis: Los dos efectos principales (A y B) presentan valores de p superiores a 0.05, lo que indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula,

A continuación, las Tablas 25, 26, 27 y 28 muestran los residuales y la adecuación del modelo, cuya importancia metodológica radica en verificar que se cumplan estrictamente los supuestos fundamentales del ANOVA.

Tabla 25*Residuales y adecuación del modelo*

$X_1 = -1$	$X_2 = -1$
Y	115,756026
e_1	-28,8991778
e_2	-6,09321121
e_3	13,8977237

Tabla 26*Residuales y adecuación del modelo*

$X_1 = 1$	$X_2 = -1$
Y	91,144517
e_1	8,6219064
e_2	-13,931381
e_3	-14,652416

Tabla 27*Residuales y adecuación del modelo*

$X_1 = 1$	$X_2 = 1$
y	84,301758
e ₁	15,421996
e ₂	-7,11201343
e ₃	11,6519077

Tabla 28*Residuales y adecuación del modelo*

$X_1 = -1$	$X_2 = 1$
y	108,91327
e ₁	28,024307
e ₂	24,152228
e ₃	-31,081869

La validación de la normalidad, la homogeneidad de varianzas y la independencia de los datos asegura que las inferencias estadísticas obtenidas sean totalmente legítimas, confirmando la solidez matemática del diseño experimental.

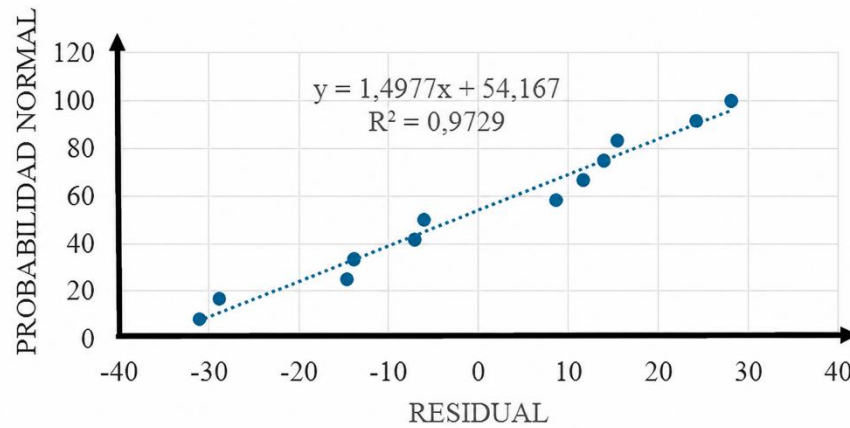
A continuación, la Tabla 29 detalla la probabilidad normal encontrada del modelo; y en la Figura 18 se puede comprobar el comportamiento alcanzado luego del análisis.

Tabla 29*Probabilidad normal*

RESIDUAL	PROBABILIDAD NORMAL
28,024	100,000
24,152	91,667
15,422	83,333
13,898	75,000
11,652	66,667
8,622	58,333
-6,093	50,000
-7,112	41,667
-13,931	33,333
-14,652	25,000
-28,899	16,667
-31,082	8,333

Figura 18

Gráfica de probabilidad normal



Análisis: Se presenta la gráfica de probabilidad normal de los residuos obtenida a partir de los datos de la investigación. A partir de esta gráfica se concluye que, dado que los puntos se distribuyen próximos a la línea de referencia, se deduce que no existen evidencias de incumplimiento del supuesto de normalidad.

Esta distribución lineal confirma que los errores del modelo se distribuyen de forma aleatoria, validando la legitimidad del análisis de varianza y asegurando la alta confiabilidad de las inferencias estadísticas del diseño factorial.

A continuación, la Tabla 30 presenta los resultados de los residuos en función de los valores predichos, y de forma paralela, los datos presentados en la Figura 19 muestran los resultados obtenidos del análisis del diseño factorial. El examen de esta distribución aleatoria permite descartar la presencia de sesgos sistemáticos o patrones no lineales en las mediciones mecánicas, validando la precisión matemática de los coeficientes de regresión calculados en el laboratorio.

Este comportamiento aleatorio corrobora la precisión de los ensayos mecánicos y descarta cualquier interferencia externa, garantizando que los datos de tracción de la fibra de coco posean un alto nivel de reproducibilidad científica.

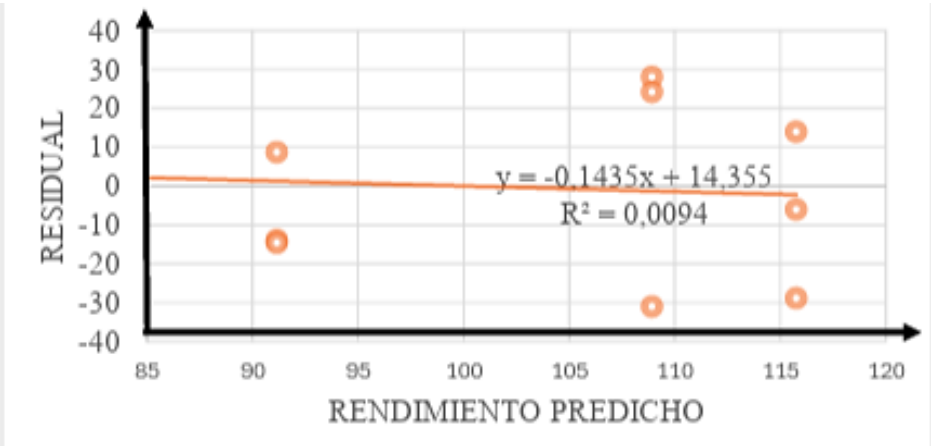
Tabla 30

Residuales contra el rendimiento predicho

RENDIMIENTO PREDICHO	RESIDUAL
115,756	-28,899
115,756	-6,093
115,756	13,898
91,145	8,622
91,145	-13,931
91,145	-14,652
108,913	28,024
108,913	24,152
108,913	-31,082
84,302	15,422
84,302	-7,112
84,302	11,652

Figura 19

Residuales contra el rendimiento predicho



Análisis: Se presenta la gráfica de residuos frente a los valores predichos obtenida a partir de los datos de la investigación, en la que se observa que la dispersión de los grupos de puntos presenta un comportamiento similar a lo largo de los valores predichos, sin evidenciar patrones sistemáticos ni variaciones significativas en su amplitud. Por lo tanto, no existen

evidencias que indiquen el incumplimiento el supuesto de varianza constante, por lo que este supuesto puede considerarse satisfecho.

Los resultados obtenidos a partir de los diferentes ensayos en la caracterización de la fibra de acuerdo con sus propiedades físicas, químicas y mecánicas se detallan a continuación en la Tabla 31.

Tabla 31

Resumen de Caracterización de Fibra de Coco

CARACTERIZACION DE FIBRA DE COCO		
PROPIEDADES FISICAS		
Longitud de fibra	Min 4.8-Max 5.2	Cm
Diámetro de fibra	Min 1.42-Max 5.07	µm
Densidad	1,25	g/cm ³
Contenido de humedad	6.5	%
Absorción	25	%
PROPIEDADES QUIMICAS		
Contenido de Hemicelulosa	10	%
Contenido de celulosa	44	%
Contenido de lignina	45	%
PH de la fibra tratada	7	Neutro
PROPIEDADES MECANICAS		
Resistencia a la tracción de la fibra	Min 84-Max 115	MPa
Elongación a la rotura	20	%

El diagnóstico técnico de la fibra de coco en sus distintas propiedades establece la línea base científica para predecir su comportamiento bajo cargas externas, facilitando la dosificación exacta para asegurar un desempeño mecánico competitivo y un diseño de mezcla óptimo.

4.2. RESULTADOS DEL O. E. II: DISEÑO DE HORMIGÓN DE RESISTENCIA 240 kg/cm², CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRAS

4.2.1. Caracterización de los agregados.

En la Tabla 32 se muestra el resultado obtenido luego de realizar el ensayo de granulometría al agregado grueso aplicando los lineamientos que especifica la normativa, dando como resultado el módulo de finura de 5,25.

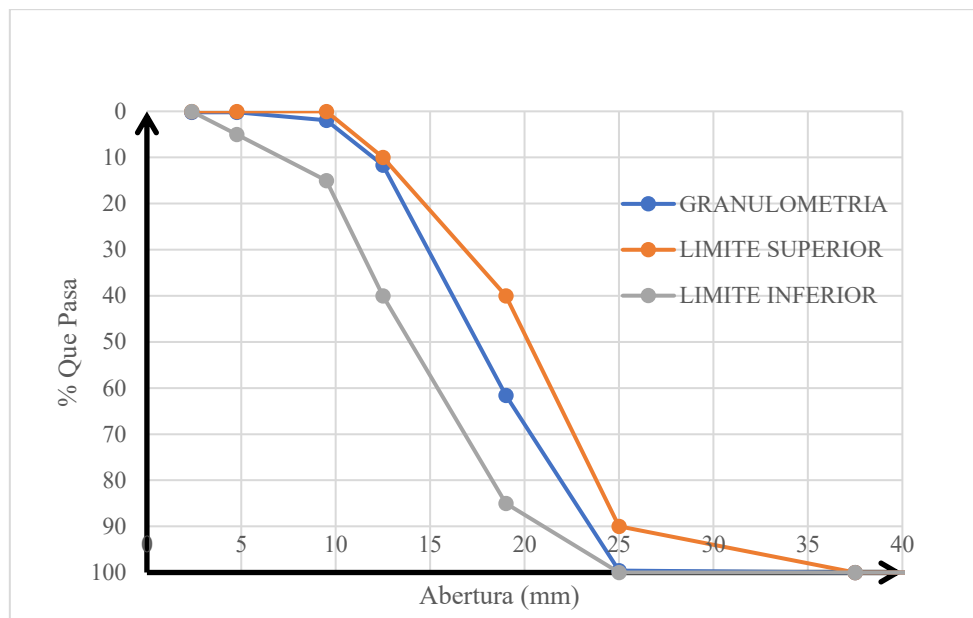
Tabla 32

Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz	Abertura (mm)	W Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM N.º 56	
2"	50	0	0	0	100	100	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100	100	100
1"	25	39,6	0,41	0,41	99,59	90	100
3/4"	19	3684	38,02	38,43	61,57	40	85
1/2"	12,5	4838	49,94	88,37	11,63	10	40
3/8"	9,5	939,8	9,70	98,07	1,93	0	15
N.º 4	4,75	165,1	1,70	99,77	0,23	0	5
N.º 8	2,36	1,7	0,02	99,79	0,21	0	0
FONDO		20,3	0,21	100,00	0,00		
TOTAL		9688,5	100,00				

Figura 20

Granulometría del agregado grueso



La representación gráfica de los ensayos del agregado grueso valida la calidad morfológica y la gradación de las fracciones de roca triturada, asegurando el cumplimiento de las bandas normativas y regulando de forma eficiente la fricción interna durante los procesos de mezclado.

La continuidad de esta curva asegura una transmisión uniforme de los esfuerzos axiales en estado endurecido, consolidando la resistencia a la compresión y restringiendo la microfisuración interna del hormigón, lo que incrementa su capacidad portante frente a sollicitaciones de carga.

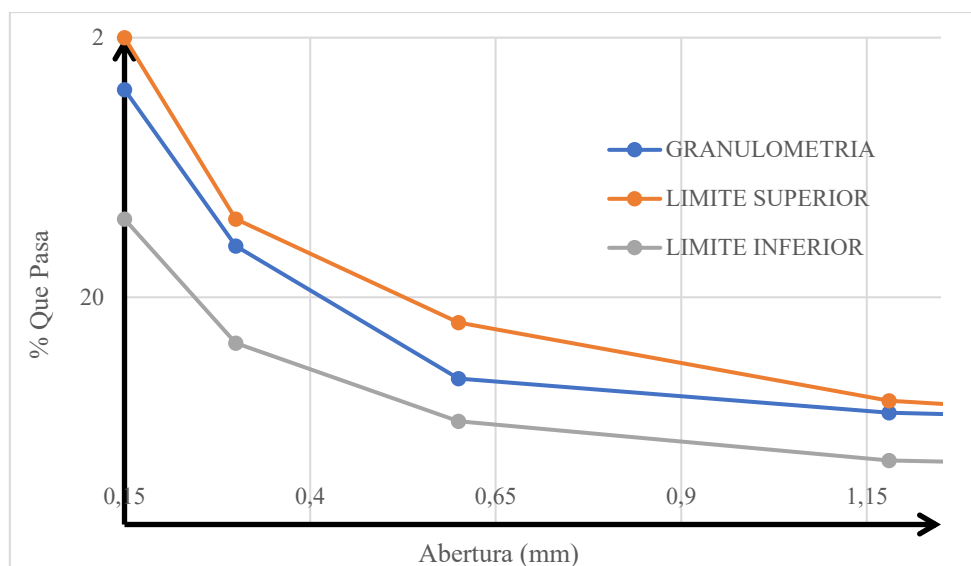
La Tabla 33 presenta el resultado del ensayo de granulometría del agregado fino, el cual arrojó un módulo de finura de 3,56 luego de seguir las indicaciones estipuladas en la normativa. La obtención de este índice es clave para validar la calidad del árido, anticipando una mezcla con excelente estabilidad, alta resistencia a la compresión y menor riesgo de contracción por secado prematura.

Tabla 33*Granulometría del Agregado Fino*

Tamiz	Abertura (mm)	W Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificación A.S.T.M.	
3/8"	9,5	47,1	2,72	2,72	97,28	100	100
N.º 4	4,75	105,3	6,07	8,79	91,21	95	100
N.º 8	2,36	176,2	10,16	18,96	81,04	80	100
N.º 16	1,18	212,4	12,25	31,21	68,79	50	85
N.º 30	0,6	458,4	26,45	57,66	42,34	25	60
N.º 50	0,3	507,6	29,28	86,94	13,06	10	30
N.º 100	0,15	169,8	9,80	96,73	3,27	2	10
FONDO		56,6	3,27	100,00	0,00		
TOTAL		1733,4	100,00				
MODULO DE FINURA		3,03					

Figura 21

Granulometría del agregado fino



Luego de aplicar los lineamientos sugeridos en la normativa para el ensayo del peso volumétrico suelto del agregado grueso se obtuvo como resultado $1340,48 \text{ Kg/m}^3$ como se muestra a continuación en la Tabla 34.

Tabla 34

Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Masa volumétrica suelta + recipiente	24,07	Kg
Masa del recipiente	10,94	Kg
Volumen del recipiente	0,009736876	m^3
P.V.S.	1348,48	Kg/m^3

A continuación, se detalla el resultado hallado luego del ensayo del peso volumétrico suelto del agregado fino el cual fue de $1405,17 \text{ Kg/m}^3$ adjuntado en la Tabla 35, una variable física indispensable para calcular con precisión los balances volumétricos y ajustar la dosificación gravimétrica en el laboratorio.

Tabla 35*Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino*

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Masa volumétrica suelta + recipiente	8,53	Kg
Masa del recipiente	4,42	Kg
Volumen del recipiente	0,00292492	m^3
P.V.S.	1405,17	Kg/m^3

El resultado obtenido del peso volumétrico varillado del agregado grueso a partir del ensayo realizado alcanzo los $1459,40 \text{ Kg}/m^3$ cómo se lo demuestra en la Tabla 36.

Tabla 36*Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso*

PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO		
Masa volumétrica varillado + recipiente	25,15	Kg
Masa del recipiente	10,94	Kg
Volumen del recipiente	0,009736876	m^3
P.V.V.	1459,40	Kg/m^3

En la Tabla 37 se detalla la densidad saturada superficialmente seca del agregado grueso la misma que luego del ensayo proporcionado arrojo $2,57 \text{ gr}/cm^3$.

Tabla 37*Densidad Saturada Superficialmente Seca del Agregado Grueso (D.S.S.S.)*

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
Peso de la muestra saturada	2,000	g
superficialmente seca		
Peso de la muestra dentro del agua + canastilla	2,275	g
Peso de la canastilla dentro del agua	1,052	g
D.S.S.S.	2,57	g/cm^3

La Tabla 38 presenta el resultado de la densidad saturada superficialmente seca del agregado fino la cual después de realizar su respectivas lecturas y cálculos arrojo como resultado $2,63 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 38

Densidad Saturada Superficialmente Seca del Agregado Fino (D.S.S.S.)

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	500	g
Lectura inicial	200	ml
Lectura final	390	ml
D.S.S.S.	2,63	g/cm^3

El resultado del ensayo de porcentaje de absorción del agregado grueso encontrado en la investigación siguiendo parámetros establecidos alcanzo el 2,13 % como se encuentran en la Tabla 39.

Tabla 39

Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

	Piedra	
Peso de la muestra seca al horno + recipiente.	2,1103	Kg
Peso saturado superficialmente seco + recipiente.	2,1521	Kg
Peso del recipiente	0,152	Kg
Absorción	2,13	%

En la Tabla 40 se presenta el resultado del porcentaje de absorción del agregado fino luego de seguir parámetros establecidos y su valor obtenido es del 1,53 %, garantizando la trabajabilidad en estado fresco de la mezcla.

Tabla 40*Porcentaje de Absorción del Agregado Fino*

	Arena	
Peso de la muestra seca al horno + recipiente.	0,4936	Kg
Peso saturado superficialmente seco + recipiente.	0,5000	Kg
Peso del recipiente	0,0744	Kg
Absorción	1,53	%

En la siguiente Tabla 41, se muestra el resultado obtenido en el ensayo de porcentaje de humedad del agregado grueso el cual siguiendo un procedimiento estandarizado fue de 0,48 %.

Tabla 41*Porcentaje de Humedad del Agregado Grueso*

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Peso de la muestra seca al horno + recipiente.	1,771.3	g
Peso de la muestra con humedad natural + recipiente.	1,779	g
Peso del recipiente.	153,1	g
Humedad	0,48	%

La Tabla 42 presenta el porcentaje de humedad del agregado fino obtenido esto luego de seguir un procedimiento normalizado con el cual el agregado alcanza una humedad 2,53 %.

Tabla 42*Porcentaje de Humedad del Agregado Fino*

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Peso de la muestra seca al horno + recipiente.	879,9	g
Peso de la muestra con humedad natural + recipiente.	901	g
Peso del recipiente.	76,4	g
Humedad	2,53	%

En la Tabla 43 se presentan un resumen de los resultados obtenidos de la caracterización física de los agregados gruesos y finos, esta información es relevante para realizar la dosificación y por ende el desempeño del hormigón.

Tabla 43

Resumen de valores obtenidos de ensayos previo al diseño de mezclas

RESUMEN DE VALORES PARA DISEÑO		
AGREGADO FINO (ARENA)		
Módulo de Finura	3,56	
Peso Volumétrico	1405,17	Kg/m^3
D.S.S.S.	2,63	gr/cm^3
Absorción	1,53	%
Humedad	2,53	%
AGREGADO GRUESO (GRAVA)		
Peso Volumétrico	1348,48	Kg/m^3
D.S.S.S.	2,57	g/cm^3
Absorción	2,13	%
Humedad	0,48	%

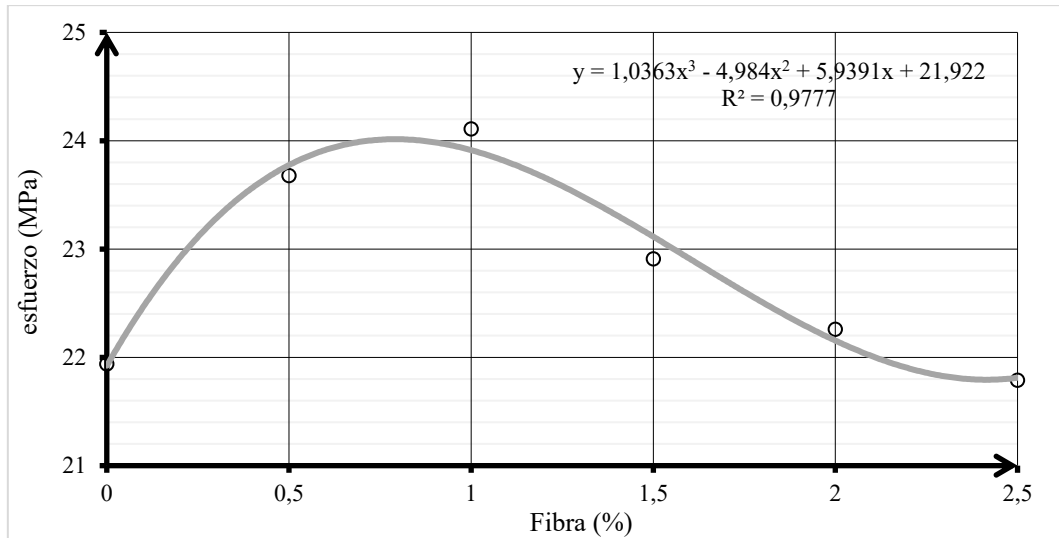
El resumen de resultados sobre los parámetros granulométricos, porcentajes de absorción y pesos volumétricos de ambos agregados consolida la base de datos físicos requerida para el diseño de la mezcla. Estas constantes gravimétricas avalan que las proporciones de los agregados; arena y grava optimicen el soporte de la matriz, permitiendo una transición exacta hacia la incorporación controlada de la fibra.

4.2.2. Resistencia a la compresión del diseño de mezcla patrón y con adición de fibra de coco.

Como se muestra en la Figura 22, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión obtenidos para el hormigón patrón y para las mezclas elaboradas con diferentes dosificaciones de fibra de coco, permitiendo comparar el efecto de la incorporación de la fibra sobre el comportamiento mecánico del material a los 7 días de edad.

Figura 22

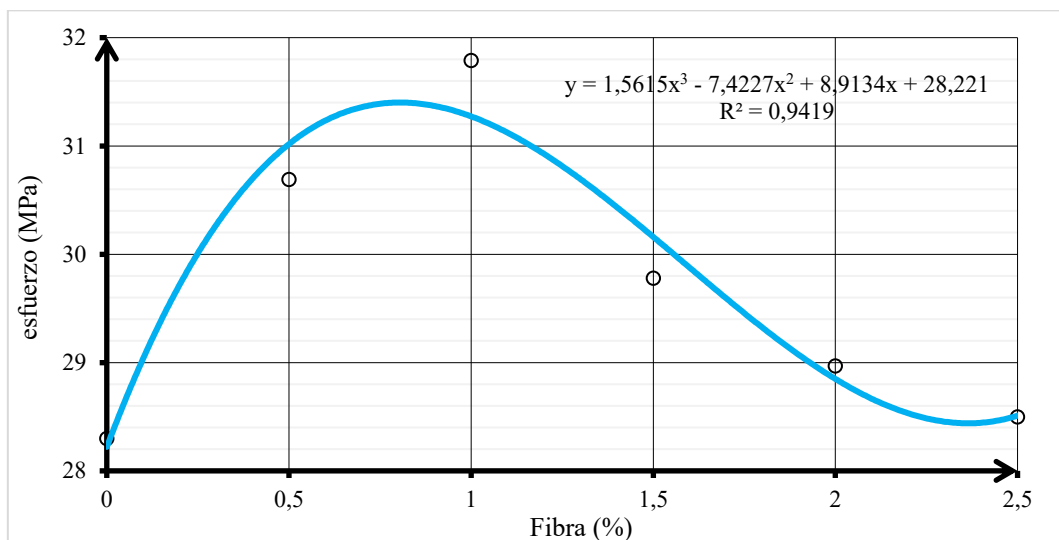
Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 7 días.



Análisis: De acuerdo con la Figura 21, se pueden observar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a la edad de 7 días de acuerdo con la normativa aplicable (ver Anexo 5), en la cual se concluye que la mayor resistencia a la compresión se obtuvo con una dosificación del 1% de fibra de coco, con una resistencia de 24 MPa, lo que corresponde a un incremento del 5% en la resistencia con respecto al hormigón patrón de estudio cuya resistencia de diseño es de 240 kg/cm².

Figura 23

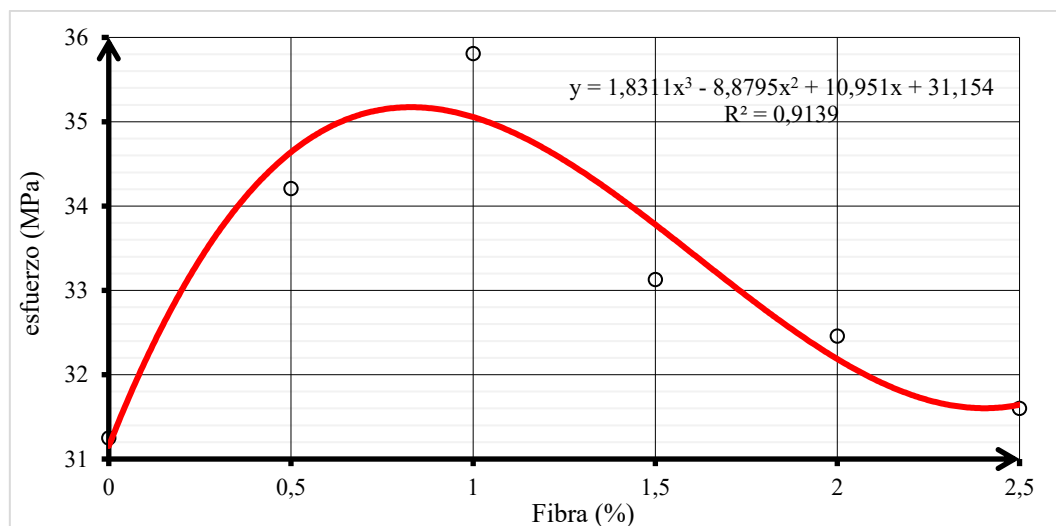
Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 14 días.



Análisis: Según se observa en la Figura 23, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 14 días de curado de acuerdo con la normativa aplicable (ver Anexo 6), se concluye que la mayor resistencia a la compresión continua registrándose con una dosificación del 1% de fibra de coco, es decir evidenciándose una tendencia favorable que confirma el mejor desempeño mecánico de esta dosificación, la misma que en el ensayo de compresión alcanzo 31,8 MPa, lo que representa un incremento del 9% en la resistencia con respecto al hormigón patrón de estudio cuya resistencia de diseño es de 240 kg/cm².

Figura 24

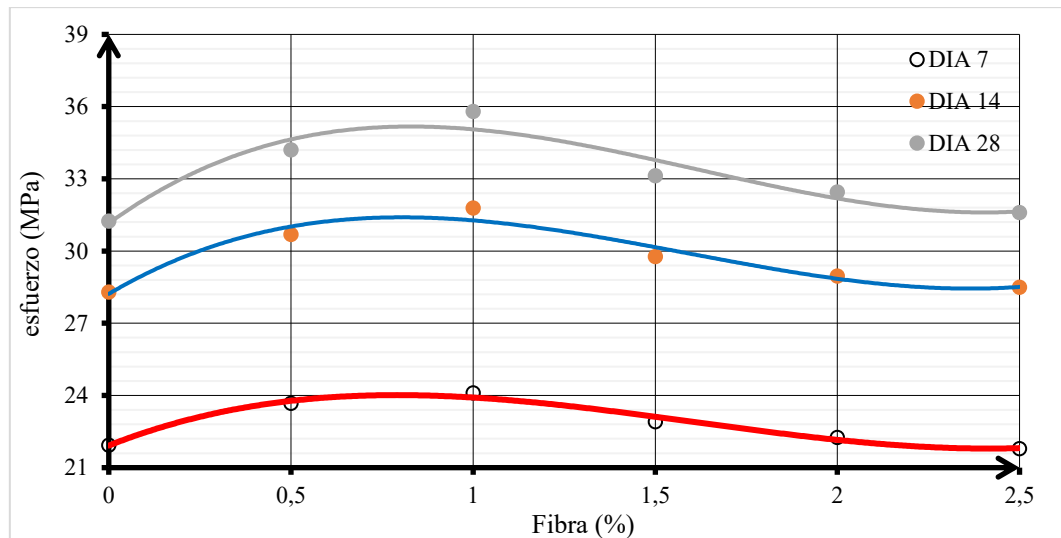
Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 28 días.



Análisis: La Figura 24 muestra los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de hormigón a los 28 días de curado, de acuerdo con la normativa vigente (ver Anexo 7), se llega a la conclusión final que la mayor resistencia a la compresión continua obteniéndose con una dosificación del 1% de fibra de coco, es decir que los resultados obtenidos confirman la tendencia observada en los ensayos realizados a los 7 y 14 días, en donde se ratifica que el porcentaje óptimo hallado en la investigación es del 1% de fibra de coco con respecto al peso del cemento, finalmente la resistencia a la compresión alcanzo 35,8 MPa, correspondiente a un incremento del 15% en la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón de estudio que es de 240 kg/cm².

Figura 25

Comparativa de los resultados de resistencia a la compresión.



Análisis: La Figura 25 presenta una comparación general de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión obtenidos a las diferentes edades de ensayo. Los resultados evidencian que la dosificación del 1% de fibra de coco mantuvo consistentemente los mayores valores de resistencia, confirmandose como la dosificación óptima dentro de las condiciones evaluadas en la investigación.

4.3. RESULTADOS DEL O. E. III: ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

A continuación, la Tabla 44 detalla el trabajo de investigación en donde se comparó el precio unitario de un metro cubico de hormigón con resistencia a la compresión de $f'_c = 240$ kg/cm², un precio unitario referencial de un hormigón de resistencia a la compresión de $f'_c = 280$ kg/cm² como se observa en la Tabla 45, esto en base a la resistencia alcanzada con el hormigón con adición de 1% fibra de coco con respecto al peso del cemento.

La selección de la dosificación óptima del 1% de fibra de coco se encuentra sustentada en los resultados experimentales obtenidos, por presentar el mejor comportamiento mecánico entre todas las dosificaciones evaluadas. Además de registrar los mayores valores de resistencia a la compresión, este límite de adición demostró una distribución homogénea en la pasta cementicia.

Este fenómeno físico favorece el anclaje interfacial de los filamentos y controla de forma eficiente la propagación de microfisuras estructurales, optimizando la transferencia interna de esfuerzos y elevando notablemente la tenacidad general del hormigón.

El hormigón patrón arrojó una resistencia promedio a la compresión de 312.50 kg/cm² a los 28 días de curado. Su costo total de producción fue de \$ 121,24 por metro cúbico, considerando los costos directos e indirectos.

De manera comparativa, se analizó un hormigón de referencia con resistencia de diseño de 280 kg/cm², con el propósito de evaluar costos ya que presenta similitud en el desempeño frente al de fibra de coco, el costo de su producción es de \$ 129,28.

Por último, al analizar la Tabla 46 se evidencia que el hormigón elaborado con cemento hidráulico tipo GU e incorporando un 1% de fibra de coco respecto al peso del cemento alcanzó una resistencia promedio de 357.80 kg/cm², valor superior al obtenido por el hormigón patrón.

Aunque el costo unitario estimado se incrementó hasta \$129.69 por metro cúbico, la mejora alcanzada en la resistencia a la compresión respalda la viabilidad técnica de la incorporación de fibra de coco como material de refuerzo.

Dicho comportamiento valida el aprovechamiento de subproductos agrícolas en matrices cementicias, consolidando un material ecoeficiente de alto desempeño. El éxito de esta formulación gravita científicamente los principios de la economía circular, demostrando que los residuos agroindustriales locales poseen propiedades puzolánicas o de refuerzo mecánico competitivos.

Este enfoque integral demuestra que es factible balancear las demandas técnicas de la ingeniería civil contemporánea con la urgencia ambiental de desarrollar e implementar diseños de mezclas más limpios y rentables.

Tabla 44

Análisis de precio unitario del patrón

Datos	Elaborado por:		Liliana Malave - Jonathan Reyes		Revisado por:		Datos
	rubro:		Hormigon F'c= 240 kg/cm2		ing. Veliz		
	fecha:		29/5/2026				
ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON f'c = 240 kg/cm2							
					UNIDAD:	M3	
	DETALLE:		HORMIGON f'c =240 Kg/cm2				
	EQUIPOS						
	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-	
	Herramienta menor (5%)					0,66	
	Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00	
	Vibrador	1,00	4,00	3,75	0,40	1,50	
	-						
	SUBTOTAL M=					4,16	
	MANO DE OBRA						
	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-	
	Peon	6,00	4,14	24,84	0,40	9,94	
	Albañil	2,00	4,19	8,38	0,40	3,35	
	Maestro mayor	1,00	4,65	4,65	0,40	1,86	
	-		-				
	SUBTOTAL M=					15,15	
	MATERIALES						
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B		
	Cemento	Kg	398,06	0,16	63,69		
	Arena	m3	0,31	20,00	6,15		
	Piedra 3/4	m3	0,34	22,00	7,52		
	Agua	m3	0,21	1,50	0,32		
	-						
	SUBTOTAL M=					77,68	
	TRANSPORTE						
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B		
	-						
	-						
	SUBTOTAL M=					0,00	
	TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)					96,99	
	INDIRECTOS Y UTILIDADES..... 25,00%					24,25	
	OTROS INDIRECTOS %						
	COSTO TOTAL DE RUBRO					121,24	
	VALOR OFERTADO					121,24	

Tabla 45

Análisis de precio unitario para un diseño de $f'c=280\text{kg/cm}^2$

Datos	Elaborado por:	Liliana Malave - Jonathan Reyes			Revisado por:	
	rubro:	Hormigon F'c= 240 kg/cm2			ing. Veliz	
	fecha:	29/05/2026				
ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON f'c = 280 kg/cm2						
					UNIDAD:	M3
	DETALLE:	HORMIGON f'c =240 Kg/cm2				
	EQUIPOS					
	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-
	Herramienta menor (5%)					0,66
	Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
	Vibrador	1,00	4,00	3,75	0,40	1,50
	-					
	SUBTOTAL M=					4,16
	MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-
	Peon	6,00	4,14	24,84	0,40	9,94
	Albañil	2,00	4,19	8,38	0,40	3,35
	Maestro mayor	1,00	4,65	4,65	0,40	1,86
	-		-			
	SUBTOTAL M=					15,15
	MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
	Cemento	Kg	440,86	0,16	70,54	
	Arena	m3	0,287	20,00	5,74	
	Piedra 3/4	m3	0,3418	22,00	7,52	
	Agua	m3	0,2113	1,50	0,32	
	-					
	SUBTOTAL M=				84,11	
	TRANSPORTE					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
	-					
	-					
	SUBTOTAL M=				0,00	
		TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)				103,42
		INDIRECTOS Y UTILIDADES.....				25,86
		OTROS INDIRECTOS %				
		COSTO TOTAL DE RUBRO				129,28
		VALOR OFERTADO				129,28

Tabla 46

Análisis de precio unitario para un diseño de $f'c=240\text{kg/cm}^2$ + 1% de fibra de coco tratada con NaOH

Datos	Elaborado por:	Liliana Malave - Jonathan Reyes			Revisado por:	
	rubro:	Hormigon F'c= 240 kg/cm2			ing. Veliz	
	fecha:	29/05/2026				
ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON f'c = 240 kg/cm2 + FIBRA						
					UNIDAD:	M3
	DETALLE:	HORMIGON f'c =240 Kg/cm2				
	EQUIPOS					
	DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
		A	B	HORA	R	D=C*R-
	Herramienta menor (5%)					0,66
	Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
	Vibrador	1,00	4,00	3,75	0,40	1,50
	-					
	SUBTOTAL M=					4,16
	MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
		A	B	HORA	R	D=C*R-
	Peon	6,00	4,14	24,84	0,40	9,94
	Albañil	2,00	4,19	8,38	0,40	3,35
	Maestro mayor para ejecucio	1,00	4,65	4,65	0,40	1,86
			-			
	SUBTOTAL M=					15,15
	MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO	
			A	B	C=A*B	
	Cemento	Kg	398,06	0,16	63,69	
	Arena	m3	0,31	20,00	6,15	
	Piedra 3/4	m3	0,34	22,00	7,52	
	Agua	m3	0,21	1,50	0,32	
	Fibra	Kg	3,98	1,70	6,77	
	SUBTOTAL M=				84,45	
	TRANSPORTE					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT,	COSTO	
			A	B	C=A*B	
	-					
	SUBTOTAL M=				0,00	
		TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)				103,75
		INDIRECTOS Y UTILIDADES..... 2%				25,94
		OTROS INDIRECTOS %				
		COSTO TOTAL DE RUBRO				129,69
		VALOR OFERTADO				129,69

Análisis: Los resultados permiten constatar que la incorporación de un 1% de fibra de coco respecto al peso del cemento representa una alternativa viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Los niveles de resistencia alcanzados demuestran un adecuado desempeño mecánico, por lo que su aplicación en elementos de hormigón puede considerarse factible.

Este equilibrio metodológico valida que el ligero incremento en el costo unitario inicial se ve plenamente compensado por la ganancia en la capacidad portante axial y la reducción del impacto ecológico. Al transformar un residuo agrícola local en un componente estructural de valor añadido, se abre una línea de desarrollo competitiva para la edificación e infraestructura civil sostenible.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante el diseño factorial 2^k se determinó que la concentración del 4% fue la condición más adecuada para el tratamiento de la fibra de coco, ya que favoreció con rugosidad superficial que generó condiciones favorables para una mejor adherencia entre la fibra y la matriz cementicia. Por otra parte, la temperatura del tratamiento no presentó una influencia estadísticamente significativa sobre los resultados obtenidos. La caracterización física de la fibra estableció diámetros de 1,42 a 5,07 mm y una absorción del 25%, en la parte química se determinó contenidos del 44% de celulosa, 45% de lignina y 10% de hemicelulosa, en cuanto al comportamiento mecánico, las fibras presentaron resistencias a la tracción de entre 84 y 115 MPa y una elongación del 20%. Por lo tanto, se concluye que el tratamiento al 4% de concentración es la alternativa más favorable para la posterior incorporación de la fibra en el hormigón.
- De acuerdo con los ensayos realizados según las normas ASTM C39, el hormigón convencional alcanzó una resistencia a la compresión a los 28 días de 31,25 MPa, mientras que los hormigones con incorporación de fibra de coco pretratada presentaron un incremento en la resistencia a la compresión en todos los porcentajes evaluados: Así, con una dosificación del 0,5% se obtuvo 34,21 MPa, al 1,0% se alcanzó el valor más alto de 35,10 MPa, al 1,5% se registró 33,13 MPa. Teniendo en cuenta esta evidencia, se concluye que la adición de fibra mejora el desempeño mecánico respecto a la mezcla sin refuerzo, siendo la dosificación del 1,0% de fibra la condición óptima la cual supera en aproximadamente un 15% la resistencia de diseño establecida para el hormigón de estudio.

- Del análisis de costo por metro cúbico puesto en obra, se concluye que el hormigón de resistencia 240 kg/cm^2 presenta un costo de $\$121,24/\text{m}^3$. En cambio, el hormigón reforzado con fibras de coco al 1,0% tiene un costo de $\$129,69/\text{m}^3$ puesto en obra, lo que representa un ligero incremento de 6,97% respecto al patrón. Debido a que el hormigón con fibra alcanzó una resistencia a la compresión comparable a la de un hormigón de 280 kg/cm^2 , se realizó una comparación económica con este último. Por su parte, el hormigón diseñado para 280 kg/cm^2 cuesta $\$129,28/\text{m}^3$, valor muy semejante al de la mezcla con fibra. Esto señala que, el refuerzo permite obtener una resistencia superior a la inicial con un costo prácticamente igual al de hormigones de mayor especificación. Por este motivo se concluye que resulta una alternativa competitiva económica y técnicamente viable.
- Se determinó que el hormigón de 240 kg/cm^2 reforzado con fibra de coco pretratada con hidróxido de sodio (NaOH) constituye una alternativa técnicamente viable y económicamente competitiva. Entre las dosificaciones analizadas, la adición del 1,0% de fibra mostró el mejor rendimiento mecánico, logrando a los 28 días una resistencia a la compresión de 35,81 MPa, un valor que supera al del hormigón convencional (31,25 MPa), lo que implica un aumento del 14,59%. Desde una perspectiva económica, esta mezcla tuvo un costo de $\$129,28/\text{m}^3$ en comparación con los $\$121,24/\text{m}^3$ del hormigón estándar, lo que representa un incremento del 6,63%, un porcentaje que se considera razonable dado el avance en las propiedades mecánicas. Asimismo, el uso de fibra de coco contribuye al aprovechamiento de residuos agroindustriales, promoviendo prácticas constructivas sostenibles y reduciendo el impacto ambiental asociado a la disposición final de estos materiales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear una dosificación de fibra del 1,0 % respecto al peso del cemento, combinada con una concentración de hidróxido de sodio (NaOH) al 4 % en el pretratamiento de la fibra de coco. Esta combinación demostró una relación favorable entre el incremento de la resistencia a la compresión y el costo de producción. Asimismo, la selección de este valor definido evita afectar negativamente la trabajabilidad de la mezcla y conserva la totalidad de sus beneficios técnicos y económicos.
- Investigaciones futuras podrían evaluar la durabilidad de la fibra de coco tratada incorporada en el hormigón durante periodos superiores a 28 días. Al tratarse de un material orgánico susceptible a degradarse en contacto con el entorno alcalino del hormigón, es necesario realizar ensayos microestructurales que determinen la integridad física y química de la fibra y del material compuesto. Además, se sugiere complementar con ensayos como permeabilidad, absorción, ataque por sulfatos, carbonatación y exposición a ciclos de humedecimiento y secado. Lo anterior resulta relevante especialmente antes de recomendar su aplicación en elementos estructurales o ambientes agresivos.
- Es aconsejable profundizar en el estudio del pretratamiento de la fibra, evaluando concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH) cercanas al 4 % y diferentes tiempos de exposición. Este factor es crítico en la modificación superficial de la fibra, debido a que una aplicación inadecuada puede comprometer su integridad estructural; por ello, se busca optimizar el proceso y reducir el posible deterioro de los componentes estructurales de la fibra.
- Para respaldar la viabilidad comercial del hormigón reforzado con fibra de coco, se recomienda ampliar el análisis económico incorporando de los costos asociados con la recolección, selección, transporte, limpieza, tratamiento y disposición de los residuos generados durante el proceso de obtención y pretratamiento de la fibra. Además, conviene considerar los costos de mantenimiento y el ciclo de vida completo del material, con el fin de establecer su competitividad económica a largo plazo.

- Se propone fomentar el aprovechamiento de la fibra de coco disponible en la región como materia prima para la elaboración de materiales de construcción sostenibles. Su utilización permite transformar un residuo agroindustrial voluminoso que habitualmente se descarta en un recurso útil en aplicaciones constructivas; esto contribuye a reducir los impactos ambientales asociados a su acumulación y disposición final, al mismo tiempo que promueve prácticas más responsables.
- Se recomienda en posteriores líneas de investigación realizar ensayos a flexión mediante vigas prismáticas de acuerdo con la Norma ASTM C78, utilizando la concentración de NaOH 4% y porcentaje óptimo de fibra de coco en 1% con respecto al peso del cemento tipo GU hallados en la investigación, para evaluar el comportamiento posagrietamiento del material.

BIBLIOGRAFÍA

- Acebo, A., Correa, S., Proaño, G., Terreros, C., & Pindo, C. (2009). Control en agregados y hormigón fresco para diseño de hormigón masivo, experiencia en obra con varias consistencias y resistencias.
- Ahmad, J., Majdi, A., Al-Fakih, A., Deifalla, A. F., Althoey, F., El Ouni, M. H., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-of-the-Art Review. *Materials*, 15(10), 3601. <https://doi.org/10.3390/ma15103601>
- Ahmad, W., Farooq, S. H., Usman, M., Khan, M., Ahmad, A., Aslam, F., Yusef, R. Al, Abduljabbar, H. Al, & Sufian, M. (2020). Effect of coconut fiber length and content on properties of high strength concrete. *Materials*, 13(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/ma13051075>
- Ali, B., Hawreen, A., Ben Kahla, N., Talha Amir, M., Azab, M., & Raza, A. (2022). A critical review on the utilization of coir (coconut fiber) in cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 351, 128957. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128957>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III la población de estudio. *Revista Alegría México*, 63(2), 201–206. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
- Bediako, M., Ametefe, T. K., Asante, N., & Adumatta, S. (2025). Incorporation of natural coconut fibers in concrete for sustainable construction: Mechanical and durability behavior. *Case Studies in Construction Materials*, 22, 131986. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04867>
- Bermudez Diaz, G. K. (2021). Proceso agroindustrial y su impacto en la producción y comercialización de productos derivados del coco en la ciudad de Portoviejo [Tesis de

- Grado, Universidad San Gregorio de Portoviejo]. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec:8080/handle/123456789/2226>
- Berrosapi Tapia, D. J. (2023). Estudio de los agregados y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de las canteras de Ambo y Huánuco, 2020 [Tesis de Grado, Universidad de Huanuco]. <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/5034>
- Bianchi Martinelli, F. R., Carneiro Ribeiro, F. R., Teixeira Marvilla, M., Neves Monteiro, S., Da Costa Garcia Filho, F., & Garcez de Azevedo, A. R. (2023).
- A Review of the Use of Coconut Fiber in Cement Composites. *Polymers*, 15(5), 1309. <https://doi.org/10.3390/polym15051309>
- Cárdenas Guilcapi, M. B., & Cárdenas Martínez, C. A. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa Concretos Chimborazo de Quito* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22314>
- Cárdenas, J. (2018). *Investigación cuantitativa*. <https://doi.org/10.17169/refubium-216>
- Cedeño Velez, J. N., Vines Macias, J. P., & Guerra Mera, J. C. (2024). Fibra de coco y su efecto en la resistencia a la compresión simple y porosidad del hormigón. *Polo Del Conocimiento*, 9(1), 1948–1962. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i1.6475>
- Chandrakar, U., Dasgupta, N., Pendse, V., & Mukhopadhyay, D. (2023). Experimental Studies on Hybrid Fiber Reinforced Concrete Utilizing Polypropylene Fiber and Natural Fiber. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 11(6), 4517–4522. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54459>
- da Silva Neto, J. T., Ribeiro Soares Junior, P. R., Reis, E. D., de Souza Maciel, P., Gomes, P. C. C., Gouveia, A. M. C., & da Silva Bezerra, A. C. (2025). Fiber-reinforced cementitious composites: recent advances and future perspectives on key properties for high-performance design. *Discover Civil Engineering*, 2, 65. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00209-9>
- El-Zohairy, A., Hammontree, H., Oh, E., & Moler, P. (2020). Temperature effect on the compressive behavior and constitutive model of plain hardened concrete. *Materials*, 13(12), 2801. <https://doi.org/10.3390/ma13122801>

- Franco-Luján, V. A., Montejo-Alvaro, F., Ramírez-Arellanes, S., Cruz-Martínez, H., & Medina, D. I. (2023). Nanomaterial-Reinforced Portland-Cement-Based Materials: A Review. *Nanomaterials*, 13(8), 1383. <https://doi.org/10.3390/nano13081383>
- García González, S. P. (2015). *Estudio de factibilidad para la industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa de Oro – Esmeraldas* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13414>
- Giler Loor, D. I., & López Ponce, J. G. (2022). *Análisis de factibilidad de la incorporación de fibra del coco al mortero tradicional para mejorar sus capacidades mecánicas* [Tesis de Grado, Universidad San Gregorio de Portoviejo]. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/handle/123456789/2647>
- Gu, M., Ahmad, W., Alaboud, T. M., Zia, A., Akmal, U., Awad, Y. A., & Alabduljabbar, H. (2022). Scientometric Analysis and Research Mapping Knowledge of Coconut Fibers in Concrete. *Materials*, 15(16), 5639. <https://doi.org/10.3390/ma15165639>
- Hasan, K. M. F., Horváth, P. G., Bak, M., & Alpár, T. (2021). A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. *RSC Advances*, 11(18), 10548–10571. <https://doi.org/10.1039/D1RA00231G>
- Hasan, K. M. F., Horváth, P. G., Kóczán, Z., & Alpár, T. (2021). Thermo-mechanical properties of pretreated coir fiber and fibrous chips reinforced multilayered composites. *Scientific Reports*, 11, 3618. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83140-0>
- Jamshaid, H., Ali, H., Mishra, R. K., Nazari, S., & Chandan, V. (2023). Durability and Accelerated Ageing of Natural Fibers in Concrete as a Sustainable Construction Material. *Materials*, 16(21), 6905. <https://doi.org/10.3390/ma16216905>
- Juárez Piedra, V. F. (2023). *Gestión de residuos de coco verde (pipa, Cocos nucifera L.) para una empresa procesadora de alimentos* [Tesis de Grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14599>
- Lakhiar, M. T., Lakhiar, M. T., Abdullah, A. H., & Mohamad, N. (2021). Experimental Investigation of Self-Compacting Concrete Containing Coir Fibres. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 31(2), 163–177. <https://doi.org/10.2478/ceer-2021-0025>
- Li, & Wang. (2007). Cement composites reinforced with surface modified coir fibers. In *Journal of composite materials* (Vol. 41, Number 12).

- Lin, C., Kanstad, T., Jacobsen, S., & Ji, G. (2023). Bonding property between fiber and cementitious matrix: A critical review. *Construction and Building Materials*, 378, 131169. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131169>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de La Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47–50.
- Martinelli, F. R. B., Pariz, M. G., de Andrade, R., Ferreira, S. R., Marques, F. A., Monteiro, S. N., & de Azevedo, A. R. G. (2024). Influence of drying temperature on coconut-fibers. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56596-z>
- Mohammadi, M., Ishak, M. R., & Sultan, M. T. H. (2024). Exploring Chemical and Physical Advancements in Surface Modification Techniques of Natural Fiber Reinforced Composite: A Comprehensive Review. *Journal of Natural Fibers*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2408633>
- Monsalve Arias, M. J., Higuera Cobos, O. F., & Pedraza Yepes, C. A. (2025). Development of Structural Type Mortars Reinforced with Coconut (Cocos Nucifera) Fiber: Chemical, Thermal, and Mechanical Behavior. *Journal of Composites Science*, 9(6), 300. <https://doi.org/10.3390/jcs9060300>
- Montero Bernabé, A. P., & Román Tipantuña, A. F. (2022). Caracterización del uso de estopas de coco como componente en la dosificación de hormigones [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/68b7cdd4-b8a8-4ce0-a192-146c4ac985f4>
- Morales Guzmán, C. C., & Ceballos Vargas, J. (2025). Diseño de una mezcla de concreto con fibra de coco para mejorar sus propiedades mecánicas. *Estoa*, 14(28), 52–62. <https://doi.org/10.18537/est.v014.n028.a04>
- Mostafaei, H., Badarloo, B., Chamasemani, N. F., Rostampour, M. A., & Lehner, P. (2023). Investigating the Effects of Concrete Mix Design on the Environmental Impacts of Reinforced Concrete Structures. *Buildings*, 13(5), 1313. <https://doi.org/10.3390/buildings13051313>
- Nasrin, U. S., Khair, A., & Ahsan, R. (2024). Compressive strength assessment of concrete with brick chips using the CAPO-test. *Scientific Reports*, 14(1), 12881. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59560-z>
- Nieto Esteban, N. T. (2018). *Tipos de investigación*.

- Paricaguán, B. M., Albano, C. L., Palacios, J., Torres, R., Camacho, N., Infante, J., & Alvarado, M. (2013). Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético). *Revista INGENIERÍA UC*, 20(2), 60–67.
- Quintero García, S., & González Salcedo, L. (2006). *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. 134–150.
- Rodríguez Ponce, P. R., & Vélez Cuadros, J. E. (2022). *Caracterización de hormigones compuestos con fibra de estopa de coco usando dos tratamientos químicos para disminuir su degradación* [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22606>
- Ru, S., Zhao, C., & Yang, S. (2022). Multi-Objective Optimization and Analysis of Mechanical Properties of Coir Fiber from Coconut Forest Waste. *Forests*, 13(12), 2033. <https://doi.org/10.3390/f13122033>
- San Andrés, G., Aguilar-Sierra, S., & Bernardo Graziella. (2023). Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador. *Heliyon*, 9(9), e19267. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19267>
- Sanchez Rengifo, M. Iria. (2024). *Influencia de la adición de las fibras de coco en las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Tarapoto 2024* [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/166244>
- Shah, I., Jing, L., Fei, Z. M., Yuan, Y. S., Farooq, M. U., & Kanjana, N. (2021). A Review on Chemical Modification by using Sodium Hydroxide (NaOH) to Investigate the Mechanical Properties of Sisal, Coir and Hemp Fiber Reinforced Concrete Composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5133–5151. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1875359>
- Smarzewski, P., & Stolarski, A. (2022). Properties and Performance of Concrete Materials and Structures. *Crystals*, 12(9), 1193. <https://doi.org/10.3390/cryst12091193>
- Soriano Perez, G., Moreno Alcivar, L., & Castro Valle, R. (2026). Evaluation of the Mechanical Properties of Coconut-Fiber- and Plastic-Fiber-Reinforced Concrete. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 16(2), 32971–32977. <https://doi.org/10.48084/etasr.16446>

- Stelte, W., Reddy, N., Barsberg, S., & Sanadi, A. R. (2023). Coir from Coconut Processing Waste as a Raw Material for Applications Beyond Traditional Uses. *BioResources*, 18(1), 2187–2212. <https://doi.org/10.15376/biores.18.1.Stelte>
- Tan, C. T., Yew, M. K., Yew, M. C., Lee, F. W., Lim, S. K., Beh, J. H., Lee, J. C., & Lim, J. H. (2025). Mechanical property enhancement in concrete composites with hybrid polypropylene fibre reinforcement. *Scientific Reports*, 15(1), 24986. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04219-6>
- Tandaso Elizalde, D. R. (2025). *Análisis de la resistencia a compresión del hormigón simple, elaborado con agua proveniente del estuario de la playa de Puerto López* [Tesis de Grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/9613>
- Thandavamoorthy, R., Devarajan, Y., & Thanappan, S. (2023). Analysis of the characterization of NaOH-treated natural cellulose fibre extracted from banyan aerial roots. *Scientific Reports*, 13(1), 12579. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39229-9>
- Valášek, P., Müller, M., Šleger, V., Kolář, V., Hromasová, M., D'amato, R., & Ruggiero, A. (2021). Influence of Alkali treatment on the microstructure and mechanical properties of coir and Abaca fibers. *Materials*, 14(10), 2636. <https://doi.org/10.3390/ma14102636>
- Varghese, A., & Unnikrishnan, S. (2023). Mechanical strength of coconut fiber reinforced concrete. *Materials Today: Proceedings*, 351, 128957. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.05.637>
- Vera-Sánchez, D., Navarro-Gómez, H. I., Rodríguez-Álvarez, C., & Cerón-Carballo, J. E. (2024). Mejora del Concreto Estructural con Fibras de Coco: Enfoque Sostenible. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 12(Especial 3), 1–7. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iespecial3.13451>
- Wang, Y., Zhu, Z., Cao, R., Xu, L., & Huang, B. (2025). Insights into the properties of pervious concrete modified with polymers and fine aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04627. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04627>
- Zavaleta Payehuanca, J. L. (2024). *Análisis de propiedades mecánicas del concreto adicionado con caucho reciclado de llantas parcialmente trituradas como parte de agregado fino, Arequipa 2023* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/item/2b67824f-e38a-4189-9bcc-c137fc5c6cc7>

ANEXOS

ANEXO 1.

Ensayo de densidad del agregado grueso

<i>Peso volumétrico suelto</i>			<i>Peso volumétrico varillado</i>		
<i>Volumen</i>	0,009736876	m^3	<i>Volumen</i>	0,009736876	m^3
<i>P.v.s. + tara</i>	24,07	<i>Kg</i>	<i>P.v.v. + tara</i>	25,15	<i>Kg</i>
<i>Recipiente</i>	10,94	<i>Kg</i>	<i>Recipiente</i>	10,94	<i>Kg</i>
<i>Peso</i>	13,13	<i>Kg</i>	<i>Peso</i>	14,21	<i>Kg</i>
<i>P.v.s.</i>	1348,48	kg/m^3	<i>P.v.v.</i>	1459,40	kg/m^3

<i>Densidad saturada superficialmente seca (d.s.s.s.)</i>		
<i>P.s.s.s.</i>	2,000	<i>gr</i>
<i>W (canastilla sumergida)</i>	1,052	<i>gr</i>
<i>W (canastilla sumergida + material)</i>	2,275	<i>gr</i>
<i>W (canastilla sumergida + material)-w(canastilla)</i>	1223	<i>gr</i>
<i>Volumen</i>	777	m^3
<i>D.s.s.s.</i>	2,57	gr/m^3

ANEXO 2.

Ensayo de densidad del agregado fino

<i>Agregado fino</i>		
<i>Peso volumétrico suelto</i>		
<i>Volumen</i>	<i>0,00292492</i>	<i>m³</i>
<i>P.v.s. + tara</i>	<i>8,53</i>	<i>Kg</i>
<i>Recipiente</i>	<i>4,42</i>	<i>Kg</i>
<i>Peso</i>	<i>4,11</i>	<i>Kg</i>
<i>P.v.s.</i>	<i>1405,17</i>	<i>kg/m³</i>
<i>Densidad saturada superficialmente seca (d.s.s.s.)</i>		
<i>P.s.s.s.</i>	<i>500</i>	<i>Gr</i>
<i>Lectura inicial</i>	<i>200</i>	<i>Ml</i>
<i>Lectura final</i>	<i>390</i>	<i>Ml</i>
<i>W(desalojado)</i>	<i>190</i>	<i>Ml</i>
<i>D.s.s.s.</i>	<i>2,63</i>	<i>gr/m³</i>

ANEXO 3.

Dosificación del hormigón de 240 kg/cm²

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO TIPO GU		
F'c	240	kg/cm ² .
Desviación	85	kg/cm ² .
F'cr (sin aire)	325	kg/cm ² .
Revenimiento	10	cm

Tamaño máximo de la grava		
25		Mm
	Cantidad de agua	
205		lt/m ³
	Aire atrapado	
2		%
	Relación a/c	
0,515		
	Cantidad de cemento	
398,06		kg/cm ³

ANEXO 4.

Cantidades de dosificación para 9 cilindros

	PATRÓN	0,5 %	1 %	1,5 %	2 %	2,5 %
CEMENTO						
(kg)	7,52	7,52	7,52	7,52	7,52	7,52
GRAVA (kg)	16,64	16,64	16,64	16,64	16,64	16,64
ARENA (kg)	15,32	15,32	15,32	15,32	15,32	15,32
AGUA (l)	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99
Fibra(gr)	-	37,62	75,24	112,86	150,48	188,10

ANEXO 5.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

ROTURA DE CILINDRO DE HORMIGON							DIA 7					
DESCRIPCION		FECHA DE	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA	AREA	PESO	FECHA DE	CARGA	RESISTENCIA	PROMEDIO
		VACIADO	D1	D2	PROMEDIO	(cm)	(cm)	(Kg)	ROTURA	(KN)	MPa	
PATRON	I	20/04	10,23	10,26	10,25	20,38	82,44	3,98	27/04	182,1	22,09	21,94
	II	20/04	10,24	10,26	10,25	20,34	82,52	3,92	27/04	179,7	21,78	
	III	20/04	10,24	10,26	10,25	20,36	82,52	3,96	27/04	181,1	21,95	
0,5%	I	04/05	10,17	10,29	10,23	20,39	82,19	3,92	11/05	193,4	23,53	23,68
	II	04/05	10,20	10,26	10,23	20,46	82,19	3,96	11/05	188,3	22,91	
	III	04/05	10,26	10,21	10,24	20,39	82,27	3,96	11/05	202,4	24,60	
1%	I	05/05	10,28	10,20	10,24	20,46	82,35	4,02	12/05	200,6	24,36	24,11
	II	05/05	10,33	10,36	10,35	20,39	84,05	4,02	12/05	201,1	23,93	
	III	05/05	10,19	10,23	10,21	20,38	81,87	3,94	12/05	196,9	24,05	
1,5%	I	11/05	10,27	10,19	10,23	20,40	82,19	3,92	18/05	189,8	23,09	22,91
	II	11/05	10,22	10,29	10,26	20,42	82,60	3,92	18/05	189,0	22,88	
	III	11/05	10,28	10,28	10,28	20,39	83,00	4,02	18/05	188,9	22,76	
2%	I	07/05	10,25	10,20	10,23	20,38	82,11	3,88	14/05	183,0	22,29	22,26
	II	07/05	10,23	10,24	10,24	20,39	82,27	3,96	14/05	182,9	22,23	
	III	07/05	10,27	10,23	10,25	20,41	82,52	4,02	14/05	183,6	22,25	
2,5%	I	12/05	10,21	10,27	10,24	20,35	82,35	3,88	19/05	176,8	21,47	21,79
	II	12/05	10,33	10,30	10,32	20,40	83,57	4,02	19/05	182,0	21,78	
	III	12/05	10,25	10,21	10,23	20,47	82,19	3,94	19/05	181,8	22,12	

ANEXO 6.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días

ROTURA DE CILINDRO DE HORMIGON							DIA 14					
DESCRIPCION	FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO	
PATRON	I	20/04	10,17	10,24	10,21	21,07	81,79	3,96	04/05	235,3	28,77	28,30
	II	20/04	10,31	10,34	10,33	21,28	83,73	4,12	04/05	234,3	27,98	
	III	20/04	10,25	10,34	10,30	21,38	83,24	4,02	04/05	234,4	28,16	
0,5%	I	04/05	10,21	10,18	10,20	20,38	81,63	4,02	18/05	250,4	30,67	30,69
	II	04/05	10,19	10,15	10,17	20,29	81,23	3,92	18/05	250,1	30,79	
	III	04/05	10,17	10,21	10,19	20,38	81,55	4,02	18/05	249,7	30,62	
1%	I	05/05	10,31	10,38	10,35	20,48	84,05	4,00	19/05	264,2	31,43	31,79
	II	05/05	10,24	10,28	10,26	20,43	82,68	4,02	19/05	264,4	31,98	
	III	05/05	10,21	10,28	10,25	20,42	82,44	3,96	19/05	263,5	31,96	
1,5%	I	11/05	10,20	10,20	10,20	20,37	81,71	3,90	25/05	244,5	29,92	29,78
	II	11/05	10,18	10,21	10,20	20,35	81,63	3,90	25/05	242,5	29,71	
	III	11/05	10,27	10,21	10,24	20,38	82,35	4,02	25/05	244,7	29,71	
2%	I	07/05	10,21	10,24	10,23	20,36	82,11	3,94	21/05	239,0	29,11	28,97
	II	07/05	10,29	10,19	10,24	20,31	82,35	3,98	21/05	238,9	29,01	
	III	07/05	10,23	10,31	10,27	20,42	82,84	4,02	21/05	238,6	28,80	
2,5%	I	12/05	10,41	10,35	10,38	20,47	84,62	3,96	26/05	237,4	28,05	28,50
	II	12/05	10,26	10,21	10,24	20,34	82,27	3,92	26/05	235,7	28,65	
	III	12/05	10,21	10,28	10,25	20,38	82,44	3,94	26/05	237,3	28,79	

ANEXO 7.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días

ROTURA DE CILINDRO DE HORMIGON							DIA 28					
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
PATRON	I	20/04	10,24	10,20	10,22	20,36	82,03	3,92	18/05	257,6	31,40	31,25
	II	20/04	10,20	10,25	10,23	20,44	82,11	3,98	18/05	257,2	31,32	
	III	20/04	10,35	10,34	10,35	20,40	84,05	4,40	18/05	260,9	31,04	
0,5%	I	04/05	10,32	10,30	10,31	20,37	83,48	4,02	01/06	284,1	34,03	34,21
	II	04/05	10,20	10,18	10,19	20,47	81,55	3,98	01/06	281,6	34,53	
	III	04/05	10,28	10,30	10,29	20,35	83,16	4,02	01/06	283,3	34,07	
1%	I	05/05	10,21	10,22	10,22	20,41	81,95	3,94	02/06	292,3	35,67	35,81
	II	05/05	10,20	10,20	10,20	20,30	81,71	3,90	02/06	293,4	35,91	
	III	05/05	10,21	10,23	10,22	20,40	82,03	3,96	02/06	294,2	35,86	
1,5%	I	11/05	10,25	10,30	10,28	20,32	82,92	4,00	08/06	275,3	33,20	33,13
	II	11/05	10,31	10,28	10,30	20,35	83,24	3,98	08/06	273,1	32,81	
	III	11/05	10,25	10,21	10,23	20,34	82,19	3,90	08/06	274,4	33,38	
2%	I	07/05	10,24	10,23	10,24	20,40	82,27	3,98	04/06	265,3	32,25	32,46
	II	07/05	10,19	10,25	10,22	20,45	82,03	3,96	04/06	266,3	32,46	
	III	07/05	10,21	10,18	10,20	20,48	81,63	3,98	04/06	266,8	32,68	
2,5%	I	12/05	10,27	10,31	10,29	20,46	83,16	4,02	09/06	261,3	31,42	31,60
	II	12/05	10,21	10,20	10,21	20,40	81,79	3,92	09/06	261,1	31,92	
	III	12/05	10,27	10,30	10,29	20,46	83,08	4,02	09/06	261,4	31,46	

ANEXO 8.

Proceso para la obtención de fibra:

(a) Trozos de mesocarpio de coco, (b) Depósito de fragmentos de mesocarpio en recipiente amplio, (c) Inmersión de trozos de mesocarpio en agua, (d) Secado de las fibras al sol.



(a)



(b)



(c)



(d)

ANEXO 9.

Separación de fibras individuales:

(a) División manual de los fragmentos, (b) Fibras individuales.



(a)



(b)

ANEXO 10.

Tratamiento químico mediante diseño factorial:

(a) Inmersión de fibra en solución química, (b) Muestra tras 30 min. de inmersión, (c) Lavado de fibra hasta pH neutro



(a)



(b)



(c)

ANEXO 11.

Aplicación del tratamiento alcalino:

(a) Inmersión de fibra en solución química, (a) Lavado de fibra luego del tratamiento química



(a)



(b)

ANEXO 12.

Pesaje de las fibras preparadas



ANEXO 13.

Elaboración de probetas de hormigón:

(a) Mezcla de hormigón, (b) Llenado de probetas



(a)



(b)

ANEXO 14.

Medición de probetas de hormigón:

(a) Diámetro de probetas, (b) Altura de probetas



(a)

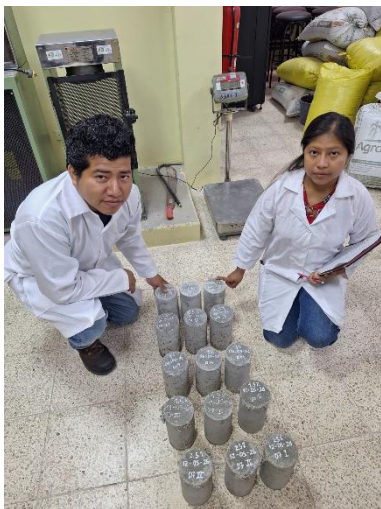


(b)

ANEXO 15.

Probetas para ensayo de compresión:

(a) Probetas con diferentes porcentajes de fibra (b) Rotura de probeta en máquina de compresión (c) Probetas luego del ensayo



(a)



(b)



(c)

ANEXO 16.

Ensayo del tiempo de fraguado:

(a) Dosificación de materiales, (b) Desmolado de muestra endurecida



(a)



(b)