



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA

E INGENIERIAS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
REFORZADO CON MACROFIBRAS DE TETRA PAK ADICIONANDO 1.5, 3
Y 6 KG POR METRO CUBICO DE HORMIGÓN**

ZOILO GERMAHINT HERRERA AGUIRRE

Quito, marzo de 2025



DECLARACION JURAMENTADA

Yo, Zoilo Germahint Herrera Aguirre, con cédula de identidad # 110488936-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado 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.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

D. M. Quito, mayo de 2025

Zoilo Germahint Herrera Aguirre

Correo electrónico: germaint_95@hotmail.com



DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
REFORZADO CON MACROFIBRAS DE TETRA PAK ADICIONANDO 1.5, 3
Y 6 KG POR METRO CUBICO DE HORMIGÓN”**

Realizado por:

ZOILO GERMAHINT HERRERA AGUIRRE

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

ha sido dirigido por el profesor

HUGO MARCELO OTAÑEZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

**“ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN
REFORZADO CON MACROFIBRAS DE TETRA PAK ADICIONANDO 1.5, 3
Y 6 KG POR METRO CUBICO DE HORMIGÓN”**

ZOILO GERMAHINT HERRERA AGUIRRE

Mayo 2024

Aprobado:

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Tutor Primer Nombre, Inicial, Primer
Apellido, Inicial, presidente del Tribunal Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido,
Inicial, Miembro del Tribunal Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro
del Tribunal Aceptado y Firmado: _____ día,

mes, año Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial. Aceptado y Firmado:

_____ día, mes, año Primer Nombre, Inicial,

Primer Apellido, Inicial. Aceptado y Firmado:

_____ día, mes, año Primer Nombre, Inicial,

Primer Apellido, Inicial.

_____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Presidente(a) del Tribunal

Universidad Internacional SEK

Dedicatoria

A Dios, Principalmente en su advocación del señor del buen suceso que me dio su amparo y protección durante toda mi vida estudiantil sin su bendición este logro no sería posible.

A mis amados padres quienes siempre me han dado su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, a mis hermanos que han sido fuente de inspiración para mí, a mi novia con quien compartí mi vida estudiantil.

A la facultad de ingeniería civil, por su dedicación y disposición a ayudar en la superación de todos los que decidimos estudiar en esta prestigiosa universidad.

Agradecimiento

A Dios por haberme guiado, fortalecido y protegido desde que decidí estudiar esta carrera hasta que pude culminarla.

A mi padre Zoilo Herrera quien desde muy temprana edad me enseñó lo importante de las responsabilidades y siempre me alentó en superarme en mis estudios, a mi madre Dominga Aguirre quien forjó mi carácter fue mi primera y más importante maestra sin sus enseñanzas no hubiera terminado mis estudios. A mis hermanos Gonzalo, Camilo, Liliana, Samyk quienes fueron mis motores he inspiraciones para terminar mis estudios gracias por todos su apoyo moral, económico y sentimental sin ustedes nada de esto sería posible.

A mi amada novia Katherine Tapia a quien conocí al comenzar esta bella ingeniería, y con quien compartí tantas jornadas de estudios alentándome a siempre sacar lo mejor de mí muchas gracias por todas las enseñanzas estoy seguro que sin tu apoyo no habría llegado tan lejos.

A los ingenieros Luis Soria y Hugo Otáñez verdaderos docentes, amigos y ejemplo a seguir muchas gracias por sus enseñanzas no se alejen de la docencia porque lo hacen muy bien.



Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:
Convocatoria para la presentación de programas y/o proyectos de investigación
científica y desarrollo tecnológico – Universidades.

Nombre de Programa

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Y con el financiamiento de

(colocar el que aplique)

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-PXXXXXX_X.X

Resumen

El presente plan de titulación busca complementar la excelente resistencia a compresión que tiene el hormigón mediante la inclusión de fibras sintéticas para lo cual basado en factores como precio, accesibilidad y características mecánicas se escoge como ideal fibras de Tetra Pack. Se tiene como punto de partida diversas tesis ya realizadas tanto en Ecuador como en otros países latinoamericanos en las cuales se ha usado fibras tanto sintéticas como naturales, pero siempre han sido enfocadas en mejorar la resistencia a la compresión mas no a la flexión en base a ello se propone adicionar 1.5, 3 y 6 kilogramos de macro fibras por metro cubico de hormigón simple con resistencia a la compresión de 210 kg/cm² por fibras de Tetra Pack y comprobar si existe aumento en su resistencia a la flexión mediante ensayos de resistencia a la flexión y si existe determinar en qué cantidad (1.5, 3 o 6 kilogramos por metro cubico de hormigón) existe mayor incremento, de obtenerse resultados positivos se podría analizar su viabilidad para usar este hormigón en casas de materiales prefabricados o panes de viviendas sociales inclusivas o pavimentación de aceras. Tanto las dosificaciones como todos los ensayos se realizarán cumpliendo metodología ACI y se llevarán a cabo en el INECYC.

Palabras clave: Hormigón, flexión, fibras

Abstract

This titration plan seeks to complement the excellent compressive strength of concrete by including synthetic fibers. Based on factors such as price, accessibility, and mechanical characteristics, Tetra Pack fibers were chosen as ideal. It is taken as a starting point various theses already carried out both in Ecuador and in other Latin American countries in which both synthetic and natural fibers have been used, but they have always been focused on improving the resistance to compression but not to bending based on this it is proposed to add 1.5, 3 and 6 kilograms of macro fibers per cubic meter of simple concrete with a compressive strength of 210 kg / cm² by Tetra Pack fibers and verify if there is an increase in its flexural strength through flexural strength tests and if so, determine in what quantity (1.5, 3 or 6 kilograms per cubic meter of concrete) there is a greater increase, if positive results are obtained, its viability could be analyzed to use this concrete in houses made of prefabricated materials or inclusive social housing panels or sidewalk paving. Both the dosages and all the tests will be carried out in compliance with ACI methodology and will be carried out at INECYC.

Keywords: Concrete, flexure, fibers.

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1 Título.....	1
1.2 Problema de investigación.....	1
1.2.1 DESCRIPCIÓN	1
1.2.2 FORMULACIÓN	1
1.2.3 PREGUNTAS ACCESORIAS.....	1
1.3 Antecedentes.....	1
1.4 Justificación y significado.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.5.1 Hipótesis General.....	4
1.5.2 Hipótesis específicas.....	4
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo General.....	5
1.6.2 Objetivo Específicos.....	5
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	6
2.1 Agregados pétreos.....	6
2.2 Agregados naturales.....	6
2.3 Agregados artificiales.....	7
2.4 Agregados Finos.....	7
2.5 Agregados Grueso.....	8
2.6 Hormigón.....	8

2.7 Cemento.....	9
2.8 Dosificación del hormigón.	9
2.9 Resistencia a la Flexión.	10
2.10 Resistencia a la Flexión del Hormigón.....	11
2.11 Ensayo a Flexión en Hormigón.	11
2.12 Fibras.	12
2.12.1 Fibras Naturales.	12
2.12.2 Fibras Sintéticas.....	12
2.12.3 Microfibras	13
2.12.4 Macro fibras.....	13
2.12.5 Macro fibras de Tetra Pack.....	13
2.12.6 Macro fibras de Tetra Pack en el Hormigón.....	14
2.13 Tipos de fibras usadas en el hormigón	14
CAPITULO 3: METODOLOGIA	15
3.1 Caracterización de los materiales	15
3.2 Ensayo de granulometría (INEN 696).....	15
3.2.1 Guía cálculos de ensayo.....	16
3.2.2 Procedimiento para agregado fino.....	18
3.2.3 Guía de cálculos agregado fino.....	18
3.3 Ensayo de densidad suelta y compactada (INEN 858).....	21
3.3.1 Guía de Cálculos para densidades suelta y compactada.....	22
3.4 Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino (INEN 856).....	23
3.4.1 Guía de cálculos para ensayo densidad relativa.	24
3.5 Ensayo de contenido de humedad (INEN 862)	27

3.5.1 Guía de calculo para humedad.....	27
3.6 Ensayo de Abrasión (INEN 861).....	28
3.6.1 Guía de cálculos para ensayo de abrasión.	29
3.7 Ensayo de Colorimetría (INEN 855).....	30
3.7.1 Guía para interpretación de resultados.	30
3.8 Dosificación de hormigón ACI 211	31
CAPITULO 4: Levantamiento de información en laboratorio.....	32
4.1 Ensayo de granulometría agregado grueso.....	32
4.2 Ensayo de granulometría agregado fino.	34
4.3 Ensayo de densidad suelta y compactada.	36
4.4 Resultados de ensayo determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.....	39
4.5 Resultados ensayo de contenido de humedad.	41
4.6 Resultado de ensayo de Abrasión.....	42
4.7 Resultado de ensayo de colorimetría.....	44
4.8 Dosificación de hormigón f_c' 210 kg/cm ² sin macro fibras de Tetra Pack.	44
4.8.1 Resistencia requerida.	46
4.8.2 Contenido de aire.....	46
4.8.3 Contenido de agua.	46
4.8.4 Relación agua cemento.....	46
4.8.5 Contenido de cemento.	47
4.8.6 Contenido de agregado grueso.....	47
4.8.7 Contenido de agregado fino.....	48
4.8.8 Resumen de cantidades.....	50
4.8.9 Corrección de cantidad de agua por humedad de agregados.....	51

4.9 Cantidades para vigas sin macro fibras de tetra pack.....	52
4.10 Cálculo de cantidades para vigas con 1.5 kg de macro fibras de Tetra Pack por m ²	53
4.11 Cálculo de cantidades para vigas con 3 kg de macro fibras de Tetra Pack.....	54
4.12 Cálculo de cantidades para vigas con 6 kg de macro fibras de Tetra Pack.....	54
Capito 5 Resultados.....	55
5.1 Resultados de ensayos de flexión 7 días.....	55
5.2 Resultados de ensayos de flexión 14 días.....	56
5.3 Resultados ensayo de flexión a 28 días.	57
5.4 Análisis de resultados.	58
5.5 Grafica comparativa de módulos de elasticidad a diferentes edades.	59
conclusiones y recomendaciones	59
Conclusiones.....	60
Recomendaciones.....	61
Bibliografia:.....	62
ANEXOS	64

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Límites de curva granulométrica agregado grueso.....	16
Tabla 2 Límites de curva granulométrica agregado fino.....	18
Tabla 3 Resultados ensayo granulométrico agregado grueso.....	32
Tabla 4 Verificación de perdida en agregado grueso	33
Tabla 5 Resultados ensayo granulométrico agregado fino.....	34
Tabla 6 Verificación de perdida en agregado grueso	35
Tabla 7 cálculo y resultados densidad suelta árido fino.....	36
Tabla 8 cálculo y resultados densidad compactada árido fino.....	37
Tabla 9 cálculo y resultados densidad suelta árido grueso.....	37
Tabla 10 cálculo y resultados densidad compactada árido grueso.....	38
Tabla 11 cálculo y resultados densidad relativa SH	39
Tabla 12 cálculo y resultados densidad relativa SSS.....	39
Tabla 13 cálculo y resultados densidad relativa aparente SSS.....	39
Tabla 14 cálculo y resultados densidad SH en kg/m^3	40
Tabla 15 cálculo y resultados densidad SSS en kg/m^3	40
Tabla 16 cálculo y resultados densidad aparente en kg/m^3	40
Tabla 17 cálculo y resultados porcentaje de absorción.....	41
Tabla 18 cálculo y resultados contenido de humedad árido fino	41
Tabla 19 cálculo y resultados contenido de humedad árido grueso.....	42
Tabla 20 cálculo y resultados índice de desgaste árido tamaño nominal $\frac{3}{4}$ ".....	43
Tabla 21 Datos generales para dosificación	44
Tabla 22 Resultados de ensayos de laboratorio para usar en dosificación.....	45
Tabla 23 Calculo de F'_{CR}	46
Tabla 24 Contenido de aire según ACI 211.....	46

Tabla 25 Contenido de agua en litros según ACI 211.....	46
Tabla 26 Tabla relación agua cemento	47
Tabla 27 Tabla resumen dosificación.	50
Tabla 28 Tabla medidas y volumen de viga.	52
Tabla 29 Tabla cálculo peso de agregado fino para 9 vigas.	52
Tabla 30 Tabla cálculo peso de agregado grueso para 9 vigas.	53
Tabla 31 Tabla cálculo peso de agua para 9 vigas	53
Tabla 32 Tabla cálculo peso de cemento para 9 vigas	53
Tabla 33 Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 vigas 1.5 kg.....	54
Tabla 34 Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 viga 3 kg.....	54
Tabla 35 Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 viga 6 kg.....	54
Tabla 36 Tabla de resultados ensayo flexión 7 días de edad.....	55
Tabla 37 Tabla de resultados ensayo flexión 14 días de edad.....	56
Tabla 38 Tabla de resultados ensayo flexión 28 días de edad.....	57
Tabla 39 Tabla análisis de resultados a 7 días.....	58
Tabla 40 Tabla análisis de resultados a 14 días.....	58
Tabla 41 Tabla análisis de resultados a 28 día.....	58

INDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Hormigón con fibra.....	3
Imagen 2: Tetra Pack reciclado	4
Imagen 3: Agregados pétreos	6
Imagen 4: Grava de rio	6
Imagen 5: Grava triturada.....	7
Imagen 6: Agregados finos.....	7
Imagen 7: Agregados gruesos	8
Imagen 8: Concreto en estado Endurecido	8
Imagen 9: Tipos de cemento	9
Imagen 10: Mezclado de hormigón	10
Imagen 11: Resistencia a la flexión	10
Imagen 12: Resistencia a la flexión del hormigón	11
Imagen 13: Fibra de coco	12
Imagen 14: Fibra sintética	12
Imagen 15: Microfibras.....	13
Imagen 16: Macro fibras	13
Imagen 17: Macro fibras de Tetra Pack.....	14
Imagen 18: Muestra mínima según tamaño nominal.....	15
Imagen 19: Grafica limites curva granulométrica agregado grueso	17
Imagen 20: Grafica limites curva granulométrica agregado fino	19
Imagen 21: Ensayo de granulometría	20
Imagen 22: Capacidad de los recipientes.....	22
Imagen 23: Ensayo densidad suelta y compactada.....	23
Imagen 24: Ensayo picnómetro.....	26

Imagen 25: Ensayo contenido de humedad.....	27
Imagen 26: Maquina de los ángeles.....	28
Imagen 27: Granulometría para máquina de los ángeles y cantidad de esferas.....	29
Imagen 28: Valor máximo en porcentaje de ID	29
Imagen 29: Colorimetría adecuada	30
Imagen 30 Curva granulométrica agregado grueso.....	33
Imagen 31: Curva granulométrica agregado fino.....	38
Imagen 32: Registro de pesos para densidades para agregado fino y grueso.....	40
Imagen 33: Registro de peso de picnómetro más muestra.....	41
Imagen 34: Muestra puesta en horno para humedad.....	42
Imagen 35: Tamizado de material antes de máquina de los ángeles.....	43
Imagen 36: Resultado ensayo colorimetría.....	44
Imagen 37: Grafica comparativa de resistencias.....	49

CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1 Título.

Estimación de resistencia a la flexión del hormigón reforzado con macro fibras de Tetra Pak adicionando 1.5, 3 y 6 kg por metro cúbico de hormigón.

1.2 Problema de investigación.

1.2.1 DESCRIPCIÓN

El hormigón tiene baja resistencia a la flexión lo cual produce grietas y fracturas sobre todo en aceras o vías o en edificación cuando existe un evento sísmico, por ello se busca incrementar esta resistencia mediante la inclusión de macro fibras de Tetra Pack a la mezcla de hormigón.

1.2.2 FORMULACIÓN

En qué medida la adición de macro fibras de Tetra Pak en cantidades de 1.5, 3 y 6 kg por metro cubico de hormigón influye en la resistencia a la flexión del hormigón, en comparación con el hormigón simple sin incorporación de fibras.

1.2.3 PREGUNTAS ACCESORIAS

¿Existe una relación ideal entre la cantidad de macro fibras de Tetra Pak y la resistencia a la flexión del hormigón?

¿Cuáles son los efectos prácticos del uso de hormigón reforzado con fibras de Tetra Pak en la construcción?

1.3 Antecedentes

El hormigón ha sido usado en la industria de la construcción de forma moderna desde la creación del cemento portland en el siglo XIX, desde entonces el hormigón o concreto es el material de construcción más usado sus usos van desde la edificación de viviendas hasta la construcción de grandes edificaciones y se usa tanto como elemento

de cimentación, estructural y actualmente como prefabricado. Se usa también en la construcción de puentes y carreteras entre otros. Pero, aunque su resistencia a la compresión es muy buena no así su resistencia a flexión y tracción por lo que se usa acero de refuerzo para mejorar estas propiedades sin embargo se busca encontrar una manera de volverlo más flexible y más económico sin afectar sus propiedades de compresión por lo que se desarrollan diversos estudios con tipos de fibras naturales y artificiales para mejorar esta propiedad. (Neville A.M 2011).

Se evaluó la resistencia a compresión y ductilidad del hormigón, se encontró que al adicionar fibras de tetra pack sus propiedades mecánicas aumentaron significativamente sin afectar su trabajabilidad (Pacheco-Rondón 2018).

En la investigación de concreto reforzado con fibras de tetra pack y barras de acero se observó que las fibras contribuyeron a mejorar la resistencia a la flexión y la absorción de energía y fisuración del hormigón (Kumar et. al 2020).

El efecto de las fibras Tetra Pak en la resistencia a la flexión y el comportamiento a la fractura del hormigón. Se encontró que las fibras Tetra Pak mejoraron la resistencia a la flexión y la tenacidad del hormigón, lo que retrasó la aparición de fisuras y la propagación de grietas. (Houdini et. al 2021).

El hormigón con fibras se puede definir como un hormigón convencional que contiene fibras discontinuas en la mezcla, las cuales podrían alinearse parcialmente a través de compactación por vibración (Lamond & Pielert, 2006).

Hormigón con diseño de última tecnología que a través de la incorporación de fibras logra reemplazar muros de hormigón con malla central, entre otros, en construcciones de edificación de baja altura, esta solución permite un ahorro de costos en mano de obra y materiales, además de un aumento en la productividad de la obra (Hube et. al 2020).

1.4 Justificación y significado.

Es conocido que el concreto es uno de los materiales más empleados en la construcción a nivel global, sin embargo, sus deficiencias como su poca resistencia a la tracción y fragilidad son reconocidas. Las macro fibras provenientes de Tetra Pak surgen como una opción sostenible para abordar estas limitaciones, dado que se trata de un material reciclado que puede ser usado en la composición del hormigón.

Actualmente, existe información limitada sobre el comportamiento del hormigón reforzado con fibras sintéticas en lo que respecta a como influyen las fibras en su resistencia a la flexión. Esta tesis contribuirá a llenar este vacío de conocimiento y proporcionará información valiosa para el desarrollo de mezclas de hormigón más sostenibles y eficientes.



Imagen 1: Hormigón con fibra

Fuente: *Hormigones con fibra*, Revista estructural, 2018 (Derechos reservados)

El estudio que se realiza en este plan de titulación es novedoso tiene un potencial de impacto significativo en el campo de la construcción ya que se podría reducir el uso de materiales tradicionales, disminuir el impacto ambiental de la construcción, ampliar el campo de uso del hormigón en estructuras que requieren mayor resistencia a la flexión.

Se escoge macro fibra de Tetra Pack como la indicada para este estudio debido a que es una fibra de fácil acceso y producción ya que se usa en grandes cantidades de

envases de Tetra Pack en la industria alimentaria y farmacéutica para luego ser desechados de ahí que surgen diversos usos y tipos de reciclaje para estos envases, un artículo en el diario la república en Colombia en 2019 menciona que se vendieron más de 1000 millones de envases de Tetra Pack en Colombia a pesar que se hacen esfuerzos para reducir el impacto ambiental asociado a la producción de Tetra Pack el mismo sigue siendo alto principalmente debido a la extracción de materia prima.



Imagen 2: Tetra Pack reciclado.

Fuente: Tomado de *reciclaje 2023* Residuos profesional, 2022 (Derechos reservados)

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General.

La incorporación de macro fibras de Tetra Pack en el hormigón aumentará su resistencia a la flexión debido a que las fibras actúan como refuerzo debido a su forma alargada generan mayor resistencia a la tracción.

1.5.2 Hipótesis específicas.

Se encontrará la cantidad optima la cual permita mantener una buena trabajabilidad y no afecte la resistencia a compresión

El hormigón reforzado con macro fibras de Tetra Pack se podrá usar en aceras y vías debido a su mayor resistencia a la flexión y abrasión, así como en elementos

prefabricados para la construcción de viviendas como puede ser bloques o paneles prefabricados

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General.

Estimar la resistencia a la flexión de probetas de hormigón sin macro fibras de Tetra Pak y con diferentes cantidades de macro fibras de Tetra Pack por medio de ensayo a flexión a edades de curado de 7, 14 y 28 días para evaluar el cambio en la resistencia a flexión.

1.6.2 Objetivo Específicos.

Realizar la dosificación de un hormigón simple mediante metodología ACI para alcanzar la resistencia a compresión de 210 kg/cm².

Determinar la resistencia a flexión de probetas de hormigón con una resistencia a compresión de 20 kg/cm². Mediante ensayo de resistencia a flexión denominado método de 3 puntos en edades de curado 7, 14 y 28 días, para conocer la resistencia a flexión del hormigón tradicional.

Determinar la resistencia a la flexión en probetas en las que se adiciona 1.5, 3 y 6 kg por metro cubico respecto a la dosificación de hormigón de resistencia a compresión de 210 kg/cm² por macro fibras de Tetra Pack. Y determinar su resistencia a flexión mediante ensayo de resistencia a flexión denominado método de 3 puntos en edades de curado 7, 14 y 28 días, para conocer si existe un cambio en su resistencia a flexión.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 Agregados pétreos.

Son materiales inertes de forma granular que tienen un origen mineral se usan en la construcción para fabricar hormigón, mortero o asfalto se clasifican de acuerdo a su tamaño y sus propiedades más relevantes son tamaño, forma, textura, densidad y durabilidad.



Imagen 3: Agregados pétreos.

Fuente: Tomado de *Tipos de agregados pétreos*, Construtex México, 2016
(Derechos reservados)

2.2 Agregados naturales.

Son todos aquellos que se encuentran en la naturaleza y no se requiere ningún procesamiento para su uso, sino que solo se los debe clasificar por su tamaño y están listos para usar tales como arena, grava y piedra de río.

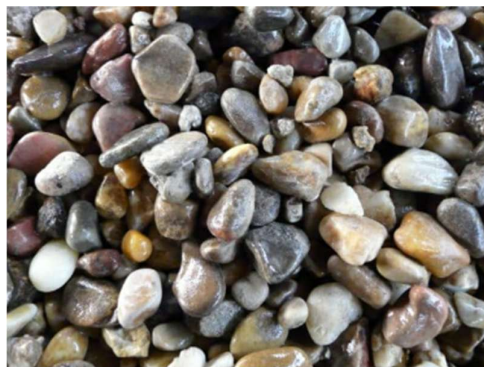


Imagen 4: Grava de río.

Fuente: Tomado de *Tipos de agregados pétreos*, Construtex México, 2016
(Derechos reservados)

2.3 Agregados artificiales.

Son aquellos que se producen de materiales naturales por medio de procesos de trituración, cribado y lavado como se tritura la piedra gruesa para conseguir arena fina.



Imagen 5: Grava triturada.

Nota: Tomado de *Tipos de agregados pétreos*, Construtex México, 2016
(Derechos reservados)

2.4 Agregados Finos.

Se produce al existir trituración de piedras gruesas sea de forma natural o de forma artificial estos pasan por un tamiz de medida 3/8" y se conservan en un tamiz 200 todo lo que se encuentra entre estos dos limites se considera agregado fino.



Imagen 6: Agregados finos.

Fuente: Tomado de *Tipos de agregados pétreos*, Construtex México, 2016
(Derechos reservados)

2.5 Agregados Grueso.

Todo agregado obtenido de forma natural o de forma artificial que al ser tamizado se retiene en el tamiz numero 4 es clasificado como agregado grueso luego se puede subclasificar de acuerdo a su uso.



Imagen 7: Agregados gruesos.

Fuente: Tomado de *Tipos de agregados para concreto*, Polimix Bolivia, 2022 (Derechos reservados)

2.6 Hormigón.

Es un material compuesto de arena y grava que se une mediante el uso de cemento, una de las características más favorables del hormigón es su resistencia a la compresión tiene una baja resistencia a la tracción pero se lo puede usar de diversas formas debido a su versatilidad lo que lo hace ideal para para aplicaciones tanto arquitectónicas como estructurales, su vida útil es larga por lo cual se ha convertido en el material más usado en construcción esto sumado a su relativo bajo costo de producción.



Imagen 8: Concreto en estado Endurecido.

Fuente: Tomado de *Propiedades del concreto endurecido*, Andrés Robayo-Salazar, 2019 (Derechos reservados)

2.7 Cemento.

Es el principal componente del hormigón no por cantidad sino por las características que aporta a la mezcla se obtiene moliendo piedra caliza y arcilla que han sido calentadas a grandes temperaturas este proceso da como resultado un material llamado Clinker que luego se mueve y mezcla con yeso y otros aditivos para dar como resultado el cemento, de acuerdo a las características brindan por estos aditivos se pueden conocer varios tipos de cementos:

Cemento portland ordinario: Uso general

Cemento portland puzolánico: Ambientes agresivos expuestos a sulfatos o ambientes marinos

Cemento de alta resistencia inicial: Alta resistencia en las primeras horas o de fraguado

Cemento portland bajo calor de hidratación: Minimiza la taza y cantidad de calor generado por la hidratación.



Imagen 9: Tipos de cemento.

Fuente: Tomado de *Tipos de cementos y normativa*, Holcim Ecuador, 2023 (derechos reservados)

2.8 Dosificación del hormigón.

Son las proporciones exactas de sus diferentes componentes para conseguir la mezcla que posea las características que estemos buscando, en pequeñas obras esta se puede realizar de forma manual o con ayuda de pequeña maquinaria como concretas, para cuando se requiere grandes volúmenes de hormigón u hormigón con adición de

aditivos esta mezcla se debe realizar en un laboratorio con ambiente controlado para garantizar su mezcla ideal, dependiendo de la relación grava - cemento – arena se puede dosificar hormigones que vayan más o menos desde los 100 kg/cm² a 500 kg/cm² de resistencia a la compresión.



Imagen 10: Mezclado de hormigón.

Fuente: Tomado de *Ensayo de cilindros de hormigón*, Eurolab Maquinas de laboratorio, 2021 (derechos reservados).

2.9 Resistencia a la Flexión.

Propiedad mecánica de un material que indica su capacidad para soportar esfuerzos de flexión o doblado sin llegar al punto de ruptura se determina mediante un ensayo de flexión realizado en un laboratorio de materiales.



Imagen 11: Resistencia a la flexión.

Fuente: Tomado de *catálogo de máquina*, Instron máquinas de ensayos, 2020 (derechos reservados).

2.10 Resistencia a la Flexión del Hormigón.

En el hormigón la resistencia a flexión en términos sencillos se puede definir como que tanta fuerza puede resistir una viga o una losa antes de quebrarse debido a flexión siendo resistencias típicas 50 kg/cm² para hormigón simple y 100 kg/cm² para hormigón reforzado con acero.



Imagen 12: Resistencia a la flexión del hormigón.

Fuente: Tomado de *manual de flexión en vigas*, Eurolab Maquinas de laboratorio, 2021 (derechos reservados).

2.11 Ensayo a Flexión en Hormigón.

Se preparan probetas en forma de vigas de hormigón cuyas dimensiones están especificadas en la norma ASTM C78 o ASTM C79 estas probetas se curan en condiciones controladas de humedad y temperatura durante un periodo determinado generalmente 28 días.

Una vez se concluido el tiempo de curado la probeta se coloca sobre dos apoyos rígidos en un equipo de ensayo a flexión con una luz fija y relacionada con las medidas de la probeta luego se aplica una carga creciente y gradual en el centro de la probeta de forma perpendicular a su eje perpendicular la carga se sigue aplicando hasta que la probeta llegue al punto de ruptura esta se da en la cara inferior de la probeta donde se dan los esfuerzos de tensión.

2.12 Fibras.

Se denomina fibra a materiales delgados y alargados flexibles que se encuentran en la naturaleza o se pueden crear artificialmente su longitud puede ser corta como las fibras de algodón o muy larga como el cabello humano pueden ser muy finas o gruesas pueden ser solidas o huecas, pero su característica mecánica se destaca por su resistencia a la rigidez y tracción, pero tienen baja ductilidad.

2.12.1 Fibras Naturales.

Se encuentran en la naturaleza y no se requiere de ningún proceso de transformación para su uso estas pueden ser de origen vegetal, animal y mineral.



Imagen 13: Fibra de coco.

Fuente: Tomado de *Catalogo de fibras*, Por cementos Tories, 2024 (Derechos reservados)

2.12.2 Fibras Sintéticas

Se producen de forma artificial a partir de materias primas como el gas natural, carbono o petróleo las más comunes son: poliéster, poliamida, acrílicas, polipropileno, aramida y carbono.



Imagen 14: Fibra sintética.

Fuente: Tomado de *Catalogo de fibras*, Por cementos Tories, 2024 (Derechos reservados)

2.12.3 Microfibras

Son fibras de origen sintético y su ancho es de 0.03 a 0.05 mm. Generalmente de plástico o de polipropileno usadas para reforzar el hormigón durante la colocación o cuando existe fisuración en edades tempranas.



Imagen 15: Microfibras.

Fuente: Tomado de *Catalogo de fibras*, Nicieza y Taverna hnos., ferretería argentina, 2022(Derechos reservados)

2.12.4 Macro fibras

Son fibras de origen sintético y su ancho es de 0.05 a 2mm. Pueden ser tanto naturales como sintéticas o en el caso de la presente tesis recicladas.

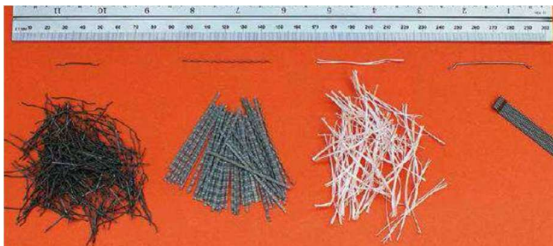


Imagen 16: Macro fibras.

Fuente: Tomado de *Hormigón con fibras*, por J. Bornand

2.12.5 Macro fibras de Tetra Pack

Las macro fibras de Tetra Pack se obtienen al triturar envases de el mismo material de manera que las fibras quedan de aproximadamente 5 cm de largo por 0,2 cm

de ancho al estar formadas de 6 capas de materiales tiene gran resistencia a la tracción y su costo es muy bajo por lo que resultan ideales para proyectos de reciclaje teniendo en cuenta que la producción de envases de tetra pack es muy alta.

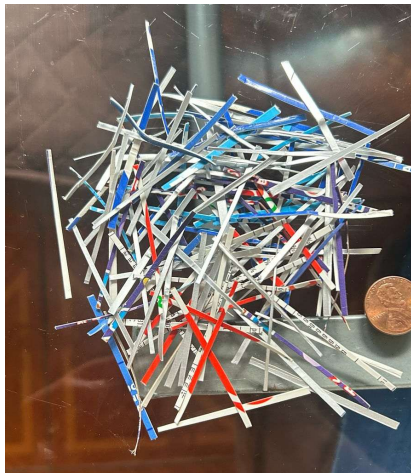


Imagen 17: Macro fibras de Tetra Pack.
Fuente: elaboración propia.

2.12.6 Macro fibras de Tetra Pack en el Hormigón

Al incorporar estas macro fibras en la mezcla de hormigón se mejora la ductilidad y tenacidad incrementando la capacidad del hormigón para deformarse sin romperse lo que lo hace más resistente tanto a grietas como a fisuras lo que es beneficioso particularmente para hormigones expuestos a esfuerzos de flexión o tracción como losas vigas o pavimentos.

2.13 Tipos de fibras usadas en el hormigón

En el diseño mezclas de hormigón se ha usado diferentes tipos de fibras en búsqueda de mejorar sus propiedades mecánicas las más usadas han sido fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de polipropileno, fibras de cáñamo, fibras de lino, fibras de coco. Algunas de estas fibras han demostrado eficiencia en el aumento de propiedades mecánicas del hormigón mientras que otras han demostrado que solo pueden ser usadas para elementos no estructurales o de baja resistencia.

CAPITULO 3: METODOLOGIA

3.1 Caracterización de los materiales

Consta de un grupo de ensayos mediante los cuales se puede determinar las características físicas, químicas mecánicas y estructurales de un material es fundamental esta caracterización antes de la construcción de cualquier obra civil pues a sus resultados está ligado la resistencia del hormigón, la dosificación del hormigón , una vez realizada esta caracterización se determina si los materiales que se usaran para la construcción cumplen con los requerimientos necesarios caso contrario se debe buscar materiales de otra cantera o ubicación.

3.2 Ensayo de granulometría (INEN 696)

El ensayo de granulometría consiste en determinar la distribución de tamaños de partícula de un material granular, de esta manera se puede encontrar tanto el módulo de finura del material, así como la curva granulométrica, misma que debe estar dentro de dos curvas (inferior y superior) dadas en la norma INEN 696, solo si se cumple el requisito de módulo de finura adecuado y curva granulométrica dentro de los límites el material se puede usar para elaborar hormigón.

- Procedimiento para agregado grueso:
 - Seleccionar una muestra de 15 kg debido a que el tamaño máximo nominal de la grava es de 1 ½” y dejarla al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de Ensayo	
mm	pulg.	kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	½	2	4
19,0	¾	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1½	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 ½	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 ½	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Imagen 18. Muestra mínima según tamaño nominal

Fuente: Tomado de *Norma INEN 696*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

- Seleccionar los tamices de abertura adecuada, y se deben colocar sus aberturas de forma decreciente en nuestro caso desde el tamiz 1 ½” (tamaño máximo nominal) hasta el tamiz N°4 (tamiz que separa finos de gruesos)
- Se debe colocar la muestra de grava sobre el primer tamiz evitando que este se sobrecargue y se debe agitar los tamices de forma manual o mecánicamente hasta conseguir tamizar la totalidad de la muestra.
- Pesar el material retenido en cada tamiz.

3.2.1 Guía cálculos de ensayo

- Grafica curva granulométrica.

Esta curva se representa gráficamente en donde en el eje X representa el tamaño de las partículas del material en milímetros en escala logarítmica y el eje Y representa el porcentaje acumulado que pasa en escala lineal se grafica los puntos correspondientes a cada tamiz, de acuerdo al tamaño en el eje X y el porcentaje acumulado en el eje Y, se une los puntos con una línea suavizada.

Limites

Límite inferior curva granulométrica		Límite superior curva granulométrica	
Abertura (mm)	% Pasa	Abertura (mm)	% Pasa
37.5	100	37.5	100
25	90	25	100
19	40	19	85
9.5	0	9.5	15
4.75	0	4.75	5
2.36	0	2.36	0

Tabla 1. Límites de curva granulométrica agregado grueso

Fuente: Tomado de *Norma INEN 696*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

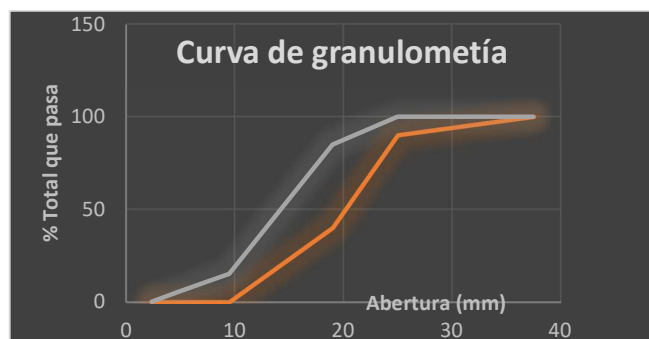


Imagen 19: Grafica limites curva granulométrica agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia

- Verificación de pérdida.

La norma INEN 696 en el requisito 5.4.7 estipula que el porcentaje de pérdida de material en el ensayo no debe ser mayor a 0.3%

$$\frac{\sum Ret - m_o}{\sum \% Ret} * 100 < 0.3 \quad \text{Ecuación N°1}$$

Donde:

$\sum Ret$ = Sumatoria retenido en cada tamiz.

m_o = Muestra original.

- Módulo de finura.

Tamices que se incluyen en la serie para cálculo de módulo de finura de agregado grueso son tamices 3/4", 3/8", N°4, N°8 e inferiores (bandeja)

$$Mf = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100} \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Donde:

Mf = Modulo de finura.

% retenido acumulado= sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices que se incluyen para cálculo de módulo de finura.

3.2.2 Procedimiento para agregado fino

- Seleccionar una muestra de 350g debido a que la muestra mínima después del secado debe ser 300g, dejarla al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas
- Seleccionar los tamices de abertura adecuada, y se deben colocar sus aberturas de forma decreciente desde el tamiz N°4 hasta el tamiz N°200
- Se debe colocar la muestra de arena sobre el primer tamiz evitando que este se sobrecargue y se debe agitar los tamices de forma manual o mecánicamente hasta conseguir tamizar la totalidad de la muestra.
- Pesar el material retenido en cada tamiz.

3.2.3 Guía de cálculos agregado fino

- Grafica curva granulométrica.

Esta curva se representa gráficamente en donde en el eje X representa el tamaño de las partículas del material en milímetros en escala logarítmica y el eje Y representa el porcentaje acumulado que pasa en escala lineal se grafica los puntos correspondientes a cada tamiz, de acuerdo al tamaño en el eje X y el porcentaje acumulado en el eje Y, se une los puntos con una línea suavizada.

Límites curva granulométrica			
Límite inferior		Límite superior	
Abertura	% Que pasa	Abertura	% Que pasa
9.5	100	9.5	100
4.75	95	4.75	100
2.36	80	2.36	100
1.18	50	1.18	85
0.6	25	0.6	60
0.3	5	0.3	30
0.15	0	0.15	10

Tabla 2. Límites de curva granulométrica agregado fino
Fuente: Tomado de *Norma INEN 696*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

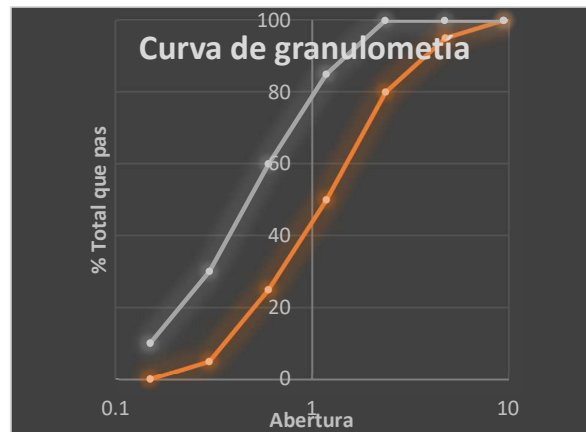


Imagen 20 Grafica limites curva granulométrica agregado fino
Fuente: Elaboración propia.

- Verificación de pérdida.

La norma INEN 696 en el requisito 5.4.7 estipula que el porcentaje de pérdida de material en el ensayo no debe ser mayor a 0.3%.

$$\frac{\sum Ret - mo}{\sum \% Ret} * 100 < 0.3 \quad \text{Ecuación N°2}$$

Donde:

$\sum Ret$ = Sumatoria retenido en cada tamiz.

mo = Muestra original.

- Módulo de finura.

Tamices que se incluyen en la serie para cálculo de módulo de finura de agregado fino son todos los tamices de la serie de 3/4" a N°100.

$$Mf = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Ecuación N° 3

Donde:

Mf= Modulo de finura.

% retenido acumulado= sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices que se incluyen para cálculo de módulo de finura

– Criterios para clasificación de arena.

Mf entre 2.3 y 3.1: arena fina

Mf entre 3.1 y 3.5: arena media

Mf entre 3.5 y 4: arena gruesa



Imagen 21: Ensayo de granulometría.

Fuente: Tomado de *Ensayo de suelos para obras civiles*, Luigi Delgado 2023
(Derechos reservados)

3.3 Ensayo de densidad suelta y compactada (INEN 858)

El principal objetivo de este ensayo es determinar la densidad suelta, la densidad compactada, tanto para agregado grueso como para agregado fino

Se realiza el mismo procedimiento tanto para agregado fino como para agregado grueso.

- Determinación de densidad suelta.
- Primero se debe seleccionar un recipiente para realizar en el ensayo por nuestro tamaño nominal del árido se usa un recipiente cilindro de metal con capacidad de 14 litros y procedemos a registrar su peso. (para agregado fino se puede usar uno más pequeño).

Tamaño máximo nominal de los áridos		Capacidad del recipiente ^A	
Pulg.	mm	Ft ³	L (m ³)
1/2	12,5	1/10	2,8 (0,0028)
1	25,0	1/3	9,3 (0,0093)
1 1/2	37,5	1/2	14 (0,014)
3	75	1	28 (0,028)
4	100	2 1/2	70 (0,070)
5	125	3 1/2	100 (0,100)

Imagen 22: Capacidad de los recipientes.

Fuente: Tomado de *Norma INEN 585*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

- Colocamos en el horno una cantidad de material suficiente para llenar el recipiente antes seleccionado y dejamos en horno durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se vierte el agregado seco dentro del recipiente sin realizar ningún tipo de apisonamiento una vez lleno se debe enrasar con ayuda de una paleta metálica o una regla.
- Una vez lleno se registra el peso del material más recipiente.

3.3.1 Guía de Cálculos para densidades suelta y compactada

$$\rho = \frac{w2 - w1}{v} \quad \text{Ecuación N°4}$$

Donde:

W2 = peso material más recipiente.

W1 = peso recipiente.

P = Densidad específica suelta.

V = Volumen recipiente.

- Determinación de densidad compactada para arena y grava.
- Se realiza mediante el ensayo Proctor normal, primero se debe tomar una muestra representativa de arena y llevar al horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C ± 5°C.
- Se coloca una porción de suelo en un molde cilíndrico cuyas dimensiones y capacidades volumétricas son conocidas por laboratorio, la porción de suelo se coloca en tres capas y se compacta usando una masa estándar y golpeando 25 veces por capa.
- Se pesa el molde con la porción de suelo y luego se pesa solo el molde.

$$\rho = \frac{w2 - w1}{v} \quad \text{Ecuación N°5}$$

Donde:

W_2 = peso material más recipiente.

W_1 = peso recipiente.

P = Densidad específica compactada.

V = Volumen recipiente.



Imagen 23: Ensayo densidad suelta y compactada.

Fuente: Tomado de *laboratorio materiales de construcción*, Universidad centro americana, UCA, 2021

3.4 Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino (INEN 856)

Esta norma se utiliza para describir el procedimiento para llegar a determinar, densidad (sss), densidad (sh), densidad aparente y relativa, así como porcentaje de vacíos.

- Se sumerge en agua una muestra de arena previamente seca al horno esta arena se debe dejar en agua por alrededor de 24 horas hasta obtener un peso constante.
- Se usa el método gravimétrico con uso de picnómetro, llenar el picnómetro parcialmente con agua y añadir 500g de muestra seca.
- Llenar aproximadamente un 90% de agua el picnómetro y sacar los vacíos mediante agitación manual.
- Luego de retirar todas las burbujas llenar el picnómetro al 100% de su capacidad y registrar su peso.

- Retirar el árido del picnómetro y llevarlo a secar por 24 horas, luego registrar su peso.
- Llenar el picnómetro solamente con agua hasta su marca de calibración y registrar su peso.
- Para determinar la absorción se usa una muestra de árido de 500g el cual debe estar en condición saturada superficialmente seca, luego se seca en horno por 24 horas y se registra su peso

3.4.1 Guía de cálculos para ensayo densidad relativa.

$$SH = \frac{A}{B + S - C} \quad \text{Ecuación N°6}$$

Donde:

SH = densidad relativa (gravedad específica).

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

$$SSS = \frac{S}{B + S - C} \quad \text{Ecuación N°7}$$

Donde:

SSS = densidad relativa (gravedad específica), saturada superficialmente seca

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

$$Da = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación N°8

Donde:

Da = Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

A = Masa de la muestra seca al horno.

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

$$DSH = \frac{997.5A}{B + S - C}$$

Ecuación N°9

Donde:

DSH = Densidad (SH), kg/m³

A = Masa de la muestra seca al horno.

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

$$DSSS = \frac{997.5S}{B + S - C}$$

Ecuación N° 10

Donde:

DSSS = Densidad (SSS), kg/m³ (saturada superficialmente seca)

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

$$D_{ASSS} = \frac{997.5A}{B + A - C}$$

Ecuación N° 11

Donde:

DSSS = Densidad aparente kg/m³

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

A = Masa de la muestra seca al horno.

$$A_s = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ecuación N° 12

Donde:

As= Absorción (%).

A = Masa de la muestra seca al horno.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.



Imagen 24: Ensayo picnómetro.

Fuente: Tomado de *laboratorio materiales de construcción*, Universidad centro americana, UCA, 2021

3.5 Ensayo de contenido de humedad (INEN 862)

Se define como la relación entre la masa de agua contenida en una muestra de un material granular y la misma masa completamente seca. Este ensayo sigue el mismo procedimiento para agregado grueso y agregado fino.

3.5.1 Guía de cálculo para humedad

- Seleccionar una muestra de material registrar su peso (la cantidad de muestra varía dependiendo del tamaño del material)
- Colocar la muestra de suelo al horno durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Retirar y pesar la muestra completamente seca.

$$Ch = \frac{A - B}{A} * 100$$

Ecuación N° 13

- Donde:

A = Peso inicial.

B = Peso Final.

Ch = Contenido de humedad.



Imagen 25: Ensayo contenido de humedad.

Fuente: Tomado de *Determinación de contenido de humedad* Procedimientos integrados, 2018 (Derechos reservados)

3.6 Ensayo de Abrasión (INEN 861)

Es un procedimiento para evaluar la resistencia de un material a el desgaste por impacto y a la fricción. (agregado grueso).

- Seleccionar una muestra representativa de agregados gruesos con un tamaño máximo de 37.5mm.
- Lavar la muestra para eliminar el contenido de suciedad y de finos.
- Se lleva el horno la muestra durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. esto para obtener un peso constante eliminando la humedad presente.
- Se pesa y registra el peso de la muestra seca se debe usar una balanza con precisión de 0.1 Kg
- Se introduce una carga abrasiva normalizada en el tambor rotatorio cuya carga abrasiva consiste en esferas de acero la cantidad de esta carga depende del tamaño de los agregados (ver imagen N°6)
- Se cierra el tambor y se hace rotar a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto hasta llegar a un numero de revoluciones entre 500 y 650.
- Al finalizar la rotación se retira la muestra y se la tamiza en un tamiz N ° 12



Imagen 26: Maquina de los ángeles

Fuente: Tomado de *guía de laboratorio* Universidad Francisco José de Caldas, 2021

Fracciones granulométricas mm	Tamaño de tamiz intermedio mm	Porcentaje que atraviesa el tamiz intermedio %	Número de bolas	Masa de la carga de bolas g
4 a 6,3	5	30 a 40	7	2 930 a 3 100
4 a 8	6,3	60 a 70	8	3 410 a 3 540
6,3 a 10	8	30 a 40	9	3 840 a 3 980
8 a 11,2	10	60 a 70	10	4 250 a 4 420
11,2 a 16	14	60 a 70	12	5 120 a 5 300

Imagen 27: Granulometría para máquina de los ángeles y cantidad de esferas:

Fuente: Tomado de *guía de laboratorio* Universidad Francisco José de Caldas, 2021

3.6.1 Guía de cálculos para ensayo de abrasión.

$$ID = \frac{A - B}{B} * 100$$

Ecuación N° 14

Donde:

A = Peso original de la muestra

B = Peso del porcentaje que se retiene en el tamiz N ° 12

ID = índice de desgaste

– Interpretación de resultados

Mientras más pequeño sea el índice de desgaste mejor resistencia a el desgaste por impacto ver el porcentaje mínimo en imagen N°7

CAPÍTULO PG-3		COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES
No.	TÍTULO	
551	Hormigón magro vibrado	<35

Imagen 28: Valor máximo en porcentaje de ID.

Fuente: Tomado de *determinación de la resistencia a la fragmentación por máquina de los ángeles*, Universidad Politécnica de Madrid, 2024

3.7 Ensayo de Colorimetría (INEN 855)

Es un método de laboratorio usado para evaluar la presencia de materia orgánica en los agregados finos destinados a la fabricación de hormigones hidráulicos.

- Seleccionar una muestra representativa de arena y se la debe pesar con una precisión de 0.1 kg
- Se tamiza la arena por un tamiz N°80 para eliminar partículas gruesas.
- Se prepara una solución de hidróxido de sodio solución que tiene una concentración específica.
- En un recipiente graduado se coloca la solución preparada y la arena tamizada.
- Se debe agitar de forma vigorosa por alrededor de 15 minutos.
- Se deja reposar la mezcla durante un periodo de 24 horas para poder ver su color.

3.7.1 Guía para interpretación de resultados.

Mientras más clara sea el agua en el recipiente luego de las 24 horas menos contenido de impurezas tendrá la arena para esto se usa una paleta de colores cualquier color más claro que el color estándar es aceptable y cualquiera más oscuro se debe descartar (ver la imagen N°8).



Imagen 29: colorimetría adecuada

Fuente: Tomado de *Tecnología constructiva contemporánea*, Universidad Nacional San Antonio Abad.

3.8 Dosificación de hormigón ACI 211

Para realizar la dosificación de hormigón en base a la norma ACI 211 se necesita conocer datos de los materiales que se usaran en la elaboración del hormigón la mayoría de estos datos se obtienen en los ensayos de laboratorio antes descritos y otros son conocidos estos datos son:

Peso específico del cemento.

Peso unitario suelto del agregado fino.

Peso unitario compactado del agregado fino.

Peso específico del agregado fino.

Peso unitario suelto del agregado grueso.

Peso unitario compactado del agregado grueso.

Peso específico del agregado grueso.

Porcentaje de absorción agregado fino.

Porcentaje de absorción agregado grueso.

Contenido de humedad fino.

Contenido de humedad grueso.

Tamaño máximo nominal agregado grueso.

Módulo de finura agregado fino.

Peso específico del agua

Con estos datos conocidos se puede seguir la receta de dosificación para el tipo de hormigón que se busque la cual se describe en el capítulo resultados de la presente tesis.

CAPITULO 4: Levantamiento de información en laboratorio.

Todos los ensayos de caracterización de materiales, incluyendo granulometría, densidad suelta y compactada, densidad específica, resistencia a la abrasión, contenido de humedad y colorimetría, se realizaron en laboratorio bajo condiciones controladas, con un número de réplicas igual a tres ($n=3$) para garantizar la reproducibilidad de los resultados. Los datos presentados en este capítulo corresponden a los valores promedio obtenidos en dichas mediciones, con el fin de minimizar variaciones experimentales y asegurar la representatividad de los resultados.

4.1 Ensayo de granulometría agregado grueso.

– Tabulación de datos ensayo granulométrico.

Muestra inicial		4929.1				g
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	% Total que retiene	% total que pasa	% Ret acumulado
1 1/2"	37.5	0	0	0	100	0
1"	25	0	0	0	100	0
3/4"	19	880.9	880.9	17.87	82	17.87
1/2"	12.5	2616.9	3497.8	53.09	29	70.96
3/8"	9.5	898.6	4396.4	18.23	11	89.19
1/4"	6.3	462.3	4858.7	9.38	1	98.57
N°4	4.75	23.8	4882.5	0.48	1	99.05
N°8	2.36	20.1	4902.6	0.41	1	99.46
bandeja		19.2	0.39		0	99.85
	sumatoria	4921.8			sumatoria	405.43
NOTA:			Sumo 300 de resto de tamices de la serie de módulo de finura que están comprendidos en lo que pasa del tamiz N°8			705.43
	Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del ensayo, ya que la norma no los contempla para la clasificación granulométrica del material.					

Tabla 3: Resultados ensayo granulométrico agregado grueso
Fuente: Elaboración propia

- Verificación de pérdida.

verificación de norma requisito 5.4.7 norma INEN 696 no puede ser mayor a 0.3%
0.00
0.15
Nota: ver capítulo 3 ensayo granulométrico "verificación de pérdida" ecuación N°2

Tabla 4: Verificación de pérdida en agregado grueso
Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de módulo de finura.

Módulo de finura calculado = 7.02 (ver ecuación N°3)

- Curva granulométrica.

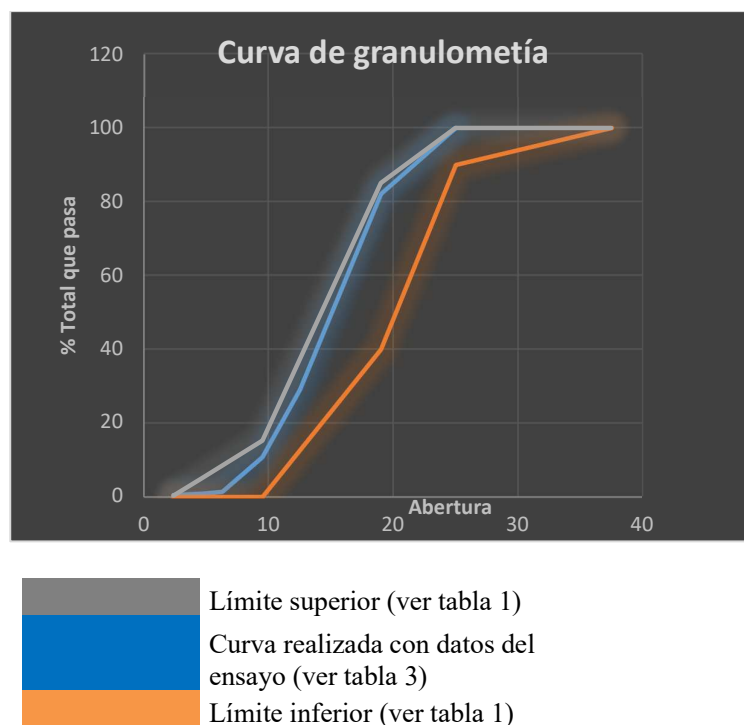


Imagen 30: curva granulométrica agregado grueso
Fuente: elaboración propia.

El análisis de la curva granulométrica evidencia que la distribución de tamaños de partícula del agregado grueso se encuentra predominantemente dentro de los límites establecidos por las curvas superior e inferior de referencia. El módulo de finura promedio obtenido fue de 7.08, valor que, si bien no está sujeto a un rango normativo específico según la norma INEN 696 la cual únicamente especifica la clasificación por tamaño de agregado, resulta consistente con las características granulométricas requeridas para su uso en mezclas de concreto.

4.2 Ensayo de granulometría agregado fino.

– Tabulación de datos ensayo granulométrico.

Muestra inicial		490.5				g
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	% Total que retiene	% Total que pasa	% Ret acumulado
3/8"	9.5	0	0	0	100	0
N°4	4.75	2.4	1.5	1.5	98.5	1.5
N°8	2.36	110.6	112.1	22.55	74.45	24.05
N°16	1.1	120.7	232.8	24.61	51.34	48.66
N°30	0.59	86.4	319.2	17.61	33.73	66.27
N°50	0.297	53.3	372.5	10.87	22.86	77.14
N°100	0.149	37.4	409.9	7.62	15.24	84.76
N°200	0.075	33.8	443.7	6.89	8.35	91.65
pasa 200		45.2		9.22		
	sumatoria	489.8			sumatoria	302.37
	Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del ensayo, ya que la norma no los contempla para la clasificación granulométrica del material.					

Tabla 5: Resultados ensayo granulométrico agregado fino
Fuente: elaboración propia.

- Verificación de pérdida.

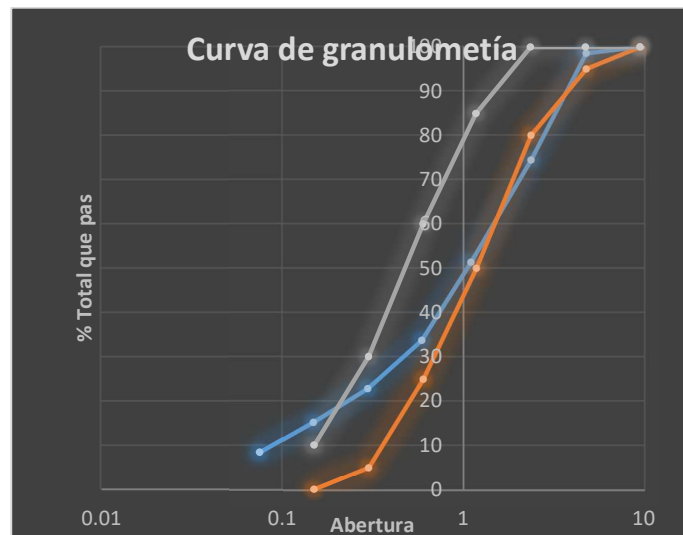
verificación de norma requisito 5.4.7 norma INEN 696 no puede ser mayor a 0.3%
0.00014
0.14
Nota: ver capítulo 3 ensayo granulométrico "verificación de pérdida" ecuación N°2

Tabla 6: Verificación de pérdida en agregado fino
Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de módulo de finura.

Módulo de finura calculado = 3.01 (ver ecuación N°3)

- Curva granulométrica.



	Límite superior (ver tabla 2)
	Curva realizada con datos del ensayo (ver tabla 5)
	Límite inferior (ver tabla 2)

Imagen 31: Curva granulométrica agregado fino
Fuente: elaboración propia

El análisis granulométrico del agregado fino revela que la distribución de partículas se ajusta mayoritariamente dentro de los límites definidos por las curvas granulométricas superior e inferior de referencia. El módulo de finura promedio obtenido fue de 3.1, valor que se encuentra dentro del intervalo establecido por la norma INEN 696 (2.5 a 3.2) para agregados finos destinados a la fabricación de hormigón. En virtud de estos resultados, se concluye que el material evaluado cumple con los requisitos granulométricos exigidos, por lo que se considera apto para su empleo en la dosificación y producción de hormigón dentro del marco experimental de esta investigación.

4.3 Ensayo de densidad suelta y compactada.

– Densidad suelta árido fino.

Densidad suelta agregado fino					
Peso cilindro (kg)		0.6287		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación 4	
Volumen cilindro (m^3)		0.000991634			
Nº ensayo	Nº Muestra	P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	2.2824	1.6537	1667.7	1.668
	muestra 2	2.2812	1.6525	1666.4	1.666
	muestra 3	2.2938	1.6651	1679.1	1.679
Ensayo 2	Muestra 1	2.297	1.6683	1682.4	1.682
	muestra 2	2.2939	1.6652	1679.2	1.679
	muestra 3	2.3041	1.6754	1689.5	1.690
Ensayo 3	Muestra 1	2.3124	1.6837	1697.9	1.698
	muestra 2	2.3033	1.6746	1688.7	1.689
	muestra 3	2.3046	1.6759	1690.0	1.690
Densidad suelta promedio				1682.3	1.682

Tabla 7: cálculo y resultados densidad suelta árido fino
Fuente: elaboración propia.

– Densidad compactada árido fino.

Peso cilindro (kg)		0.6287		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación 5	
Volumen cilindro (m^3)		0.000991634			
Nº ensayo	Nº Muestra	P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	2.46	1.8313	1846.7	1.847
	muestra 2	2.45	1.8213	1836.7	1.837
	muestra 3	2.46	1.8313	1846.7	1.847
Ensayo 2	Muestra 1	2.44	1.8113	1826.6	1.827
	muestra 2	2.44	1.8113	1826.6	1.827
	muestra 3	2.45	1.8213	1836.7	1.837
Ensayo 3	Muestra 1	2.5	1.8713	1887.1	1.887
	muestra 2	2.48	1.8513	1866.9	1.867
	muestra 3	2.48	1.8513	1866.9	1.867
Densidad compactada promedio				1849.0	1.849

Tabla 8: cálculo y resultados densidad compactada árido fino
Fuente: elaboración propia.

– Densidad suelta árido grueso.

Densidad suelta agregado grueso					
Peso cilindro (kg)		2.603		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación 4	
Volumen cilindro (m^3)		0.0054691			
Nº ensayo	Nº Muestra	P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	9.85	7.247	1325.1	1.325
	muestra 2	9.75	7.147	1306.8	1.307
	muestra 3	9.75	7.147	1306.8	1.307
Ensayo 2	Muestra 1	10.05	7.447	1361.6	1.362
	muestra 2	9.85	7.247	1325.1	1.325
	muestra 3	9.9	7.297	1334.2	1.334
Ensayo 3	Muestra 1	9.75	7.147	1306.8	1.307
	muestra 2	9.7	7.097	1297.7	1.298
	muestra 3	9.8	7.197	1315.9	1.316
Densidad suelta promedio				1320.0	1.320

Tabla 9: cálculo y resultados densidad suelta árido grueso
Fuente: elaboración propia

– Densidad compactada árido grueso.

Densidad compactada agregado grueso					
Peso cilindro (kg)		2.603		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación 5	
Volumen cilindro (m^3)		0.0054691			
N° ensayo	N° Muestra	P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	10.25	7.647	1398.2	1.398
	muestra 2	10.4	7.797	1425.6	1.426
	muestra 3	10.35	7.747	1416.5	1.417
Ensayo 2	Muestra 1	10.65	8.047	1471.4	1.471
	muestra 2	10.45	7.847	1434.8	1.435
	muestra 3	10.6	7.997	1462.2	1.462
Ensayo 3	Muestra 1	10.45	7.847	1434.8	1.435
	muestra 2	10.4	7.797	1425.6	1.426
	muestra 3	10.3	7.697	1407.4	1.407
Densidad compactada promedio				1430.7	1.431

Tabla 10: cálculo y resultados densidad compactada árido grueso

Fuente: elaboración propia

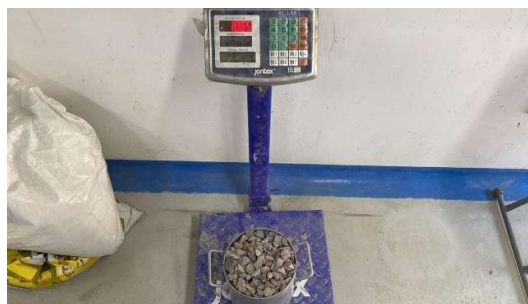


Imagen 32: registro de pesos para densidades para agregado fino grueso,

Fuente: elaboración propia.

4.4 Resultados de ensayo determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.

- Densidad relativa (SH) ver ecuación N°6.

DENSIDAD RELATIVA SH					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	SH (promedio)
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.37	2.41
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.45	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.41	

Tabla 11: cálculo y resultados densidad relativa SH
Fuente: elaboración propia.

- Densidad relativa (SSS) ver ecuación N°7.

DENSIDAD RELATIVA SSS					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SSS	SSS (promedio)
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.46	2.49
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.514	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.495	

Tabla 12: cálculo y resultados densidad relativa SSS
Fuente: elaboración propia.

- Densidad relativa aparente (SSS) ver ecuación N°8.

DENSIDAD RELATIVA APARENTE SSS					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SSS	SSS (promedio)
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.62	2.62
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.61	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.62	

Tabla 13: cálculo y resultados densidad relativa aparente SSS
Fuente: elaboración propia.

- Densidad SH en kg/m^3 ver ecuación N°9.

DENSIDAD SH					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	SH (promedio) Kg/m^3
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2364.75	2407.32
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2447.61	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2409.6	

Tabla 14: cálculo y resultados densidad SH en kg/m^3
Fuente: elaboración propia.

- Densidad SSS en kg/m^3 ver ecuación N°10.

DENSIDAD SSS					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	SSS (promedio) Kg/m^3
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2458.09	2484.746
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2507.57	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2488.57	

Tabla 15: cálculo y resultados densidad SSS en kg/m^3
Fuente: elaboración propia.

- Densidad aparente en kg/m^3 ver ecuación N°11.

DENSIDAD APARENTE					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	D.A(promedio) Kg/m^3
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2608.86	2609.93
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2604.14	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2616.79	

Tabla 16: cálculo y resultados densidad aparente en kg/m^3
Fuente: elaboración propia.

- Porcentaje de absorción ver ecuación N°12.

ABSORCION					
N° Ensayo	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	Absorción %	Absorción (promedio) %
Ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	3.95	3.22
Ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.45	
Ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	3.28	

Tabla 17: cálculo y resultados porcentaje de absorción
Fuente: elaboración propia.



Imagen 33: Registro de peso de picnómetro más muestra.
Fuente: elaboración propia.

4.5 Resultados ensayo de contenido de humedad.

- Árido fino ver ecuación N°13.

Contenido de humedad árido fino (ecuación 13)				
Muestra	Peso inicial	Peso final	% Humedad	Promedio %
1	500.3	492.6	1.56	1.62
2	500.6	492.9	1.56	
3	500.4	491.8	1.75	

Tabla 18: cálculo y resultados contenido de humedad árido fino.
Fuente: elaboración propia.

- Árido grueso ver ecuación N°13.

Contenido de humedad árido grueso (ecuación 13)				
Muestra	Peso inicial	Peso final	% Humedad	Promedio %
1	2000.1	1988.8	0.57	0.44
2	2000.6	1991.1	0.48	
3	2000	1994.6	0.27	

Tabla 19: cálculo y resultados contenido de humedad árido grueso.
Fuente: elaboración propia.

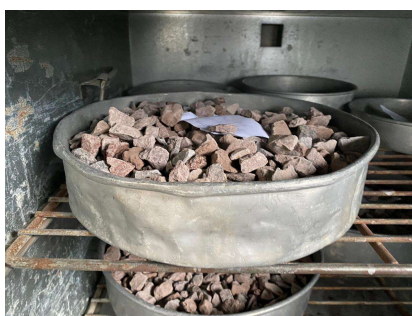


Imagen 34: Muestra puesta en horno para humedad.
Fuente: elaboración propia.

4.6 Resultado de ensayo de Abrasión.

Los resultados del análisis granulométrico determinaron que el material corresponde a una gradación tipo B, conforme a la clasificación establecida para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4"). De acuerdo con lo estipulado en la norma INEN 861 para esta categoría de agregados, el ensayo de desgaste mediante la máquina de Los Ángeles requiere la utilización de 11 esferas metálicas como carga abrasiva, empleando una muestra representativa de 5000 g de material previamente clasificado en el rango granulométrico comprendido entre 9.5 mm y 19 mm.

Muestra 1	Gramos	Índice Desgaste%	Promedio %
Peso inicial combinado	5000.1	0.238	0.238
Peso retenido luego de 100 R	4731.9		
Peso retenido luego de 500 R	3809.1		
Muestra 2			
Peso inicial combinado	5000.9	0.241	
Peso retenido luego de 100 R	4722.3		
Peso retenido luego de 500 R	3795.6		
Muestra 3			
Peso inicial combinado	5000.2	0.236	
Peso retenido luego de 100 R	4728.1		
Peso retenido luego de 500 R	3820.1		

Tabla 20: cálculo y resultados índice de desgaste árido tamaño nominal $\frac{3}{4}$ ".
Fuente: elaboración propia.



Imagen 35: Tamizado de material antes de máquina de los ángeles.
Fuente: elaboración propia.

4.7 Resultado de ensayo de colorimetría.

PIFO		
ENSAYO DE COLORIMETRÍA		
ESCALA DE COLOR	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
		

Imagen 36: Resultado ensayo colorimetría,
Fuente: elaboración propia.

4.8 Dosificación de hormigón f_c' 210 kg/cm² sin macro fibras de Tetra Pack.

La elaboración de esta dosificación de hormigón se realizó de acuerdo a la norma ACI 211, como previo requisito nuestros áridos fino y grueso cumplen con satisfactoriamente con los ensayos de laboratorio realizados con anterioridad, se elabora una dosificación para 1 m³.

- Datos generales que del hormigón a elaborar.

Datos generales		
f_c	210	kg/cm ²
Densidad del cemento	3150	Kg/m ³
Asentamiento buscado	80	mm
densidad del agua	1000	kg/m ³

Tabla 21: Datos generales para dosificación
Fuente: elaboración propia.

- Datos obtenidos en laboratorio.

Datos encontrados en ensayos realizados				
Agregados		Fino	Grueso	Nombre del ensayo donde se calculo
Peso unitario suelto	(kg/m ³)	1702	1320	Densidad suelta y compactada INEN 585
Peso unitario compactado	(kg/m ³)	1849	1431	
Peso específico (SSS)	(kg/m ³)	2385	2609	Densidad relativa y aparente INEN 856
Módulo de finura	-	3.1	7.08	Granulometría INEN 696
TNM	(mm)		19	
%ABS	%	3.33%	3.22%	Densidad relativa y aparente INEN 856
%Humedad	%	1.62%	0.44%	Contenido de humedad INEN 862

Tabla 22: resultados de ensayos de laboratorio para usar en dosificación.
Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de diseño requerido para llegar a la resistencia 210 kg/cm².

Para llegar a la resistencia real se requiere realizar una dosificación buscando una resistencia requerida f'_{cr} que es mayor a la resistencia requerida esto se hace con la ayuda de un valor de desviación estándar esto se describe en la norma INEN 1855-1.

$$FC'R = \frac{F'C}{DE} * 100$$

Ecuación N° 15

Donde:

FC'R= Resistencia requerida o de diseño.

F'C= Resistencia real que se busca.

DE= desviación estándar.

4.8.1 Resistencia requerida.

Cálculo de la resistencia promedio requerida F'CR		
F'C(real)	210	kg/cm ²
Desviación estándar	0.769	descrito en INEN 1855
F'CR (diseño)=	273.08	Kg/cm ²

Tabla 23: Calculo de F'CR.
Fuente: elaboración propia.

4.8.2 Contenido de aire.

Contenido de aire			
TNM	19	mm	normal sin incorporador
Contenido de aire	2%		

Tabla 24: Contenido de aire según ACI 211.
Fuente: elaboración propia.

4.8.3 Contenido de agua.

Contenido de agua			
Asentamiento	8	mm	norma (pavimento losas)
TNM	19	mm	
Contenido de agua	210	L	

Tabla 25: Contenido de agua en litros según ACI 211.
Fuente: elaboración propia.

4.8.4 Relación agua cemento.

Para encontrar la relación agua cemento se utiliza el siguiente Abaco en el cual se utiliza el módulo de finura y la resistencia requerida.

relación agua-cemento, es importante conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua-cemento para los materiales a usarse, especialmente en el caso de arenas sucias.

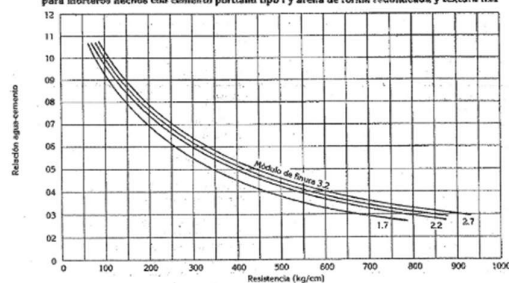
Sin embargo, en las figuras 14.1 y 14.2 se puede observar esta correspondencia para arenas limpias de forma cúbica y textura rugosa (de cantera) y arenas

sentada con anterioridad:

Tabla 14.7 Diferentes consistencias del mortero

CONSISTENCIA	% DE FLOTILLO
Seca	90 %
Plástica	110 %
Fluida	130 %

Figura 14.1 Correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland tipo I y arena de forma redondeada y textura lisa



312

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO

Imagen 35: Abaco para cálculo de relación agua cemento

Fuente: tomado de *tecnología del concreto*, Diego Sánchez, 2001 Colombia.

RELACION AGUA CEMENTO	
A/C	0.676

Tabla 26: Tabla relación agua cemento.

Fuente: elaboración propia.

4.8.5 Contenido de cemento.

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Peso agua}}{\text{Relación agua cemento}}$$

Ecuación N° 16

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{210\text{kg}}{0.676} = 310.65 \text{ kg}$$

4.8.6 Contenido de agregado grueso.

$$VAAG = \frac{\text{Masa aparente}}{\text{peso específico}}$$

Ecuación N° 17

$$VAAG \text{ m}^3 = \frac{1812.56(\text{adimensional})}{2609 \text{ kg/m}^3} = 0.7 \text{ m}^3$$

Donde:

VAAG = Volumen aparente del agregado grueso.

Masa aparente = Masa aparente en agua SSS (ver tabla 13 densidad relativa aparente).

Peso específico = Peso específico SSS agregado grueso (ver tabla 20).

- $Contenido\ AG = VAAG * Peso\ unitario$ *Ecuación N° 18*

$$Contenido\ AG = 0.7m^3 * 1431\ kg/m^3$$

$$Contenido\ AG = 1001.7\ kg$$

Donde:

Contenido AG: Contenido agregado grueso.

VAAG = Volumen aparente del agregado grueso.

Peso unitario = Peso unitario seco agregado grueso (ver tabla 20).

4.8.7 Contenido de agregado fino.

- $Volumen\ C = Cont.\ cemento * Densidad\ cemento$ *Ecuación N° 19*

$$Volumen\ C = 310.65kg/3150kg/m^3$$

$$Volumen\ C = 0.099\ m^3$$

Donde:

Volumen C: Volumen cemento.

Cont. Cemento = Contenido cemento (ecuación 16)

Densidad cemento = Densidad específica cemento (ver tabla 20).

- $Volumen\ AG = Cont.\ AG / Densidad\ AG$ *Ecuación N° 20*

$$Volumen\ AG = 1001.7 / 2609\ kg/m^3$$

$$Volumen\ AG = 0.383\ m^3$$

Donde:

Volumen AG = Volumen agregado grueso.

Cont. AG = Contenido Agregado grueso (ecuación 18)

Densidad AG = Densidad específica SSS agregado grueso (ver tabla 21).

- $Volumen\ A = Cont.\ A / Densidad\ A$ *Ecuación N° 20*

$$Volumen\ A = 210\ kg / 1000\ kg/m^3$$

$$Volumen\ A = 0.210\ m^3$$

Donde:

Volumen A = Volumen agua.

Cont. A = Contenido agua (tabla 24)

Densidad AG = Densidad agua (ver tabla 20).

- $Volumen\ Aire = Cont.\ Aire / 100$ *Ecuación N° 21*

$$Volumen\ Aire = 2 / 100$$

$$Volumen\ Aire = 0.02\ m^3$$

Donde:

Volumen Aire = Volumen aire

- $Volumen\ AF = 1\ m^3 - volumen\ aire - volumen\ agua -$
 $volumen\ agregado\ grueso - volumen\ de\ cemento$ *Ecuación N° 22*

$$Volumen AF = 1m^3 - 0.02m^3 - 0.210m^3 - 0.383m^3 - 0.099m^3$$

$$Volumen AF = 0.287m^3$$

Donde:

Volumen AF= Volumen Agregado grueso

- *Contenido AF = volumen AF * densidad espeeifica Ecuación N° 23*

$$Contenido AF = 0.287m^3 * 2385kg * m^3$$

$$Contenido AF = 684.495 kg$$

Donde:

Contenido AF= Cantidad agregado fino.

Volumen AF= volumen agregado fino (ecuación 22).

Densidad espeeifica = densidad espeeifica SSS agregado fino (ver tabla 21).

4.8.8 Resumen de cantidades.

	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Aire	0.02	x
Agua	0.21	210
Cemento	0.099	310.7
Arena	0.287	685.546
Grava	0.384	1001.7
Sumatoria	1	2207.95

Tabla 27: Tabla resumen dosificación
Fuente: elaboración propia.

4.8.9 Corrección de cantidad de agua por humedad de agregados.

$$\bullet \text{ Correccion AAG} = \frac{(\text{humed \%} - \text{absorsio \%}) * \text{peso AG}}{100} \quad \text{Ecuación N° 24}$$

$$\text{Correccion AAG} = \frac{(0.44\% - 3.22\%) * 1001.7 \text{ kg}}{100}$$

$$\text{Correccion AAG} = -0.279 \text{ kg}$$

Donde:

Corrección AAG = Corrección agua por agregado grueso.

Humedad = Humedad agregado grueso (ver tabla 21).

Absorción = Absorción agregado grueso (ver tabla 21).

$$\bullet \text{ Correccion AAF} = \frac{(\text{humedad\%} - \text{absorsion\%}) * \text{peso AG}}{100} \quad \text{Ecuación N° 24}$$

$$\text{Correccion AAG} = \frac{(1.62\% - 3.33\%) * 1001.7 \text{ kg}}{100}$$

$$\text{Correccion AAG} = -0.117 \text{ kg}$$

Donde:

Corrección AAF = Corrección agua por agregado fino.

Humedad = Humedad agregado fino (ver tabla 21).

Absorción = Absorción agregado fino (ver tabla 21).

$$\bullet \text{ Cantid A} = \text{Cant. Ao} - \text{Corre AAF} - \text{Corre AAG} \quad \text{Ecuación N° 25}$$

$$\text{Cantid A} = 210 \text{ kg} - 0.279 \text{ kg} - 0.117 \text{ kg}$$

$$\text{Cantid A} = 209.604 \text{ kg}$$

Donde:

Corre AAF = Corrección agua por agregado fino.

Corre AAG = Corrección agua por agregado grueso.

Cant. Ao = Cantidad de agua calculada inicialmente

Absorción = Absorción agregado fino (ver tabla 21).

4.9 Cantidades para vigas sin macro fibras de tetra pack.

Se calcula las cantidades de materiales para 8 vigas debido a que se ensayara 2 por edad 7, 14 y 28 días y con tres diferentes cantidades de fibras y un par patrón sin fibra. Estas cantidades se usan para todas las vigas, en las vigas con macro fibras de tetra pack únicamente se incrementa la cantidad correcta de fibras.

Medias	m ³
Altura	0.15
Ancho	0.15
Profundidad	0.75
Volumen 1 viga	0.01688
Volumen 8 vigas	0.135

Tabla 28: Tabla medidas y volumen de viga
Fuente: elaboración propia.

Regla de 3 para encontrar agregado fino.	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	685.657
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	92.56

Tabla 29: Tabla cálculo peso de agregado fino para 9 vigas
Fuente: elaboración propia.

Regla de 3 para encontrar agregado grueso.	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	1001.744
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	135.24

Tabla 30: Tabla cálculo peso de agregado grueso para 9 vigas
Fuente: elaboración propia.

Regla de 3 para encontrar peso agua	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	209.604
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	28.35

Tabla 31: Tabla cálculo peso de agua para 9 vigas
Fuente: elaboración propia.

Regla de 3 para encontrar cemento	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	310.7
0.101	x
X (peso para 8 vigas)	41.94

Tabla 32: Tabla cálculo peso de cemento para 9 vigas
Fuente: elaboración propia.

4.10 Cálculo de cantidades para vigas con 1.5 kg de macro fibras de Tetra Pack por m².

La norma ASTM C1116 *Standard Especificación for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete* establece los requisitos técnicos para macro fibras sintéticas en hormigón, especificando un rango óptimo de dosificación entre 1.5 y 6 kg/m³ de hormigón. En concordancia con esta normativa, el presente estudio adopta este intervalo de dosificación para la incorporación de fibras en la matriz cementicia.

Para garantizar la comparabilidad de resultados, se mantuvo constante la dosificación de los componentes básicos del hormigón (agregado grueso, agregado fino, agua y cemento) respecto al hormigón de referencia sin fibras. Las proporciones exactas de estos materiales pueden consultarse en las Tablas 27 a 31, donde se detallan las características granulométricas y propiedades físicas de los agregados, así como las relaciones agua/cemento empleadas en cada formulación.

Regla de 3 para encontrar macro fibras de Tetra Pack	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	1.5
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	0.2

Tabla 33: Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 vigas 1.5 kg
Fuente: elaboración propia.

4.11 Cálculo de cantidades para vigas con 3 kg de macro fibras de Tetra Pack.

Regla de 3 para encontrar macro fibras de Tetra Pack	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	3
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	0.41

Tabla 34: Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 vigas 3 kg
Fuente: elaboración propia.

4.12 Cálculo de cantidades para vigas con 6 kg de macro fibras de Tetra Pack.

Regla de 3 para encontrar macro fibras de Tetra Pack	
Volumen (m ³)	Peso (kg)
1	6
0.135	x
X (peso para 8 vigas)	0.81

Tabla 35: Tabla cálculo peso de Tetra Pack para 9 vigas 6kg
Fuente: elaboración propia.

Capito 5 Resultados

5.1 Resultados de ensayos de flexión 7 días.

Origen:	Agregados cantera Holcim			Dimensiones viga	15x15x75 (cm)	Edad:	7 días	Institución:	INECYC	E= 15100*raíz (210)
Realizado por:	Germahint Herrera Aguirre			Longitud entre apoyos(cm)	70					I= 19687.5 cm ⁴
Probeta N°	Fibra en kg*m ³	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Área cm ²	Peso kg	volumen m ³	Densidad kg/m ³	Carga kg	Módulo de rotura kg/cm ²	Deflexión (cm)
1	0	11/03/2025	18/03/2025	0.1125	38.9	0.016875	2305.19	443.4	13.795	0.000357
2	0			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	447.1	13.910	0.000359
3	1.5			0.1125	39.1	0.016875	2317.04	542.5	16.878	0.000436
4	1.5			0.1125	38.4	0.016875	2275.56	535.2	16.651	0.000430
5	3			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	559.2	17.397	0.000450
6	3			0.1125	38.5	0.016875	2281.48	562.7	17.506	0.000452
7	6			0.1125	38.4	0.016875	2275.56	572.3	17.805	0.000460
8	6			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	571.2	17.771	0.000459

Tabla 36: Tabla de resultados ensayo flexión 7 días de edad vigas con y sin macro fibra
Fuente: elaboración propia.

5.2 Resultados de ensayos de flexión 14 días.

Origen:	Agregados cantera Holcim			Dimensiones viga	15x15x75 (cm)	Edad:	14 días	Institución :	INECYC	E= 15100*raíz (210)
Realizado por:	Germahint Herrera Aguirre			Longitud entre apoyos	70cm					I=19687.5 cm ⁴
Probeta N°	Fibra en kg*m ³	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Área cm ²	Peso kg	volumen m ³	Densidad kg/m ³	Carga kg	Módulo de rotura kg/cm ²	Deflexión(cm)
1	0	12/03/2025	26/03/2025	0.1125	38.7	0.016875	2293.33	624.3	19.423	0.000363
2	0			0.1125	38.8	0.016875	2299.26	624.8	19.438	0.000363
3	1.5			0.1125	38.7	0.016875	2293.33	731	22.742	0.000424
4	1.5			0.1125	38.4	0.016875	2275.56	731.8	22.767	0.000425
5	3			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	757.4	23.564	0.000440
6	3			0.1125	38.3	0.016875	2269.63	758.2	23.588	0.000440
7	6			0.1125	38	0.016875	2251.85	768.5	23.909	0.000446
8	6			0.1125	38.5	0.016875	2281.48	767.8	23.887	0.000446

Tabla 37: Tabla de resultados ensayo flexión 14 días de edad vigas con y sin macro fibra
Fuente: elaboración propia.

5.3 Resultados ensayo de flexión a 28 días.

Origen:				Dimensiones viga	15x15x75cm	Edad:	28 días	Institución	INECYC	E= 15100*raíz (210)
Realizado por:	Germahint Herrera Aguirre			Longitud entre apoyos	70 cm					I=19687.5 cm ⁴
Probeta N°	Fibra en kg*m ³	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Área cm ²	Peso kg	volumen m ³	Densidad kg/m ³	Carga kg	Módulo de rotura kg/cm ²	Deflexión (cm)
1	0	13/03/2025	10/04/2025	0.1125	38.6	0.016875	2287.41	695.2	21.628	0.000363
2	0			0.1125	38.9	0.016875	2305.19	694.7	21.613	0.000363
3	1.5			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	813.2	25.300	0.000425
4	1.5			0.1125	38.7	0.016875	2293.33	814.1	25.328	0.000425
5	3			0.1125	38.5	0.016875	2281.48	842.9	26.224	0.000441
6	3			0.1125	38.6	0.016875	2287.41	842.3	26.205	0.000440
7	6			0.1125	38.2	0.016875	2263.70	853.5	26.553	0.000446
8	6			0.1125	38.7	0.016875	2293.33	854	26.569	0.000446

Tabla 38: Tabla de resultados ensayo flexión 28 días de edad vigas con y sin macro fibra.
Fuente: elaboración propia.

5.4 Análisis de resultados.

Análisis resultados 7 días			
Edad (días)	Macro fibra de Tetra Pack (kg)	Deflexión promedio (cm)	% incremento de deflexión respecto a probeta sin Fibra
7	0	0.000358	xx
7	1.5	0.000433	21.0
7	3	0.000451	26.0
7	6	0.000460	28.4

Tabla 39: Tabla análisis de resultados a 7 días
Fuente: elaboración propia.

Análisis resultados 14 días			
Edad (días)	Macro fibra de Tetra Pack (kg)	Deflexión promedio (cm)	% incremento de deflexión respecto a probeta sin Fibra
14	0	0.000363	xx
14	1.5	0.000425	17.1
14	3	0.000440	21.3
14	6	0.000446	23.0

Tabla 40: Tabla análisis de resultados a 14 días
Fuente: elaboración propia.

Tabla análisis resultados 28 días			
Edad (días)	Macro fibra de Tetra Pack (kg)	Deflexión promedio (cm)	% incremento de deflexión respecto a probeta sin Fibra
28	0	0.000363	xx
28	1.5	0.000425	17.1
28	3	0.000440	21.2
28	6	0.000446	22.9

Tabla 41: Tabla análisis de resultados a 14 días
Fuente: elaboración propia.

5.5 Grafica comparativa de flexión a diferentes edades.

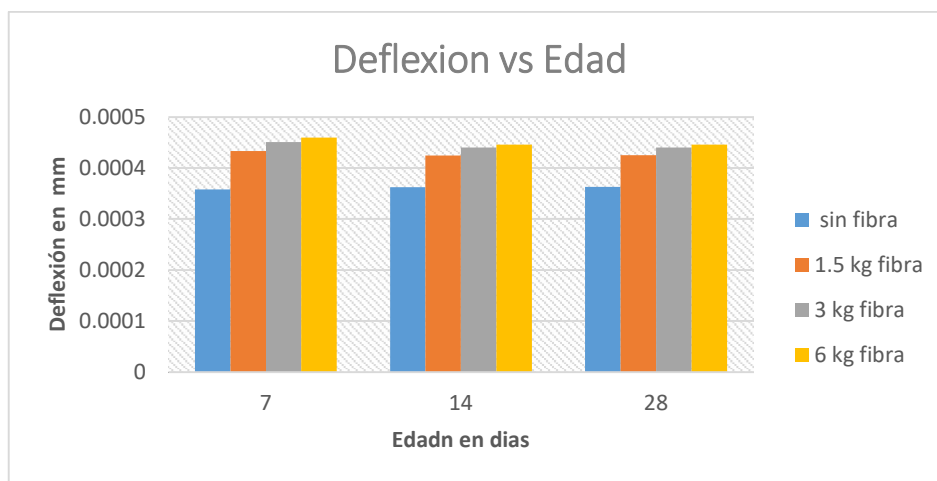


Imagen 37: Grafica comparativa de resistencias.

Fuente: elaboración propia

En el gráfico se evidencia un incremento significativo en la resistencia a flexión en todas las edades evaluadas en hormigones reforzados con macro fibras de Tetra Pak, observándose que la dosificación óptima de 6 kg/m³ presenta el mayor desempeño mecánico. A diferencia del hormigón convencional (sin refuerzo fibroso), los compuestos con fibras exhiben una resistencia a flexión superior en edades tempranas (7–14 días) en comparación con su resistencia final (28 días), lo que sugiere una contribución más efectiva de las fibras en las fases iniciales de endurecimiento, posiblemente debido a su capacidad para redistribuir tensiones y mitigar fisuración incipiente durante el fraguado. Este comportamiento resalta la viabilidad de las macro fibras de Tetra Pak como refuerzo secundario para mejorar la ductilidad en etapas críticas de carga.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El incremento a la flexión es más significativo en edades tempranas por ejemplo a una edad de 7 días el incremento en términos de deflexión es de 21% para un hormigón con 1.5 kg de macro fibras de Tetra Pack, 26% para 3 kg de macro fibras, mientras que para una edad de 28 días estos incrementos son de 17%, 21% y 23% respectivamente, esto se debe a que el hormigón en sus primeros días también es más flexible que cuando alcanza su resistencia final.
- Los análisis experimentales permiten establecer que las macro fibras de Tetra Pak generan un incremento moderado en la resistencia mecánica del hormigón, cuyo valor resulta significativamente inferior al obtenido con refuerzos convencionales de polipropileno o acero, conforme a lo reportado en la literatura técnica consultada, este comportamiento diferencial puede atribuirse a menor módulo de elasticidad de las macro fibras de Tetra Pack frente a polipropileno y acero.
- La implementación de fibras de Tetra Pak como refuerzo en matrices cementicias presenta una relación costo-beneficio significativamente más favorable (costo mucho menos) en comparación con fibras comerciales de polipropileno, considerando el ciclo completo de producción (adquisición, procesamiento e incorporación al hormigón).
- Los resultados experimentales demuestran que la incorporación de macro fibras de Tetra Pak en los tres porcentajes de dosificación evaluados (1.5 kg/m^3 , 3 kg/m^3 y 6 kg/m^3) no produjo variaciones significativas en la densidad aparente de las vigas, evidenciando: (1) una efectiva distribución de las fibras en la matriz cementicia sin formación de

aglomeraciones locales, y (2) la ausencia de incremento en la porosidad inducida. Este comportamiento confirma que el proceso de mezclado y compactación empleado permite lograr una adecuada integración fibra-matriz, manteniendo las propiedades físicas fundamentales del elemento estructural.

- Los resultados experimentales demuestran que la dosificación óptima de 6 kg/m³ de macro fibras de Tetra Pak en matriz cementicia - que mostró un incremento del 23 % en resistencia a flexión según ensayos ASTM C78/C78, presenta adecuadas características mecánicas y de trabajabilidad para su aplicación en elementos prefabricados no estructurales. Esta formulación resulta técnicamente viable para la producción de elementos de pavimentación, componentes arquitectónicos, sistemas de drenaje superficial, pavimentos peatonales, donde la combinación de performance mecánica mejorada, economía de producción y sustentabilidad ambiental cumple con los criterios de diseño para aplicaciones de mediana exigencia.
- Los ensayos de consistencia realizados mediante el método de asentamiento ASTM C143 demostraron que la incorporación de macro fibras de Tetra Pak en dosificaciones de hasta 6 kg/m³ no afecta significativamente la trabajabilidad del hormigón. Los resultados mostraron valores de asentamiento de 8.3 cm para la mezcla reforzada, manteniéndose dentro del $\pm 5\%$ de variación respecto al hormigón de referencia (8 cm), lo que indica que la relación agua/cemento no requiere ajustes significativos hasta este límite de dosificación, las fibras no generan interferencia notable en la lubricación de partículas, la capacidad de compactación se conserva dentro de parámetros óptimos.

Recomendaciones.

- Se recomienda respetar los tiempos de mezclado estipulados por la norma para que el aglutinamiento de las fibras al hormigón sea óptimo.

- Se alienta a que en futuras tesis se realice la investigación de esta tesis con más porcentaje de fibras para determinar hasta que porcentaje se puede incrementar.
- Se recomienda en futuras tesis hacer el análisis económico de usar fibras de Tetra Pack vs otras fibras sintéticas.

Bibliografía:

Neville, AM (2011) Propiedades del hormigón. Pearson Education Limited

Kumar et al. 2020 Efecto de aditivos cristalinos, polímeros y fibras en el hormigón autocurativo

Joseph Lamond, James Pielert 2006. Importancia de los ensayos y propiedades del hormigón y de los materiales para su fabricación

ASTM Designación C 78 Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto.

INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.

INEN 858 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.

INEN 856 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.

INEN 861 Áridos. Determinación del valor de la degradación de árido grueso de partículas mayores a 19mm mediante uso de la máquina de los ángeles.

INEN 862. 2011. Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total De Humedad.

INEN 1576. 2011. Hormigón de Cemento Hidráulico. Elaboración y Curado En Obra de Especímenes Para Ensayo.

INEN 857. 2010. Áridos. Determinación de La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Grueso.

INEN 855 Áridos. Determinación del contenido de impurezas inorgánicas para el árido fino.

ASTM C 1116 estándar especificación de concreto reforzado con fibras y hormigón proyectado.

Millán Castillo, María Fernanda. 2013. Comportamiento del hormigón reforzado con de polipropileno y su influencia en sus mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Ambato.

Samuel Mena. 2024 Influencia del Plástico Reciclado ABS en las Propiedades Mecánicas del Hormigón de Alta Resistencia (f'_c 240 kg/cm²).

Diego Sánchez 2001 tecnología del concreto y del mortero.

ANEXOS

INFORME DE RESULTADOS ABRACION

Fecha de Muestreo:	28-Agosto-2024
Laboratorio:	INECYC
Elaborado por:	Juan Sebastián Espinel Barthelotti Katherine Tapia Germahint Herrera
Identificación de Muestra:	Muestra 1,2,3
Tamaño Nominal Máximo de la partícula	19 mm
Número de Tamaño (Tabla 2 “Inen 872”)	56
Forma de la partícula	Piedra Triturada
Ubicación de la Cantera	Holcim-Planta Pifo (Km 4.5 vía Papallacta)

a.) Proceso de la Muestra

TABLA 1. Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Se lavaron 6500 gramos de árido grueso como preparación para los ensayos correspondientes, considerando que, según los resultados del análisis granulométrico, la gradación

de la muestra se clasificó como Tipo B. Para cumplir con los requisitos del ensayo, se requerían 2500 gramos retenidos en el tamiz de 12.5 mm y 2500 gramos en el tamiz de 9.5 mm.

Posteriormente, el material fue sometido a un proceso de secado durante 24 horas para eliminar la humedad superficial. Una vez seco, se procedió a realizar el tamizado hasta obtener las fracciones necesarias en cada tamiz, asegurando la correcta distribución granulométrica para el desarrollo del ensayo.

TABLA 2. Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

b.) Proceso en Maquina de los Ángeles

Se dispusieron 5000 gramos de material previamente lavado y tamizado en la máquina de Los Ángeles, distribuidos en 2500 gramos correspondientes al tamiz de 12.5 mm y 2500 gramos al tamiz de 9.5 mm, de acuerdo con la normativa.

Inicialmente, la máquina fue calibrada para realizar 100 revoluciones. Al finalizar, el material procesado se tamizó utilizando un tamiz con abertura de 1.7 mm, registrándose el peso

del material retenido en dicho tamiz. Posteriormente, el material se introdujo nuevamente en la máquina para completar 400 revoluciones adicionales. Tras este ciclo, se volvió a tamizar por el mismo tamiz de 1.7 mm y se registró el peso del material retenido.

Este procedimiento se llevó a cabo de forma rigurosa para las tres muestras, garantizando la consistencia y reproducibilidad de los resultados del ensayo.

c.) Resultados de la Muestra

$$D = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

D= valor de la degradación en porcentaje

B= Masa inicial de la muestra del ensayo

C= Masa final del ensayo (tamizada por tamiz 1.7mm)

Muestra 1	Gramos
Peso inicial combinado	5000.1
Peso retenido luego de 100 R	4731.9
Peso retenido luego de 500 R	3809.1

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad D = \frac{5000.1 - 3809.1}{5000.1} * 100 \quad D = 24\%$$

Muestra 2	Gramos
Peso inicial combinado	5000.9
Peso retenido luego de 100 R	4722.3

Peso retenido luego de 500 R	3795.6
---------------------------------	--------

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad D = \frac{5000.9 - 3795.6}{5000.9} * 100 \quad D = 24\%$$

Muestra 3	Gramos
Peso inicial combinado	5000.2
Peso retenido luego de 100 R	4728.1
Peso retenido luego de 500 R	3820.1

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad D = \frac{5000.2 - 3820.1}{5000.2} * 100 \quad D = 24\%$$

INFORME DE LABORATORIO

ENSAYO: Áridos. Densidad aparente suelta y compactada, densidad óptima de los áridos.

INSTITUCIÓN: INECYT

REALIZADO POR: Germahint Herrera, Katherine Tapia, Juan Espinel.

FECHA: 06 de septiembre 2024

ÁRIDO UTILIZADO: Cantera Holcim

De acuerdo a la normativa se realizará el ensayo por el método de varillado.

Cálculos:

AGREGADO FINO

Masa unitaria (peso volumétrico)

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

M= masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G= masa del árido más el molde, kg.

T= masa del molde, kg.

V= volumen del molde, m³.

Densidad suelta

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.32 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 1708.08 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.29 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 1677.77 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.26 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 1647.47 \text{ kg/m}^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.46 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 1849.49 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.45 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 1839.39 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.46 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 1849.49 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{1708.08 + 1677.77 + 1647.47}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 1677.77 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{1849.49 + 1839.39 + 1849.49}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 1846.12 \text{ kg/m}^3$$

Densidad suelta:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.35 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 1738.38 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.34 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 1728.28 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.31 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 1697.97 \text{ kg/m}^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.44 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 1829.29 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.44 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 1829.29 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.45 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 1839.39 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{1738.38 + 1728.28 + 1697.97}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 1721.42 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{1829.29 + 1829.29 + 1839.39}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 1832.66 kg/m^3$$

Densidad suelta:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.35 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 1738.38 kg/m^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.31 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 1867.77 kg/m^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.32 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 1878.89 kg/m^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(2.50 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 2078.89 kg/m^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(2.48 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 2056.67 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(2.48 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 2056.67 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{1738.38 + 1867.77 + 1878.89}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 1828.35 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{2078.89 + 2056.67 + 2056.67}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 2064.08 \text{ kg/m}^3$$

AGREGADO GRUESO

Densidad suelta:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(9.85 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 9314.14 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(9.75 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9213.13 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(9.75 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 9213.13 \text{ kg/m}^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(10.25 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 9718.18 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(10.4 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9869.69 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(10.35 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 9819.19 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{9314.14 + 9213.13 + 9213.13}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 9246.8 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{9718.18 + 9869.69 + 9819.19}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 9802.35 \text{ kg/m}^3$$

Densidad suelta:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(10.05 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 9516.16 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(9.85 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9314.14 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(9.9 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 9364.64 \text{ kg/m}^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(10.65 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 10122.22 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(10.45 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9920.20 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(10.6 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 10071.71 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{9516.16 + 9314.14 + 9364.64}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 9398.31 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{10122.22 + 9920.20 + 10071.71}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 10038.04 \text{ kg/m}^3$$

Densidad suelta:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(9.75 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 9213.13 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(9.8 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9263.64 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(9.7 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 9162.63 \text{ kg/m}^3$$

Densidad compactada:

Muestra 1

$$M_1 = \frac{(10.45 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_1 = 9920.20 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2

$$M_2 = \frac{(10.40 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_2 = 9869.69 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3

$$M_3 = \frac{(10.3 - 0.629)}{0.00099}$$

$$M_3 = 9768.68 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.suelta} = \frac{9213.13 + 9263.64 + 9162.63}{3}$$

$$M_{prom.suelta} = 9213.13 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{prom.compactada} = \frac{9920.20 + 9869.69 + 9768.68}{3}$$

$$M_{prom.compactada} = 9852.86 \text{ kg/m}^3$$

INFORME DE RESULTADOS

Fecha de Muestreo:	28-agosto-2024
Laboratorio:	INECYC
Elaborado por:	Juan Sebastián Espinel, Germahint Herrera, Katherine Tapia.
Identificación de Muestra:	Muestra 1

a.) Resultados de la Muestra

Muestra inicial		4929.1				g
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	retenido acumulado (g)	% total que retiene	% total que pasa	%ret acumulado
1"	25	0	0	0	100	0
3/4"	19	880.9	880.9	17.87	82.13	17.87
1/2"	12.5	2616.9	3497.8	53.09	29.04	70.96
3/8"	9.5	898.6	4396.4	18.23	10.81	89.19
1/4"	6.3	462.3	4858.7	9.38	1.43	98.57
N°4	4.75	23.8	4882.5	0.48	0.95	99.05
N°8	2.36	20.1	4902.6	0.41	0.54	99.46
bandeja		19.2		0.39	0.15	99.85
	sumatoria	4921.8			sumatoria	405.43
NOTA:			Sumo 300 de resto de tamices de la serie de módulo de finura que están comprendidos en lo que pasa del tamiz N°8			705.43

	Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del ensayo, ya que la norma no los contempla para la
--	---

b.) Módulo de Finura y Porcentaje de error

Modulo de finura

Se puede observar que el módulo de finura se encuentra dentro del rango aceptable de 4 a 7.5, por lo que la muestra cumple con los requisitos establecidos.

De acuerdo con la norma INEN 696, la diferencia entre las masas inicial y final no debe superar el 0.3%. A continuación, se procederá a verificar si la muestra 1 cumple con este requisito.

verificación de norma requisito 5.4.7 norma inen 696 no puede ser mayor a 0.3%
0.001483197
0.14831972

Para determinar si el agregado no difiere en más del 0.3% entre la masa inicial y la final, se calcula la diferencia porcentual utilizando la fórmula:

$$\left(\frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa i}} \right) \times 100$$

Si el resultado es igual o menor a 0.3%, se concluye que el agregado cumple con el requisito y la muestra es aprobada.

Conclusión:

Los datos obtenidos cumplen con los requisitos granulométricos para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4" según normas internacionales como ASTM C33. Por tanto, la muestra es aceptable para su uso en concreto estructural, siempre que el diseño de mezcla lo permita.

Fecha de Muestreo:	28-agosto-2024
Laboratorio:	INECYC
Elaborado por:	Juan Sebastián Espinel, Germahint Herrera, Katherine Tapia.
Identificación de Muestra:	Muestra 2

a.) Resultados de la Muestra

Muestra inicial		4926.4				g
	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	retenido acumulado (g)	% total que retiene	% total que pasa	%ret acumulado
1"	25	0	0	0	100	0
3/4"	19	707.9	707.9	14.37	85.63	14.37
1/2"	12.5	2998	3705.9	60.86	24.77	75.23
3/8"	9.5	758.8	4464.7	15.40	9.37	90.63
1/4"	6.3	409.6	4874.3	8.31	1.06	98.94
N°4	4.75	9.9	4884.2	0.20	0.86	99.14
N°8	2.36	8.5	4892.7	0.17	0.68	99.32
bandeja		27.7		0.56	0.12	99.88
	sumatoria	4920.4			sumatoria	403.34
NOTA:			Se suman 300 correspondientes al material retenido en los tamices de la serie del módulo de finura, considerando el porcentaje acumulado del material que pasa por el tamiz			703.34

	Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del
--	---

b.) Módulo de Finura y Porcentaje de error

Modulo de finura

Se puede observar que el módulo de finura se encuentra dentro del rango aceptable de 4 a 7.5, por lo que la muestra cumple con los requisitos establecidos.

De acuerdo con la norma INEN 696, la diferencia entre las masas inicial y final no debe superar el 0.3%. A continuación, se procederá a verificar si la muestra 1 cumple con este requisito.

verificación de norma requisito 5.4.7 norma inen 696 no puede ser mayor a 0.3%
0.001219413
0.121941306

Para determinar si el agregado no difiere en más del 0.3% entre la masa inicial y la final, se calcula la diferencia porcentual utilizando la fórmula:

$$\left(\frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa i}} \right) \times 100$$

Si el resultado es igual o menor a 0.3%, se concluye que el agregado cumple con el requisito y la muestra es aprobada.

Conclusión:

Los datos obtenidos cumplen con los requisitos granulométricos para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4" según normas internacionales como ASTM C33. Por tanto, la muestra es aceptable para su uso en concreto estructural, siempre que el diseño de mezcla lo permita.

Fecha de Muestreo:	28-agosto-2024
Laboratorio:	INECYC
Elaborado por:	Juan Sebastián Espinel, Germahint Herrera Katherine Tapia
Identificación de Muestra:	Muestra 3

a.) Resultados de la Muestra

Muestra inicial		4935				g
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	retenido acumulado (g)	% total que retiene	% total que pasa	%ret acumulado
1"	25	0	0	0	100	0
3/4"	19	1046.8	1046.8	21.21	78.79	21.21
1/2"	12.5	3131.6	4178.4	63.46	15.33	84.67
3/8"	9.5	584	4762.4	11.83	3.50	96.50
1/4"	6.3	129.9	4892.3	2.63	0.87	99.13
N°4	4.75	1	4893.3	0.02	0.84	99.16
N°8	2.36	0.85	4894.15	0.02	0.83	99.17
bandeja		26.75		0.54	0.29	99.71
	sumatoria	4920.9			sumatoria	415.76
NOTA:			Se suman 300 correspondientes al material retenido en los tamices de la serie del módulo de finura, considerando el porcentaje acumulado del material que pasa por el tamiz N°8.			715.76

	Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del ensayo, ya que la norma no los contempla para la
--	---

b.) Módulo de Finura y Porcentaje de error

Módulo de finura

Se puede observar que el módulo de finura se encuentra dentro del rango aceptable de 4 a 7.5, por lo que la muestra cumple con los requisitos establecidos.

De acuerdo con la norma INEN 696, la diferencia entre las masas inicial y final no debe superar el 0.3%. A continuación, se procederá a verificar si la muestra 1 cumple con este requisito.

verificación de norma requisito 5.4.7 norma inen 696 no puede ser mayor a 0.3%
0.00286533
0.286532951

Para determinar si el agregado no difiere en más del 0.3% entre la masa inicial y la final, se calcula la diferencia porcentual utilizando la fórmula:

$$\left(\frac{Masa\ inicial - Masa\ final}{Masa\ i} \right) \times 100$$



Ingreso material a instituto INECYC



Homogenización del material.



Tamizador mecánico



Recipiente para ensayo de densidad



Muestra para llevar a horno



Horno



Cuarto de curado temperado



Prueba de asentamiento



Molde para viga



vigas fundidas



Maquina ensayo flexión



Viga durante ensayo a flexión



Viga luego de ensayo



Material almacenado en bodega.



Almacenamiento de material cuarteado.



Peso agregado fino para granulometría.



Peso de agregado grueso para granulometría



Serie de tamices para granulometría



Maquina tamizadora



Retenido en tamiz mas grueso



Retenido tamiz mas fino