

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO
EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE
PALMA AFRICANA AL 0.5%**

Hormigón reforzado con fibras naturales sin tratamiento químico

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

PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA

DIRECTOR: Msc. ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ

Quito, enero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Pablo Alberto Castro Molina declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

PABLO CASTRO MOLINA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Pablo Alberto Castro Molina, bajo mi supervisión.

ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ
DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

EUGENIA DE LAS MERCEDES
VILLACIS TRONCOSO
REVISOR 1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

GERMAN VINICIO LUNA
HERMOSA
REVISOR 2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA

ING. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ

NOMBRE COLABORADOR(ES)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Wilter Alberto Castro García y María Auxiliadora Molina Andrade, a mis hermanas: Anays y Julissa Castro, debido a ustedes he logrado cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Wilter Castro y María Molina por guiarme, apoyarme y aconsejarme desde el primer día, ustedes han formado la base de lo que soy ahora. Por siempre estar en los momentos más difíciles y enseñarme a seguir luchando a pesar de las adversidades. Y por ser las únicas personas que a pesar de todo nunca perdieron la fe en mí, aun cuando todos apostaban en contra mía, en el momento en que salí de mi ciudad, para entrar a esta prestigiosa universidad ustedes jamás dudaron en apoyarme, su sacrificio es la razón de que yo sea una gran persona y un gran profesional.

A mi tía Flérida porque siempre estuvo pendiente de mi bienestar tanto académico como personal, dándome su apoyo sin condición, usted después de mis padres fue la única persona que día tras día, con sus llamadas y su buena voluntad me decía “NO DECAIGA YO CREO EN USTED”.

A mis hermanas Anays y Julissa que han sido parte fundamental en cada etapa de mi vida.
A mis primos que siempre intentan llenar de felicidad cada momento junto a ellos.

A mis amigos, profesores y colegas universitarios que me acompañaron durante toda la etapa de mi carrera universitaria, brindando conocimientos, cariño y apoyo para salir adelante.

A mis abuelos que siempre me inspiran a seguir adelante otorgándome su cariño y cuidados

Todos y cada uno de ustedes fueron las personas más relevantes e importantes y que siempre creyeron en que era capaz de lograrlo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos Específicos	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Historia y desarrollo del Hormigón.....	2
1.4.2 Propiedades generales del hormigón.....	3
1.4.3 Componentes del Hormigón.....	4
1.4.3.1 Cemento hidráulico.....	4
1.4.3.2 Agregados.....	4
1.4.3.2.1 Agregado fino.....	5
1.4.3.2.2 Agregado grueso.....	5
1.4.3.2.3 Agregado ligero.....	5
1.4.4 Agua.....	6
1.4.5 Aditivos.....	6
1.4.6 Dosificación de hormigón.....	7
1.4.7 Cambios De Volumen Y Contracción Del Hormigon.....	11
1.4.7.1 Contracción Plástica.....	11
1.4.7.2 Contracción Química.....	11
1.4.7.3 Contracción por secado.....	12
1.4.7.4 Segregación.....	12
1.4.8 Estados Y Fisuración Del Hormigón.....	12
1.4.8.1 Fisuraciones en Estado Fresco.....	13
1.4.8.2 Fisuraciones en estado Rígido (seco)	14
1.4.8.3 Crazing.....	14
1.4.9 Fisuración por cambios térmicos.....	14
1.4.10 Hormigón Con Fibras.....	15

1.4.11	Propiedades del concreto con refuerzo de fibras:.....	16
1.4.12	Clasificación de Fibras.	16
1.4.13	Fibras Naturales:.....	16
1.4.14	Uso de Fibras como refuerzo del hormigón.	17
1.4.15	FIBRA DE PALMA AFRICANA.	17
1.4.15.1	Características Generales.	17
1.4.15.2	Proceso de Obtención del Raquis de Palma Africana.	17
1.4.15.3	Raquis de Palma Africana	18
2	METODOLOGÍA.....	18
2.1	Cámara De Aire Caliente	18
2.2	Componentes Del Hormigón.....	19
2.2.1	Agregados.....	19
2.2.1.1	Agregado Grueso.....	20
2.2.1.1.1	Granulometría.....	20
2.2.1.1.2	Ensayo de absorción y Densidad relativa.	22
2.2.1.1.3	Densidad Aparente.....	24
2.2.1.1.4	Ensayo de Abrasión.	26
2.2.1.1.5	Datos De Ensayos Del Agregado Grueso	29
2.2.1.2	Agregado Fino.	29
2.2.1.2.1	Granulometría.....	29
2.2.1.2.2	Ensayo de absorción y Densidad relativa	30
2.2.1.2.3	Ensayo Para Determinar Densidades	31
2.2.1.2.4	Densidad Aparente.....	33
2.2.1.2.5	Contenido Orgánico.....	33
2.2.1.2.6	Datos De Ensayos Del Agregado Fino.....	34
2.2.2	Cemento	35
2.2.2.1	Densidad Real del Cemento.....	35
2.3	Fibra de Palma Africana.	36
2.3.1	Origen.....	36
2.3.2	Proceso de extracción de las fibras.....	37
2.3.3	Longitud y Corte de las Fibras.....	39
2.4	Ensayos.....	39
2.4.1	Ensayos Aplicados a la Fibra de Palma Africana	39
2.5	Ultrasonido.....	40
2.5.1	Procedimiento.	41

2.6	Ensayo de Probetas.....	41
2.6.1	Ensayo de Compresión	42
2.6.1.1	Procedimiento.....	42
2.6.1.2	Tipo de Falla	42
2.6.2	Ensayo a Flexión.....	43
2.7	Hormigón Reforzado con Fibra de Palma Africana.....	45
2.7.1	Número y tipo de Especímenes.	45
2.7.2	Disposición Porcentual de La mezcla.	46
2.7.2.1	Dosificación.....	46
2.7.2.2	Cantidad de Fibras.....	47
2.8	Placas De Hormigón Reforzado Con Fibra.....	47
2.9	Condiciones Inducidas de Secado.....	48
2.9.1	Velocidad del viento.....	48
2.9.2	Inducción de temperatura	49
2.10	Medición de Fisuras.	49
2.10.1	Longitud de Fisuras.	49
2.10.2	Hundimiento de fisuras	50
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
3.1	Resultados	52
3.1.1	Características de la fibra	52
3.1.2	Inducción de Temperatura y Velocidad de Viento.....	52
3.1.3	Dosificación.....	53
3.1.3.1	Dosificación en Placas	53
3.1.3.2	Dosificación de Cilindros y Vigas.....	54
3.1.4	Análisis de fisuras.....	55
3.1.4.1	Longitud de Fisuras	55
3.1.4.2	Profundidad de Fisuras.....	56
3.1.5	Características de los Especímenes.....	57
3.1.5.1	Ensayos de Resistencia a Compresión.....	57
3.1.5.1.1	Densidad	57
3.1.5.1.2	Resistencia a la Compresión	58
3.1.5.2	Ensayo de Resistencia a Flexión.....	58
3.1.5.2.1	Carga Máxima	59
3.1.5.2.2	Módulo de Rotura	59
3.2	Conclusiones.....	60

3.3	Recomendaciones.....	61
5	ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características y normativas de los agregados.....	6
Tabla 2 Tabla resistencia promedio requerida	8
Tabla 3 Tabla Asentamiento establecido	8
Tabla 4 Tabla Tamaño máximo nominal del agregado	9
Tabla 5 Tabla cantidad de agua por m ³	9
Tabla 6 Tabla relación Agua/cemento	10
Tabla 7 Tabla Porcentaje de Agregado Grueso	10
Tabla 8 Muestreo En Base Al Tamaño Máximo Nominal.....	21
Tabla 9 Masa mínima de agregado requerido para ensayo	23
Tabla 10 Cálculo de Densidades	24
Tabla 11 Capacidad de Moldes para Densidad.....	25
Tabla 12 Gradación de las muestras de ensayo	27
Tabla 13 Características del Agregado Grueso	29
Tabla 14 Columna de Tamices para Agregado Fino.....	30
Tabla 15 Densidades para Agregado Fino	32
Tabla 16 Escala De Color Estandarizada Para Comparación	33
Tabla 17 Características del Agregado Fino.....	34
Tabla 18 Cálculo de la velocidad de Carga	44
Tabla 19 Cálculo Modulo de Rotura.....	45
Tabla 20 Probetas Para ensayo.....	45
Tabla 21 Dosificación Final	47
Tabla 22 Características de la fibra de Palma Africana	52
Tabla 23 Condiciones de Viento y temperatura	52
Tabla 24 Dosificación para Placas sin adición de fibra	53
Tabla 25 Dosificación para Placas con 0.5% de adición de fibra	53
Tabla 26 Dosificación Para 1 Cilindro Sin Adición De Fibra	54
Tabla 27 Dosificación Para Viga Sin Adición De Fibra	54
Tabla 28 Dosificación Para Vigas Con 0.5% De Fibra	54
Tabla 29 Dosificación Para 1 Cilindro Con 0.5% De Fibra.....	55
Tabla 30 Longitud de fisuras Producidas en placas	55
Tabla 31 Profundidades de las fisuras de las placas	56
Tabla 32 Densidad de Cilindros [T/m ³].....	57
Tabla 33 Resistencia de cilindros [Kgf/cm ²]	58
Tabla 34 Carga Máxima en vigas [Kn]	59
Tabla 35 Modulo de Rotura [Mpa]	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Descripción esquemática del mecanismo de contracción química.....	12
Figura 2 Tipos y Causas de Grietas en el Hormigón.....	15
Figura 3 Raquis de palma africana.....	18
Figura 4 Localización de la Planta de Agregados	19
Figura 5 Agregados Provenientes de Cantera	20
Figura 6 Columna de Tamices para Agregado Grueso	22
Figura 7 Proceso de ensayo de Densidad y Absorción.....	23
Figura 8 Parte de proceso de densidad.....	26
Figura 9 Proceso de Colocación de Bolas de Acero	28
Figura 10 Columna Para tamizar Agregado Fino	30
Figura 11 Proceso de Obtención de Densidades	32
Figura 12 Proceso de Ensayo de Contenido Orgánico	34
Figura 13 Parte del proceso de ensayo de densidad real del cemento	36
Figura 14 Proceso de Selección del Raquis.....	36
Figura 15 Proceso de limpieza de la fibra.....	37
Figura 16 Proceso para la fibra	38
Figura 17 Fibras Separadas y Cortadas	38
Figura 18 Proceso de Cortado de las fibras.....	39
Figura 19 Proceso de registro de fibras.....	40
Figura 20 Equipo de ultrasonido para medir fisuras.....	41
Figura 21 Métodos de Ultrasonido	41
Figura 22 Tipos de Falla según la normativa	43
Figura 23 Ensayo a Flexión	44
Figura 24 Vista de cilindros y placas realizados.....	46
Figura 25 Proceso de alisado de la placa de hormigón reforzado con fibra	48
Figura 26 Aparato de medición de velocidad y temperatura.....	48
Figura 27 Placa con 0.5% de fibra de palma, con fisuras después de 6h	49
Figura 28 Placa sin adición de fibra de palma, con fisuras después de 6h.....	50
Figura 29 Placa con 0.5% de fibra de palma, escalada con AutoCAD	50
Figura 30 Procedimiento para el uso de los sensores.....	51
Figura 31 Cálculo de la profundidad	51
Figura 32 Comparación de longitud de fisuras.....	56
Figura 33 Cilindros previos a ser ensayados.....	57
Figura 34 Vigas Previo a desmoldarse.....	58
Figura 35 Viga previo a Ensayarse	59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I CÁMARA DE INDUCCIÓN DE TEMPERATURA Y VIENTO	66
ANEXO II ENSAYOS DEL CEMENTO	67
ANEXO III ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO	68
ANEXO IV ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS	69
ANEXO V ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DE AGREGADOS.....	70
ANEXO VI ENSAYO DE ABRASIÓN AGREGADO GRUESO	71
ANEXO VII ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO	73
ANEXO VIII ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO DE AGREGADO FINO	74
ANEXO IX DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.....	75
ANEXO X ENSAYOS DE LA FIBRA	76
ANEXO XI LONGITUD DE FISURAS.....	79
ANEXO XII ENSAYO DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.....	82

RESUMEN

El incentivo y uso de una alternativa para un desarrollo más óptimo y sostenible en el ámbito de la construcción ha introducido la opción de potenciar la reciclabilidad de un cultivo como lo son las fibras naturales. Siendo así, el presente documento describe un análisis de la fisuración en placas de hormigón, las cuales se elaboraron adicionando la fibra de palma africana con base al 0.5% en masa del agregado grueso, utilizando la fibra en estado natural sin alteraciones.

La fibra de palma africana fue donada por la fábrica LA FABRIL. Las cuales fueron extraídas del raquis y tratadas de manera que cumplan con las características determinadas según lo especificado en la norma ACI 544.4R-18. Haciendo uso de una metodología Teórica-Experimental se realizaron ensayos en una cámara de aire caliente la cual fue adquirida y desarrollada por estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional y de los cuales se obtuvieron resultados, que fueron tratados para poder así entender y analizar, de qué manera influye la fibra descrita, en la fisuración producida en las placas y si es factible utilizarla como una alternativa para mermar las fisuras en el hormigón.

ABSTRACT

The incentive and use of an alternative for a more optimal and sustainable development in the field of construction has introduced the option of promoting the recyclability of a crop such as natural fibers. Thus, this document describes an analysis of cracking in concrete slabs, which were made by adding the African palm fiber based on 0.5% by mass of the coarse aggregate, using the fiber in its natural state without alterations.

The African palm fiber was donated by the LA FABRIL factory. Which were extracted from the rachis and treated in such a way that they comply with the characteristics determined as specified in the ACI 544.4R-18 standard. Making use of a Theoretical-Experimental methodology, tests were carried out in a hot air chamber which was acquired and developed by students of the National Polytechnic School and from which results were obtained, which were treated in order to understand and analyze, of what In this way, the described fiber influences the cracking produced in the plates and if it is feasible to use it as an alternative to reduce the cracks in the concrete.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el presente proyecto se plantea proponer una alternativa del hormigón con fibra de palma africana, para reducir fisuras que se presentan a corto plazo, misma que son visibles después de un día de haber sido vertido y moldeado el hormigón, se realizara un estudio el cual analice la contracción plástica a causa de la inducción de secado, misma que puede llegar a contraerse según el ACI 224 hasta un 1%.

Debido al gran campo de investigación y uso que se le ha otorgado al hormigón reforzado con fibras tales como: pavimentos, túneles losas, aeropuertos, entre otros. Se opta por utilizar la fibra de palma africana con el fin de mermar las fisuraciones que se presentan en secciones de gran área.

Diferentes estudios avalan la disminución del riesgo de agrietamiento que se ocasiona en la contracción por secado la cual se da por uso de aditivos reductores de contracción y por el incremento de la resistencia a la apertura de grietas debido al uso de fibras sintéticas, y al ser estas fibras de un valor económico muy alto se opta por fibras naturales las cuales son más accesibles económicamente y a su vez también tienen propiedades muy buenas.

Se realizarán 3 especímenes para el análisis de la composición del hormigón; cilindros, placas y vigas, mismas que deben seguir el lineamiento establecido en las normas de construcción, hormigón y materiales obteniendo una resistencia mínima de 210 kg/cm^2 , con la respectiva adición de fibras. Para poder establecer una simulación del proceso de contracción del hormigón se hace uso de una cámara especial, capaz de inducir una velocidad y temperatura de viento controlada.

1.1 Objetivo general

Valorar la resistencia, fisuración debido a la contracción plástica, con inducción de secado rápido y temperatura controlada sobre placas de hormigón en una combinación porcentual al 0.5% de fibras de palma africana sin alteraciones para determinar la elección más viable que permita disminuir las fisuras en el hormigón.

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar una dosificación para el hormigón que en combinación con el porcentaje de fibra de palma africana permita alcanzar una base mínima de 210 Kg/cm^2 .

2. Evaluar de manera comparativa los resultados obtenidos de los ensayos para vigas, y cilindros de hormigón con la respectiva composición de fibra al 0.5% de palma africana.
3. Medir y evaluar la disminución de fisuras producida después de haber inducido el proceso de secado en placas de hormigón reforzado con fibras de palma al 0.5%.

1.3 Alcance

Se fabricarán losetas de hormigón reforzado con fibras de palma africana, con una resistencia mínima de 210kgf/cm^2 con fibra de palma africana en el 0.5% en estado natural. Luego se introducen losetas en una cámara especial para inducir las condiciones de viento y temperatura, seguido se inspeccionará las grietas en el hormigón en un periodo de 6 a 8 [h], y se contará con un registro de todo el proceso.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Historia y desarrollo del Hormigón.

El concreto es un material el cual ha sido utilizado por miles de años y su historia se remonta a las antiguas civilizaciones, donde su principal uso era para construcciones, siendo las civilizaciones del antiguo Egipto y los Romanos quienes usaron lo que ellos llamaban “Opus Caementicium” palabras en latín que significaban “trabajo de cemento”. Este cemento estaba constituido principalmente por cal, agua y arena añadiendo una sustancia que se derivaba de la ceniza volcánica la cual era llamada puzolana; al realizar la mezcla, esta era vertida en recipientes donde se procedían a dejar secando y obtener así un material de construcción duradero y resistente (Radić et al., 2008).

Avanzando a la edad media el hormigón no era muy utilizado debido a que se desconocía acerca de las características o propiedades y por consiguiente el cómo usarlo correctamente. En el siglo XVII ya se empieza a utilizar para la construcción haciendo esta su función más generalizada. Y no fue hasta 1756 que Jhon Smeaton realizó experimentos con el concreto en el cual observó que al agregar trozos de rocas se mejoraba la durabilidad y resistencia (Petrescu et al., 2020).

Al transcurrir los siglos en el 19 específicamente, se empezó a cambiar el proceso de fabricación del concreto, volviéndose más moderno y sofisticado con la inclusión de lo que es el cemento portland el cual fue un golpe revolucionario en la industria de la construcción,

debido a que por sus propiedades lo hacían más resistente, duradero en comparación con otros tipos de cemento. Actualmente, se intenta implementar el uso de materiales reciclados en el concreto, con el fin de disminuir el impacto ambiental que generan las construcciones, además de que, al ser el concreto un material muy usado, esto permitiría desarrollar nuevos tipos que sean más ecológicos (Petrescu et al., 2020).

En Ecuador el concreto toma un papel fundamental debido a que es usado en una gran variedad de proyectos de tipo: comercial, residencial, ingenieril además de ayudar en el desarrollo de las infraestructuras y la economía. Actualmente en Ecuador existen varias compañías que producen diferentes tipos de concretos tales como: Holcim, Cemex, Cementos de Costa. Y estas son reguladas por el Ministerio de Vivienda y urbanismo que es el organismo que establece las características de resistencia, calidad y seguridad (Petroche, 2021).

1.4.2 Propiedades generales del hormigón.

El hormigón es uno de los materiales de construcción que poseen una gran resistencia, es fuerte y es ideal para la construcción por soportar cargas y esfuerzos significativos, este material está constituido por una mezcla de cemento, agregado fino (arenas), agua, y agregados gruesos (Rocas). Según refiere Mishra Gopal en su Investigación, en el hormigón las propiedades se encuentran principalmente afectadas debido a la proporción que exista en la mezcla de sus respectivos componentes y aquellas propiedades del concreto se analizan a continuación (Mishra Gopal, 2018):

- Resistencia: Principalmente muy resistente, usualmente con una resistencia de 210 a 280 Kg/cm² y esto le permite soportar el peso de muchos tipos de estructuras.
- Trabajabilidad: Es un material muy trabajable lo que permite moldearlo fácilmente lo cual facilita y beneficia en la construcción.
- Durabilidad: El hormigón tiene una gran durabilidad y puede durar por muchos años debido a su resistencia a la intemperie y descomposición.
- Cohesión: Una de las propiedades principales es la cohesión lo cual permite que no se separe fácilmente y esto ayudara a mantener la integridad con el pasar del tiempo.
- Contracción: Al curarse el hormigón se encoge y esta contracción forman grietas en el material lo que disminuye su integridad estructural.

- **Térmicas:** Al ser el hormigón un buen conductor de calor le da la propiedad de absorber y liberar el calor rápidamente. Y en la construcción se puede usar para entornos de temperatura controlada.
- **Sostenibilidad:** El concreto es un material generoso es decir que puede ser usado con materiales reciclados lo cual permite y lo hace mucho más sostenible.

1.4.3 Componentes del Hormigón.

Según considera C. T. TAM el concreto moderno se basa en 4 componentes básicos que son: agua, cemento portland, piedra y arenas. Sin embargo, se ha ido implementando el uso de aditivos químicos que otorgan características diferentes (Chen & Richard, 2003).

1.4.3.1 Cemento hidráulico.

Según el Concrete Manual MCS, el cemento portland, así como los cementos mezclados son hidráulicos, debido a la reacción de endurecimiento que presentan al interactuar con el agua, la palabra cemento se deriva del latín caementum, pero se utiliza la definición “cemento hidráulico” para definir ambas clases, considerando como predominante en la industria de la construcción al cemento “Portland” (Portland, Mezclados) (Neville et al., 2015).

El cemento Portland fue nombrado así, por su desarrollador Joseph Asphim los elementos que se utilizan en la fabricación del cemento son producto de una selección de mezcla entre marga, arcilla, mineral de hierro, clinker y piedra caliza que son pulverizadas y dosificadas además se suelen hacer análisis de los materiales para garantizar así un cemento Portland de muy buena calidad.

Acorde al INEN los cementos que se empleen en obra deben cumplir lo establecido en la Norma NTE INEN 152, NTE INEN 490 o NTE INEN 2380.

1.4.3.2 Agregados.

Son materiales pétreos naturales o que han sido sometidos a tratamientos físicos o químicos y acorde al America's Cement Manufacturers son provenientes de depósitos de roca sólida o depósitos de arena y grava que se adicionan al cemento, gracias a que ocupan alrededor de tres cuartas partes del concreto los vuelve de mucha importancia para la fabricación del mismo y además estos agregados se agrupan acorde al tamaño que posean (America's Cement Manufacturers, 2015).

Acorde al manual del concreto, estos agregados tienen propiedades importantes tales como la resistencia a la abrasión, estabilidad química para no reaccionar con los alcalinos del cemento (Chen & Richard, 2003).

Así mismo el manual del concreto propone que a medida que la experiencia es adquirida se determina la calidad de un agregado visualmente y luego se determina mediante un análisis químico, y debe tener características específicas para considerarse de calidad como (Neville et al., 2015).

- ✓ Sano y Estable
- ✓ Limpio
- ✓ Fuerte y resistente
- ✓ Bien graduado
- ✓ Forma adecuada
- ✓ Rugoso de textura y que no reaccione

Proporcionan una estructura interna de una masa que permite resistir desgastes ocasionado por cualquier factor externo que actúe sobre el hormigón. Se forma una estructura rígida que le permita resistir esfuerzos y acciones externas.

Según lo establecido en la INEN los agregados deben regirse a los lineamientos que establece la Norma NTE INEN 872 o ASTM C-330 en caso de ser hormigón liviano.

1.4.3.2.1 Agregado fino.

Estos agregados no superan los 4mm o 3/16 in. Para la ASTM la división que separa estos dos tipos de agregados es No. 4 además el agregado fino se refiere a arena producida por la partidura o cribado de rocas o arena obtenida de manera natural (G & L, 2019).

1.4.3.2.2 Agregado grueso.

Usualmente puede ser una grava adquirida a partir de un proceso de trituración o de manera natural, o cualquier piedra que no supere el tamaño de 3/4 in y que no sean menor que la malla No. 4 (America's Cement Manufacturers, 2015).

1.4.3.2.3 Agregado ligero.

Estos agregados producto de la baja densidad que poseen se utilizan para la elaboración de concreto ligero (G & L, 2019).

Tabla 1 Características y normativas de los agregados

Característica	Característica reportada	Normativa Ecuatoriana
Densidad suelta y compactada	Desempeño mecánico	NTE INEN 857:2010
Densidad real en estado superficie saturada seca	Desempeño mecánico	NTE INEN 857:2010
Porcentaje de absorción	Demanda de agua	NTE INEN 857:2010
Módulo de finura	Desempeño mecánico	NTE INEN 872:2011
Tamaño Nominal Máximo (grueso)	Clasificación por tamaño	NTE INEN 872:2011
Contenido de humedad natural	Demanda de agua	NTE INEN 862:2011
Tipo de cemento	Desempeño mecánico	NTE INEN 518:2010 , NTE INEN 872:2011
Densidad real	Desempeño mecánico	NTE INEN 1579:2013
Densidad Aparente	Desempeño mecánico	NTE INEN 1579:2013
Granulometría	Clasificación por tamaño	NTE INEN 872:2011
Resistencia a abrasión y desgaste	Desempeño mecánico	NTE INEN 872:2011

Fuente: (SA, 2022)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

1.4.4 Agua.

El agua es necesaria para la hidratación y que se produzca la reacción química, también mejora la trabajabilidad durante el proceso de mezclado sin embargo el uso excesivo puede alterar o reducir la resistencia. Usualmente se usa agua potable debido a que otras fuentes de agua suelen contener impurezas y eso alteraría o provocaría diferentes efectos en el concreto. Para el uso correcto del agua la normativa que provee información técnica y una guía detallada con los criterios de aceptación del agua es la norma ASTM C94 y BS 3148 o de ser el caso la norma NTE INEN 1108:2020.

1.4.5 Aditivos.

Estos componentes son sustancias que se agregan antes o durante el proceso de mezclado. Se utilizan para alterar en cierta medida las propiedades del concreto, además de reducir su costo, para garantizar la efectividad esta se verá influenciada por diferentes factores como el contenido de agua el tiempo de mezcla la temperatura del concreto y el tipo del mismo y para poder regular estos aditivos químicos se basa en la guía establecida

por la norma ASTM C494 que los clasifica en 7 tipos (American Society for Testing and Material, 2019).

1.4.6 Dosificación de hormigón.

Según expone BECOSAN en su artículo, la finalidad primordial de la dosificación del concreto es la de determinar la proporción que debe escogerse de cada elemento para poder obtener una mezcla que sea resistente, duradera, compacta y se ajuste a los estándares requeridos en obra es decir “LA MEZCLA PERFECTA” (M. Miguel, 2022).

Para la dosificación del hormigón existen varios métodos como lo son:

- ✓ Dosificación del hormigón en volumen
- ✓ Dosificación del hormigón basado en contenido de cemento.
- ✓ Método de dosificación basado en la resistencia a compresión.

El método más aceptable es el establecido por el ACI 211.1-91 tomando en consideraciones que el método no es completamente exacto por ende se procede con el método prueba-error y utilizando los siguientes parámetros:(Structuralia, 2021)

a) Determinación de la Resistencia Requerida [f'_{cr}]

La resistencia del concreto a compresión especificada es una de las características más importantes y generalmente cuando se diseña se establece una resistencia estándar f'_c Para los cálculos y desarrollo, pero cuando se obtiene una resistencia menor a la establecida la estructura o proyecto con el que se trabaje debe disminuir sus factores de seguridad por ende en la normativa ACI 318S-08 se establece que para evitar esto la mezcla debe dosificarse de tal forma que se pueda obtener una resistencia Promedio Requerida f'_{cr} (American Concrete Institute, 2008).

Para el caso en análisis se muestra la tabla del ACI 318S-08 para resistencia requerida promedio:

Tabla 2 Tabla resistencia promedio requerida

Resistencia Especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: (American Concrete Institute, 2008)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

b) Selección del asentamiento.

Según detalla la ingeniera Lina Cure, “el asentamiento es la medida de consistencia del concreto, es decir el grado de fluidez de la mezcla lo cual proporciona una noción de que tan seco o fluido se encuentra el hormigón.” (Cure Lina, 2022)

Tabla 3 Tabla Asentamiento establecido

Tipos de Construcción	Asentamiento, mm	
	Máximo	Mínimo
Fundiciones: Paredes y Zapatas Reforzadas	7.62	2.54
Zapatas simples, y muros de subestructura	7.62	2.54
Losas, Vigas y Paredes reforzadas	10.16	2.54
Columnas de edificaciones	10.16	2.54
Pavimentos y veredas	7.62	2.54
Construcción	5.08	2.54

Fuente:(American Concrete Institute, 2002)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

c) Tamaño máximo nominal del agregado.

Según se expone en la Universidad Militar Nueva Granada “La granulometría del agregado se constituye en base a la distribución de las partículas. Siendo el tamaño máximo nominal determinado mediante la abertura del tamiz superior al que se retenga el 15% o superior del material.”(UMNG, 2017)

Tabla 4 Tabla Tamaño máximo nominal del agregado

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS				
DIMENSIÓN MINIMA DE LA SECCION, cm (pulg)	Tipos de construcción			
	Paredes, vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo
6,4 a 12,7 (2,5 a 5)	12,7 a 1,9 (1/2 a 3/4)	1.9 (3/4)	1,9 a 2,5 (3/4 a 1)	1,9 a 3,8 (3/4 a 1 1/2)
15,2 a 28 (6 a 11)	1,9 a 3,8 (3/4 a 1 1/2)	3.8 (1 1/2)	3.8 (1 1/2)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)
30,5 a 73,7 (12 a 29)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7.6 (3)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7.6 (3)
76,2 o más (30 o más)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	15.2 (6)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7,6 a 15,2 (3 a 6)

Fuente: (American Concrete Institute, 2002)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

d) Cantidad de agua.

La cantidad de agua se ve influenciada en base a aspectos de trabajabilidad, hidratación, adherencia, asentamiento y del porcentaje de absorción del tamaño máximo nominal del agregado (G & L, 2019).

Tabla 5 Tabla cantidad de agua por m³

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMANOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 – 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 – 7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0 – 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 – 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 – 18,0	240	230	210	205	185	180	175
% CONTENIDO DE AIRE	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

Fuente: (G & L, 2019)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMANOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0 – 5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5 – 7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0 – 10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5 – 15,0	210	195	185	180	170	160	155
15,5 – 18,0	215	205	190	185	175	165	160
% CONTENIDO DE AIRE	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Fuente: (G & L, 2019)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

e) Determinación de la relación Agua/Cemento (A/C).

Para determinar la relación agua/cemento no solo debe hacerse en base a los requisitos de resistencia, se debe considerar la durabilidad del concreto, según explica Rivera y Gerardo en su libro Concreto Simple si mantenemos la relación agua/cemento con diferentes materiales se obtienen diferentes resistencias por lo que debe encontrarse una relación que permita trabajar realmente a los materiales usados (G & L, 2019).

Tabla 6 Tabla relación Agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm ²)	Relación Agua Cemento, Por peso	
	Sin inclusión de aire	Con inclusión de aire
422	0.41	-
352	0.48	0.40
281	0.57	0.48
211	0.68	0.59
141	0.82	0.74

Fuente: (American Concrete Institute, 2002)

Elaborado Por: Pablo Castro Molina

f) Fracción de agregado grueso

Para obtener el porcentaje de agregado grueso se hace referencia a la tabla 6 en la cual varía en función del tamaño máximo nominal, y en función del módulo de finura que le corresponde al agregado fino.

Tabla 7 Tabla Porcentaje de Agregado Grueso

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO						
		MÓDULO DE FINURA						
PULGADAS	mm	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3
3/8	9.51	0.51	0.5	0.49	0.48	0.47	0.46	0.44
1/2	12.5	0.6	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.53
3/4	19.1	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.6
1	25.4	0.72	0.71	0.7	0.69	0.68	0.67	0.65
1 1/2	38.1	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.69
2	50.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72
3	76.1	0.83	0.82	0.81	0.8	0.79	0.78	0.76
6	152.4	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.81

Fuente: (ROMERO & HERNÁNDEZ, 2014)

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

1.4.7 Cambios De Volumen Y Contracción Del Hormigon.

Segun el articulo de Markovski en relacion a los cambios de volumen y Contracción del hormigon se pueden presentar en:(Markovski et al., 2012)

- Contracción plástica (Cuando aun se esta uniendo el cemento).
- Contracción debido a la hidratacion.
- Contracción debido a retraccion hidraulica (hormigon endurecido).

1.4.7.1 Contracción Plástica.

Cuando el concreto es establecido en una forma o molde definido, empieza a perder cierta cantidad de agua, ya sea por absorción de agregado o de una subsuperficie seca, evaporación o evacuación, por ende, la contracción que se desarrollan en la superficie de hormigón fresca, en relación a los demás tipos de fisura, es la más grande en cuanto a tamaño puesto que alcanza hasta el 1% del volumen en cemento (Markovski et al., 2012).

En el ACI 305R, se detallan medidas preventivas para la contracción en estado plástico, en especial para las condiciones de evaporación en las que es expuesta la superficie (ACI Committee 305. & American Concrete Institute., 2010).

1.4.7.2 Contracción Química.

Por efecto de la unión química del agua y el cemento en el proceso de hidratación, la pasta de cemento presenta una contracción química lo cual incide en la disminución del volumen de la mezcla del hormigón, como se muestra en la siguiente imagen (Markovski et al., 2012).

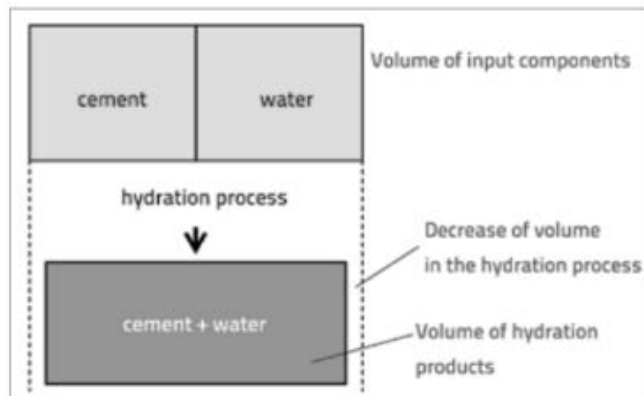


Figura 1 Descripción esquemática del mecanismo de contracción química

Fuente: (Šahinagić-Isović et al., 2014)

En el ACI 305R, se detallan medidas preventivas para la contracción en estado plástico, en especial para las condiciones de evaporación en las que es expuesta la superficie (ACI Committee 305. & American Concrete Institute., 2010).

1.4.7.3 Contracción por secado.

A medida que el hormigón entra en proceso de secado, pierde humedad y esta pérdida de humedad ocasiona una disminución de volumen, debido a la cantidad de agua que se encuentre en la composición, por ende, si la mezcla tiene mayor cantidad de agua también tendrá una mayor contracción o disminución de volumen que las mezclas que poseen una cantidad menor (Neville et al., 2015).

1.4.7.4 Segregación.

Por efecto de la gravedad las partículas sólidas que se encuentran en el concreto fresco, tienden a aglomerarse para luego a causa de un asentamiento de estas partículas, desplazar el agua a la superficie, lo cual produce una contracción en el volumen (Neville et al., 2015).

1.4.8 Estados Y Fisuración Del Hormigón.

Según se expone en el libro “Diseño y control de Mezclas de Concreto”, “el hormigón se caracteriza en dos estados fundamentales; el estado plástico (fresco) y el estado rígido (endurecido), siendo el primer estado el que permite la manipulación y maleabilidad del hormigón y el segundo cuando ya el hormigón ha alcanzado una rigidez tal que impide su manipulación sin presentar daños a su estructura.” (Kosmatka et al., 2004)

Las grietas y fisuraciones en el hormigón se deben a varias causas entre las principales están las que se atribuyen a los cambios en hidratación del cemento, así como las de origen físico y las que se presentan a causa de la oxidación del acero. Estas alteraciones provocan que cuando se tiene elementos de hormigón restringidos y además sometidos a estos cambios, empiecen a producirse esfuerzos de tracción y compresión, los cuales son originado por la contracción y compresión respectivamente (Toirac Corral. José, 2014).

Para mejor análisis las fisuras se clasifican en base al tiempo de ocurrencia, es decir; en el estado plástico o estado rígido, sin embargo, en ambos estados influye mayoritariamente la pérdida de agua del concreto (Neville et al., 2015).

1.4.8.1 Fisuraciones en Estado Fresco.

Las grietas en estado fresco suelen suceder en un lapso de 10 minutos a 6 horas, después de su colocación y se dividen en tres tipos (Beal, 2000).

- Fisuraciones en Estado Plástico
 - Fisuraciones de Asentamiento Plástico
 - Fisuraciones causadas por movimiento de encofrado
- a) Fisuraciones en Estado Plástico

Son producidas principalmente por el rápido secado de la superficie una vez que el concreto ha sido colocado o enmoldado, al mismo tiempo las partículas sólidas se asientan y forman una lámina de agua que se conoce como Evacuación.

Esta fase de evacuación en circunstancias de rápido secado se evapora antes de que el concreto obtenga rigidez (endurezca). Por ende, una vez seca la superficie el agua que se encuentra en el concreto sube a la superficie y luego se evapora, lo que ocasiona que el concreto se contraiga y de paso a la aparición de fisuras, que usualmente son de alrededor de 300 mm a 1 m cerca de la zona media (Beal, 2000).

- b) Fisuraciones por Asentamiento Plástico.

Estas fisuraciones se crean después de colocado y compactado el concreto, cuando el concreto se asienta a través de barras, ductos o alguna alteración del encofrado y llegase a estar restringido por cualquier situación, este asentamiento provocaría una fisuración cerca de esa restricción, sin embargo, estas fisuras no aparecen a causa del rápido secado (Beal, 2000).

- c) Fisuraciones Causadas por movimiento de encofrado.

Se presentan en el momento en que se mueve el encofrado por alguna razón y el concreto ha comenzado a endurecerse, pero sin tener la resistencia requerida para soportar el peso propio (Šahinagić-Isović et al., 2014).

1.4.8.2 Fisuraciones en estado Rígido (seco)

En el estado rígido las fisuraciones son por dos principales razones:

- Cambios de volumen en el concreto
- Reacciones químicas con el concreto debido a expansiones o productos.

1.4.8.3 Crazeing.

Fisuraciones muy finas que aparecen en la superficie del concreto una vez expuesto a la atmosfera por un determinado tiempo, considerando que este tipo de fisuraciones no presentan ningún riesgo para la seguridad estructural del concreto (Šahinagić-Isović et al., 2014).

1.4.9 Fisuración por cambios térmicos.

Cuando la temperatura del hormigón varia a causa de los cambios en el ambiente o a un calor generado en el momento en que el cemento recién se hidrata, siendo el elemento de concreto lo suficientemente grande y aislado de cualquier material adyacente el rango de aparición de grietas es alrededor de las 24 horas (Beal, 2000).

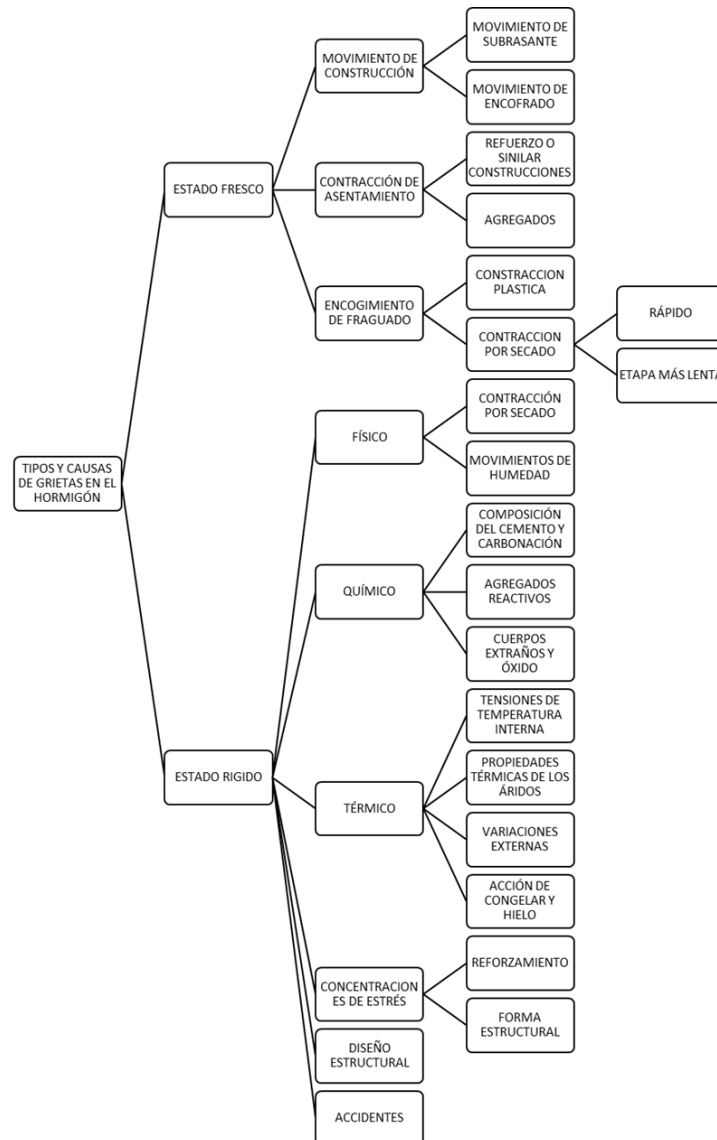


Figura 2 Tipos y Causas de Grietas en el Hormigón

Fuente: (Beal, 2000)

Elaborado Por: Pablo Castro Molina.

1.4.10 Hormigón Con Fibras.

Según se expone en el libro “Tecnología de Concreto y Mortero” la composición es la misma que la de un hormigón normal o ligero al cual se le adicionan fibras discontinuas, las cuales pueden ser; origen natural o sintético. Y es muy utilizado cuando se requiere absorber energía para evitar una falla explosiva. Las más utilizadas son las fibras de acero vidrio y polipropileno (G & L, 2019).

El porcentaje de fibras varían según lo requiera hasta un máximo de 5% por volumen, teniendo en cuenta que los hormigones con el porcentaje en fibra son menos dóciles que

los tradicionales por ende siempre se agrega al final del amasado el porcentaje de fibra (“Standard Especificación For-Reinforced Concrete,” 2007).

Mayoritariamente se usan como refuerzo de morteros o para controlar la fisuración por retracción. La normativa ASTM C1116 define a las fibras como “Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco” (“Standard Especificación For-Reinforced Concrete,” 2007).

1.4.11 Propiedades del concreto con refuerzo de fibras:

“La fuerza de compresión tiende a alterarse con la presencia de fibras, específicamente en el tipo de falla de los cilindros.

La resistencia a flexión tiende a incrementarse o disminuir en función de la adición del porcentaje.

En los hormigones con fibra tiende a haber una resistencia mayor al impacto en comparación con el hormigón normal” (MESTANZA ORELLANA, 2016).

1.4.12 Clasificación de Fibras.

La ACI 544.1R-96 y la ASTM 1116 las clasifican según su funcionalidad y acorde al tipo de material.

Por el tipo de material:

- Sintéticas: Son aquellas fabricadas en base a materiales sintéticos con resistencia al medio alcalino.
- Metálicas: Elementos de pequeña sección y corta longitud y posee características para dispersarse en el hormigón durante su estado plástico (fresco).
- Naturales: Provenientes de origen natural como plantas de palma, abacá, coco, caña de azúcar entre otros.
- Vidrio: Fibras con alta resistencia a alcalinidad.

1.4.13 Fibras Naturales:

Se componen principalmente de: celulosa, lignina y hemicelulosa, estos componentes varían su porcentaje de composición dependiendo el tipo de fibra, por ende, según las características que se deseen obtener, la fibra debe ser bien seleccionada. (Sendra, 2019)

La celulosa determina la resistencia mecánica mientras que la lignina otorga la defensa contra el medio ambiente, así mismo las fibras vegetales poseen características muy ventajosas entre las cuales destacan: son muy accesibles económicamente, baja densidad el procesamiento de obtención es muy sencillo, y poseen características de aislamiento (MESTANZA ORELLANA, 2016).

1.4.14 Uso de Fibras como refuerzo del hormigón.

Actualmente el uso de concreto con fibras es muy utilizado puesto que las fibras tienen roles definidos en la ayuda al concreto tales como: mermar la fisuración a causa de la contracción plástica, minorar la permeabilidad, mejora la resistencia de impacto, y disminuye la fisuración por asentamiento. Pero es el desempeño mecánico en el comportamiento a tensión que la fibra toma su papel relevante.

1.4.15 FIBRA DE PALMA AFRICANA.

1.4.15.1 Características Generales.

“La palma africana proviene de climas cálidos, siendo su origen en la región occidental, pertenece a la familia Arecaceae de la especie *Elaeis Guineensis* Jacq con un porte de palmera monoica y un tronco que alcanza hasta 40 m de altura. Es un árbol que sirve de aspecto decorativo, pero en el ámbito industrial se utiliza para la obtención de aceite, sus hojas son de alrededor de 4 a 5 m de longitud en forma pinada, la palma africana produce frutos en un tiempo de 3 a 4 años de haber sido implantada, Alrededor del 65% de los frutos contenido en los racimos son en peso y volumen, los cuales son separados en un proceso para poder obtener el aceite que contienen” (Talero & Rincon, 2016).

Entre las principales características destaca: Posee una cascara gruesa, la pulpa es el equivalente entre un 35 y 50% del fruto y el endocarpio es de más de 2 mm de espesor, el cual contiene fibras a su alrededor. “Cuando el fruto no posee cascara ni endocarpio y el mesocarpio no contiene fibras esta palma produce pocos frutos en el racimo y se utiliza para mejorar el cruzamiento” (Nathaly et al., 2018).

1.4.15.2 Proceso de Obtención del Raquis de Palma Africana.

a) Esterilización

Limpia los racimos de fruto fresco con vapor de 2.8 bar en un tiempo aproximado de 40 a 60 min y a una temperatura de 145C.

b) Desfrutado.

“En esta etapa se separan los frutos del raquis una vez que los racimos de fruto fresco son esterilizados, se llevan a una tolva desfrutadora, que gira a una velocidad de 21 y 24 rpm. Ahí los frutos dejan el tambor por medio de unas ranuras longitudinales mientras que el raquis se descarga a una banda transportadora donde son trasladados y almacenados temporalmente.” (Nathaly et al., 2018).

1.4.15.3 Raquis de Palma Africana

“El racimo del raquis de la palma africana de aceite es un residuo agroindustrial que resulta del proceso de obtención de aceite de palma africana, donde se genera una gran cantidad de racimos vacíos con un alto contenido de humedad del 60 al 65%, y aun con aceite impregnado propio del proceso de extracción de sus frutos” (Caizaguano & Tandazo Terán, 2020).



Figura 3 Raquis de palma africana

Fuente: (González, 2020)

2 METODOLOGÍA

Para la realización de los ensayos y trabajos experimentales que avalan este proyecto, se hizo uso de una cámara de aire caliente desarrollada por estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional, los ensayos de los materiales y probetas se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR). Se realizaron 3 especímenes de cilindros, placas y vigas con un porcentaje de fibra equivalente al 0.5% de masa del agregado grueso y con la medida de fibra de 4 cm.

2.1 Cámara De Aire Caliente

La cámara de aire caliente fue construida con: 4 planchas de triplex de espesor 9mm, además de una plancha de MDF de 3mm de espesor, una sección de vidrio de 4 mm de espesor, un par de lámparas fluorescentes, un tablón de madera, pegamento industrial. La cámara se modelo en SolidWorks, con tres características principales: la salida de flujo de aire, la abertura para un ventilador y cámara de aire caliente. Constando de una base firme

y fija, que permite que se coloque el anemómetro, la balanza y una estructura móvil (tapa) que permite la colocación de los moldes (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022).

“La cámara consta de un equipo conformado por:

- Sensor para temperatura y velocidad de viento: permite medir la temperatura en el interior de la cámara de aire caliente en el instante que las placas de hormigón se encontraban en proceso de secado
- Calefactor: que se encarga de producir aire caliente con un nivel de calor de 3000-5000 vatios.
- Ventilador: Facilita que el flujo de aire llegue a la superficie de las placas
- Balanza digital: Permite cuantificar la reducción de humedad en la superficie del hormigón” (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022).

2.2 Componentes Del Hormigón.

2.2.1 Agregados

En el presente trabajo se obtuvo los agregados finos y gruesos de la Cantera perteneciente a la empresa Holcim, que se sitúa en el nororiente de Quito en el km 2 ½ vía Baeza. En el proceso de esta investigación se obtuvieron 4 sacos en presentación de 40 kg para cada agregado. Siendo de piedra #8 el correspondiente al agregado grueso y de arena de menos de 4.75 mm para el agregado fino.

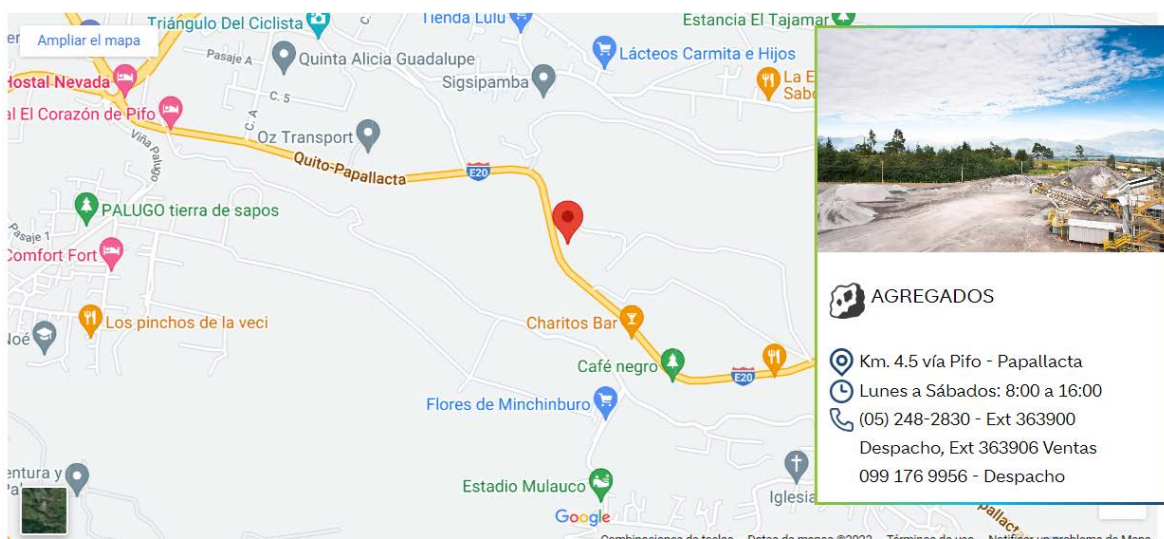


Figura 4 Localización de la Planta de Agregados

Fuente: Holcim

La empresa Holcim entrega los productos con una garantía y análisis de calidad sobre los agregados, sin embargo, en el LEMSUR se realizaron análisis y ensayos con el fin de garantizar que las propiedades de los materiales, eran los requeridos para realizar una mezcla adecuada de hormigón.



Figura 5 Agregados Provenientes de Cantera

Fuente: Pablo Castro Molina

2.2.1.1 Agregado Grueso.

2.2.1.1.1 Granulometría.

“El objetivo de este ensayo es determinar y estudiar el tamaño de partículas y el porcentaje de sedimentos que se encuentran en una mezcla. Para la realización de este ensayo se debe tamizar la muestra, siguiendo los parámetros de calidad y procesamiento establecidos en la Norma ASTM C 136.

Se debe realizar el procedimiento descrito continuación:

En base al tamaño nominal, se debe separar una cantidad de muestra estandar o superior a la que detallada en la normativa INEN 696:2011 para posteriormente ser colocada en un horno durante un tiempo aproximado entre 18 a 24 horas y a una temperatura estimada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Tabla 8 Muestreo En Base Al Tamaño Máximo Nominal

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

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

Una vez que se obtuvo la muestra requerida, ensamblar una columna en orden descendente según lo establece la norma.

Tamiz No.	Abertura [mm]
1/2"	12.50
3/8"	9.50
4	4.75
8	2.36
16	1.18
50	0.300
Bandeja	

Fuente:(NTE INEN 696, 2011)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

Al estar ensamblada la columna se vierte el material muestreado en la parte superior y se cierra, luego se procede a colocar en una tamizadora mecánica para agitarlo en un tiempo aproximado entre 3 a 5 minutos.

Cuando el proceso de agitado ha culminado se debe registrar el porcentaje de material que se retuvo en cada tamiz.

Finalmente, se procede a calcular el módulo de finura del agregado, tomando en cuenta que la formula descrita a continuación en referencia a la norma INEN 696:2011 es válida para agregado grueso y fino” (NTE INEN 696, 2011).

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (N}^\circ\text{100, N}^\circ\text{50, N}^\circ\text{30, N}^\circ\text{16, N}^\circ\text{8, N}^\circ\text{4, 3/8", 3/4", 1 1/2")}{100}$$



Figura 6 Columna de Tamices para Agregado Grueso

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.2.1.1.2 Ensayo de absorción y Densidad relativa.

“La densidad relativa o conocida como gravedad especifica se emplea para medir el volumen que ocupa el agregado en la mezcla de hormigón, en base al volumen final. La norma correspondiente a la ASTM C128 establece densidades de los agregados como las descritas a continuación:

- a) S.H (densidad secada al horno) esta densidad es de la masa del agregado secado al horno por la unidad de volumen de agregado, aquí se incluyen poros que no son saturables obviando los vacíos que puedan encontrarse entre cada partícula.
- b) S.S.S (densidad saturada superficialmente seca), densidad que relaciona la masa saturada del agregado por la unidad de volumen siendo en esta sección donde se incluye el volumen de vacíos y poros saturables dentro de las partículas.
- c) Densidad relativa (S.H), relaciona la densidad Secada al horno DEL AGREGADO y la densidad del agua.

d) Densidad relativa (S.S.S), relaciona la densidad saturada superficialmente seca con la densidad del agua.

En el desarrollo de este proyecto se usó la normativa (NTE INEN 857, 2010) la cual establece los siguientes lineamientos:

1. Una vez muestreado el agregado primeramente se debe lavar el material, con el objetivo de retirar cualquier tipo de polvo o material adherido al agregado grueso, consecuentemente se debe sumergir la muestra en agua en un tiempo aproximado de 24h con una variación máxima de $\pm 4h$ para poder saturar los poros.
2. Una vez transcurrido el tiempo de sumersión del agregado se lo procede a secar para desaparecer láminas visiblemente apreciables de agua (brillo).
3. Finalmente, que se tiene el agregado en condición S.S.S., se procede a determinar la cantidad mínima según la tabla 8” (NTE INEN 857, 2010).

Tabla 9 Masa mínima de agregado requerido para ensayo

Tamaño nominal máximo, mm	<12.5	19	25	37.5	50	63	75	90	100	125
Masa mínima de la muestra para ensayo, Kg	2	3	4	5	8	12	18	25	40	75

Fuente:(NTE INEN 857, 2010)

Elaborado por: Pablo Castro Molina



Figura 7 Proceso de ensayo de Densidad y Absorción

Fuente: Pablo Castro Molina

Tabla 10 Cálculo de Densidades

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Densidad Relativa	Formula
A	Masa de material seco	gr	S.H.	$A/(B-C)$
B	Masa de muestra en superficie Saturada	gr	S.S.S	$B/(B-C)$
C	Masa de muestra Sumergida en agua	gr	Gravedad Especifica	$A/(A-C)$

Fuente:(NTE INEN 857, 2010)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.2.1.1.3 Densidad Aparente

“Esta característica es definida como la relación entre la masa del agregado y el volumen que es ocupado por el mismo, considerando los vacíos que existen entre las partículas.

En un agregado la densidad suelta corresponde a la masa que es requerida para ocupar un volumen determinado. Se realiza debido a que la cantidad de vacíos que se encuentre en las partículas tienden a afectar la porción de pasta requerida para la realización de la dosificación.

Por consiguiente, la densidad compactada difiere de la densidad suelta, en el modelo de desarrollo de ensayo debido a que en el procedimiento de la densidad compactada debe realizarse apisonamiento (compactación) que permita ocupar los vacíos entre las partículas.

El proceso de ensayo se realiza en base a la normativa (NTE INEN 857, 2010).

a) Procedimiento para cálculo de la densidad suelta del agregado grueso:

- Primeramente, se debe seleccionar un molde el cual tenga un diámetro similar a la altura y debe cumplir con los lineamientos establecidos en la tabla 10.

Tabla 11 Capacidad de Moldes para Densidad

Tamaño máximo nominal del árido mm	Capacidad nominal del molde ^A m³ [litros]
12,5	0,0028 [2,8]
25,0	0,0093 [9,3]
37,5	0,014 [14]
75,0	0,028 [28]
100,0	0,070 [70]
125,0	0,100 [100]

Fuente:(NTE INEN 857, 2010)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

- A continuación, se procede a inventariar las propiedades del molde seleccionado tales como: altura, masa, diámetros.
- Una vez determinado y registrado el molde se procede a tomar muestras del agregado colocándolo en el mismo a una altura aproximada de 10 cm, sin compactarlo.
- Finalmente, al estar lleno el molde se hace uso de una varilla que permita retirar el excedente y nivelarlo para posteriormente registrar su masa.
- El ensayo debe ser realizado por duplicado, por ende, se vacía el recipiente y se repiten los pasos nuevamente.

b) Procedimiento para cálculo de la densidad compactada del agregado grueso:

- Se procede en la finalización del paso dos del procedimiento para densidad suelta.
- Se procede a colocar la muestra de agregado en 1 capa equivalente a una 3 parte del recipiente, y con una varilla golpear 25 veces de manera consecutiva y distribuyendo el ripio en todos los espacios vacíos.
- Repetir el paso anterior de manera que se llene el recipiente y se proceda con el registro de la masa respectivo.
- De igual manera se vacía el recipiente y se repiten los pasos debido a que el ensayo debe realizarse por duplicado” (NTE INEN 857, 2010).



Figura 8 Parte de proceso de densidad

Fuente: Castro, Chango y Macias

Para el cálculo de las densidades (suelta y compactada) la normativa sugiere la siguiente ecuación:

$$D = \frac{G-T}{V} \left(\frac{gr}{m^3} \right)$$

Ecu. 1

Donde

- D corresponde a la densidad aparente del árido en (g/cm³)
- G equivale a la masa del agregado + la masa del molde (gr)
- V corresponde al volumen total del molde (cm³)
- T equivale a la masa del molde (gr)

2.2.1.1.4 Ensayo de Abrasión.

“El ensayo de abrasión permite conocer propiedades físicas de los agregados tales como la durabilidad y resistencia que presentan ante el desgaste. En este ensayo se dará a conocer el porcentaje de desgaste que se producirá al estar en constante roce entre el agregado y esferas de acero, así podremos determinar si el agregado seleccionado es el más adecuado para realizar la dosificación y mezcla de hormigón” (Intriago Pilamunga, 2015).

“Para realizar este ensayo se utiliza la “Máquina de los Ángeles” la cual está conformada por: un tambor hueco de acero, un eje longitudinal anclado a un aparato que permite la rotación alrededor de dicho eje” (Intriago Pilamunga, 2015).

“Para este ensayo se hace referencia a la normativa (NTE INEN 860, 2011) y los pasos a ejecutar son:

- Primeramente, se prepara la muestra a ensayar lo cual se realiza lavándola y sometiéndola a un proceso de secado al horno graduado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Después se debe asignar una cantidad en base a la tabla 11, la cual según la normativa específica las fracciones que debe pesar la muestra, la misma que está en función de la granulometría.

Tabla 12 Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño Tamiz		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
37.5	25	1250 ± 25	----	----	----
25	19	1250 ± 25	----	----	----
19	12.5	1250 ± 10	2500 ± 10	----	----
12.5	9.5	1250 ± 10	2500 ± 10	----	----
9.5	6.3	----	----	2500 ± 10	----
6.3	4.75	----	----	2500 ± 10	----
4.75	2.36	----	----	----	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Esferas		12	11	8	6

Fuente:(NTE INEN 860, 2011)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

- Una vez que se establecieron las características del ensayo se colocan las esferas en la máquina, es establece el número de rotaciones considerando que para partículas que posean un tamaño máximo menor a 37.5 mm se establecen a una velocidad promedio de 30 rev/min, inicialmente 100 rotaciones y posterior los 400 restantes para alcanzar un total de 500. Si las partículas poseen un tamaño máximo superior a 19 mm las rotaciones iniciales se establecen en 200 y consecuentemente se establecen 800, alcanzando así un total de 100 rotaciones a la misma velocidad descrita anteriormente.
- Al finalizar la primera ronda de vueltas la muestra debe ser extraída y tamizada por las mallas N°8 y N°12 registrando la cantidad retenida en cada malla para posteriormente ser colocada nuevamente en la máquina para finalizar las rotaciones requeridas.

- Al finalizar, se extrae el material y se repite el proceso de tamizado por las mallas descritas anteriormente y se vuelve a registrar la masa que se retuvo en las respectivas mallas” (NTE INEN 860, 2011).



Figura 9 Proceso de Colocación de Bolas de Acero

Fuente: Castro, Chango y Macias

Una vez recopilado los datos, con las fórmulas establecidas en la normativa correspondiente calculamos de la siguiente manera:

$$V(\%) = \left[\frac{A-C}{A} \right] * 100 \quad \text{Ecu. 2}$$

$$CU = (A - B)/(A - C) \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde:

- ▲ “V corresponde al desgaste por abrasión [%] y CU al coeficiente de uniformidad
- ▲ A equivale a la masa inicial [gr]
- ▲ C corresponde a la masa a las 500 o 100 revoluciones retenido en el tamiz N°12 [gr]
- ▲ Mientras que B es la masa a las 100 o 200 revoluciones que se retuvo en el tamiz N°12 [gr]” (NTE INEN 860, 2011).

2.2.1.1.5 Datos De Ensayos Del Agregado Grueso

Tabla 13 Características del Agregado Grueso

Propiedad	Dato	Unidad
Tamaño Máximo Nominal	3/8"	in
Modulo de Finura	6	-
Densidad Relativa [SH]	2.54	gr/cm ³
Densidad Relativa [S.S.S.]	2.61	gr/cm ³
Densidad Relativa Aparente	2.73	gr/cm ³
Absorción	2.65	%
Densidad Aparente suelta	1.443	gr/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1.519	gr/cm ³
Abrasión	18.76	%
Coefficiente de Uniformidad	0.19	-

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.2.1.2 Agregado Fino.

2.2.1.2.1 Granulometría.

Habiendo definido lo que conlleva y significa un análisis granulométrico se debe mantener los mismos pasos que los descritos en la sección 5.2.1.1.1, tomando en cuenta que para este caso la muestra no depende de una tabla y solo se escoge una masa entre 300 y 500 [gr] además el orden de la columna de tamices debes ser ordenado en base a la Tabla 13

Tabla 14 Columna de Tamices para Agregado Fino

Numero de Tamiz	Abertura [mm]
3/8"	9.5
4	4.75
8	2.36
16	1.18
30	0.6
50	0.3
100	0.15
200	0.075

BANDEJA

Elaborado por: Pablo Castro Molina



Figura 10 Columna Para tamizar Agregado Fino

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.2.1.2.2 Ensayo de absorción y Densidad relativa

El procedimiento que se realizó para el ensayo de agregados finos es el descrito en la normativa (INEN 856, 2010) el cual detalla:

“Muestreo.

- Primero debe secarse la muestra en un horno de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para conseguir una masa que sea constante y la misma debe dejarse en reposo hasta que se enfríe y sea posible su manipulación.
- Sumergir la muestra en agua por un tiempo aproximado de $24\text{h} \pm 4\text{ h}$.
- Para establecer la condición S.S.S. primero se debe eliminar el exceso de agua de la muestra minimizando la pérdida de agregado para posteriormente será cambiado de recipiente.
- Consecuentemente, se debe eliminar la lámina de agua es decir el brillo del agregado, de esta manera se asegura que las partículas no se unan entre sí en una forma muy pronunciada.
- Una vez determinada la condición S.S.S. para proceder a obtener la humedad superficial se debe hacer uso de un envase cuya forma es de un cono truncado el cual debe ser ubicado en una superficie lisa.
- A continuación, se debe colocar la muestra en el interior del envase y asegurándose de desbordar el mismo, luego sostenerlo y golpear 25 veces con un compactador desde una altura promedio de 5 mm para así poder compactar el agregado para el ensayo.
- Finalmente se procede a limpiar cualquier residuo o excedente del recipiente y se alza verticalmente y de manera lenta y cuidadosa. En este punto si la mezcla no se desploma debe colocarse a secar un tiempo adicional, pero si se desploma significa que la muestra está en estado S.S.S.” (INEN 856, 2010).

2.2.1.2.3 Ensayo Para Determinar Densidades

- “Primeramente, se llena un picnómetro hasta la marca establecida con agua a una temperatura aproximada de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Consecuente a esto se debe anotar la masa y la temperatura a la que se encuentra el picnómetro.
- De la muestra en estado S.S.S. se separan 500 gr para ser introducido en el picnómetro y con una adición de agua de tal manera que el picnómetro se ocupe en un 90%.
- Se debe agitar el picnómetro para poder extraer las burbujas de aire que se encuentren en la muestra, en caso de disponer de una bomba de vacío, se puede utilizar tomando en cuenta que no succione o rompa el recipiente.

- Una vez extraídas las burbujas se completa la capacidad del picnómetro con agua, haciéndolo de manera lenta y pegado a las paredes del picnómetro para evitar cualquier introducción de aire.
- Se procede a anotar la masa del picnómetro con la muestra luego se registra la masa de un envase adicional en el cual se debe verter la mezcla para luego secarla en el horno por un tiempo aproximado de 24 h y al transcurrir el tiempo descrito se debe anotar la masa final del agregado fino” (INEN 856, 2010).



Figura 11 Proceso de Obtención de Densidades

Fuente: Castro, Chango y Macias

Cuando se han registrado todos los valores se hace uso de la tabla 14.

Tabla 15 Densidades para Agregado Fino

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Densidad Relativa	Formula
A	Masa de material seco	gr	S.H.	$A/(B+S-C)$
B	Masa del picnómetro + agua	gr	S.S.S	$S/(B+S-C)$
C	Masa del picnómetro + agua + material	gr	Aparente S.S.S	$A/(B+A-C)$
S	Masa del material en s s s	gr	Absorción	$100*[(S-A)/A]$

Fuente:(INEN 856, 2010)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.2.1.2.4 Densidad Aparente

El procedimiento es el mismo a seguir que el descrito en la sección 5.2.1.1.3

2.2.1.2.5 Contenido Orgánico.

La principal característica de este ensayo es verificar que tan aceptables en base a los lineamientos establecidos en la ASTM C33 son los agregados finos. Se realizó el ensayo con los estándares de la norma (INEN 855, 2010) y en base a esto se determina si existen impurezas orgánicas en grandes proporciones que pueden alterar la calidad del agregado y por consiguiente la mezcla. Este ensayo es de carácter obligatorio para agregados finos a utilizarse en hormigones con cementos hidráulicos o morteros.

Procedimiento a seguir:

“Se toma una muestra aproximada de 450 gr de masa.

- Luego se procede a verter el material de manera que se ocupe un volumen aproximado de 130 cm³ en el interior de un recipiente transparente que permita la visualización del material y ensayo en general.
- Se debe introducir una solución de hidróxido de sodio hasta alcanzar un volumen aproximado de 200 cm³ entre la masa de la muestra y la solución
- Finalmente se sella la botella luego se agita para mezclar y que reacciones la solución con la masa para proceder a dejar la botella en reposo por un tiempo de 24 h.

Se debe utilizar la tabla de Gardner para comparar el color” (INEN 855, 2010).

Tabla 16 Escala De Color Estandarizada Para Comparación

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

Fuente:(INEN 856, 2010)

Elaborado por: Pablo Castro Molina



Figura 12 Proceso de Ensayo de Contenido Orgánico

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.2.1.2.6 Datos De Ensayos Del Agregado Fino

Tabla 17 Características del Agregado Fino

Propiedad	Dato	Unidad
Densidad Relativa [SH]	2.57	gr/cm ³
Densidad Relativa [S.S.S.]	2.63	gr/cm ³
Densidad Relativa Aparente	2.74	gr/cm ³
Absorción	2.39	%
Densidad Aparente suelta	1.67	gr/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1.773	gr/cm ³

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.2.2 Cemento

Para el desarrollo de la fase experimental del proyecto, se usó el cemento Portland Holcim Fuerte Tipo GU, debido a que gracias a sus propiedades y estándares de calidad cumple la norma (INEN 2380, 2011). El diseño del cemento descrito es para cualquier tipo de construcción.

2.2.2.1 Densidad Real del Cemento

La característica de densidad real de cemento permite determinar la relación que existe entre una determinada masa de cemento y el volumen de reactivo (querosén) en el cual se va a desplazar en el envase de ensayo (Frasco de Le Chatelier). La norma que regula el ensayo mencionado es la (INEN 156, 2009),

Procedimiento de realización de ensayo de densidad:

“Se muestrea aproximadamente 64 g y se utilizara querosén con una densidad superior a 0.73 g/cm^3

Se debe verter la cantidad necesaria de líquido en el frasco de Chatelier en una cantidad aproximada de 0 a 1 cm^3 .

Una vez colocado el líquido en el envase se debe sumergir el frasco en agua la cual debe estar a una temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, para después proceder a anotar el primer Volumen y la masa del envase con el reactivo en dichas condiciones.

Se procede a colocar el cemento en el interior del frasco hasta alcanzar una medida aproximada entre 18 y 24 cm^3 para inmediatamente después proceder a colocar la tapa y extraer el aire encapsulado a través de rotaciones del frasco.

Finalmente, se procede a ubicar el frasco con agua en las condiciones que se establecieron inicialmente y se vuelve a anota el volumen que se obtiene y la masa final del frasco con cemento y líquido” (INEN 156, 2009).



Figura 13 Parte del proceso de ensayo de densidad real del cemento

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.3 Fibra de Palma Africana.

2.3.1 Origen.

La procedencia del raquis de palma africana utilizado en este proyecto fue gracias a la donación de la planta extractora de la Fabril ubicada en la Vía Quevedo en el Sector Patricia Pilar. Donde se procedió a seleccionar los raquis en el área trasera de la extractora.



Figura 14 Proceso de Selección del Raquis

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.3.2 Proceso de extracción de las fibras.

Primeramente, se procedió a limpiar y desinfectar la fibra sometiéndola a un baño de agua a una temperatura cercana a 100°C.



Figura 15 Proceso de limpieza de la fibra

Fuente: Pablo Castro Molina

Para desfibrar el raquis se lo puede hacer con una cierra o manualmente pero siempre en estado húmedo para mayor facilidad para efectos de este proyecto se optó por la segunda opción.



Figura 16 Proceso para la fibra

Fuente: Castro, Chango y Macias

Una vez desfibrado el raquis se abren las espiguillas superiores las cuales nos entregaran la fibra y se agrupan en pequeños paquetes para finalmente cortarlas en una longitud determinada.



Figura 17 Fibras Separadas y Cortadas

Fuente: Castro, Chango y Macias.

2.3.3 Longitud y Corte de las Fibras.

Para el corte de las fibras se hizo uso de un flexómetro y se usó la medida aproximada de 4cm, la cual está establecida en la normativa ACI 544-1R-96.



Figura 18 Proceso de Cortado de las fibras

Fuente: Castro, Chango y Macias.

2.4 Ensayos

2.4.1 Ensayos Aplicados a la Fibra de Palma Africana

La fibra debe someterse a ensayos para poder caracterizarla, para esto se realizan ensayos de elongación, tenacidad, contenido de humedad. Estos ensayos se realizaron en el Centro Textil Politécnico, en el cual se hizo entrega de una muestra de 50 fibras, mismas que se registró su masa y longitud.

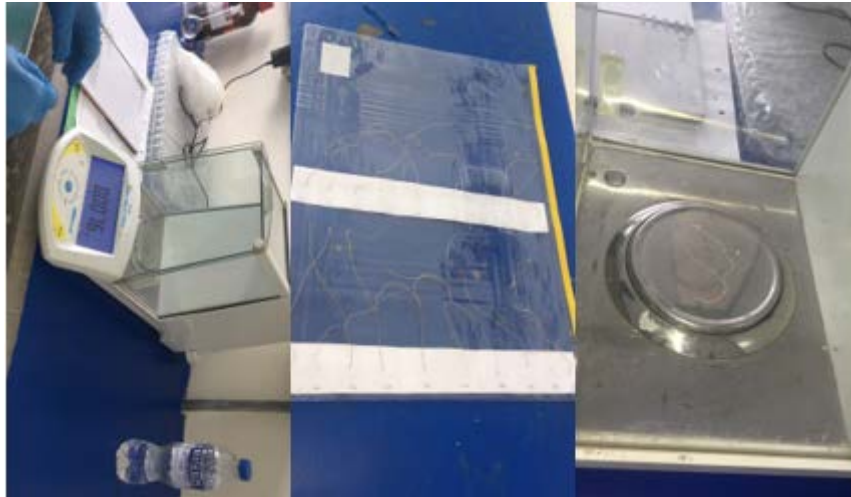


Figura 19 Proceso de registro de fibras

Fuente: Castro, Chango y Macias.

- Densidad Absoluta. Determina si el material es más versátil al ser liviano.
- Elongación. Determina el porcentaje que se estira con relación a la longitud primaria de la fibra.
- Tracción directa. Da como resultado la fuerza en la que la fibra alcanza su rotura al haberse estirado.
- Contenido de Humedad. Debido a que las fibras naturales absorben un porcentaje alto de agua, se debe realizar el ensayo de contenido de humedad a con la formula:

$$\text{Absorción de agua} = \frac{\text{Masa sumegida} - \text{Masa secca}}{\text{secado masivo}} * 100\%$$

Ecu. 4

2.5 Ultrasonido.

“Las métodos ultrasónicos hacen referencia al proceso de inspección en el que se usa un transductor piezoeléctrico el cual genera e induce energía ultrasónica en el material. Esta energía interactúa con el material que se está inspeccionando propagándose a lo largo de este y retornando la energía cada vez que exista un cambio en las propiedades acústicas del material” (Fernando et al., 2009).

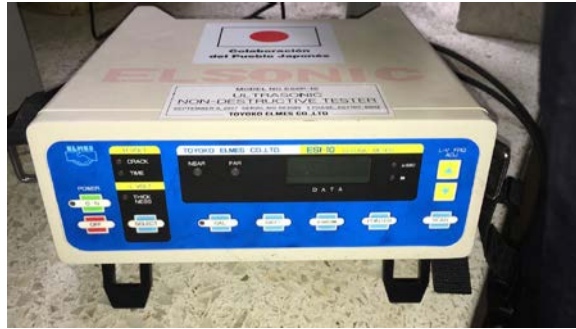


Figura 20 Equipo de ultrasonido para medir fisuras

Fuente: Pablo Castro Molina

2.5.1 Procedimiento.

Existen tres formas las cuales son: de manera directa, semidirecta e indirecta, las cuales se representan en la figura.

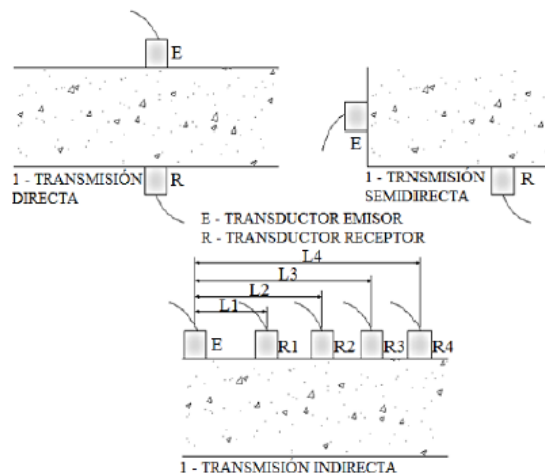


Figura 21 Métodos de Ultrasonido

Fuente:(Sendra, 2019)

Se coloca fijamente un transductor y el siguiente se desplaza una distancia determinada.

2.6 Ensayo de Probetas

Se diseñaron tres tipos de probetas para dos configuraciones diferentes las cuales son: 3 cilindros y 3 vigas, el motivo por el cual se realizó tres probetas es para poder tener un promedio más acertado en caso de que los valores tiendan a ser dispersos y los ensayos se realizaron a los 28 días de curado, en el LEMSUR.

2.6.1 Ensayo de Compresión

2.6.1.1 Procedimiento

Al haber finalizado el proceso de curado se deben retirar los cilindros evitando perder humedad.

Luego se procede a revisar la perpendicularidad con una escuadra.

Se registra datos de diámetro y altura por duplicado.

A continuación, se debe realizar las correcciones establecidas en este caso se utilizó soportes especiales para la parte superior e inferior del cilindro.

Se recopilan los resultados en la hoja de datos en el instante que falle el cilindro, sin olvidar registrar el tipo de falla que se produjo.

Considerando en la nomenclatura a P_{mx} Como la carga máxima en [KN], A como el área de la sección transversal en [mm²] y el D equivalente al diámetro promediado entre los valores registrados [mm], f como factor de conversión equivalente a 10197.2 lo cual permitirá obtener el resultado en [kgf/cm²], teniendo en cuenta lo previamente descrito se debe utilizar la formula descrita a continuación para calcular la resistencia a compresión del hormigón:

$$f'c = \frac{P_{mx}}{\frac{\pi * D^2}{4}} * f$$

Ecu. 5

2.6.1.2 Tipo de Falla

“Existen 6 tipos de falla:

- **Tipo I.** Formación de conos en ambos extremos razonablemente bien formados.
- **Tipo II.** Cono bien formado en uno de los extremos, o formación de fisuras verticales que recorren a través de la cabecera.
- **Tipo III.** Presenta fisura vertical columnar a través de ambos extremos.
- **Tipo IV.** Fractura directa diagonal sin la presencia de Fisuras.
- **Tipo V.** Fracturas laterales o en los externos superiores o inferiores.
- **Tipo VI.** Es similar al tipo V, pero el cilindro está en la punta” (NTE INEN 1573, 2010).

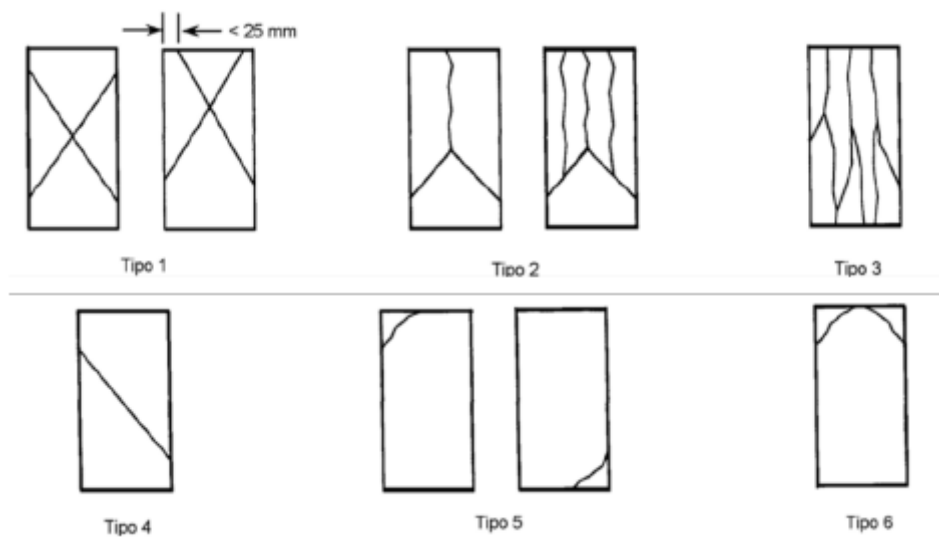


Figura 22 Tipos de Falla según la normativa

Fuente:(NTE INEN 1573, 2010)

2.6.2 Ensayo a Flexión

“Se utiliza el ensayo para establecer la resistencia a flexión de los especímenes que cumplan con las normas ASTM C42, C31, C192. Consta en una viga de hormigón simplemente apoyada en los extremos la cual se carga en cada tercio de luz libre hasta que dicha viga sea alcance su punto de rotura, para este ensayo se utiliza una velocidad constante y una carga continua.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron vigas de 40x10x10 cm las cuales se ensayaron siguiendo las directrices de la normativa” (NTE INEN 2554, 2011) .

La imagen a continuación describe de manera breve el proceso en la normativa:

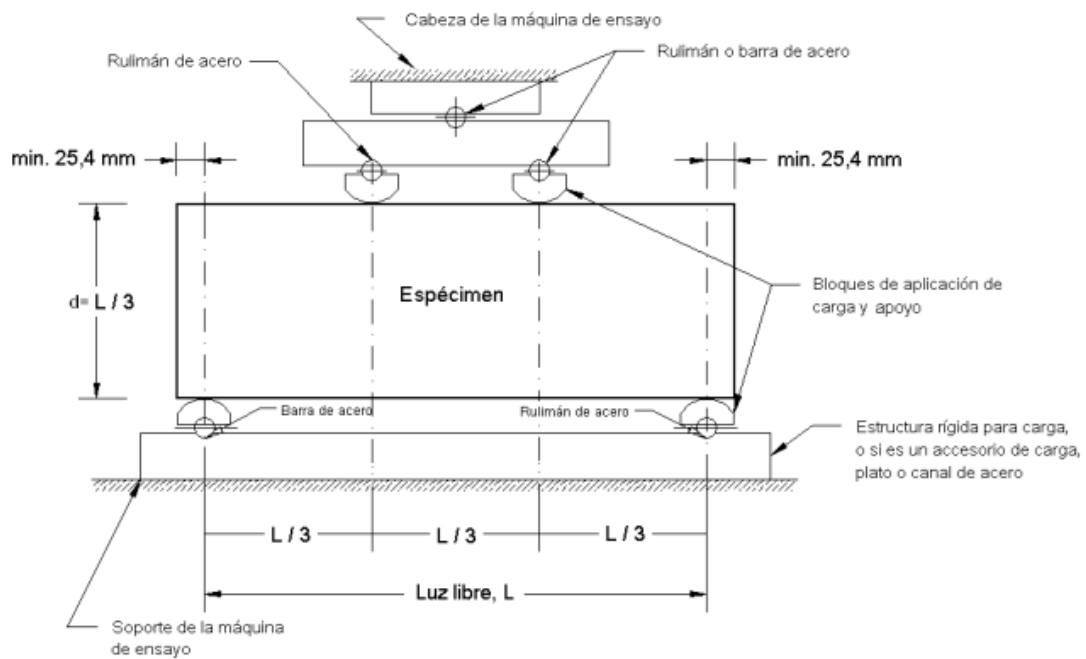


Figura 23 Ensayo a Flexión

Fuente: (NTE INEN 2554, 2011)

Tabla 18 Cálculo de la velocidad de Carga

Velocidad de Carga			
Nomenclatura	Descripción	Unidades	Formula
r	Velocidad de carga	N/min	$r = \frac{Sbd^2}{L}$
S	Velocidad de incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción	Mpa/min	
b	Promedio del ancho del espécimen	mm	
d	Promedio de la altura del espécimen	mm	
L	Luz libre de la viga	mm	

Fuente:(NTE INEN 2554, 2011)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

Tabla 19 Cálculo Modulo de Rotura

Modulo de rotura			
Nomeclatura	Descripción	Unidades	Formula
R	Módulo de rotura	Mpa	Si la fractura se da dentro del tercio medio de luz libre Si la fractura se presenta fuera del tercio medio de luz libre, pero no más allá del 5%
P	Carga máxima aplicada resultante de la máquina de ensayo	N	$R = \frac{PL}{bd^2}$ $R = \frac{3Pa}{bd^2}$
L	Luz libre	mm	
b	Promedio del ancho del espécimen en la fractura	mm	
d	Promedio de la altura del espécimen en la fractura	mm	
a	Distancia entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga	mm	

Fuente:(NTE INEN 2554, 2011)

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.7 Hormigón Reforzado con Fibra de Palma Africana

2.7.1 Número y tipo de Especímenes.

Para este ensayo se realizaron 3 especímenes los cuales son: placas, vigas (40x40x10) [cm] y cilindros (10x20) [cm]; los cuales servirán para caracterizar y determinar la resistencia a compresión, flexión, evidenciar fisuras entre otras características descritas previamente. La tabla 19 presenta un resumen de los especímenes y su composición porcentual.

Tabla 20 Probetas Para ensayo

Porcentaje de Fibra	Placas	Vigas	Cilindros
Sin fibra	3	3	3
Fibra sin Tratamiento	3	3	3
Total de especímenes tipo	6	6	6
Total de probetas	18		

Elaborado por: Pablo Castro Molina



Figura 24 Vista de cilindros y placas realizados

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.7.2 Disposición Porcentual de La mezcla.

Debido a que el proyecto realizado se basaba en una metodología experimental, hubo la necesidad de experimentar con diferentes dosificaciones que permitan satisfacer los requerimientos previamente descritos en secciones anteriores.

Primeramente, se diseñó una dosificación sin incluir la fibra de palma africana, que cumpla con la resistencia básica requerida a compresión y a partir de ahí, una vez verificado la resistencia se reemplazó un porcentaje de agregado grueso por un porcentaje de 0.5% de fibra de palma africana.

2.7.2.1 Dosificación.

En base a un estudio preliminar elaborado por tesis de la Escuela Politécnica Nacional, se optó por utilizar un agregado grueso de 3/8", el cual es conocido como chispa, La dosificación descrita está elaborada con base a la normativa ACI y misma con la cual se desarrollaron 3 cilindros sin fibra, dichos cilindros fueron ensayados al llegar los 7 días de curado, dando como resultado una resistencia equivalente al 67% de la resistencia esperada, por lo cual se decidió proceder con el ensayo de los especímenes. A continuación, se detalla en la tabla la dosificación final con la cual se elaboraron los especímenes:

Tabla 21 Dosificación Final

Componente	Cantidad en volumen real (cm ³)	Relacion Componente/Cemento	Densidad Real (Kg/cm ³)
Agua	243	1.52	1
Cemento	159.75	1	2.87
Arena	334.30	2.09	2.63
Ripio	232.95	1.46	2.61

Elaborado por: Pablo Castro Molina

2.7.2.2 Cantidad de Fibras

Es de alta relevancia el porcentaje de fibra que se añade a la mezcla, para el proyecto desarrollado se utilizó un porcentaje equivalente al 0.5% el cual se transformó en masa para poder remplazar fibra por masa del agregado, se utilizó la ecuación descrita a continuación:

$$M = W_{t-a} * f \quad \text{Ecu. 6}$$

Donde M corresponde a la masa de la fibra en [Kg], W_{t-a} Equivale a la masa total del agregado grueso en [kg], y f corresponde al porcentaje de fibras

2.8 Placas De Hormigón Reforzado Con Fibra

Al haberse determinado la dosificación necesaria para cubrir los requisitos de resistencia mínima y fisuras en el hormigón, se procedió con el proceso de hormigonado en las placas según se describe a continuación:

- Preparación de los moldes vertiendo una capa de aceite con una brocha para evitar complicaciones al momento de desmoldar.
- Preparar la dosificación determinada previamente y verterla en los moldes de 60x40x2.5 [cm] previamente aceitados.
- Compactar con una varilla en un promedio entre 15 y 18 varillados.
- Alisar la superficie para obtener una mejor apreciación de las fisuras.



Figura 25 Proceso de alisado de la placa de hormigón reforzado con fibra

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.9 Condiciones Inducidas de Secado.

2.9.1 Velocidad del viento

“La inducción de viento se realizó con el uso de un ventilador que cuenta con tres velocidades, considerando que esta velocidad se vio afectada por la colocación del calefactor ya que al estar en frente del ventilador obstruía el flujo del viento” (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022).

Para llevar un control de la velocidad se hizo uso de un anemómetro el cual es un aparato que permite medir la velocidad y temperatura en el instante de realización del ensayo.



Figura 26 Aparato de medición de velocidad y temperatura

Fuente: Castro, Chango y Macias

2.9.2 Inducción de temperatura

Para la inducción de temperatura se usó un calefactor el cual posee una potencia de 5000 vatios, alcanzando una temperatura de 60 °C, misma que se tomó registro durante el ensayo y se mantuvo constante. Sin embargo, debe considerarse que el anemómetro alcanza a digitalizar una temperatura máxima de 60 °C, razón por la cual se toma con valor referencial máximo, la temperatura de 60 °C.

2.10 Medición de Fisuras.

2.10.1 Longitud de Fisuras.

En el ensayo fue necesario remarcar con resaltador verde y amarillo las placas para poder determinar las fisuras en las placas con 0.5% de fibra y 0% de fibra respectivamente, que aparecieron luego del proceso de inducción de secado de 6 horas. Así mismo para agilizar la medición en un área completa de la placa se utilizó el software de ingeniería AutoCAD, programa mediante el cual se escalaron fotografías de las placas y se realizaron líneas que den como resultado una longitud total de fisuras y proceder a su análisis respectivo.

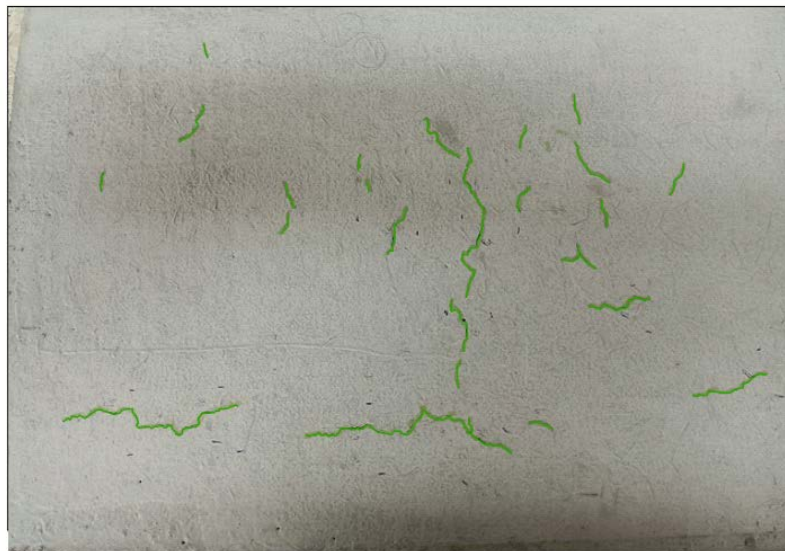


Figura 27 Placa con 0.5% de fibra de palma, con fisuras después de 6h

Fuente: Castro, Chango y Macias

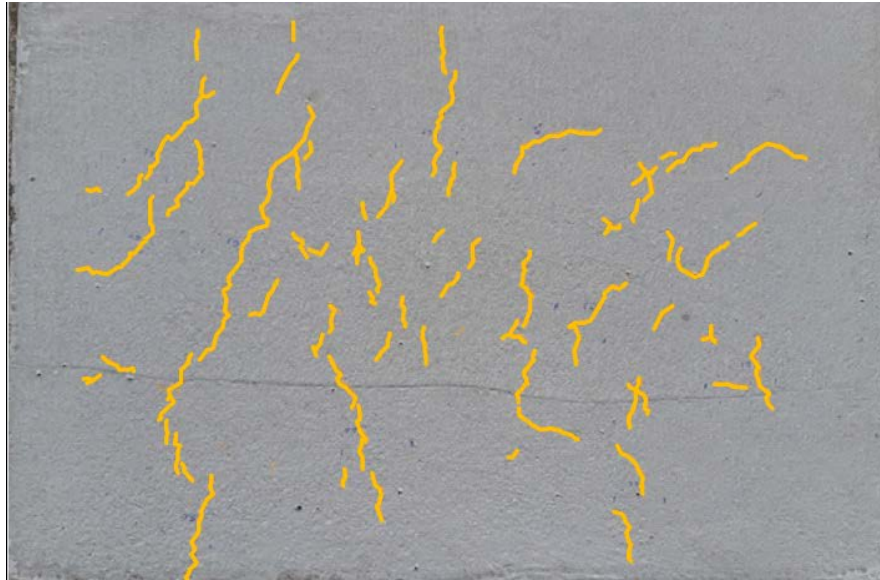


Figura 28 Placa sin adición de fibra de palma, con fisuras después de 6h

Fuente: Castro, Chango y Macias

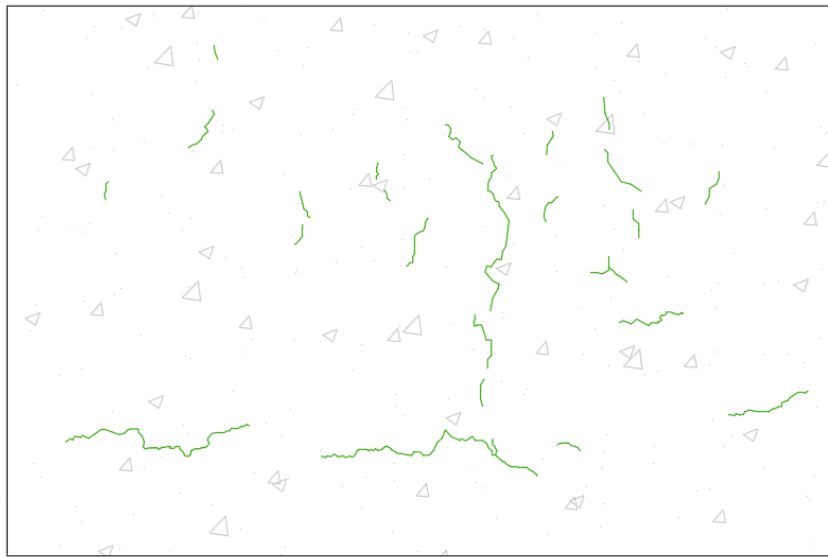


Figura 29 Placa con 0.5% de fibra de palma, escalada con AutoCAD

2.10.2 Hundimiento de fisuras

Para poder determinar la profundidad que poseen las fisuras se utilizó, un equipo de ultrasonido el cual permite calcularla mediante dos sensores que se deben utilizar siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

“Primeramente, colocar el ultrasonido en una base estable.

Verificar que la placa este ubicada sobre una superficie llana debido a que al ser de 2.5 [cm] de espesor puede producir errores.

Una vez establecidos los equipos se conecta y enciende la fuente de alimentación, a continuación, con el comando [Select] se selecciona la opción [CRACK].

Se calibra el equipo con el tubo que viene establecido incluido con el equipo.

Seleccionar una grieta y colocar ambos sensores en puntos equidistante del centro de la grieta, luego se mantiene un sensor fijo y aleja gradualmente el otro sensor hasta que en la pantalla de comandos la iluminación torne de un color rojo y el equipo suene, luego se marcan ambos puntos desde la grieta” (Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022).

Finalmente, según el manual del ultrasonido se calcula de la siguiente manera:

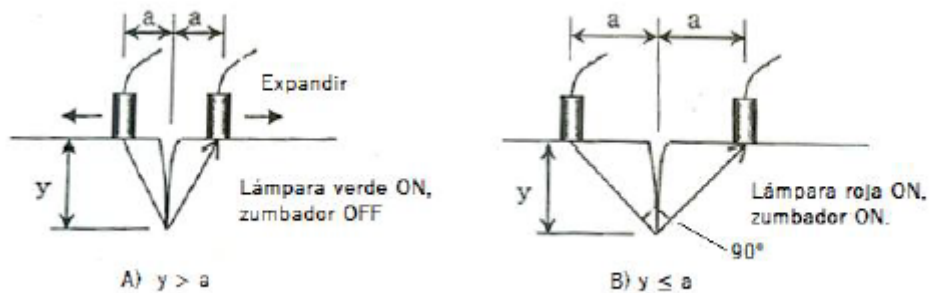


Figura 30 Procedimiento para el uso de los sensores

Fuente:(Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022)

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

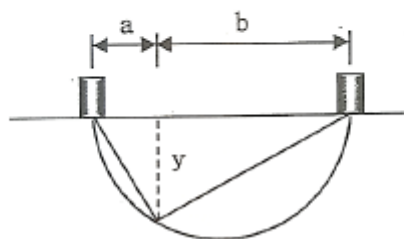


Figura 31 Cálculo de la profundidad

Fuente:(Amaguaña Pilicita & Guamán Mugmal, 2022)

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Características de la fibra

Gracias a la ayuda del Centro Textil Politécnico de la Escuela Politécnica Nacional se determinó las propiedades de la fibra de palma africana misma que se describe en la tabla 21.

Tabla 22 Características de la fibra de Palma Africana

Característica	Media	Desviación Estándar
Vel. Prueba [mm/min]	30	0
Fuerza Rotura [N]	8.85	1.76
Elongación [mm/mm]	0.0931	0.03
Densidad Lineal [tex]	90.63	11.23
Tiempo al Break [s]	19.2	6.2
Tenacidad [N/tex]	0.098	0.02
Contenido de humedad [%]		8.5

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.2 Inducción de Temperatura y Velocidad de Viento.

Se utilizó la cámara de aire descrita en la sección anterior para poder inducir una condición de temperatura y velocidad la cual usando el anemómetro para su registro dio como resultado una temperatura de 60 °C y una Velocidad promedio de:

Tabla 23 Condiciones de Viento y temperatura

Niveles	Velocidad máxima solo del ventilador [m/s]	Velocidad máxima obtenida del ventilador con el calefactor [m/s]
1	4.82	0.8
2	5.7	2
3	6.85	3.3

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.3 Dosificación

En esta sección se procede a describir la masa de cada uno de los componentes de la dosificación sin adición de fibra, así como también la dosificación con la respectiva corrección al agregar la fibra de palma africana. Se debe mencionar que para la adición de la fibra fue necesario establecer la condición S.S.S. la cual se obtuvo al sumergir la fibra por un tiempo aproximado de 24 h, con esto se evita alteraciones en la relación agua/cemento.

3.1.3.1 Dosificación en Placas

Se elaboró dos dosificaciones para la placa de 60x40x2.5 una la cual no considera la adición de fibras y otra incluyendo un porcentaje de 0.5% en sustitución de masa del agregado grueso tal como lo describen la tabla 22 y 23 respectivamente:

Tabla 24 Dosificación para Placas sin adición de fibra

***DOSIFICACIÓN PARA LAS PLACAS SIN
FIBRA***

1.7480	kg	Agua
2.8610	kg	Cemento
5.4862	kg	Arena
3.7939	kg	Ripio

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Tabla 25 Dosificación para Placas con 0.5% de adición de fibra

***DOSIFICACIÓN PARA LAS PLACAS CON
0.5% DE FIBRA***

1.7480	kg	Agua
2.8610	kg	Cemento
5.4862	kg	Arena
3.7750	kg	Ripio
0.0190	kg	FIBRA

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.3.2 Dosificación de Cilindros y Vigas

Para poder establecer la resistencia a compresión y flexión se elaboraron especímenes con dosificación sin adición de fibra, mismas que se llevó a cabo el ensayo a los 28 días de curado. La tabla 24 y 25 muestran la composición de la mezcla de los cilindros y vigas sin adición de fibra respectivamente.

Tabla 26 Dosificación Para 1 Cilindro Sin Adición De Fibra

DOSIFICACIÓN PARA 1 CILINDRO SIN ADICIÓN DE FIBRA

0.3817	kg	Agua
0.7202	kg	Cemento
1.3810	kg	Arena
0.9550	kg	Ripio

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Tabla 27 Dosificación Para Viga Sin Adición De Fibra

DOSIFICACIÓN PARA VIGA SIN ADICIÓN DE FIBRA

1.1205	kg	Agua
1.8340	kg	Cemento
3.5168	kg	Arena
2.4320	kg	Ripio

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Tabla 28 Dosificación Para Vigas Con 0.5% De Fibra

DOSIFICACIÓN PARA VIGAS CON 0.5% DE FIBRA

1.1205	kg	Agua
1.8340	kg	Cemento
3.5168	kg	Arena
2.4198	kg	Ripio
0.0122	kg	fibra

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Tabla 29 Dosificación Para 1 Cilindro Con 0.5% De Fibra

DOSIFICACIÓN PARA 1 CILINDRO CON 0.5% DE FIBRA

0.3817	kg	Agua
0.7202	kg	Cemento
1.3810	kg	Arena
0.9503	kg	Ripio
0.0048	kg	fibra

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.4 Análisis de fisuras.

3.1.4.1 Longitud de Fisuras

En la tabla 29 se describe la longitud de fisuras que se presentaron en la placa luego de haber sido sometido a las condiciones de viento y temperatura previamente descritas y habiendo transcurrido las 6 h en la cámara.

Tabla 30 Longitud de fisuras Producidas en placas

Composición	Placa	Longitud (cm)
Sin adición de fibra	1	197.7
	2	242.008
	3	106.91
Con 0.5% de adición de fibra de palma	1	110.802
	2	116.173
	3	120.087

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

En la Figura 29 se puede apreciar que las placas con una adición del 0.5% de fibra tiende a presentar menor longitud de fisuras en comparación con las placas elaboradas con la composición inicial sin adición de fibra, esta reducción en la longitud de las fisuras promediadas disminuye un 36.50% lo cual es de mucha relevancia para el desarrollo de futuras dosificaciones.

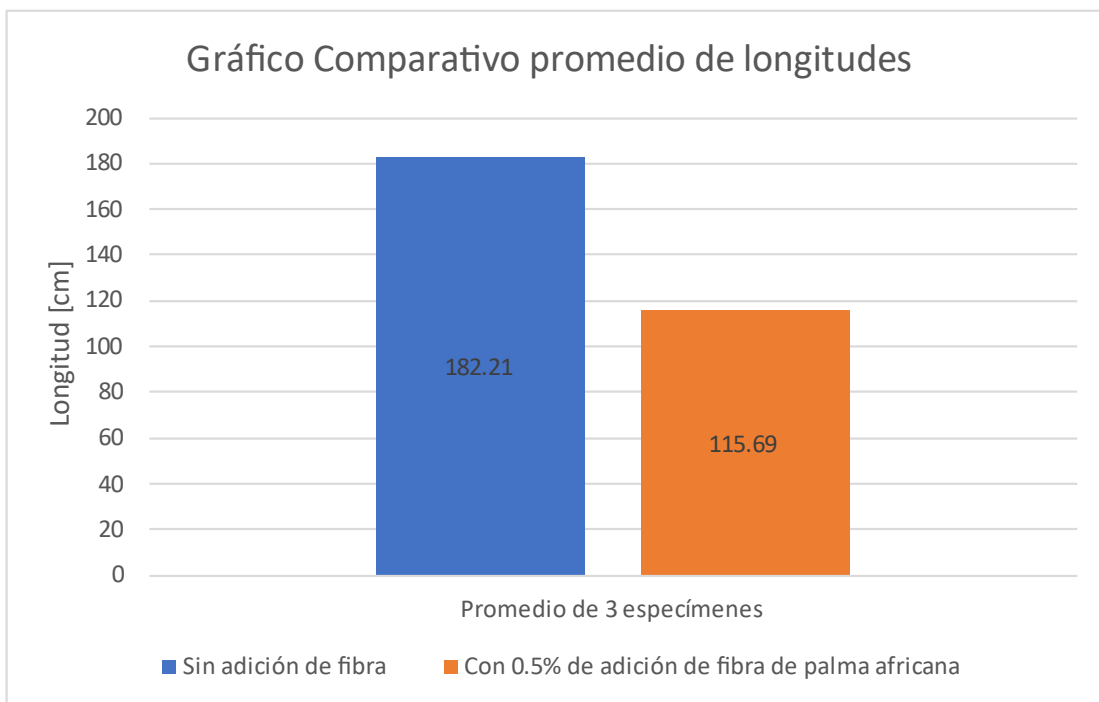


Figura 32 Comparación de longitud de fisuras

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.4.2 Profundidad de Fisuras

Los resultados comparativos entre las profundidades de las grietas en placas con y sin fibra al 0.5% respectivamente se encuentran detallados en la tabla 30, así mismo se aprecia que la fisura máxima se encuentra en la placa 1 y 3 sin adición de fibra, la cual consta con una profundidad de 2.5 cm.

Tabla 31 Profundidades de las fisuras de las placas

Numero de Fisura	Profundidad en [cm]					
	Placas sin Fibras			Placas con Fibra sin tratar al 0.5%		
	1	2	3	1	2	3
1	2.49	2.32	2.50	1.94	1.74	2.05
2	2.50	1.73	2.50	2.11	1.65	1.94
3	1.65	1.94	2.50	1.73	2.05	2.33
4	2.29	1.55	2.50	2.08	1.94	1.75
5	1.86	2.01	1.82	1.94	1.69	1.84
6	2.09	2.22	1.73	1.50	2.12	1.90
7	1.82	1.82	1.73	1.73	2.01	2.30
8	1.94	1.60	1.50	1.60	2.00	2.01
9	2.01	2.01	2.45	1.82	1.94	2.06
10	1.50	1.73	1.50	1.94	2.24	1.94

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

3.1.5 Características de los Especímenes

3.1.5.1 Ensayos de Resistencia a Compresión

Los cilindros fueron ensayados a compresión para obtener sus características de: densidad y resistencia a compresión.



Figura 33 Cilindros previos a ser ensayados

Fuente: Castro, Chango y Macias

3.1.5.1.1 Densidad

La densidad media de los cilindros es descrita en la tabla 31

Tabla 32 Densidad de Cilindros [T/m³]

Especímen	Código	Densidad [T/m ³]	Media
Cilindro Sin fibra	SF1	2.4802	2.506
	SF2	2.5353	
	SF3	2.5022	
Cilindro con Fibra sin tratamiento al 0.5%	ST51	2.4361	2.458
	ST52	2.5022	
	ST53	2.4361	

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Como se aprecia en la tabla descrita previamente la media con respecto a la densidad es un 1.91% más baja en los cilindros con fibra al 0.5%.

3.1.5.1.2 Resistencia a la Compresión

Se presenta una tabla en la cual se describe los resultados esperados y los obtenidos en el ensayo a compresión de cilindros sin fibra y con la adición de 0.5% de fibra.

Tabla 33 Resistencia de cilindros [Kgf/cm²]

Espécimen	Código	Resistencia Base Requerida [Kgf/cm ²]	Tiempo de Curado [días]	Resistencia Obtenida a compresión [Kgf/cm ²]	Media [Kgf/cm ²]
Cilindro Sin fibra	SF1	210	29	250.851	245.073
	SF2			243.713	
	SF3			240.654	
Cilindro con Fibra sin tratamiento al 0.5%	ST51	210	28	239.634	242.693
	ST52			257.989	
	ST53			230.457	

Elaborado por: Pablo Castro Molina.

Como se detalla en la tabla previamente descrita los cilindros sobrepasa la base mínima requerida de 210 Kgf/cm² y podemos evidenciar que los cilindros con adición de fibra al 0.5% presentan una disminución aproximada de 0.97% en la resistencia a compresión.

3.1.5.2 Ensayo de Resistencia a Flexión

Se realizaron ensayos con el objetivo de establecer la carga máxima de rotura y el módulo de rotura que soportan las vigas.



Figura 34 Vigas Previo a desmoldarse

Fuente: Castro, Chango y Macias



Figura 35 Viga previo a Ensayarse

Fuente: Castro, Chango y Macias

3.1.5.2.1 Carga Máxima

En la tabla 33 se reflejan los resultados obtenidos de las vigas para la carga máxima que soportaron.

Tabla 34 Carga Máxima en vigas [Kn]

Espécimen	Código	Carga Máxima [kN]	Tiempo de Curado [días]	Media
Viga Sin fibra	SF-1	13.35	28	14.677
	SF-2	14.73		
	SF-3	15.95		
Viga con Fibra sin tratamiento al 0.5%	CFSN0.5-1	17.06	28	18.070
	CFSN0.5-2	18.09		
	CFSN0.5-2	19.06		

Elaborado por: Pablo Castro Molina

Se registró un incremento de 23.72 % en la carga máxima que soportaron las vigas que se les adicione el 0.5% de fibra de palma africana.

3.1.5.2.2 Módulo de Rotura

Las características del módulo de rotura se describen a continuación:

Tabla 35 Módulo de Rotura [Mpa]

Espécimen	Código	Módulo de rotura [MPa]	Tiempo de Curado [días]	Media
Viga Sin fibra	SF-1	3.85	28	4.217
	SF-2	4.10		
	SF-3	4.70		
Viga con Fibra sin tratamiento al 0.5%	CFSN0.5-1	4.60	28	4.833
	CFSN0.5-2	4.85		
	CFSN0.5-2	5.05		

La variación del módulo de rotura se ve incrementado en las vigas con inclusión de fibra en un 14.62% lo cual es una mejora notable.

3.2 Conclusiones

- A través de diferentes variaciones entre la inducción de velocidad y la temperatura del viento, se determinó una condición específica de 1.3 m/s y 60 °C respectivamente. Esto facilitó la contracción plástica en los especímenes (placas) y provocaron las fisuras analizadas. Se requirió colocar la máxima potencia del termostato equivalente a 5000 [watts] mientras que para la velocidad del ventilador se utilizó el nivel intermedio, consiguiendo así la contracción plástica en un tiempo aproximado de 6 horas.
- El módulo de rotura de las vigas ensayadas resultó en una mejora del 14.62%.
- Primeramente, se utilizó una dosificación estándar que permita cumplir la resistencia base de 210 kgf/cm², pero al no existir la presencia de fisuras se optó por una dosificación secundaria añadiendo un porcentaje mayor de finos, debido a que según como indica (Neville et al., 2015) en el manual del concreto, al existir un incremento de agregado finos la tendencia de aparición de fisuras en áreas de gran tamaño se aumenta.
- La resistencia a compresión de los cilindros con 0.5% adición de fibra disminuyen en un 0.97% con respecto al promedio de los cilindros sin fibra. Al ser un porcentaje por debajo del 1% podemos concluir que la influencia de la fibra en el porcentaje establecido, no es de mucha relevancia para la resistencia.
- El tipo de falla en los ensayos de los cilindros sin fibra acorde a la sección 2.6.1.2 es de TIPO V, mientras que los cilindros con 0.5% de fibra presentaron TIPO II y TIPO III y visualmente se puede apreciar cómo se mantienen unidos fragmentos debido a las fibras.
- Los ensayos de resistencia a flexión evidenciaron visualmente una falla menos violenta para las vigas que poseen 0.5% de fibra en comparación con las vigas sin fibra, esto debido a que la fibra funcionaba como elemento para unir fragmentos, siendo así una carga máxima de 14.677 [kN] para las vigas sin fibra y una carga

máxima de 18.070 para las vigas con adición de fibra lo cual representa un incremento de 23.72%.

- Al establecer las condiciones de viento y temperatura se pudo determinar que las grietas principales en las placas, se mostraban al transcurrir un tiempo aproximado de 2.5 horas de haber sido ingresada a la cámara.
- Las grietas presentadas en las placas sin adición de fibra tienden a ser: juntas, alargadas y profundas; mientras que las grietas que se mostraron al añadir el 0.5% de fibra a las placas, tienden a ser más cortas y dispersas. Como se indica en la figura 32; la media de las longitudes de grietas en placas con 0.5% de fibra disminuye en un 36.5% con relación a las placas originales.
- La profundidad de las fisuras se ve reducida en las placas con adición de 0.5% de fibra, tal como se indica en la tabla 30 en la cual no se evidencia profundidades superiores a 2.35 cm esto supone una mejora debido a que en las placas sin adición algunas alcanzan los 2.5 atravesando el espesor total de la placa.
- Finalmente, en función de los resultados alcanzados en este proyecto, se concluye que para la elaboración de elementos tipo placa reforzados con fibra de palma africana al 0.5%, si es factible utilizarla como una alternativa para la reducción de longitud y profundidad de las fisuras.

3.3 Recomendaciones

- Para evitar alteraciones en la relación agua/cemento, se debe garantizar que la fibra haya sido sumergida en un periodo de 24 h, lo que garantizara que la fibra se encuentre en estado S.S.S. y no absorba ningún porcentaje de agua.
- Para conseguir una correcta distribución de la fibra en toda la mezcla se debe ir seleccionando en pequeñas cantidades la fibra y esparciéndola en toda la mezcla de hormigón.
- Con la finalidad de garantizar una velocidad y temperatura estable, es recomendable que se defina una apertura para la caja con una sola salida de viento, caso contrario se verá afectada las condiciones y el registro de datos de las mismas.
- El análisis y determinación de las propiedades de todos los componentes del hormigón son de vital importancia puesto que son estos los que influyen en la elaboración de la dosificación requerida.

- Se recomienda colocar el raquis de palma en un lugar abierto y con poca humedad, para evitar la descomposición del mismo y afectar las propiedades de la fibra.
- Para conseguir una medición más precisa, se recomienda que las imágenes que se registren de la placa sean capturadas desde un mismo ángulo, altura y posición para que al escalarlas con el software, la longitud de las fisuras sea más precisa.
- Previo al uso del equipo de ultrasonido, calibrarlo con el cilindro de silicona que viene incluido con el equipo y solicitar una previa capacitación para poder realizar de manera correcta la medición de las profundidades de las grietas

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 305., & American Concrete Institute. (2010). *Guide to hot weather concreting*. American Concrete Institute.

Amaguaña Pilicita, M. E., & Guamán Mugmal, L. J. (2022). *ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ESTOPA DE COCO*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

American Concrete Institute. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. In ACI (Ed.), *ACI 211.1-91*.
https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211_1_91.pdf

American Concrete Institute. (2008). *REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-08)* (American Concrete Institute, Ed.).
https://www.academia.edu/19806312/ACI_318_08_Espa%C3%b1ol

American Society for Testing and Material. (2019). *Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. https://doi.org/10.1520/c0494_c0494m-08

America's Cement Manufacturers. (2015, July 16). *Aggregates*. Portland Cement Association.
<https://www.cement.org/cement-concrete/concrete-materials/aggregates>

Beal, D. (2000). *TYPES AND CAUSES OF CRACKS AND CRACKING*. Queensland University of Technology.

Caizaguano, O. P., & Tandazo Terán, E. G. (2020). *CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES*.

Chen, W. F., & Richard, L. (2003). *The Civil Engineering Handbook* (CRC Press, Ed.; 2nd ed.).
<https://www.uceb.eu/DATA/Books/THE%20CIVIL%20ENGINEERING%20HANDBOOK.pdf>

Cure Lina. (2022, July 7). *ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO NTC 396*. 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto/>

- Fernando, D., Galán, M., Juan, A., & Casas Rodríguez, P. (2009). *Ensayos no destructivos para determinación de grietas de juntas adhesivas*.
- G, G., & L, R. (2019). *CONCRETO SIMPLE*. Universidad del Cauca.
<https://www.udocz.com/apuntes/8628/tecnologia-concreto-y-mortero-rivera-pdf>
- González, X. (2020, July 1). Residuos de palma africana se usarían como biofertilizante para mejorar condiciones del suelo. *Editorial La República S.A.S.*
- INEN 156. (2009). CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- INEN 855. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- INEN 856. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- INEN 2380. (2011). CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- Intriago Pilamunga, J. J. (2015). *ESTUDIO DE MÉTODOS MECÁNICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR FRICCIÓN SECA EN EL AGREGADO DEL HORMIGÓN DE PAVIMENTO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (Primera). Portland Cement Association.
https://issuu.com/daniel0252/docs/dise_o_y_control_de_mezclas_de_con
- M. Miguel. (2022, January 17). *Dosificación del hormigón*. BECOSAN®.
<https://www.becosan.com/es/dosificacion-del-hormigon/>
- Markovski, G., Čeček, M., & Šahinagić-Isović, M. (2012). Shrinkage strain of concrete - causes and types. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 64(9), 727–734.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14256/JCE.719.2012>
- MESTANZA ORELLANA, J. B. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y AMBIENTES SALINOS*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Mishra Gopal. (2018, November 20). *10 Properties of Concrete and their Uses*.
<https://theconstructor.org/concrete/properties-of-concrete-3/1692/>
- Nathaly, W., Lochamin, S., Daniel, A., & Romero, R. (2018). *EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL USO DEL RAQUIS COMO LECHO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA*.
- Neville, G. B., American Concrete Institute., & International Code Council. (2015). *Concrete manual* (ICC Publications, Ed.; Primera). Mary Lou Luif.
- NTE INEN 696. (2011). ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.

- NTE INEN 857. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- NTE INEN 860. (2011). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- NTE INEN 1573. (2010). HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- NTE INEN 2554. (2011). HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- Petrescu, C., Toma, A. M., & Mihai, P. (2020). Evolution of concrete from a traditional material to a next generation sustainable solution. *Concrete Plant International*, 46–52.
https://www.cpi-worldwide.com/uploads/journals/pdf/2020/02/en/en_02_2020_46_53.pdf
- Petroche, D. (2021). *Desempeño Ambiental del Cemento y del Concreto en el Ecuador: Una puerta a la Construcción Sostenible*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52614/1/T-88998%20%DANIEL%20PETROCHE%20S%20c3%81NCHEZ.pdf>
- Radić, J., Kindij, A., & Mandić, A. (2008). *HISTORY OF CONCRETE APPLICATION IN DEVELOPMENT OF CONCRETE AND HYBRID ARCH BRIDGES*.
https://www.researchgate.net/publication/273455117_HISTORY_OF_CONCRETE_APPLICATION_IN_DEVELOPMENT_OF_CONCRETE_AND_HYBRID_ARCH_BRIDGES
- ROMERO, A., & HERNÁNDEZ, J. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMO TASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN* [UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i.pdf?Sequence=1>
- SA. (2022, July 8). *CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS*. 360 EN CONCRETO.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/control-de-calidad-de-los-agregados-1/>
- Šahinagić-Isović, M., Arangjelovski, T., & Čećez, M. (2014, January). *Influence of steel fiber addition on the shrinkage of ordinary strength and high strength concrete*.
- Sendra, A. (2019). *ESTUDIO COMPARATIVO DE FIBRAS NATURALES PARA REFORZAR HORMIGÓN*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160345/Mart%C3%adn%20-%20Estudio%20comparativo%20de%20%20fibras%20naturales%20para%20reforzar%20hormig%C3%b3n.pdf?Sequence=1>
- Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete. (2007). *ASTM C1116*.
<http://indiafiber.com/Files/ASTM%20C1116.pdf>
- Structuralia. (2021, June 25). *Los 3 tipos de métodos de dosificación del hormigón*. Structuralia.
<https://blog.structuralia.com/metodos-dosificacion-hormigon>

Talero, G., & Rincon, S. (2016). Torrefacción de tusa y fibra de palma africana (*Elaeis guineensis*) procedente de los Llanos Orientales de Colombia. Determinación del efecto de la temperatura de torrefacción en las características de los productos. *Revista Palmas. Bogotá (Colombia)*, 38(1).

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12043/11997>

Toirac Corral, José. (2014). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Instituto Tecnológico de Santo Domingo*, 29, 72–114.

<https://www.redalyc.org/pdf/870/87029104.pdf>

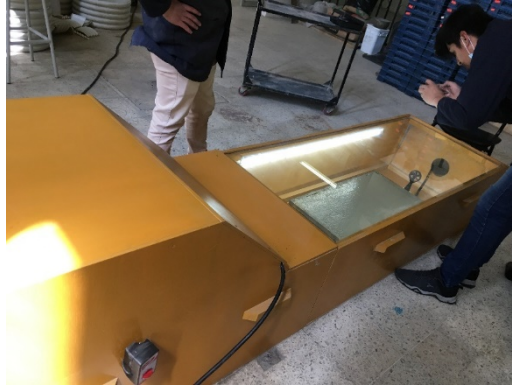
UMNG. (2017). *Distribución granulométrica*. UMNG - Facultad de Estudios a Distancia.

http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_concreto_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p10h10.php#:~:text=Tama%C3%b1o%20m%C3%a1ximo%20nominal%3A%20se%20calcula,del%20agregado%20en%20forma%20colectiva.

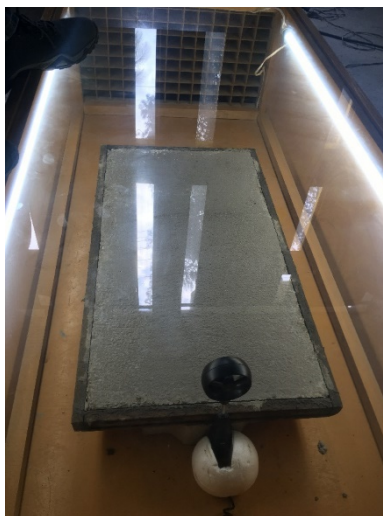
5 ANEXOS

ANEXO I CÁMARA DE INDUCCIÓN DE TEMPERATURA Y VIENTO

Cámara con placa de prueba en el interior



Vista superior de la placa en el interior de la cámara.



ANEXO II ENSAYOS DEL CEMENTO



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



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0446-I
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998772180

DATOS DEL PROYECTO

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

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

FECHA DE ENSAYO: 2022-09-13

NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
HOLCIM	GU	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen Inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
1	0.4	321.3	19.8	377.3	0	2.89
2	0.5	321.6	18.6	373.4	0	2.86
PROMEDIO						2.87

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, marca, tipo de cemento y fecha de fabricación, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

ANEXO III ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-427-I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

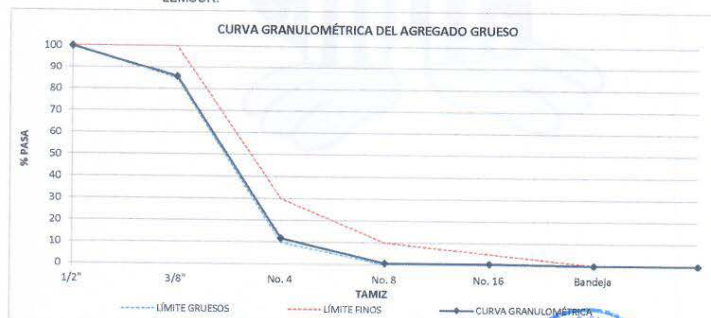
DATOS DEL PROYECTO

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

PESO INICIAL (g)		1000,00	Número de Tamaño		8
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	QUE PASA (%)
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,50	141,8	14,2	14,2	85,8
No. 4	4,75	738,0	73,9	88,1	11,9
No. 8	2,36	111,7	11,2	99,3	0,7
No. 16	1,18	1,1	0,1	99,4	0,6
Bandeja	-	5,7	0,6	100,0	0,0
TOTAL		998,3	M. FINURA	6,0	

OBSERVACIONES:

La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo GR-G-22-008-I
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



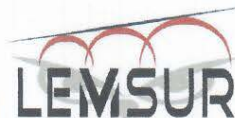
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec
GR-G-22-010-I

ANEXO IV ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS



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



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0438-I
Hoja 01 de 01

Quito, 31 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA SIN TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Contraista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: INDICADO
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26
NORMA: ASTM C128-15 / ASTM C127-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
Muestra 1	Agregado fino	2,57	2,63	2,74	2,39
Muestra 2	Agregado grueso	2,54	2,61	2,73	2,65

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

ANEXO V ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DE AGREGADOS



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



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0439- I
Hoja 01 de 01

Quito, 2 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

DATOS DEL PROYECTO

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

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE MUESTRA: INDICADO

FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
24-I-001	Agregado fino	1670	35	1773	31
24-I-002	Agregado grueso	1443	43	1519	40

OBSERVACIÓN: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



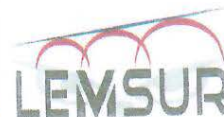
Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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

ANEXO VI ENSAYO DE ABRASIÓN AGREGADO GRUESO



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



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-0433- I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

DATOS DEL PROYECTO

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

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO

PROCEDENCIA: HOLCIM

FECHA DE ENSAYO: 2022-08-26

NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO	
MUESTRA:	AGREGADO GRUESO
GRADACIÓN:	C
NUMERO DE ESFERAS:	8
PESO INICIAL (g):	5009,7
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g):	4830,80
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (g):	4069,70
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%)	3,57
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%)	18,76
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,19

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo ABR22-008-I
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



ABR22-010-I

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

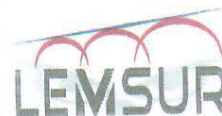
Ingreso de esferas en la maquina de abrasión



ANEXO VII ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0430-I
Hoja 01 de 01

Quito, 29 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

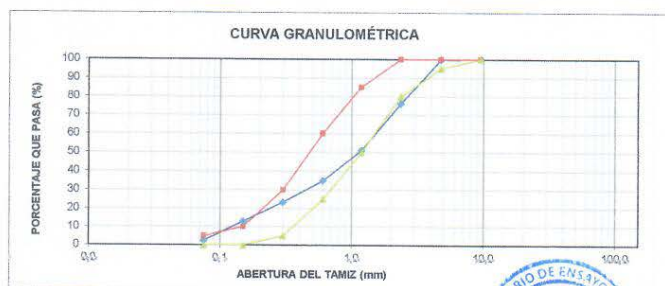
Razón social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

DATOS DEL PROYECTO

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

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	1,1	0,2	0,2	99,8
No. 8	2,360	118,6	23,7	24,0	76,0
No. 16	1,180	124,7	25,0	48,9	51,1
No. 30	0,600	80,4	16,1	65,0	35,0
No. 50	0,300	58,3	11,7	76,7	23,3
No. 100	0,150	50,6	10,1	86,8	13,2
No. 200	0,075	53,5	10,7	97,6	2,4
BANDEJA	-	12,2	2,4	100,0	0,0
TOTAL		499,4			

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
Los datos y resultados del presente informe corresponden al archivo GR-F-22-023-I
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

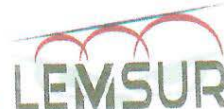


Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO VIII ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO DE AGREGADO FINO



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



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0441-I
Hoja 01 de 01

Quito, 14 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ISAAEL ALEXANDER CHANGO PILLO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998772180

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA 0.5 BAJO TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
FECHA DE ENSAYO: 2022-08-30
NORMA: INEN 855

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

OBSERVACIÓN: La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia, involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.

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

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec
Corg022-012-I

ANEXO IX DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Ensayo	CEMENTO GU			
DENSIDAD REAL	Densidad real (gr/cm ³)			2.870
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)			0.967
	Densidad compactada (gr/cm ³)			1.188
AGREGADO FINO (ARENA)				
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)			1.670
	Densidad compactada (gr/cm ³)			1.770
GRANULOMETRÍA	Modulo de Finura			3.016
	Coeficiente de uniformidad			22.667
	Coeficiente de curvatura			1.961
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	Peso específico			2.57
	Densidad S.S.S.			2.630
	Absorción de agua			2.390
	Peso específico aparente			2.740
AGREGADO GRUESO (RIPIO)				
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)			1.440
	Densidad compactada (gr/cm ³)			1.520
GRANULOMETRÍA	Modulo de Finura			4.050
	Coeficiente de uniformidad			0.250
	Coeficiente de curvatura			1.51
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	Peso específico			2.54
	Densidad S.S.S.			2.610
	Absorción de agua			2.650
	Peso específico aparente			2.770
ABRASIÓN	Pérdida 100 rev (%)			5.073
	Pérdida 500 rev (%)			22.690
	Coeficiente de uniformidad			0.250
Cortenido de humedad				
0.000				

	Parámetro	Observación		
1	Asentamiento	Construcción	7.6	cm
2	Tamaño máximo del agregado	3/8"	9.52	mm
3	Cantidad aproximada de agua	Sin inclusión de aire	243	litros/m ³ de hormigón
	Porcentaje a aire atrapado	Sin inclusión de aire	3	%
4	Relación agua - Cemento	Por resistencia a la compresión	0.53	para 1kg de cemento, asumiendo densidad del agua 1kg/dm ³
5	Resistencia a la compresión	Sin inclusión de aire	210	kg/cm ²
6	Volumen aparente del agregado grueso	MF y T. max agregado	0.4	m ³
7	Factor de cemento		458.49	kg/m ³
8	Volumen real del cemento		159.75	dm ³ /m ³
9	Volumen real S.S.S agregado grueso		232.95	dm ³ /m ³

Componente	Cantidad en volumen real (dm ³)	Densidad Real (kg/dm ³)	Cantidad en masa (kg)	Cantidad relativa en peso
Agua	243	1	243.00	0.53
Cemento	159.75	2.87	458.49	1
Arena	334.30	2.63	879.20	1.92
Ripio	232.95	2.61	608.00	1.33

ANEXO X ENSAYOS DE LA FIBRA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2022-08-03

Página 1 de 5

DEPARTAMENTO SOLICITANTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DICA
Ing. Nicolay Yanchapanta
Colaborador del Proyecto de Investigación PII-DI-2021-01.

MATERIAL QUE ENTREGA
Dos grupos de muestras de fibra de palma africana: sin tratamiento y con tratamiento

TRABAJO SOLICITADO:
Determinar resistencia a la tracción y contenido de humedad.

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

FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME: 2022 / 10/ 17

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO: DQ-OTI0012-2022

Responsable del Centro Textil


Ing. Hilda Trujillo A.



Director del Centro Textil


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



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

Página 2 de 5

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

Probeta	Vel. prue [mm/min]	Fuerza rotura [N]	Elongación [mm/mm]	Densidad lineal [tex]	TiempoalBreak [s]	Tenacidad [N/tex]
1	30	9,24	0,0792	91,09	16,1	0,101
2	30	10,80	0,1555	88,48	31,6	0,122
3	30	8,56	0,1170	75,52	24,2	0,113
4	30	8,64	0,1543	77,31	31,6	0,112
5	30	6,36	0,0594	90,16	12,3	0,071
6	30	6,02	0,1008	76,22	21,4	0,079
7	30	7,93	0,1390	77,49	29,6	0,102
8	30	6,29	0,0506	76,81	10,6	0,082
9	30	9,08	0,1055	85,68	22,5	0,106
10	30	7,70	0,1113	72,97	23,4	0,105
11	30	7,69	0,1017	82,18	21,3	0,094
12	30	8,07	0,1250	96,76	25,6	0,083
13	30	6,97	0,0760	87,26	15,5	0,080
14	30	8,32	0,1238	83,07	25,4	0,100
15	30	10,40	0,0589	104,23	11,9	0,099
16	30	8,55	0,1142	87,92	23,1	0,097
17	30	9,13	0,0931	90,44	19,2	0,101
18	30	8,54	0,0699	110,24	14,5	0,077
19	30	11,20	0,1202	89,43	25,0	0,125
20	30	9,18	0,0646	106,27	13,3	0,086
21	30	7,30	0,0567	93,63	11,7	0,078
22	30	9,12	0,0537	96,33	10,8	0,095
23	30	6,47	0,0664	75,81	13,8	0,085
24	30	9,19	0,0695	93,90	18,4	0,096
25	30	7,51	0,0673	96,47	13,9	0,078
26	30	10,30	0,1081	87,34	22,1	0,118
27	30	7,31	0,0633	106,30	12,9	0,069
28	30	11,90	0,0832	96,08	17,0	0,124
29	30	9,77	0,1025	95,14	20,9	0,103
30	30	14,20	0,0993	101,70	20,3	0,140
31	30	9,99	0,0852	112,81	17,8	0,089
32	30	10,20	0,1278	77,36	26,3	0,132
33	30	10,10	0,0502	108,30	10,2	0,093
Media	30	8,85	0,0931	90,63	19,2	0,098
Desviación estándar	0	1,76	0,0300	11,23	6,2	0,020



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

Dirección: Andalucía N22-4413 Sevilla, España. Teléfonos: 2976 200 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: email.ctp@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec



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



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

Página 3 de 5


FIBRAS DE PALMA AFRICANA SIN TRATAMIENTO

PROPIEDADES DETERMINADAS	NORMA	RESULTADOS
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	8,5 +/- 0,2

Responsable del Centro Textil


Ing. Hilda Trujillo A.

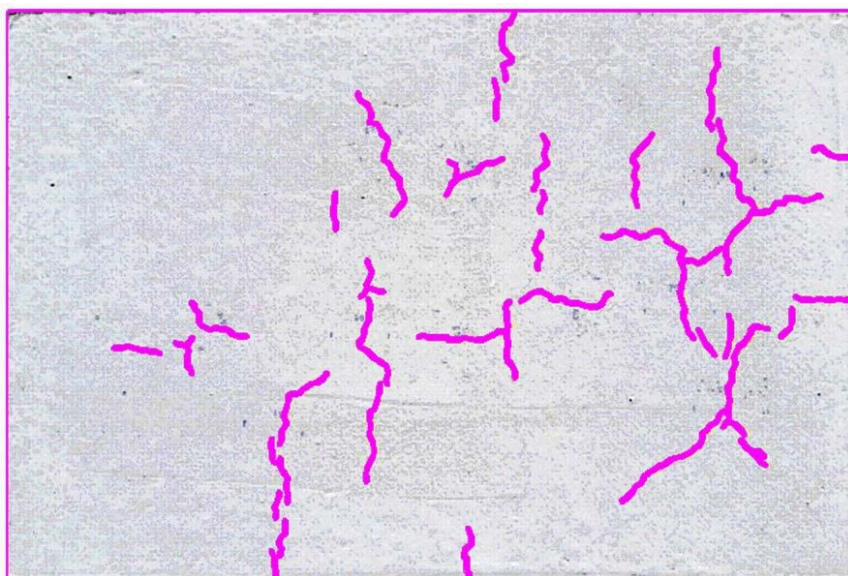
Director del Centro Textil


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



ANEXO XI LONGITUD DE FISURAS

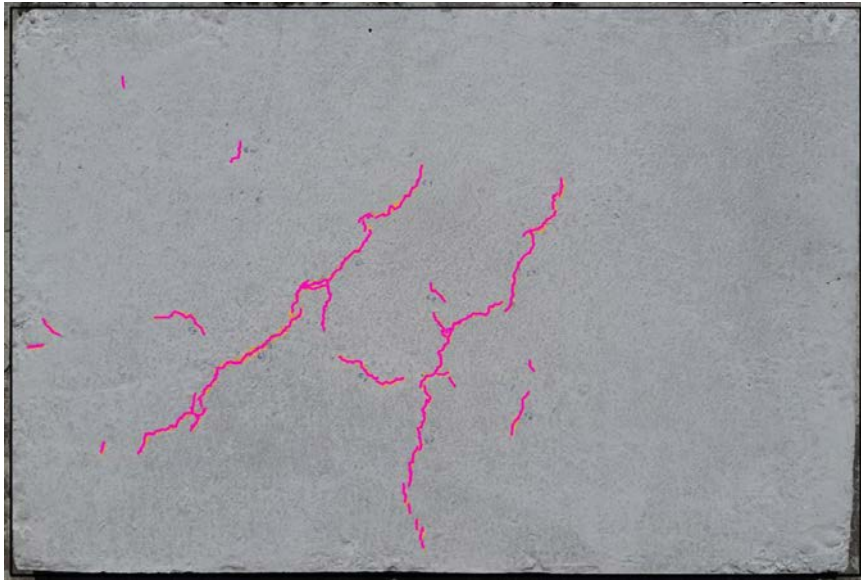
Placa 1 sin fibra



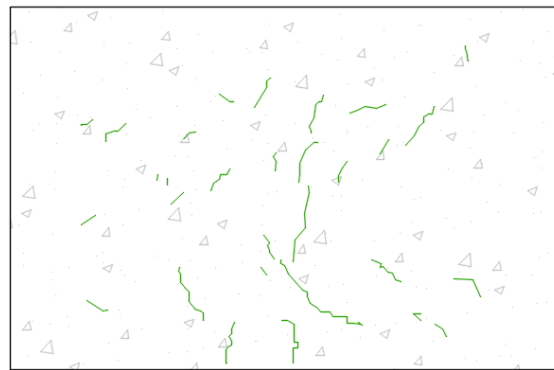
Placa 2 sin fibra



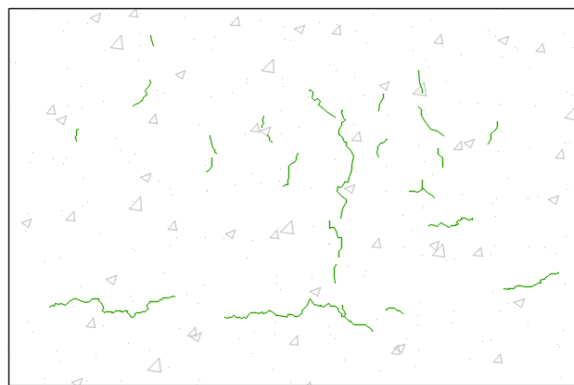
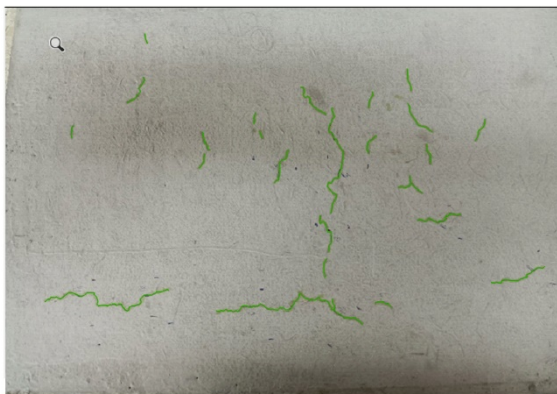
Placa 3 sin fibra



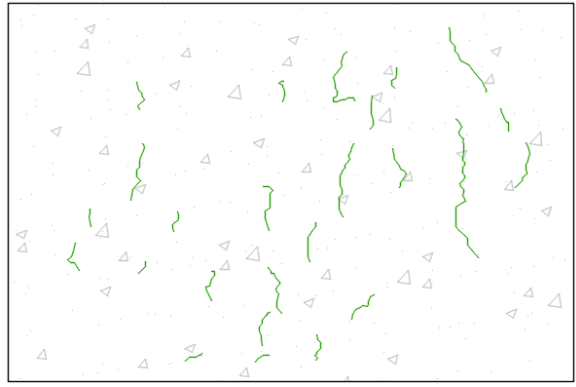
Placa 1 - 0.5% de fibra



Placa 2 - 0.5% de fibra



Placa 3- 0.5% de fibra



ANEXO XII ENSAYO DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0462-I
Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PABLO ALBERTO CASTRO MOLINA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990733445

Quito, 19 de diciembre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE FISURACIÓN CON CORRIENTE DE AIRE INDUCIDO EN PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO Y FIBRAS DE PALMA AFRICANA SIN TRATAMIENTO QUÍMICO.
Contratante: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	SF1	2022-11-07	2022-12-06	29	100.75	7972	2250	190.1	TIPO 5	A	24.6	0.06
2	SF2	2022-11-07	2022-12-06	29	100.75	7972	2300	190.6	TIPO 5	A	23.9	0.06
3	SF3	2022-11-07	2022-12-06	29	101.75	8131	2270	191.6	TIPO 2	A	23.6	0.06
4	ST51	2022-11-14	2022-12-12	28	101.50	8061	2210	190.2	TIPO 5	A	23.5	0.06
5	ST52	2022-11-14	2022-12-12	28	100.50	7933	2270	200.2	TIPO 3	A	25.3	0.06
6	ST53	2022-11-14	2022-12-12	28	101.25	8052	2210	182.0	TIPO 2	A	22.6	0.06

TIPO DE FALLA



Tipo 1
Conos en ambos extremos (acabados bien formados, fisuras a través de la cabeza menor a 25 mm).



Tipo 2
Como bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabeza, pero no muy delgada en el otro.



Tipo 3
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.



Tipo 4
Fisura diagonal sin fisuras a través de los lados, girar con un martillo para distinguir del Tipo 1.



Tipo 5
Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con).



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punto.

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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

(Firma)
ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO





FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXVIG-23-003-I
Fecha de informe : 2023-01-10

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Pablo Alberto Castro Molina
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0990733445

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis de fisuración con corriente de aire inducido en placas de hormigón reforzado y fibras de palma africana sin tratamiento químico.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Viga de hormigón simple
NORMA DE REFERENCIA: INEN 2554

No.	Fecha de fábrica	Descripción	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección de rotura		Luz libre (mm)	Carga máxima (N)	Módulo de rotura (MPa)
					Ancho (mm)	Alto (mm)			
1	2022-11-22	SF-1	2022-12-20	28	104	100	300	13350	3,85
2	2022-11-22	SF-2	2022-12-20	28	102	103	300	14730	4,10
3	2022-11-22	SF-3	2022-12-20	28	102	100	300	15950	4,70
4	2022-11-22	CFSN0.5-1	2022-12-20	28	103	104	300	17060	4,60
5	2022-11-22	CFSN0.5-2	2022-12-20	28	101	105	300	18090	4,85
6	2022-11-22	CFSN0.5-3	2022-12-20	28	103	105	300	19060	5,05

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, elemento, fecha de fábrica y descripción, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

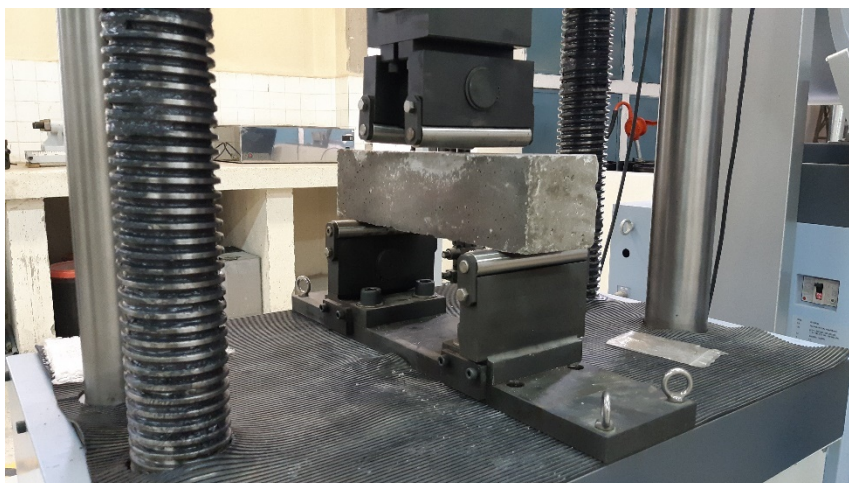
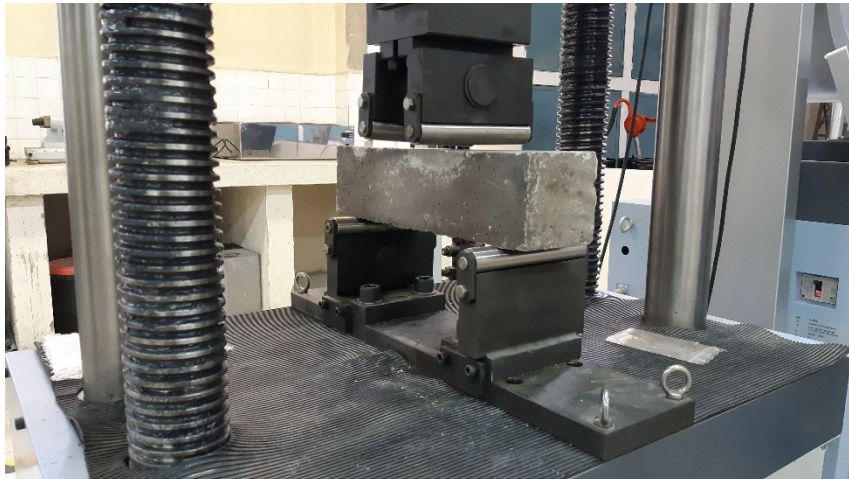
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofc. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ENSAYO DE VIGAS

Vigas después de ensayarse



Ensayo de vigas



ENSAYO DE CILINDROS

Medición de los cilindros previo a ensayo



Ensayo a compresión de cilindros

