



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO EXPERIMENTAL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON AGREGADO GRUESO DE MATERIALES RECICLADOS OBTENIDOS DE LAS ESCOMBRERAS Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES PREPARADOS EN CONDICIONES NORMALES

AUTOR: Vladimir Jonathan Villacrés Tirado

TUTOR: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

AMBATO – ECUADOR

Julio - 2023

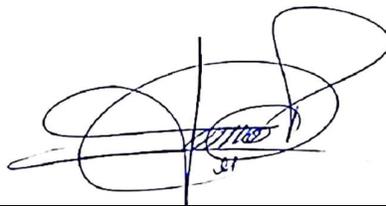
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención de Título de Ingeniero Civil, con el tema: "**ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON AGREGADO GRUESO DE MATERIALES RECICLADOS OBTENIDOS DE LAS ESCOMBRERAS Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES PREPARADOS EN CONDICIONES NORMALES**", elaborado por el Sr. Vladimir Jonathan Villacrés Tirado, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804775748, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad

Ambato, julio 2023



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Vladimir Jonathan Villacrés Tirado**, con C.I. 1804775748 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **"ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON AGREGADO GRUESO DE MATERIALES RECICLADOS OBTENIDOS DE LAS ESCOMBRERAS Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES PREPARADOS EN CONDICIONES NORMALES"**, así como también los análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, julio 2023



Vladimir Jonathan Villacrés Tirado
C.I. 1804775748
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio 2023



Vladimir Jonathan Villacrés Tirado

C.I. 1804775748

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Vladimir Jonathan Villacrés Tirado, de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: "**ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORIVAGÓN FABRICADO CON AGREGADO GRUESO DE MATERIALES RECICLADOS OBTENIDOS DE LAS ESCOMBRERAS Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES PREPARADOS EN CONDICIONES NORMALES**".

Ambato, julio 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. German Moya Medina
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre Teresita Tirado quien me ha ayudado a formarme y siempre ha anhelado lo mejor para mí, a mi padre Rodrigo Villacrés quien nunca me negó el apoyo económico y se ha alegrado de cada paso que doy. A mi hermana Jéssica Villacrés que es una excelente hermana mayor, amiga, incluso ayudándome como madre y padre en muchas ocasiones, me ha brindado el apoyo emocional, moral y económico en el transcurso de esta etapa, a Sofía Salomé que es mi impulso y motivación para culminar esta meta. De manera muy especial me lo dedico a mí mismo porque a pesar de que se volvió una lucha interna de nunca acabar, pude con fuerza y valor demostrarme que si puedo.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios que ha sabido escucharme y nunca soltarme hasta el día de hoy, fiel creyente de que lo que se pide con el corazón se te dará.

Agradezco a los profesores que aportaron en mi crecimiento intelectual y humano, han sabido ayudarme y brindarme una mano cuando así lo he requerido, algunos que se han hecho hasta amigos y ejemplos a seguir.

A las personas que estuvieron durante mi formación que fueron verdaderos compañeros, amigos que han estado en las buenas y en las malas, a mi amiga Andrea Salazar porque tuvo su parte en este trabajo dándome una mano cuando lo necesitaba y demostrando ser una gran persona incondicional.

Agradezco al Ing. Dilon Moya, Ing. Jorge Guevara, mi tutor Ing. Carlos Navarro que me brindaron su ayuda y apoyo cuando requerí y así pude terminar este trabajo.

A la universidad pública Universidad Técnica de Ambato por abrirme las puertas para demostrar mi capacidad como estudiante y persona, en donde mi educación de tercer nivel ha sido gratuita y de calidad, donde hasta el final me abrieron las puertas del laboratorio de Ingeniería Civil para realizar este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1.1. Antecedentes	1
1.1.1.2. Justificación.....	3
1.1.2. OBJETIVOS	5
1.1.2.1. Objetivo General	5
1.1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
1.1.3.1. Módulo de elasticidad del Hormigón.....	6
1.1.3.2. Agregados o áridos.....	7
1.1.3.3. Propiedades de los agregados.....	10
1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos	18
1.1.3.5. Agua para el concreto.....	20
1.1.3.6. Cemento Portland.....	28
1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto	31
1.1.4. HIPÓTESIS.....	33

CAPÍTULO II	34
2.1. METODOLOGÍA	34
2.1.1. Niveles de investigación	34
2.1.1.1. Investigación preliminar o exploratorio:.....	34
2.1.1.2. Investigación descriptiva:.....	34
2.1.1.3. Investigación explicativa o causal:.....	34
2.1.1.4. Investigación experimental:	34
2.1.2. Población y muestra	35
2.1.3. Materiales y Equipos.....	35
2.1.3.1. Materiales	35
2.1.3.2. Equipos.....	36
2.1.4. Plan de recolección de información	38
2.1.4.1. Toma de muestras	38
2.1.4.2. Ensayos de caracterización	38
2.1.4.3. Diseño de la mezcla	39
2.1.4.4. Elaboración de cilindros.....	39
2.1.5. Proceso y análisis de información.....	39
2.1.5.1. Toma de muestras	40
2.1.5.2. Ensayos de caracterización	40
2.1.5.3. Diseño de la mezcla	40
2.1.5.4. Elaboración de cilindros.....	40
CAPÍTULO III	41
3.1. Resultados y discusión	41
3.1.1. Análisis y discusión de resultados	41
3.1.1.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	43
3.1.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	44
3.1.1.3. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	45
3.1.1.4. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	46

3.1.1.5. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	47
3.1.1.6. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.....	50
3.1.1.7. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.....	51
3.1.1.8. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	53
3.1.1.9. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO.....	55
3.1.1.10. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO	56
3.1.1.11. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO.....	57
3.1.1.12. DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS	59
3.1.1.13. DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS	61
3.1.1.14. DENSIDAD ÓPTIMA DEL CEMENTO.....	63
3.1.1.15 DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN DE $f'_c=21\text{MPa}$	64
3.1.1.16. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA	83
3.1.1.17. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA	84
3.1.1.18 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS.....	85
3.1.1.19 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS.....	86
3.1.1.20 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS.....	87
3.1.1.21 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS.....	88
3.1.1.22. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DEFINITIVOS	89
3.1.1.23. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DEFINITIVOS	90
3.1.1.24. RESISTENCIA DEL HORMIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	91
3.1.1.25. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN.....	92

3.1.1.26. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN CILINDROS DEFINITIVOS MINA ACOSTA 21 MPa.....	94
3.1.1.27. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN CILINDROS DEFINITIVOS MINA ACOSTA 28MPa.....	95
3.1.1.28. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN CILINDROS DEFINITIVOS.....	96
3.1.1.29. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN CILINDROS DEFINITIVOS.....	97
3.1.1.30. COMPARACIÓN MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DE HORMIGON DE MINA “ACOSTA” Y HORMIGON CON AGREGADO GRUESO “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO”.....	98
3.1.1.31. COMPARACIÓN MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO CON MÉTODO EXPERIMENTAL ASTM C-469 HORMIGON MINA ACOSTA VS HORMIGON CON AGREGADO GRUESO “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO.....	98
3.1.1.32. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	99
3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	101
CAPÍTULO IV.....	102
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
4.1.1 Conclusiones.....	102
4.1.2. Recomendaciones.....	103
4.2. BIBLIOGRAFIA.....	104
4.3. ANEXOS.....	107
4.3.1. Anexo 1. Fotografías.....	107
<i>Selección</i>	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Requisitos granulométricos del agregado fino.....	8
Tabla 2.	Requisitos granulométricos del agregado grueso	9
Tabla 3.	Características de los agregados	11
Tabla 4.	Materiales Perjudiciales en Agregados.....	19
Tabla 5.	Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezcla.....	21
Tabla 6.	Iones solubles en agua en el concreto armado	23
Tabla 7.	Límites químicos para aguas de mezcla	27
Tabla 8.	Tipos de cemento portland.....	30
Tabla 9.	Número de cilindros totales a ensayar	35
Tabla 10.	Orden de presentación de los ensayos en los agregados.....	41
Tabla 11.	Contenido de humedad del agregado grueso de la mina “ACOSTA” .	43
Tabla 12.	Contenido de humedad del agregado fino de la mina “ACOSTA”	43
Tabla 13.	Contenido de humedad de agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	44
Tabla 14.	Densidad real del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	45
Tabla 15.	Capacidad de absorción del agregado fino de la mina “ACOSTA”	45
Tabla 16.	Densidad real del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	46
Tabla 17.	Capacidad de absorción del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	46
Tabla 18.	Densidad real del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	47
Tabla 19.	Capacidad de absorción del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	48
Tabla 20.	Granulometría del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	50
Tabla 21.	Granulometría del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	51
Tabla 22.	Granulometría del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	53

Tabla 23.	Densidad aparente suelta del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	55
Tabla 24.	Densidad aparente compactada del agregado grueso de la mina “ACOSTA”	55
Tabla 25.	Densidad aparente suelta del agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”	56
Tabla 26.	Densidad aparente compactada del agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”	56
Tabla 27.	Densidad aparente suelta del agregado fino de la mina “ACOSTA”	57
Tabla 28.	Densidad óptima de los agregados de la mina “ACOSTA”	59
Tabla 29.	Densidad óptima de los agregados gruesos de “Triturado de Hormigón Reciclado”	61
Tabla 30.	Resultados del ensayo de densidad óptima de agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”	62
Tabla 31.	Densidad real del cemento	63
Tabla 32.	Requisitos y nomenclatura para la dosificación del hormigón	64
Tabla 33.	Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido.	64
Tabla 34.	Datos de la mina “ACOSTA”	65
Tabla 35.	Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros	68
Tabla 36.	Corrección por humedad de las cantidades de material	69
Tabla 37.	Dosificación final para 3 cilindros de hormigón	69
Tabla 38.	Datos de la mina “ACOSTA”	70
Tabla 39.	Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros	72
Tabla 40.	Corrección por humedad de las cantidades de material	73
Tabla 41.	Dosificación final para 3 cilindros de hormigón	73
Tabla 42.	Datos para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	74
Tabla 43.	Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros	76
Tabla 44.	Corrección por humedad de las cantidades de material	77

Tabla 45.	Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.....	78
Tabla 46.	Datos para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	78
Tabla 47.	Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros.....	80
Tabla 48.	Corrección por humedad de las cantidades de material	81
Tabla 49.	Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.....	81
Tabla 50.	Resultados del ensayo a compresión simple em cilindros de prueba con agregados de mina “ACOSTA”	83
Tabla 51.	Resultados del ensayo a compresión simple en cilindros de prueba con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”	84
Tabla 52.	Propiedades del hormigón fresco de la mina “ACOSTA” para resistencia de 21Mpa	85
Tabla 53.	Propiedades del hormigón fresco de la mina “ACOSTA” para resistencia de 28Mpa	86
Tabla 54.	Propiedades del hormigón fresco de “Triturado de Hormigón Reciclado” para resistencia de 21Mpa.....	87
Tabla 55.	Propiedades del hormigón fresco de “Triturado de Hormigón Reciclado” para resistencia de 28Mpa.....	88
Tabla 56.	Resistencia a la compresión del hormigón definitivo con agregado de la mina “ACOSTA” a la edad de 28 días.....	89
Tabla 57.	Resistencia a la compresión del hormigón definitivo a la edad de 28 días.	90
Tabla 58.	Módulo de Elasticidad Estático con Fórmula ACI-318	93
Tabla 59.	Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado de mina “ACOSTA”	94
Tabla 60.	Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado de mina “ACOSTA”.....	95
Tabla 61.	Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado grueso “Triturado de Hormigón reciclado”	96

Tabla 62.	Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado grueso “Triturado de Hormigón reciclado”	97
------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Curva Granulométrica	13
Figura 2.	Condiciones de humedad de los agregados.....	16
Figura 3.	Curva granulométrica del agregado grueso de la mina “ACOSTA” ...	50
Figura 4.	Curva granulométrica del agregado grueso de la mina “Triturado de Hormigón Reciclado”	52
Figura 5.	Curva granulométrica del agregado fino de la mina “ACOSTA”.....	54
Figura 6.	Densidad óptima de los agregados de la mina “ACOSTA”	60
	Densidad óptima de los agregados gruesos de “Triturado de Hormigón Reciclado”	62

RESUMEN EJECUTIVO

Debido a la necesidad de conocer las propiedades del hormigón específicamente el módulo de elasticidad estático elaborado con agregado grueso de hormigón reciclado, en base a la resistencia a compresión la obtención de una fórmula para su cálculo, y su comparación con uno realizado con agregados gruesos en condiciones normales, se procede a realizar el siguiente análisis.

Para esto se realizaron ensayos que permitieron obtener las características y propiedades mecánicas, de los agregados procedentes de hormigón reciclado y de la mina "Acosta". Una vez obtenidos los datos necesarios mediante el método de densidad óptima se diseñó la mezcla para que cumpla las resistencias especificadas de 21 Mpa y 28 Mpa a la edad de 28 días, después se elaboraron probetas de hormigón en cilindros de 10 cm de diámetro x 20 cm de alto utilizando cemento hidráulico tipo GU Holcim, sin aditivo.

Se realizaron ensayos de compresión simple triaxial, a los 28 días de fraguado del hormigón y de acuerdo con la norma ASTM C469, se obtuvieron los módulos de elasticidad estáticos correspondientes a cada probeta. Se compararon con los módulos de elasticidad calculados con la ecuación establecida por la ACI 318.

Finalmente se propone ecuaciones prácticas que permiten el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, en función a la resistencia para concretos elaborados con agregados gruesos procedentes de hormigón reciclado.

Palabras Claves: Módulo de elasticidad, Resistencia a compresión, Hormigón reciclado, Agregados, Ensayos de laboratorios

ABSTRACT

Due to the need to know the properties of the concrete, specifically the static modulus of elasticity elaborated with recycled concrete coarse aggregate, based on the compressive strength, the obtaining of a formula for its calculation, and its comparison with one made with coarse aggregates under normal conditions, the following analysis is carried out.

For this purpose, tests were carried out to obtain the characteristics and mechanical properties of the aggregates from recycled concrete from the "Acosta" mine. Once the necessary data were obtained by means of the optimum density method, the mixture was designed to meet the specified strengths of 21 Mpa and 28 Mpa at the age of 28 days, then concrete specimens were made in cylinders of 10 cm diameter x 20 cm high using Holcim GU type hydraulic cement, without additives.

Triaxial simple compression tests were carried out at 28 days after the concrete had set and, in accordance with ASTM C469, the static modulus of elasticity corresponding to each specimen was obtained. They were compared with the modulus of elasticity calculated with the equation established by ACI 318.

Finally, practical equations are proposed that allow the calculation of the static modulus of elasticity of concrete, as a function of strength, for concrete made with coarse aggregates from recycled concrete.

Keywords: Modulus of elasticity, Compressive strength, Recycled concrete, Aggregates, Laboratory tests.

CAPÍTULO I.

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1.1. Antecedentes

La necesidad de los materiales en nuestra cultura es muy grande, ya que en todo nuestro diario vivir son necesarios de mayor o menor grado, tales como, comunicación vial, hogar, medios de transporte, etc. Según los archivos tener los materiales necesarios era directamente proporcional al desarrollo y evolución de las sociedades queriendo decir que se une la capacidad de sus miembros para producir y conformar los materiales. De manera que, las primeras civilizaciones fueron nombradas con el material que obtuvo mayor avance (p.ej., Edad de Piedra, Edad de Bronce). En tiempos modernos fueron donde los avances científicos permitieron comprender la relación que existe entre los elementos estructurales de los materiales y sus propiedades, un sinnúmero de materiales han sido desarrollados de manera que sea de satisfacción a las necesidades nuevas y complejas.[1]

El concreto fue utilizado por primera vez en Roma alrededor de la tercera centuria antes de cristo. Estaba constituido por agregados unidos mediante una composición hecha de cal y cenizas volcánicas. El primer registro del uso de concreto en tiempos modernos se remonta a 1760 cuando, en Inglaterra, John Smeaton descubrió, de la combinación de caliza calcinada y arcilla daba lugar a un aglomerante resistente al agua.[2]

Desde finales del siglo XIX se ha diseñado el concreto empleando un método de diseño elástico ASD (por su nombre en inglés Allowable Stresses Design), estuvo basado en intentar mantener el comportamiento de los materiales constitutivos para que ante las reacciones generadas por cargas de servicio estos permanezcan dentro de su rango elástico, el uso de esto limita una sección a deformaciones bastante menores que aquellas que causan su falla por resistencia. Como resultado en general se obtienen nuestros diseños con secciones robustas esto debilita la validez cuando las acciones de diseño han sido calculadas a partir de fuerzas sísmicas reducidas. El uso de diseño por resistencia máxima fue aceptado a mediados del siglo XX este diseño es el que permite

saber con antelación la resistencia de los elementos llevando los materiales hasta la falla. Para esto la sección diseñada esta puesta de tal manera que resista cargas mayoradas que resultan de las cargas de servicio esperadas en la estructura, amplificadas por unos factores de carga que permiten establecer un rango de seguridad, no obstante, es importante saber que este método puede llevarnos a diseñar secciones demasiado esbeltas donde el agrietamiento y las deflexiones bajo las cargas de servicio podrían inhabilitar la estructura para cumplir con su función.[3]

Poniendo en consideración los objetivos mundiales para la sostenibilidad de la ONU y el Acuerdo de París; se deben adicionar las prácticas disponibles para la mitigación de gases de efecto invernadero y ratificar la posición del cemento y el hormigón como elemento base de la construcción para su adaptación al cambio climático. Además, cuando se habla de reducción, reutilización y reciclaje de elementos como energía o materia prima, se hace un aporte a la visión del medioambiente.[4]

Se realizó un estudio experimental en el año 2021 en el cual se conformaron agregados reciclados con diferente tamaño nominal. Se evaluaron las características principales de los agregados reciclados, y posteriormente, se los usó como reemplazo parcial del árido total, las formulaciones fueron del 20%, 40% y 60% de reemplazo. En la caracterización de los agregados reciclados se constató que los mismos pueden abarcar casi toda la distribución granulométrica de las formulaciones, al tener granulometría continua, se habla de una ventaja en la densidad de empaquetamiento para ser usados en mezclas de concreto y reemplazar en diferente porcentaje a los agregados naturales presentes es una mezcla convencional de hormigón.[5]

Se realizó un estudio en el año 2019 en la Universidad de Granada en donde se evaluó el potencial de los áridos reciclados en la fabricación de hormigón no estructural para piezas de mobiliario urbano. En la primera fase del estudio se realizó la caracterización de los materiales granulares y sus dosificaciones obteniendo hormigón reciclado con similares prestaciones a las del natural por lo que fabricaron bancos para inmobiliario urbano a escala industrial, lo que dio paso a la segunda fase. En la segunda fase se

constató que los hormigones reciclados presentaron características técnicas adecuadas, y la fracción gruesa del árido reciclado son viables para su aplicación.[6]

La conservación del medio ambiente dentro de la ingeniería civil se puede hacer mediante el concreto reciclado. El material que más se fabrica es el cemento Portland, sin embargo, su alta temperatura de fabricación genera contaminación, es por eso que el uso de agregados triturados provenientes de la demolición del concreto hidráulico se usa para fabricar Concreto Hidráulico Reciclado. Entonces, el uso del concreto reciclado minimiza los residuos sólidos que producen contaminación, re-usa materiales que en la mayoría de los casos son considerados desecho, innova el diseño de materiales logrando su máximo desempeño mecánico, reduce las emisiones de CO₂ y evita las extracciones innecesarias de materiales geológicos.[7]

1.1.1.2. Justificación

El hormigón es un material con aspecto de piedra que se permite de la combinación de materiales debidamente proporcionadas de cemento, arena y grava u otros áridos y agua, de manera que se moldean a la forma y medida requerida para la estructura anhelada. Los áridos finos y gruesos son la composición fundamental, el cemento y el agua reaccionan químicamente de tal manera que las partículas se unen conformando una masa sólida. Pueden obtenerse diferentes tipos de hormigones con diversas propiedades resistentes mediante un adecuado cambio en las proporciones de sus materiales.[8]

Es importante para el ingeniero calculista conocer el módulo de elasticidad, es una propiedad del hormigón que sirve para el diseño y seguridad estructural, debido a varias solicitudes que tienen las construcciones para poder garantizar habitabilidad y funcionamiento, hay que brindarle rigidez de manera que con las cargas gravitacionales se mantenga firme y en condiciones de cargas laterales debido a movimientos telúricos no se presenten desplazamientos de mayor magnitud y preste la ductilidad necesaria para disipar esa energía.[9]

Para el cálculo del módulo de elasticidad estático se emplean dos métodos, uno teórico en el que se ocupa la ecuación descrita por el A.C.I. $E_c = 15100\sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ [10], en cambio el instructivo ASTM- C 469 indica de un método experimental para lo que necesitamos realizar ensayos de laboratorio y elaboración de probetas [11], este último método descrito es el que se va a utilizar en el presente trabajo experimental.

En un estudio que se ha utilizado escombros de hormigón en el que se reemplazó hasta 70% del cemento por peso, se evaluaron las propiedades del concreto permeable determinando la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, indica que la resistencia a la compresión aumenta si se reducen áridos de tamaño de 20 a 13 mm. La relación entre la porosidad y la resistencia a la compresión a los 28 días se vio afectado negativamente, sin embargo, el cemento, el tipo de materiales, la edad, el tamaño de los agregados y la forma de la muestra de ensayo tuvieron un efecto marginal en relación resistencia- porosidad. Por lo que concluye acerca del hormigón reciclado como agregado para hormigón permeable que cumple con los requisitos de especificaciones de resistencia a la compresión y permeabilidad al agua.[12] Por lo que realizar este estudio y determinar si es factible el uso de estos escombros es de gran importancia para toda la sociedad que se ve afectada por la acumulación de estos.

1.1.2. OBJETIVOS

1.1.2.1. Objetivo General

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón, en base a la comparación de la resistencia a la compresión del hormigón fabricado con agregado grueso de materiales reciclados obtenidos de las escombreras y hormigones preparados en condiciones normales.

1.1.2.2. Objetivos Específicos

- Obtener las propiedades mecánicas del agregado que se empleará para el hormigón reciclado.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático para cada tipo de hormigón.
- Establecer una comparación entre los valores de módulo de elasticidad estático obtenidos de forma teórica (ACI 318) con los valores obtenidos de forma experimental (ASTM C-469), para hormigones de f'_c 210kg/cm² y f'_c 280kg/cm².
- Realizar un análisis comparativo de los valores de la constante obtenidos para el cálculo del módulo de elasticidad estático, en estudios elaborados en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la universidad Técnica de Ambato.

1.1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.3.1. Módulo de elasticidad del Hormigón

El módulo de elasticidad también es conocido como módulo de Young, es el resultado de la relación entre el esfuerzo normal a que está sujeta el material y la deformación unitaria del mismo. Es un parámetro particular de todo material, esta propiedad pone en evidencia que cuanto más alto sea la rigidez del material, su módulo elástico es mayor.[13]

El cálculo del módulo de elasticidad del hormigón, la normativa ACI 318 para hormigones cuya densidad tiene valores entre los $1440 \frac{kg}{m^3}$ y $2560 \frac{kg}{m^3}$, propone la siguiente fórmula[10]:

$$E_c = w^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2} \quad (1)$$

Para concretos de pesos normales, con magnitudes alrededor de $2300 \frac{kg}{m^3}$, ACI 318 presenta la siguiente fórmula[10]:

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2} \quad (2)$$

En las fórmulas son[10]:

w: el peso unitario

f'_c : resistencia a la compresión del hormigón a la edad de los 28 días.

El coeficiente 15100 de la expresión (2) dista en nuestro país debido a que las propiedades y características de los agregados son de diferente lugar al que provienen de la normativa ACI. Hay que aclarar que la fórmula no es 100% efectiva en nuestro país.[14]

El hormigón tiene una microestructura variada que se comporta de manera distinta en el proceso de someterle a carga, dado a las distintas fases de los agregados, la matriz de pasta y la interfaz de agregado de pasta. Una alteración en la condición de alguno de sus componentes elementales resultaría una diferencia del módulo elástico y en la forma de comportarse del concreto. En la siguiente figura 1 se aprecia que los comportamientos de deformación por tensión del concreto y sus componentes son muy distintos.[14]

1.1.3.2. Agregados o áridos

Los agregados o áridos se originan de las rocas por un proceso natural de fragmentación o a su vez por acción del hombre. Deben estar constituidas de partículas sólidas y fuertes que mantengan una forma, textura y granulometría que sea adecuada. De manera general, mientras más compactados se encuentren los áridos; las resistencias mecánicas, resistencia a los elementos y economía del hormigón serán mejores. Es por esta razón que la granulometría de las partículas de los áridos es de suma importancia ya que permite la obtención de una masa bien compactada.[15]

Los áridos se clasifican en finos y gruesos; son los elementos inertes constituyentes del hormigón, porque no tienen participación en las reacciones químicas que se dan entre el cemento y el agua.[3]

Arena, Agregado o Árido fino

Las arenas o áridos finos son aquellos materiales que pasan por el tamiz #4. El agregado fino tiene que ser fuerte, duradero, sólido y limpio, es decir, libre de contaminación de polvo, álcalis, limo y materias orgánicas; ya que pueden debilitar de manera significativa el enlace con la pasta de cemento, provocando reacciones químicas adversas entre los mismos y el cemento. Por lo tanto, no debe contener más de 5% de limo y arcilla, y tampoco más de 1,5% de materias orgánicas. [2], [15]

Módulo de finura

Es una medida del grosor y tamaño, hablando específicamente del agregado fino se lo define como el índice de su valor lubricante en la mezcla. Sirve para determinar el grosor del material, se realiza la suma de los porcentajes que están acumulados en los

tamices y después se divide para 100. Es por esto que la arena indicada debe constar de un módulo de finura de valores entre 2,3 y 3,1. Las arenas que tienen un módulo de finura mayor a 3.5 son demasiado gruesas e inadecuadas ya que son propensas a producir mezclas ásperas y segregables. [16], [17]

Para calcular el módulo de finura se usa la siguiente expresión[17]:

$$MF = \frac{\sum (\%Retenidos)}{100} \quad (3)$$

Granulometría

Las partículas de agregado fino deben tener un tamaño menor a 1/4" y a su vez, la gradación debe cumplir con los requisitos contemplados en la norma ASTM-C-33-99a. La tabla 1 muestra los valores detallados por las normas que debe poseer el agregado fino. [2]

Tabla 1. Requisitos granulométricos del agregado fino

Requisitos granulométricos que deben ser satisfechos por el agregado fino	
Tamiz estándar	% en peso del material que pasa el tamiz
3/8"	100
#4	95 a 100
#8	80 a 100
#16	50 a 85
#30	25 a 60
#50	10 a 30
#100	2 a 10

Fuente: NTE INEN 872

Ripio, Piedra, Grava, Agregado o Árido grueso

Está conformado por rocas graníticas, sieníticas y dioríticas; también se puede utilizar piedra partida o grava zarandeada, que se obtiene del lecho de ríos o de vaciamientos naturales. No debe tener más de 5% de arcillas ni más de 1.5% de carbón y materias orgánicas; no deben tener formas muy alargadas, ni ser demasiado porosos. [2]

Tamaño nominal máximo

El tamaño máximo de los agregados gruesos debe cumplir requisitos[10]:

- No debe superar el 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- No debe superar el 1/3 de la altura de la losa
- No debe superar los ¾ del espaciamiento libre mínimo que hay entre las barras o alambres individuales de refuerzo, tendones individuales, paquetes de barras, paquetes de tendones o ductos.

Para el concreto ciclópeo se puede hacer uso de piedra de hasta 15 y 20 cm. La norma ASTM-C-33-99a establece especificaciones para su gradación. La tabla 2 muestra los valores que debe tener el agregado grueso.[2]

Tabla 2. Requisitos granulométricos del agregado grueso

N° del tamaño	Tamaño Nominal (mm.)	Porcentaje que pasa (%)							
		37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
4	37.5 a 19	90-100	20-55	0-15	---	0-5	---	---	---
467	37.5 a 4.75	95-100	---	35-70	---	10-30	0-5	---	---

5	25.0 a 12.5	100	90- 100	20-55	0-10	0-5	---	---	---
56	25.0 a 9.5	100	90- 100	40-85	10-40	0-15	0-5	---	---
57	25.0 a 4.75	100	95- 100	---	25-60	---	0-10	0-5	---
6	19.0 a 9.5	---	100	90- 100	20-55	0-15	0-5	---	---
67	19.0 a 4.75	---	100	90- 100	---	25-55	0-10	0-5	---
7	12.5 a 4.75	---	---	100	90- 100	40-70	0-15	0-5	---
8	9.5 a 2.36	---	---	---	100	85- 100	10-30	0-10	0-5

Fuente: ASTM C33

1.1.3.3. Propiedades de los agregados

Las principales propiedades de los agregados son[18]:

- Granulometría.
- Forma y redondez de la partícula.
- Propiedades superficiales.
- Impurezas.
- Propiedades físicas y mecánicas.
- Propiedades químicas y mineralógicas.

Dichas propiedades dependen en su mayoría de la roca madre de la que provienen.[18]

La tabla 3 detalla las características más importantes de los agregados.

Tabla 3. Características de los agregados

Característica	Importancia
Resistencia a abrasión y degradación	Índice de calidad y agregado: resistencia desgaste de pisos y pavimentos.
Resistencia a congelación-deshielo	Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética.
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra el intemperismo
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto fresco
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía
Degradación del agregado fino	Índice de calidad del agregado: resistencia a degradación durante el mezclado
Contenido de vacíos no compactado del agregado fino	Trabajabilidad del concret fresco
Densidad suelta (peso volumétrico, densidad a granel, masa unitaria)	Cálculos del diseño de la mezcla, clasificación
Densidad relativa (gravedad específica)	Cálculos del diseño de la mezcla
Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (relación agua-cemento)
Resistencia a la reactividad con los álcalis y cambio de volumen	Sanidad contra cambio de volumen

Fuente: ACI 221R-96

Granulometría

La granulometría se trata de la distribución del tamaño de las partículas del agregado, la cual se determina mediante el análisis de los tamices o cedazos de malla de alambre que poseen aberturas cuadradas. Hay siete tamices regularizados para el agregado fino, los cuales tienen aberturas que van de 150 μm a 9.5 mm; hablando del agregado grueso, hay 13 tamices normalizados, con aberturas que van de 1.18 mm a 100nm. La granulometría y los límites granulométricos se representan en porcentaje de material que pasa por cada tamiz.[18]

Es importante tener en cuenta los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal, ya que estos afectan a las proporciones relativas de los agregados como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, economía, porosidad, retracción, y durabilidad del concreto. De esta manera las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una amasada a otra. [18]

La granulometría tiene una clasificación[19]:

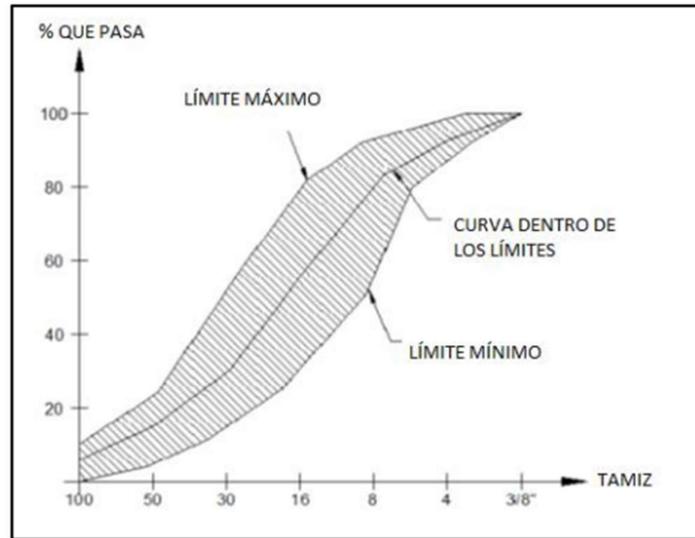
- Bien gradada: el agregado tiene su distribución homogénea de mayor a menor.
- Mal gradada: no hay una continuidad entre los porcentajes de cada tamiz.
- Uniforme: el agregado consta de partículas que son del mismo tamaño.
- Abierta o discontinua: En varios tamices no se retienen partículas.

Curva granulométrica

Es un gráfico que plasma los resultados de un análisis granulométrico para obtener una mejor visualización de los agregados, lo que ayuda a determinar la distribución de los tamaños, si existe una ausencia o un exceso de estos en una masa de agregados. Se lo representa en un papel llamado “log-normal” ya que posee en la horizontal una escala logarítmica y en la vertical una escala natural. Una curva tendida muestra un material que está bien gradado y tiene una gradación densa, es decir, son mínimos los espacios existentes entre partículas. En cambio, cuando la curva es casi vertical muestra un material mal gradado y existe una gradación abierta en la cual se incrementan los espacios vacíos.[16], [20]

La ventaja de la curvatura granulométrica es que permite determinar rápidamente si los agregados tienen exceso de fracciones finas o gruesas o a su vez, si en la distribución por tamaños se encuentran discontinuidades. [21]

Figura 1. Curva Granulométrica



Fuente: Garzón Marco. *Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del hormigón.* Pág. 10

Forma y textura superficial de las partículas

La forma y textura superficial que poseen las partículas del agregado tienden a influir más en las propiedades del concreto fresco que en las del concreto endurecido. Las partículas que tienen una textura áspera o alargadas necesitan más agua para producir un concreto que sea trabajable, además, las partículas de agregado que son angulares necesitan más cemento para mantener la relación agua-cemento.[18]

La adherencia entre la pasta de cemento y algún agregado aumenta cuando hay un cambio de partículas lisas y redondeadas por ásperas y angulares, por esta razón cuando la resistencia a flexión es importante o cuando se requiera alta resistencia a la compresión, hay que considerar el aumento de adherencia cuando se elige el agregado para el concreto.[18]

Se deben evitar las partículas planas y alargadas, o limitarlas cerca del 15% de la masa total del agregado; esto es necesario tanto en agregado grueso como en el fino triturado, ya que es usual que el agregado fino que se obtiene de la trituración de la roca contenga este tipo de partículas. Una partícula es larga cuando posee una relación longitud-ancho mayor a 1.5, y plana cuando la relación espesor-ancho es menor a 0.5. Estas partículas requieren aumento de agua en la mezcla, lo cual puede afectar a la resistencia del concreto si no se ajusta la relación agua-cemento.[18]

Consistencia y durabilidad

La consistencia se refiere a la movilidad relativa que posee una mezcla fresca de pasta de cemento o un mortero recién mezclado o a su vez su habilidad de fluir. En los ensayos de cemento se mezclan pastas que tengan consistencia normal, es decir, las cuales tienen una penetración de 10 ± 1 de la aguja de Vicat. Para obtener una relación agua-cemento fija se deben mezclar los morteros, y también proporciona fluidez, la cual está determinada en una mesa de fluidez. Estos métodos se usan para regular el agua en pastas y morteros, a su vez también facilita comparar ingredientes distintos que posean la misma fluidez o penetrabilidad.[18]

La durabilidad se define como la habilidad que posee el concreto de resistir a la acción del ambiente, ataque químico y abrasión, sin perder sus propiedades de ingeniería; es una característica que hace perdurar su forma original, calidad y propiedades antes diferentes procesos de deterioro. Cada tipo de concreto requiere diferentes durabilidades en dependencia de la exposición al ambiente y de las propiedades deseadas. Los factores que determinan la durabilidad final y vida útil del concreto son sus componentes, la proporción de los mismos, su interacción y sus métodos de colocación y de curado. [18]

Esta permeabilidad puede resultar afectada por causas internas como permeabilidad, materiales constituyentes o cambios de volumen por diferentes propiedades térmicas. Dentro de las principales variables que intervienen en la durabilidad se encuentran[22]:

1. Condiciones ambientales: aires, agua, gases, suelos, congelación, sustancias disueltas en agua, sustancias en contacto directo y ciclos repetidos de humedecimiento y secado.

2. Características de materiales usados en la fabricación como cemento, agregados y agua.
3. Grado de permeabilidad del concreto, el cual depende de: porosidad de pasta de cemento, porosidad de agregados, relación agua-cemento, distribución y estructura de poros, tiempo de curado, espesor del concreto.
4. Condiciones de servicio: deterioro por la circulación de equipos mecánicos o de personas.
5. Conservación y mantenimiento brindado a la estructura.

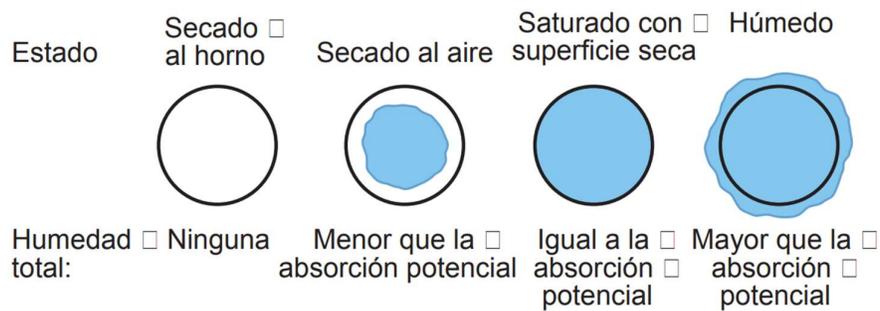
Tenacidad, dureza y resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión o al desgaste que presenta un agregado, es utilizado frecuentemente como índice general de su calidad. Esta resistencia es esencial cuando el agregado va a usarse en concreto que estará sujeto a desgaste, como en pisos de servicio pesado o en pavimentos. Cuando un agregado tiene baja resistencia a la abrasión, puede incrementar la cantidad de finos en el concreto al momento del mezclado y, como consecuencia de esto puede darse un aumento en la demanda de agua, por lo que se requieren ajustes de la relación agua-cemento.[18]

Absorción

Se define como el incremento en masa del agregado por el ingreso de agua en los poros de las partículas, en un periodo de tiempo establecido, sin incluir el agua que está adherida a la superficie de las partículas. La absorción y la humedad superficial se determinan con algunas normas, de esta manera el agua total del concreto puede ser controlada y las masas correctas de los materiales de revoltura pueden ser determinados. La estructura interna de las partículas de agregado está compuesta por materia sólida y vacíos, los cuales pueden contener agua o no. La figura 2 muestra las diferentes condiciones de humedad de los agregados.[23]

Figura 2. Condiciones de humedad de los agregados



Fuente: ASTM C 70

Estas condiciones se las define de la siguiente manera[18]:

1. Secado al horno: totalmente absorbente
2. Secado al aire: la superficie de las partículas está seca, pero en el interior hay humedad, por lo que es ligeramente absorbente.
3. Saturado de superficie seca (SSS): no absorbe ni cede agua al concreto.
4. Húmedos: Posee exceso de humedad sobre la superficie, es decir, agua libre.

Es importante tener en cuenta dichas condiciones, ya que el agua que se adiciona a la planta de concreto debe ser ajustada a las condiciones de humedad de los agregados, para atender la demanda de agua del diseño de la mezcla de una manera precisa. Esto quiere decir que, si el contenido de agua del concreto no es constante, la relación agua-cemento tendrá variaciones de una amasada a la otra, dando como resultado la variación de otras propiedades como la trabajabilidad y la resistencia a compresión.[18]

Gravedad específica

La gravedad específica o densidad relativa de un agregado es la relación que existe entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Es usada en cálculos de control y proporcionamiento de la mezcla, como es el caso del volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto del diseño de la mezcla. Generalmente no es usada como medida de calidad del agregado, pero algunos agregados porosos que poseen deterioro acelerado por congelación-deshielo

manifiestan una baja gravedad específica. Por lo tanto, en la gran mayoría de agregados naturales las densidades relativas oscilan entre 2.4 a 2.9, con una densidad de las partículas de 2400 a 2900 kg / m³ . [18]

La densidad relativa de un agregado se determina en la condición seca al horno o saturada con una superficie seca. Ambas densidades pueden ser usadas en cálculos de proporcionamiento del concreto. De esta manera, los agregados secos al horno no poseen agua tanto absorbida como libre, pero se secan en horno hasta obtener la consistencia de masa, por otro lado, los agregados saturados con superficie seca poseen los poros de cada partícula de agregado llenos de agua, sin embargo, no hay exceso de agua en la superficie de sus partículas. [18]

- a) Secados al horno (SH): han sido secados por el calentamiento del horno $\pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo considerable hasta alcanzar una masa constante.
- b) Saturados superficialmente secos (SSS): los poros permeables de las partículas de agregado se llenan de agua debido a que se someten a una inmersión prolongada en agua por un periodo de tiempo determinado, pero no poseen agua libre sobre la superficie de las partículas.[23]

Masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos

La densidad suelta o masa unitaria del agregado se define como la masa o el peso del agregado necesario para poder llenar un recipiente con un volumen unitario determinado. Ese volumen es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado, entonces, la densidad suelta del agregado generalmente usado en el concreto de peso normal oscila de 1200 a 1750 kg / m³ . La cantidad de vacíos que hay entre las partículas hace que la demanda de pasta en el diseño de la mezcla se vea afectada, la cantidad de vacíos varía del 30% al 45% en el agregado grueso y del 40% al 50% en el agregado fino. De esta manera, la angularidad aumenta el porcentaje de vacíos, sin embargo, los tamaños mayores de un agregado con buena graduación y una mejoría de granulometría disminuyen el contenido de vacíos.[18]

Se describen 3 métodos para la consolidación del agregado en el recipiente y en dependencia del tamaño máximo del agregado[18]:

1. Varillado
2. Sacudido
3. Vaciado con pala

Se hace uso de la siguiente expresión proporcionada por NTE INEN 858 para determinar el porcentaje de vacíos de los agregados[2]:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{[(S \cdot M) - Da] \cdot 100}{(S \cdot Da)} \quad (4)$$

En donde[2]:

- S: Gravedad específica en estado seco
- M: Masa unitaria del agregado expresado en kg/m^3
- Da: Densidad del agua

1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos

Algunas sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados son impurezas orgánicas, limos, arcilla, esquisto, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y partículas ligeras y suaves, rocas y minerales como chert, cuarzo deformado y calizas dolomíticas. Por otro lado, el yeso y anhidrita pueden causar ataque de sulfatos, también los esquistos causan erupciones por el hinchamiento o por congelamiento del agua absorbida.[3]

Los agregados son peligrosos si contienen compuestos químicamente reactivos como el concreto de cemento de Portland y si producen[18]:

1. Cambio significativo del volumen de la pasta, agregados o ambos
2. Interferencia en la hidratación normal del cemento
3. Otros productos secundarios dañinos

Impurezas orgánicas

Pueden retrasar el fraguado, el endurecimiento del concreto, el desarrollo de resistencias y deterioración. Algunas impurezas como las turbas, humus y margas orgánicas pueden no ser tan dañinas, pero es mejor evitarlas. La tabla 4 detalla los materiales nocivos en los agregados.[18]

Tabla 4. *Materiales Perjudiciales en Agregados*

Sustancia	Efecto en el concreto
Impurezas orgánicas	Afecta el tiempo de fraguado y endurecimiento, deterioración
Material más fino que 75 μm	Afecta adherencia, aumenta demanda de agua
Carbón, lignito u otro material ligero	Afecta durabilidad, causa manchas y erupciones
Partículas blandas	Afecta durabilidad
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta trabajabilidad y durabilidad, puede causar erupciones
Chert con densidad relativa menor que 2.40	Afecta durabilidad, puede causar erupciones
Agregados reactivos con los álcalis	Causa expansión anormal, afogado

Fuente: NTC 127

Reacción álcali-agregado

Los agregados tienen algunos constituyentes que pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto, esta reactividad es dañina cuando produce una expansión significativa. Esta reacción se presenta de dos formas: reacción álcali-sílice y reacción álcali-carbonato, sin embargo, la primera es mucho más alarmante ya que la incidencia de agregados que contengan minerales reactivos de sílice es mucho más común; la misma se ha determinado como una fuente de deterioración desde finales de los años 30. En América Latina la incidencia de reacción álcali-sílice no es tan común debido a diversos factores, entre ellos[18]:

- Gran mayoría de los agregados son estables en concreto de cemento hidráulico.

- Los agregados con buenos registros de servicio son abundantes.
- Gran parte de los concretos en servicio están lo suficientemente secos para inhibir reacción álcali-sílice.
- El contenido de álcalis del concreto es muy bajo para controlar reacción álcali-sílice, en algunas mezclas de concreto.
- Hay formas de reacción álcali-sílice que no producen una expansión nociva significativa.

Contenido de arcilla y material con diámetro menor a 0.074 mm

Limos, arcillas y polvos que provengan de la trituración de rocas de tamaños menores de 0.074 mm de diámetro son dañinas si es que se encuentran en un alto porcentaje en los agregados, la importancia radica en que al ser tamaños menores que los granos de cemento, recubren los agregados más gruesos e impiden una buena adherencia entre los mismos y la pasta de cemento. Por otro lado, hay ciertos tipos de arcilla que al entrar en contacto con el agua provocan fenómenos de expansión o de encogimiento, los cuales generan presiones internas que pueden causar agrietamientos en la estructura; a su vez, su incremento en la superficie específica causa un aumento en la demanda de agua en las mezclas de concreto y la cantidad de cemento. Para determinar el porcentaje de arcilla se hace uso de la granulometría, anteriormente descrita.[20]

1.1.3.5. Agua para el concreto

Es un constituyente esencial en las mezclas de concreto y mortero, permite el desarrollo de la capacidad ligante del cemento. Para cada cuantía de cemento hay una cantidad de agua del total de la agregada que es requerida para hidratar el cemento, el agua sobrante sirve para incrementar la fluidez de la pasta para que cumpla su función como lubricante de los agregados y obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua que se utiliza en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta al consumo humano y estar libre de sustancias como sustancias alcalinas aceites, ácidos y materias orgánicas; sin embargo, si puede emplearse agua dudosa, pero debe verificarse su desempeño de la siguiente manera: se hacen cubos de mortero con al agua, y a los 7 y 28 días deben poseer un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.[18], [22]

Características químicas y físicas del agua de mezclado

Debe ser potable y no presentar fuerte sabor u olor. Hay límites que debe cumplir en cuanto a impurezas, ya que algunas de ellas pueden causar efecto sobre la resistencia, tiempo de fraguado, durabilidad y algunas otras propiedades. Se puede hacer uso de agua con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. La tabla 5 muestra los límites de concentraciones de impurezas del agua. [18], [22]

Tabla 5. Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezcla

Impurezas	Máxima Concentración Tolerada
Carbonatos de sodio y potasio	1.000 ppm
Cloruro de sodio	20.000 ppm
Cloruro como CL (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro como CL (concreto húmedo o con elemento de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000 ppm
Sulfato de sodio	10.000 ppm
Sulfato como SO ₄	3.000 ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40.000 ppm
Sulfato de magnesio	25.000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%
Sales de hierro	40.000 ppm

Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000 ppm
pH	6 a 8
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.5%
Hidróxido de potasio (por peso del cemento en el concreto)	1.2%
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2.000 ppm
Aceite mineral (por peso del cemento en el concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20 ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable

Fuente: NTC 3459

- **Carbonatos y bicarbonatos alcalinos**

Tanto los carbonatos como los bicarbonatos de sodio y potasio tienen efectos diferentes sobre el tiempo de fraguado de cementos diferentes. El carbonato de sodio

puede causar un fraguado rápido, sin embargo, el bicarbonato puede acelerar o retardar el fraguado. Una vez que la suma de sales disueltas excede los 1000 ppm, se deben realizar ensayos para saber su influencia sobre la resistencia y tiempo de fraguado.[18]

- **Cloruros y sulfatos**

El efecto adverso de los iones cloro en la corrosión de la armadura es de suma preocupación en dependencia del contenido de cloruros en el agua que es usada para la preparación del concreto. Estos iones atacan el filme protector de óxido que se forma sobre el acero como resultado de una alta alcalinidad presente en el concreto. Del total de iones cloruro en el concreto, aproximadamente del 50% al 38% es soluble en el agua.[2]

Una elevada concentración de sólidos disueltos en agua natural se da debido al alto contenido de cloruro de sodio o sulfato de calcio. La concentración de 20.000 ppm de cloruro de sodio es permisible en el concreto que se mantendrá seco a lo largo de su vida y tiene bajo potencial de corrosión. La tabla 6 muestra la limitación de contenido de iones solubles en agua.[18]

Tabla 6. *Iones solubles en agua en el concreto armado*

Concreto Armado	Porcentaje de iones solubles en agua
Concreto pretensado	0.06%
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida	0.15%
Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida	1.00%
Otras construcciones en concreto reforzado	0.30%

Fuente: ACI 318

El alto contenido de sulfato es preocupante debido a reacciones expansivas potenciales y deterioración, generalmente en áreas en donde el concreto esté expuesto a suelos o aguas que tengan un alto contenido de sulfato.[18]

- **Otras sales comunes**

Los carbonatos de calcio y magnesio no son muy solubles en el agua y no se encuentran frecuentemente en concentraciones suficientes que afecten la resistencia del concreto, están presentes en aguas municipales, entonces, no son determinadas como perjudiciales las concentraciones menores que 400ppm; el cloruro y sulfato de magnesio pueden estar presentes en altas concentraciones, pero no causarían daños en la resistencia. Por lo tanto, las concentraciones de sulfato de magnesio deben ser menores de 25.000 ppm.[18]

- **Sales de Hierro**

Las aguas subterráneas no contienen más de 20 a 30 ppm de hierro de manera regular, pero las aguas ácidas de mina si pueden contener grandes cantidades de hierro, por lo tanto, sales de hierro en concentraciones de hasta 40.000 ppm no afectan la resistencia del concreto.[18]

- **Sales inorgánicas**

Algunas sales como de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo pueden causar una significativa reducción de resistencia y variaciones del tiempo de fraguado; las sales de zinc, cobre y plomo son las más activas, sin embargo, el yodato de sodio, fosfato de sodio, arseniato de sodio y borato de sodio son activas como retardantes, ya que pueden retardar el tiempo de fraguado como el desarrollo de resistencia, siempre y cuando se encuentren en concentraciones de pocas décimas de porcentuales del peso del cemento. Generalmente se pueden tolerar concentraciones de hasta 500 ppm de sales en el agua que se usa en la preparación del concreto. El sulfuro de sodio requiere análisis en una concentración de 100 ppm.[18]

Aguas ácidas

Su aceptación se debe basar en la concentración de ácidos en el agua, es decir, en el pH. El pH del agua neutra es de 7.0, valores inferiores muestran acidez y superiores muestran alcalinidad; normalmente el agua de amasado que contiene ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y otros ácidos en concentraciones de hasta 10.000 ppm no se considera perjudicial sobre la resistencia; sin embargo, las aguas ácidas con pH menor a 3.0 si pueden producir problemas de manoseo, por lo que deben ser evitadas.[18]

Aguas alcalinas

Las aguas que tengan hidróxido de sodio del 0.5% en peso de cemento no se ven afectadas ni la resistencia del concreto, pero concentraciones elevadas pueden reducir la resistencia del concreto. El hidróxido de calcio en concentraciones de hasta 1.2% tiene poco efecto sobre la resistencia, pero esa misma concentración puede disminuir la resistencia a los 28 días; se considera la posibilidad del aumento de reacción álcalo-agregado.[18]

Partículas o sedimentos en suspensión

Pueden ser toleradas aproximadamente 2000 ppm de arcilla en suspensión o partículas finas de rocas en el agua para amasado. Cuando hay cantidades más elevadas, tal vez no afecten la resistencia, pero si pueden afectar otras propiedades de las mezclas de concreto; antes de usar agua lodosa se la debe pasar por estanques de sedimentación o se debe clarificar por otro medio para disminuir la presencia de sedimentos o arcilla. Se puede tolerar hasta 50.000 ppm cuando los finos del cemento retornan al concreto por uso de agua de lavado reciclada.[18]

Agua con aceite

Algunos tipos de aceite están presentes en el agua, el aceite mineral o petróleo, sin mezcla de aceites vegetales o animales tiene menos efecto en el desarrollo de resistencia que otros aceites, pero el aceite mineral en concentraciones mayores a 2.5% puede reducir la resistencia en porcentajes mayores al 20%. [18]

Aguas negras

Un agua residual común puede contener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica, cuando el agua residual es diluida en tratamiento, la concentración disminuye a 20 ppm o menos; por lo que es una concentración muy baja que no puede afectar la resistencia del concreto de forma considerable.[18]

Agua con azúcar

Una cantidad de 0.03% al 0.15% de sacarosa es suficiente para retardar el fraguado del cemento, el límite máximo oscila de acuerdo a los diferentes tipos de cemento. La resistencia a los 7 días podría reducirse, pero la resistencia a los 28 días podría aumentar. Cuando hay azúcar en cantidades iguales o mayores a 0.25% puede causar fraguado rápido y una reducción considerable de la resistencia a los 28 días. El azúcar del agua de mezcla en cantidades menores a 500 ppm no presenta efecto dañino en la resistencia, solo si supera ese valor hay que hacer ensayos de tiempo de fraguado y resistencia.[18]

Agua de mar

El agua de mar que tenga una concentración de sales disueltas de hasta 35.000 ppm, generalmente es adecuada para su uso como agua de mezclado que no contenga acero. El 78% es cloruro de sodio y el 15% es cloruro y sulfato de magnesio. La resistencia temprana de concreto realizado con agua de mar es más elevada que la del concreto normal, la resistencia después de 28 días puede ser menor.

El agua de mar no es adecuada para preparar concreto reforzado con acero, y no debe ser usada en concreto pretensado ya que existe el riesgo de corrosión de la armadura en ambientes cálidos y húmedos. Por otro lado, la presencia de sodio y potasio en el agua de mar, pueden agravar la reacción álcali-agregado.[18]

Agua de curado

Tiene como objetivo mantener el concreto saturado para lograr casi la total hidratación del cemento, dando como resultado el incremento de la resistencia; las sustancias que están presentes en el agua de curado pueden causar aparición de manchas en el

concreto o atacarlo causando un deterioro en dependencia del tipo de sustancias presentes.[20]

Agua de mezclado o amasado

Agua natural potable sin presencia de sabor fuerte u olores se puede usar como agua de mezclado y amasado para la preparación del concreto. Un alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede ocasionar corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto preesforzado; el contenido de agua de mezclado es el factor principal que influye en la manejabilidad del concreto, se expresa en kg o en litros por m^3 de concreto. La tabla 7 muestra los límites químicos para agua de mezcla.[18], [20]

Tabla 7. Límites químicos para aguas de mezcla

Sustancia química o tipo de construcción	Concentración máxima en ppm	Método de ensayo
Cloruro como CL		ASTM D 512
Concreto pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido) o concreto para tablero de puentes	500	
Otros tipos de concreto reforzado en ambiente húmedo o conteniendo elementos de aluminio o metales distintos inseridos o cimbras permanentes de metal galvanizado	1.000	

Sulfato, como SO₄	3.000	ASTM D 516
Álcalis, como (Na₂O + 0.658 K₂O)	600	
Total de sólidos	50.000	AASHTO T 26

Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto, Portland Cement Association

1.1.3.6. Cemento Portland

Se define como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso, el Clinker es resultado de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla correctamente dosificada de materiales silíceos, calcáreo y férricos. Los materiales usados para la producción de cemento portland deben tener cantidades apropiadas de compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro. Durante la fabricación se realizan análisis químicos frecuentes de todos los materiales para así garantizar un cemento uniforme y de alta calidad. Generalmente a los cementos que están disponibles en el mercado se les adicionan otras sustancias en la etapa de molienda del clinker, debido a razones económicas, por lo tanto, pueden ser escorias, calizas o puzolanas.[20]

El cemento se fabrica por dos vías: seca y húmeda. En el proceso de vía seca las operaciones de molienda y mezcla se realizan con los materiales seco, mientras que en la vía húmeda los materiales se mezclan con agua en forma lechada. Después del mezclado, se debe alimentar la materia prima en la parte superior del horno, las temperaturas del horno van de 1400°C a 1550°C y cambian químicamente el material crudo en clinker, es decir, pelotas grises con el tamaño de canicas, después el clinker se enfría y se pulveriza, adicionándole una pequeña cantidad de yeso para controlar el tiempo de fraguado.[18]

Finura del cemento

Es una de las propiedades más importantes porque está relacionada de manera directa con la hidratación, la hidratación de los granos del cemento sucede del exterior al interior, por lo que luego el área superficial de la partícula de cemento es el material de hidratación y el tamaño de los granos o finura tiene una gran influencia en la

velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de resistencia con la edad. Cuando el cemento es muy fino se endurece rápidamente y desarrolla alta resistencia en menor tiempo, pero libera mayor cantidad de calor, lo que aumenta la retracción y susceptibilidad a fisuración, también aumenta los costos de producción y hace que el cemento sea susceptible a hidratarse con la humedad ambiental y como resultado su vida útil será más corta.[20]

La finura se mide en el laboratorio mediante el uso de un aparato de permeabilidad el aire de Blaine; el método consiste en la determinación de la permeabilidad del aire de una capa de cemento y está basado en que la cantidad y el tamaño de los poros de una muestra con determinada densidad son funciones del tamaño de las partículas y su distribución de granulometría.[20]

Gravedad específica del cemento

La densidad relativa o gravedad específica es un número adimensional que está determinado por la división de la densidad del cemento por la densidad del agua a 4°C, la cual es 1000 kg/m³ .[18]

La densidad relativa es 3.15 para su uso en cálculos volumétricos de proporcionamiento de la mezcla de concreto. [18]

Hidratación del cemento

El agua en el cemento hidratado se lo puede encontrar en tres formas[20]:

1. Químicamente combinada: agua de hidratación de compuestos y en parte de su composición molecular.
2. Agua que se encuentra en capilares y poros
3. Agua del gel o agua absorbida

En el cemento portland el agua químicamente combinada después de una hidratación completa es de aproximadamente un 25% y su superficie específica pasa de 3000 a 2000000 cm²/g. El valor máximo para el agua combinada es de 28 + 1% del peso del

cemento, el valor se reduce al combinarse a un 25% y el agua del gel representa un 15%. Por lo tanto, el agua capilar depende de la solución de agua-cemento usada.[20]

Tipos de cemento portland

Hay diferentes tipos de cemento portland que satisfacen con varios requisitos químicos y físicos de acuerdo a sus aplicaciones.[20] La tabla 8 muestra los tipos de cemento portland.

Tabla 8. Tipos de cemento portland

Cemento	Características
TIPO I	De uso general, no tiene propiedades especiales y la resistencia de diseño se asume a los 28 días.
TIPO II	De moderado calor e hidratación, utilizado en obras hidráulicas por su resistencia a suelos y aguas sulfatadas, su resistencia de diseño se asume a los 42 días.
TIPO III	Tiene mayor finura que los demás, posee rápidas resistencias iniciales y un fraguado rápido, posee alto calor de hidratación por lo que se recomienda en climas fríos.
TIPO IV	Tiene bajo calor e hidratación, posee buena resistencia a los sulfatos, la resistencia en días tempranos es bajo, pero en días avanzados tiene mayor resistencia, usado para hormigón masivo.

TIPO V	Usado contra la acción de aguas marinas y sulfatadas, posee bajas resistencias iniciales pero mayor resistencia en edades avanzadas es indicado en obras portuarias, alcantarillas, etc.
---------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: ASTM C 150

1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto

Los principios básicos del diseño de mezclas son cálculos usados para determinar las proporciones de la mezcla. El proceso para determinar las características requeridas es el diseño de mezcla, el cual posee ciertas características[18]:

1. Propiedades del concreto fresco.
2. Propiedades mecánicas del concreto endurecido.
3. Inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos.

Este diseño, determina el desarrollo de la especificación de concreto.[18]

Parámetros de diseño de mezclas

– Resistencia a la compresión

Es la resistencia promedio de un conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia, el cual se debe lograr o superar. Se requiere que sea por lo menos de 180 kg/cm^2 o 17.5 MPa . Ninguna prueba individual puede tener una resistencia de 36 kg/cm^2 o 3.5 MPa inferior.[20]

- Relación agua-cemento

Es la masa de agua dividida por la masa de cemento, la que es elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición, si la durabilidad no es un factor de gobernabilidad, la elección de la

relación agua-cemento se debe hacer basándose en los requisitos de resistencia a la compresión.[18]

– **Docilidad**

Está relacionada con la consistencia del concreto, su homogeneidad y la facilidad que tiene para eliminar vacíos de la masa. La docilidad está en dependencia de ciertos factores[20]:

- Granulometría de los agregados.
- Cantidad de agua de la mezcla.
- Los agregados redondos tienen mejor trabajabilidad que los provenientes de trituración.
- La trabajabilidad se ve aumentada por la cantidad de cemento.
- La trabajabilidad se ve beneficiada con el uso de plastificantes.

– **Curado**

Es el sustento de la temperatura y de contenido de humedad de manera satisfactoria, durante un periodo de tiempo que comienza después de la colocación y el acabado, para que se desarrollen las propiedades deseadas del concreto. El curado tiene una importante influencia en las propiedades del concreto endurecido, es decir, el curado idóneo hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, resistencia a congelación-deshielo y descongelantes.[20]

– **Método de la densidad óptima**

Se obtiene de la densidad aparente máxima, disminuyendo 4% del porcentaje de finos que corresponde a la densidad máxima, lo que da como consecuencia un aumento del porcentaje de gruesos. Hay que utilizar la menor cantidad de pasta para producir hormigón de excelente calidad.[21]

1.1.4. HIPÓTESIS

El módulo de elasticidad del hormigón se determinará a partir de las probetas ensayadas con 100% de agregado grueso de material reciclado y obtendremos un valor similar al realizado con agregado grueso normal.

CAPÍTULO II.

2.1. METODOLOGÍA

2.1.1. Niveles de investigación

En la elaboración de una investigación se debe seguir cierto orden progresivo y escalonado, por lo que, en referencia a Carrasco se establece cuatro niveles para el desarrollo de la investigación científica, los que se detallan a continuación: nivel de investigación preliminar o exploratorio, sigue nivel descriptivo, nivel explicativo o casual y finalmente nivel experimental.[24]

2.1.1.1. Investigación preliminar o exploratorio:

En la etapa en cuestión de la investigación se recolectará información acerca de la disponibilidad en la ciudad de Ambato de los agregados gruesos reciclados a utilizar en la fabricación del hormigón que se someterá al ensayo de compresión con la finalidad de determinar cómo alteran o modifican en el cálculo del módulo de elasticidad estático (MEE). También se obtendrá información de las fórmulas que proponen la ACI 318-19 y ASTM C-469 para comparación de las variaciones que resulten.

2.1.1.2. Investigación descriptiva:

En este nivel de investigación esperamos realizar una caracterización de los agregados en cuestión y la recolección de información de los ensayos a compresión realizados en los hormigones fabricados con los mismos.

2.1.1.3. Investigación explicativa o causal:

En este escalón se procede a interpretar la influencia que tiene la resistencia a compresión del hormigón elaborado con agregados gruesos de hormigón reciclado en el módulo de elasticidad estático.

2.1.1.4. Investigación experimental:

En el nivel final se plantea una fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad estático que sustituya a la propuesta por, la norma ACI 318, siendo esta fórmula

resultante de considerar la resistencia a compresión del hormigón elaborado con agregados gruesos de hormigón reciclado por lo cual es aplicable solo para este sitio.

2.1.2. Población y muestra

La población en este trabajo experimental serán los cilindros de hormigón que serán sometidos al ensayo de compresión, por lo que su cantidad se determina basándonos en 3 factores: el origen de los agregados, resistencia a la compresión requerida y la edad a ensayar. Siendo que por cada edad, resistencia y origen de agregados se elaborarán 15 cilindros, el total de las muestras serán 60 como se detalla a continuación en la tabla.

Tabla 9. Número de cilindros totales a ensayar

Origen	F'c ($\frac{kg}{cm^2}$)	7 días	28 días	Total
<i>Mina Acosta</i>	210	3	12	15
	280	3	12	15
<i>Triturado Hormigón reciclado</i>	210	3	12	15
	280	3	12	15
<i>Sumatoria</i>		12	48	60

Realizado por: Vladimir Villacrés

2.1.3. Materiales y Equipos

Para realizar los respectivos ensayos, fue necesario utilizar los materiales y equipos numerados a continuación.

2.1.3.1. Materiales

1. Áridos finos

2. Áridos gruesos de mina Acosta
3. Áridos gruesos de hormigon reciclado
4. Agua potable
5. Gasolina
6. Aceite quemado
7. Cemento Holcim fuerte

2.1.3.2. Equipos

1. Horno ventilado
2. Compresómetro/extensómetro para cilindros de 100 x 200 mm
3. Máquina de ensayos de compresión
4. Concretera eléctrica de medio saco
5. Balanza eléctrica con capacidad de 150 kg
6. Balanza eléctrica con precisión de 0.01g y capacidad de 1500g
8. Tamizadora
9. Juago de tamices cuadrado de 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y #4
10. Juego de tamices redondos 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200
11. Fuente
12. Tapa
13. Moldes cilíndricos de 20 cm de alto * 10 de diámetro
14. Cono de Abrams
15. Varilla para compactación con punta redondeada

16. Flexómetro
17. Brocha
18. Guaipes
19. Cepillo de alambre
20. Martillo de goma
21. Pala cuadrada
22. Bailejo
23. Probetas graduadas
24. Bandejas plásticas
25. Bandejas metálicas
26. Picnómetro
27. Pipeta
28. Canastilla metálica
29. Termómetro
30. Franela
31. Carretilla
32. Laptop
33. Cuaderno
34. Cámara fotográfica
35. Cámara de fraguado
36. Etiquetas para cilindros

2.1.4. Plan de recolección de información

Como primer paso, se encuentra las actividades de búsqueda y obtención de fuentes bibliográficas y normas aplicadas que brinden información de mucha importancia para dar por iniciado al proceso de experimentación, el que bien puede ser clasificado cronológicamente en cuatro etapas que vienen a ser: toma de muestras, ensayos de caracterización, diseño de la mezcla y elaboración de cilindros.

2.1.4.1. Toma de muestras

1. Reconocimiento y selección del hormigón reciclado de donde se obtendrá para el desarrollo de la tesis.
2. Selección de trituradora para realizar el proceso de trituración del hormigón reciclado.
3. Recolección de agregados gruesos provenientes de la mina y etiquetado de acuerdo con su origen.
4. Recolección de agregados gruesos triturados de hormigón reciclado
5. Adquisición de cemento indicado (Holcim) por el tutor de tesis.
6. Traslado de los materiales a los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.4.2. Ensayos de caracterización

7. Realización del ensayo para la determinación de la densidad real del cemento hidráulico según la norma INEN 156.
8. Ejecución del análisis granulométrico en los áridos fino y grueso según NTE 696.
9. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido grueso mediante la aplicación de la norma NTE INEN 857.
10. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido fino a través de la aplicación de la norma NTE INEN 856.
11. Determinación de la masa unitaria para condiciones suelta y compacta norma INEN 858.

2.1.4.3. Diseño de la mezcla

12. Cálculo y diseño de la mezcla que se requiere para obtener una resistencia a compresión del hormigón de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² mediante el método de la densidad óptima.

2.1.4.4. Elaboración de cilindros

13. Ajuste y preparación de los moldes a utilizar.
14. Pesaje de los moldes vacíos.
15. Pesaje de los agregados y cemento de acuerdo con el diseño de la mezcla realizado anteriormente.
16. Recolección de la cantidad de agua calculada correspondiente al diseño.
17. Elaboración del hormigón.
18. Corrección por contenido de humedad de la mezcla.
19. Realización del ensayo de determinación del asentamiento del hormigón en conformidad con la norma INEN 1578.
20. Colocación del hormigón en los cilindros de la siguiente manera: 2 capas proporcionando 25 golpes con la varilla de punta redondeada para el cilindro correspondiente y 15 golpes con el martillo de goma.
21. Anotación de los datos de los moldes de hormigón con la mezcla en las etiquetas.
22. Colocación de etiquetas en los moldes con mezcla.
23. Pesaje de los moldes + hormigón fresco.
24. Desencofre del hormigón pasado 24 horas de que el hormigón ha fraguado.
25. Colocación de las probetas en la cámara de curado.
26. El proceso se repite desde el paso 14 hasta el 25 para la elaboración de los cilindros con agregados gruesos de hormigón reciclado.

2.1.5. Proceso y análisis de información

Es importante tomar la información de las 4 etapas descritas para llevar a cabo el procesamiento y análisis de la misma.

2.1.5.1. Toma de muestras

En esta etapa se clasificarán los agregados a través de un etiquetado y registro de los pesos.

2.1.5.2. Ensayos de caracterización

En esta etapa los ensayos van a elaborarse con sus respectivos informes donde se registrarán los resultados obtenidos de cada uno de estos y paso seguido se elaborarán hojas de cálculo o tablas con la información mínima necesaria para proceder a la etapa de diseño de la mezcla.

2.1.5.3. Diseño de la mezcla

Aquí se desarrollarán hojas de cálculo que nos permitan el diseño de la mezcla de acuerdo con los datos obtenidos de los ensayos que se realizaron con anterioridad y que aporten a la obtención de la proporcionalidad de cada elemento del hormigón junto con la cantidad en peso y volumen que será necesaria para la fabricación de los 52.

2.1.5.4. Elaboración de cilindros

La etapa de elaboración de cilindros incluirá el análisis de los resultados obtenidos tanto al fabricar las probetas como al someterlos al respectivo ensayo a compresión, se realizarán las curvas de edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo vs deformación del hormigón, consecuentemente, se procesarán los resultados de la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad para la obtención del módulo de elasticidad estático.

CAPÍTULO III

3.1. Resultados y discusión

3.1.1. Análisis y discusión de resultados

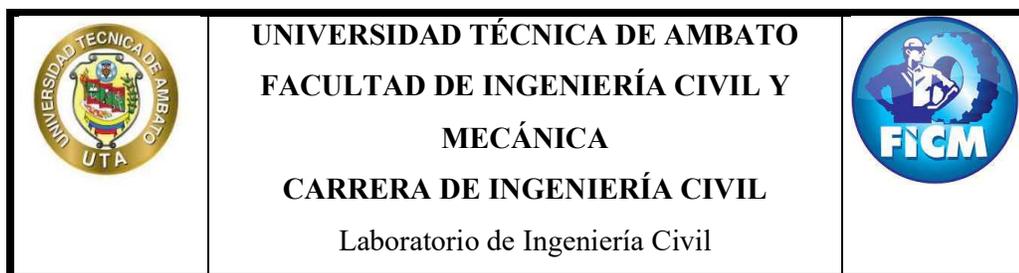
En esta sección del informe estará compuesto de exponer los ensayos realizados de los agregados, cemento y hormigón con sus debidos análisis y discusión de los resultados obtenidos. Con la consideración que para el hormigón con agregado grueso reciclado se requirió hacer los mismos ensayos, se elaboró la tabla 10. en la cual se detalla el orden en el que se presentan estos ensayos y sus análisis.

Tabla 10. Orden de presentación de los ensayos en los agregados.

Orden	Origen	Ensayo
1°	Mina Acosta	Determinación del contenido de humedad de los agregados
2°	Triturado hormigón reciclado	
3°	Mina Acosta	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino
4°	Mina Acosta	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado grueso
5°	Triturado hormigón reciclado	
6°	Mina Acosta	Granulometría del agregado grueso
7°	Triturado hormigón reciclado	
8°	Mina Acosta	Granulometría del agregado fino

9°	Mina Acosta	Densidad aparente suelta
10°	Triturado hormigón reciclado	y compactada del agregado grueso
11°	Mina Acosta	Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino
12°	Mina Acosta	Densidad óptima de los agregados
13°	Triturado hormigón reciclado	

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: NTE-INEN 862

ORIGEN: MINA ACOSTA

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRÉS TIRADO

FECHA: 05/12/2022

Tabla 11. Contenido de humedad del agregado grueso de la mina "ACOSTA"

AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCION	UNIDAD	VALORES	
P1	Peso del recipiente	gr	82,16	85,00
P2	Peso del recipiente + muestra SSS	gr	1100,77	500,65
P3	Peso del recipiente + Agregado Grueso Seco	gr	1094,25	497,34
P4=P2-P3	Peso del agua	gr	6,52	3,31
P5=P3-P1	Peso de la muestra seca	gr	1012,09	412,34
CH= P4/P5	Contenido de Humedad	%	0,64	0,80
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	0,72	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 12. Contenido de humedad del agregado fino de la mina "ACOSTA"

AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCION	UNIDAD	VALORES	
P1	Peso del recipiente	gr	30,52	30,55
P2	Peso del recipiente + muestra SSS	gr	111,59	116,62
P3	Peso del recipiente + Agregado Grueso Seco	gr	106,28	111,23
P4=P2-P3	Peso del agua	gr	5,31	5,39
P5=P3-P1	Peso de la muestra seca	gr	75,76	80,68
CH= P4/P5	Contenido de Humedad	%	7,01	6,68
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	6,84	

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: NTE-INEN 862

ORIGEN: “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO”

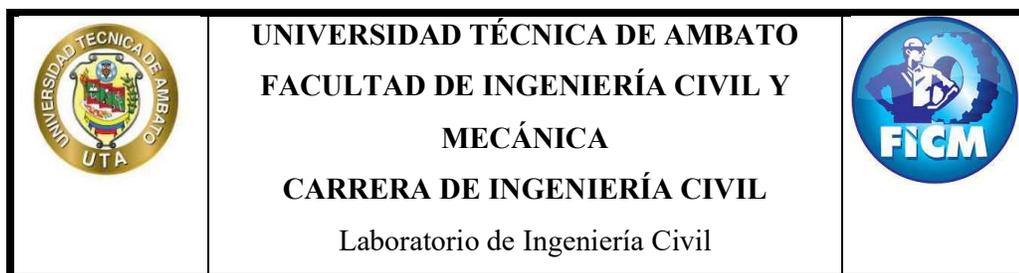
ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRÉS TIRADO

FECHA: 07/12/2022

Tabla 13. Contenido de humedad de agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
P1	Peso del recipiente	gr	82,00	82,16
P2	Peso del recipiente + muestra SSS	gr	1094,50	1054,32
P3	Peso del recipiente + Agregado Grueso Seco	gr	1082,14	1043,00
P4=P2-P3	Peso del agua	gr	12,36	11,32
P5=P3-P1	Peso de la muestra seca	gr	1000,14	960,84
CH= P4/P5	Contenido de Humedad	%	1,24	1,18
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	1,21	

Análisis y discusión: En el agregado grueso se obtuvo los valores de 0.72 en la mina “ACOSTA” y 1.21 “Triturado de Hormigón Reciclado”, lo que se consideran como humedades relativamente bajas, la diferencia de que el triturado reciclado sea mayor indica que mayor su contenido de humedad es mayor, el agregado fino arroja un valor promedio más alto de 6.84, lo que determina que los poros de estos agregados contenían una considerable proporción de agua, entonces estos aportarán una cantidad considerable de agua a la mezcla.



3.1.1.3. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 08/12/2022

VILLACRÉS TIRADO

Tabla 14. Densidad real del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

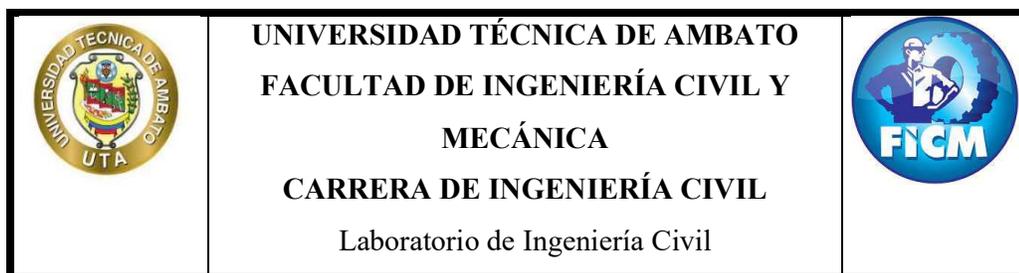
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	145,65
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	195,65
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	672,80
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	477,15
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	645,65
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	500,00
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1,00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	22,85
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	50,00
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	22,85
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,19

Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 15. Capacidad de absorción del agregado fino de la mina “ACOSTA”

CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	30,52	30,55
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	107,92	111,29
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	77,40	80,74
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	106,28	109,50
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	75,76	78,95
A=((M9-M11)/M11)*10	Capacidad de absorción	%	2,16	2,27
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2,22	

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.4. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 09/12/2022

VILLACRES TIRADO

Tabla 16. Densidad real del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

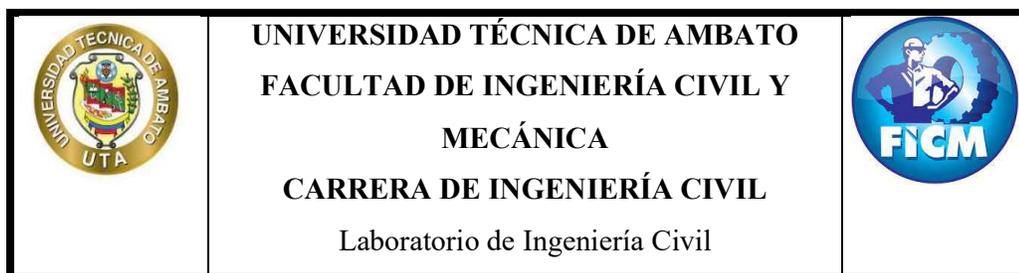
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1470,00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1277,00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	2470,00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	1895,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1,00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	1000,00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	618,00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	382,00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2,62

Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	26.12	26.48
M2	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	247.41	245.13
M3=M2-M1	Masa de la muestra SSS	gr	221.29	218.65
M4	Masa del recipiente + muestra seca	gr	245.13	242.53
M5=M4-M1	Masa de la muestra seca	gr	219.01	216.05
CH=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.04	1.20
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.12	

Realizado por: Vladimir Villacrés



**3.1.1.5. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO GRUESO**

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR **FECHA:** 12/12/2022

VILLACRES TIRADO

***Tabla 18.** Densidad real del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”*

<i>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</i>			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1469,00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1273,00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	2469,00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	1851,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1,00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	1000,00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	578,00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	422,00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2,37

***Realizado por:** Vladimir Villacrés*

Tabla 19. Capacidad de absorción del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	32,42	32,44
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	257,41	246,13
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	224,99	213,69
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	254,56	243,45
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	222,14	211,01
$CA=(M9-M11)/M11*100$	Capacidad de absorción	%	1,28	1,27
$P2=(CA1+CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	1,28	

Elaborado por: Vladimir Villacrés

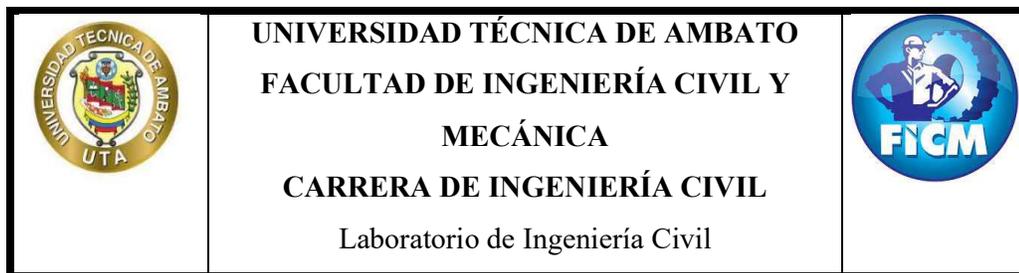
Análisis y discusión:

Mediante la aplicación de la norma NTE INEN 856, se obtuvo las densidades reales $2.19\text{gr}/\text{cm}^3$ del agregado fino y $2.62\text{gr}/\text{cm}^3$ del agregado grueso de la mina “ACOSTA” estos valores se encuentran dentro del rango 2.4 y 3.0 que caracteriza a los áridos de densidad normal, lo que quiere decir que no poseen una densidad alta ni baja, entonces, se puede decir que el árido grueso es resistente, poco poroso y de baja absorción. Mientras que, en el agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” nos dio una densidad real de $2.37\text{gr}/\text{cm}^3$, podemos decir que se encuentra al límite por debajo con $0.03\text{gr}/\text{cm}^3$ del rango normal al ser una magnitud mínima igual este agregado es normal, resistente con pocos poros y de baja absorción.

El ensayo de la capacidad de absorción de los agregados se realiza con la finalidad de conocer la cantidad de agua que es absorbida por el árido hasta llegar al estado SSS (saturada superficie seca) para realizar las correcciones por humedad y así determinar la cantidad correcta de materiales a utilizar en el diseño del hormigón.

La capacidad de absorción resultante del agregado grueso de la mina “ACOSTA” y “Triturado de Hormigón Reciclado” son $1.12\text{gr}/\text{cm}^3$ y $1.28\text{gr}/\text{cm}^3$ respectivamente se puede interpretar que se encuentran dentro de los niveles generales de absorción según Medina [25], es decir, varían del 0.2 al 4%, mientras que para el agregado fino siendo el rango 0.2 al 2%, se obtuvo 2.22 sobrepasando el nivel general de absorción.

Es importante mencionar que los valores del agregado fino de la mina “ACOSTA” como del agregado grueso tanto de la mina “ACOSTA” como “Triturado de Hormigón Reciclado” se encuentran dentro de las recomendaciones que establece la ASTM C127 (grueso) y ASTM C128 (fino)



3.1.1.6. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 13/12/2022

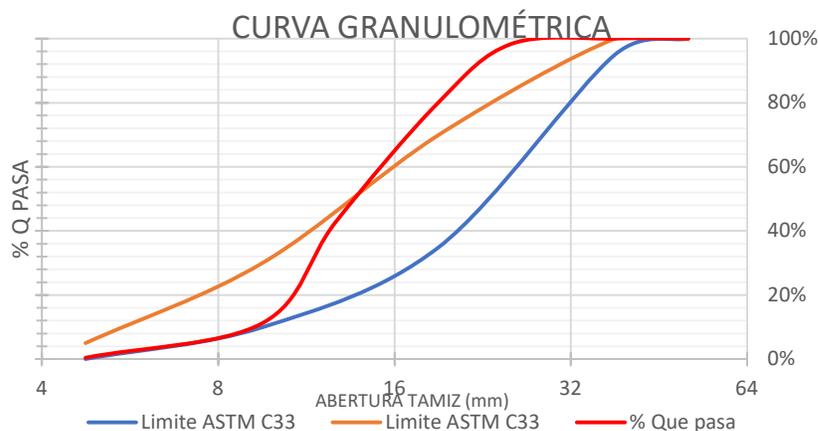
VILLACRES TIRADO

Tabla 20. Granulometría del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

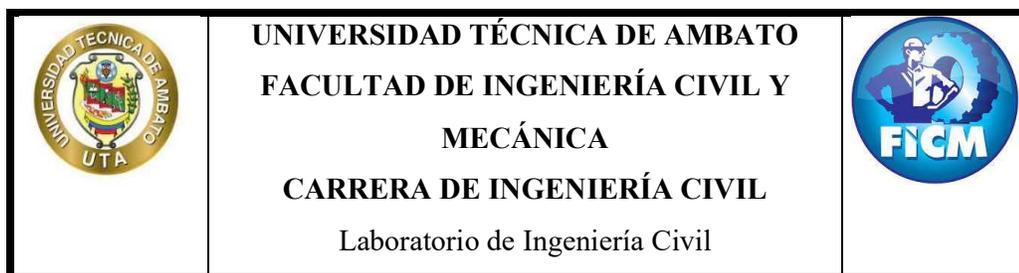
PESO MUESTRA (gr):		10000		PÉRDIDA DE MUESTRA		0,14
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%	100
1 ½"	38,1	0	0	0,00%	100,00%	95 - 100
1"	25,4	162	162	1,62%	98,38%	-
¾"	19,05	1311	1473	14,73%	85,27%	35 - 70
½"	12,7	4242	5715	57,15%	42,85%	-
3/8"	9,53	3161	8876	88,76%	11,24%	10 - 30
#4	4,75	1085	9961	99,61%	0,39%	0 - 5
BANDEJA		25	9986	99,86%	0,14%	-
Material mas fino que 75um permisible (1%)=					0,34%	CUMPLE
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:					¾"	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina “ACOSTA”



Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.7. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “Triturado de Hormigón Reciclado”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR **FECHA:** 13/12/2022

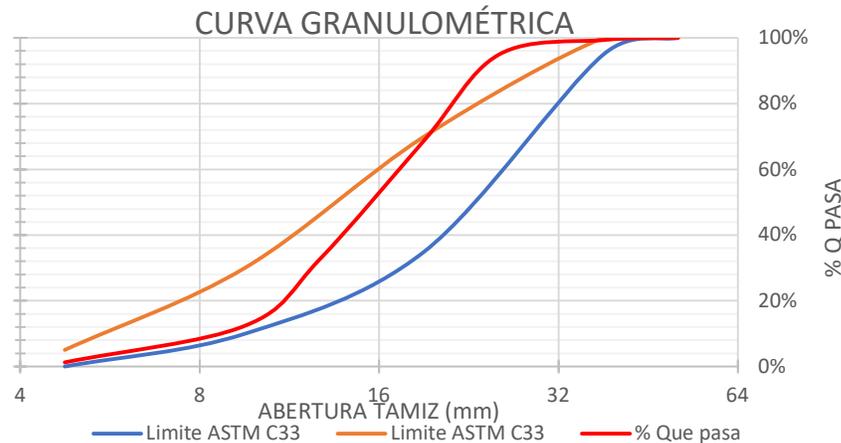
VILLACRES TIRADO

Tabla 21. Granulometría del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

PESO MUESTRA (gr):		10000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,10%
<i>Tamiz</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Retenido parcial (gr)</i>	<i>Retenido acumulado (gr)</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% que pasa</i>	<i>Límites ASTM % que pasa</i>
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%	100
1 ½"	38,1	61	61	0,61%	99,39%	95 - 100
1"	25,4	349	410	4,10%	95,90%	-
¾"	19,05	1007	1417	14,17%	85,83%	35 - 70
½"	12,7	5343	6760	67,60%	32,40%	-
3/8"	9,53	2001	8761	87,61%	12,39%	10 - 30
#4	4,75	1113	9874	98,74%	1,26%	0 - 5
BANDEJA		116	9990	99,90%	0,10%	-
Material mas fino que 75um permisible (1%)					0,55%	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				¾"		

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina “Triturado de Hormigón Reciclado”



Elaborado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

Como se puede apreciar, la gráfica del agregado grueso de la mina “ACOSTA” presenta una clara tendencia a gruesos debido a que la curva granulométrica a lo largo del límite inferior y superior que establece la ASTM C-33, se visualiza que en el tamiz $\frac{3}{4}$ ” este se sitúa por arriba de la curva del límite superior. En lo que concierne al tamaño nominal máximo, se identificó que es $\frac{3}{4}$ ”.

Con respecto a la granulometría de agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado” la curva a lo largo del tamiz $\frac{3}{4}$ ” ha la fuente se encuentra dentro de las curvas del límite inferior y superior que establece la norma ASTM C-33 por lo que con toda la razón apreciamos que tiene una excelente granulometría para la elaboración de hormigones. El tamaño nominal máximo se repite sienta el tamiz $\frac{3}{4}$ ” el determinado por lo que podemos ocupar cilindros con las dimensiones de 10cm de diámetro y 20cm.

En estos agregados no presenta tampoco inconvenientes por el porcentaje de material más fino que 75um que sea menor a 1% por lo que es viable trabajar con el material sin limpieza de finos.

Se indica que, es mucho mejor que exista una continuidad de tamaños en la composición granulométrica, los efectos de la gradación de la grava que se producen sobre la trabajabilidad de las mezclas de concreto, suelen ser mucho menores que los

producidos por el agregado fino, por lo que su granulometría puede variar dentro de un rango relativamente amplio sin producir efectos relevantes en los requerimientos de agua y cemento.[25]



3.1.1.8. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 856

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 13/12/2022

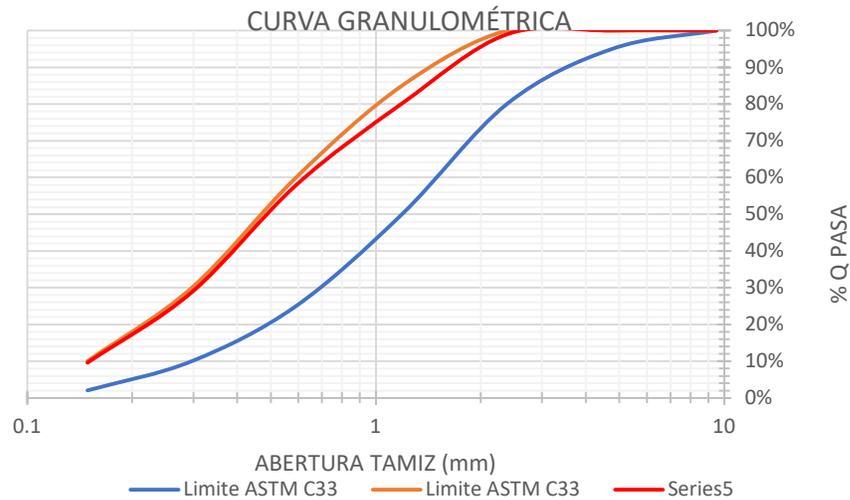
VILLACRES TIRADO

Tabla 22. Granulometría del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

PESO MUESTRA (gr)		1000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,4%
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
3/8	9,5	0	0	0,00%	100,00%	100
#4	4,76	0,0	0	0,00%	100,00%	95-100
#8	2,38	10,12	10,12	1,01%	98,99%	80-100
#16	1,19	188,53	198,65	19,87%	80,14%	50-85
#30	0,59	222,34	420,99	42,10%	57,90%	25-60
#50	0,297	291,1	712,13	71,21%	28,79%	10-30
#100	0,149	191,82	903,95	90,40%	9,61%	2-10
#200	0,075	71,4	975,38	97,54%	2,46%	-
BANDEJA		20,2	995,58	99,56%	-	-
MÓDULO DE FINURA				2,25%		ARENA FINA

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino de la mina “ACOSTA”

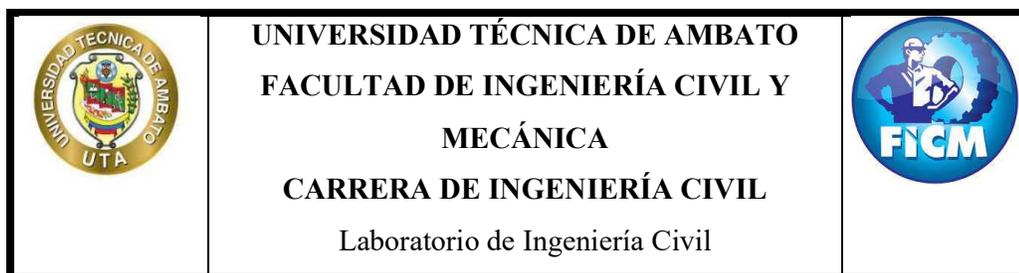


Elaborado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

Se puede identificar que en la granulometría del agregado fino de la mina “ACOSTA” la curva se encuentra muy próxima de la curva de límite superior de acuerdo con la norma ASTM C-33, en los tamices más grandes la curva del agregado un poco por debajo a la misma; por lo tanto, este material tiende a finos y su distribución es bien graduada. Respecto al módulo de finura su valor es de 2.25 redondeando 2.3, lo que especifica que está al límite del rango propuesto por la norma INEN 872 de 2.3 a 3.1, para arenas recomendables a utilizar en el hormigón.

El porcentaje de material más fino que 75µm debe ser inferior al 5% esto nos indica la norma NTE INEN 872 acerca de la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido para el hormigón, por lo que, la arena se encuentra dentro del límite con un valor de 2.46%.



3.1.1.9. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 14/12/2022

VILLACRES TIRADO

Tabla 23. Densidad aparente suelta del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

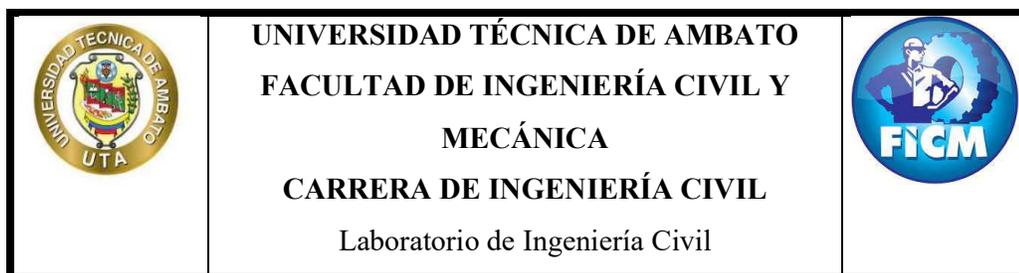
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9,8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20,77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	37,60	27,80	1,34	1,341
	37,70	27,90	1,34	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 24. Densidad aparente compactada del agregado grueso de la mina “ACOSTA”

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9,8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20,77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	40,20	30,40	1,46	1,47
	40,40	30,60	1,47	

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.10. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: “Triturado de Hormigón Reciclado”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR **FECHA:** 14/12/2022

VILLACRES TIRADO

Tabla 25. Densidad aparente suelta del agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”

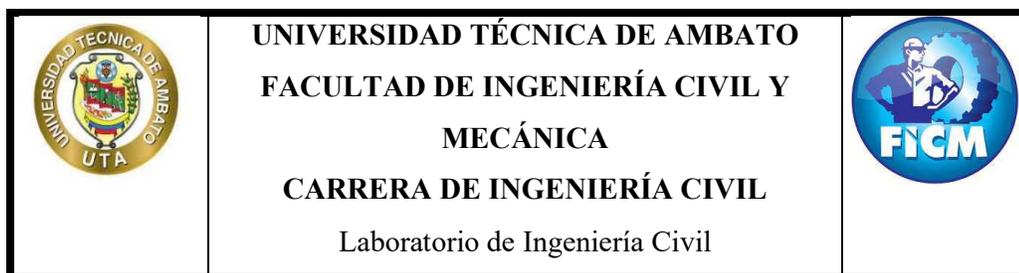
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9,8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³):	20,77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	33,20	23,40	1,13	1,117
	32,80	23,00	1,11	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 26. Densidad aparente compactada del agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9,8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³):	20,77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	35,90	26,10	1,26	1,26
	36,20	26,40	1,27	

Elaborado por: Vladimir Villacrés



**3.1.1.11. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL
AGREGADO FINO**

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 19/12/2022

VILLACRES TIRADO

Tabla 27. Densidad aparente suelta del agregado fino de la mina “ACOSTA”

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9,8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20,77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
FINO	36,40	26,60	1,28	1,288
	36,70	26,90	1,30	

Realizado por: Vladimir Villacrés

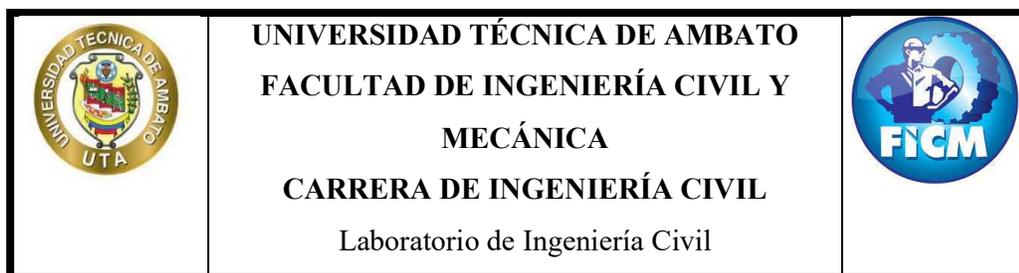
*Tabla 28. Densidad aparente compactada del agregado fino de la mina
“ACOSTA”*

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.8			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.77			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
FINO	39.70	29.90	1.44	1.44
	39.70	29.90	1.44	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

Los valores de densidades de los agregados que se obtuvieron oscilan entre 1.12 kg/dm³ y 1.47 kg/dm³, siendo el valor menor correspondiente al agregado grueso obtenido de la trituración de hormigón reciclado y el valor mayor el obtenido por la mina “ACOSTA”, por lo que se coloca a estos valores de densidades dentro del rango de 1.120 kg/dm³ y 1.920 kg/dm³ que establece la norma NTE INEN 694 para áridos de masa unitaria normal. Claramente podemos decir que la densidad 1.12kg/dm³ es al límite debido a su origen que es de material reciclado.



3.1.1.12. DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: “ACOSTA”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 20/12/2022

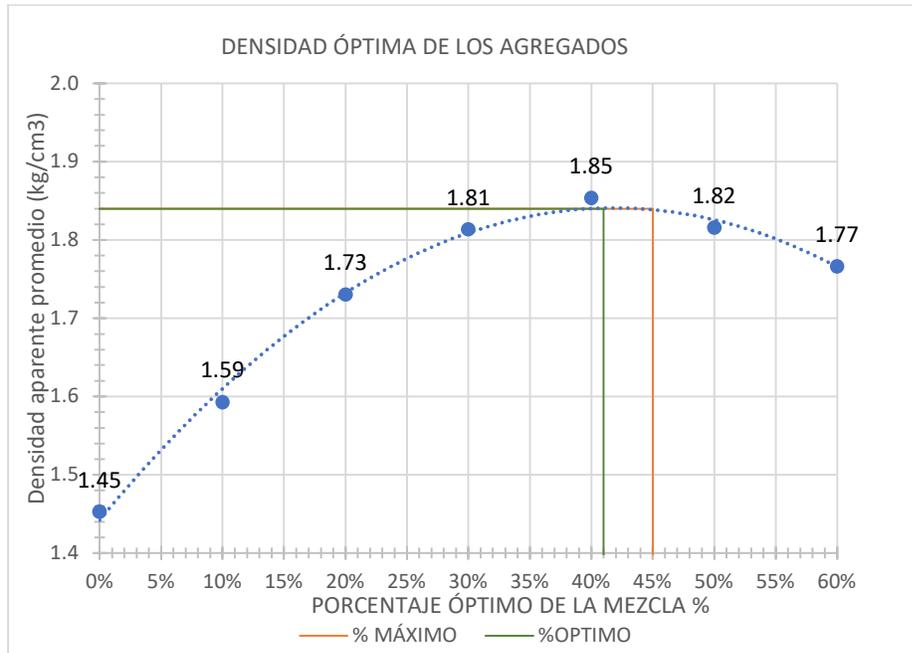
VILLACRES TIRADO

Tabla 29. Densidad óptima de los agregados de la mina “ACOSTA”

MASA RECIPIENTE (Kg):		10						
VOL. RECIPIENTE (dm³):		21,06						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	40,70	30,70	1,46	1,45
					40,50	30,50	1,45	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	43,80	33,80	1,60	1,59
					43,30	33,30	1,58	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	46,20	36,20	1,72	1,73
					46,70	36,70	1,74	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	48,40	38,40	1,82	1,81
					48,00	38,00	1,80	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	48,80	38,80	1,84	1,85
					49,30	39,30	1,87	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	48,10	38,10	1,81	1,82
					48,40	38,40	1,82	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	47,10	37,10	1,76	1,77
					47,30	37,30	1,77	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Figura 6. Densidad óptima de los agregados de la mina “ACOSTA”

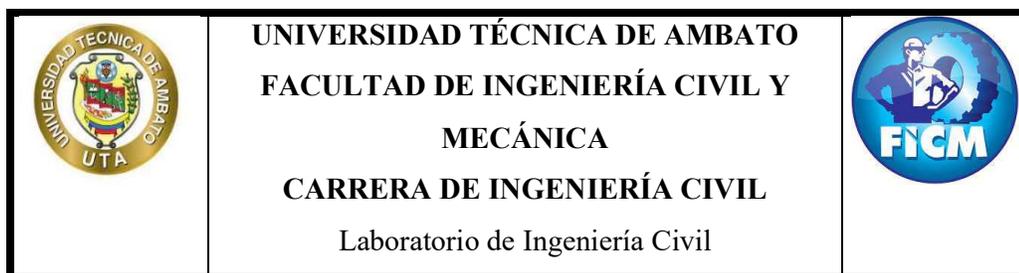


Realizado por: Vladimir Villacrés

Tabla 30. Resultados del ensayo de densidad óptima de la mina “ACOSTA”

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	45,00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	55,00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	41,00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	59,00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1,840
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1,840

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.13. DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: “Triturado de Hormigón Reciclado”

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR **FECHA:** 20/12/2022

VILLACRES TIRADO

Tabla 31. Densidad óptima de los agregados gruesos de “Triturado de Hormigón Reciclado”

MASA RECIPIENTE (Kg):		10						
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		21,06						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	36,60	26,60	1,26	1,26
					36,60	26,60	1,26	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	39,40	29,40	1,40	1,40
					39,60	29,60	1,41	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	42,90	32,90	1,56	1,56
					43,00	33,00	1,57	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	45,60	35,60	1,69	1,68
					45,30	35,30	1,68	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	47,10	37,10	1,76	1,76
					47,10	37,10	1,76	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	46,50	36,50	1,73	1,74
					46,60	36,60	1,74	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	45,10	35,10	1,67	1,67
					45,30	35,30	1,68	

Realizado por: Vladimir Villacrés

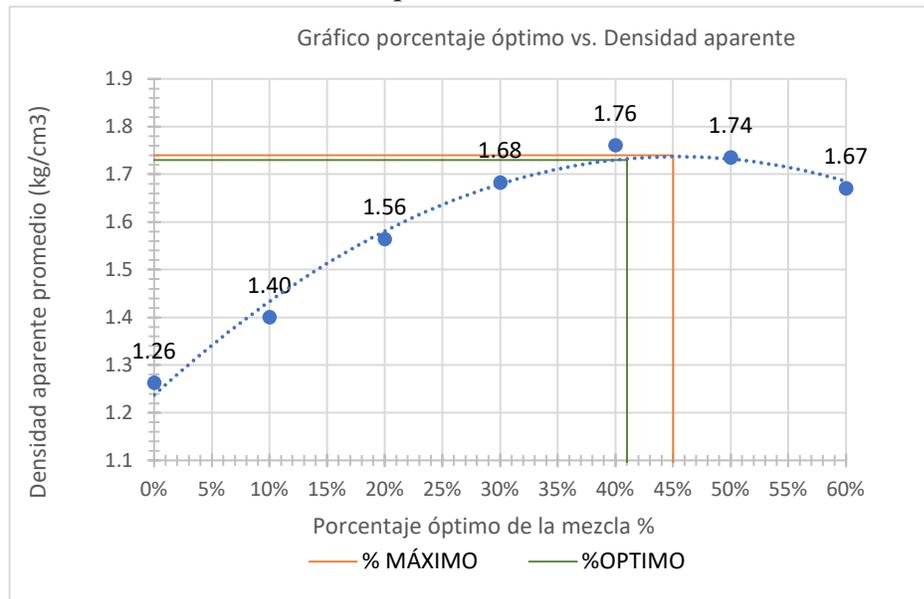


Figura 7. Densidad óptima de los agregados gruesos de “Triturado de Hormigón Reciclado”

Elaborado por: Vladimir Villacrés

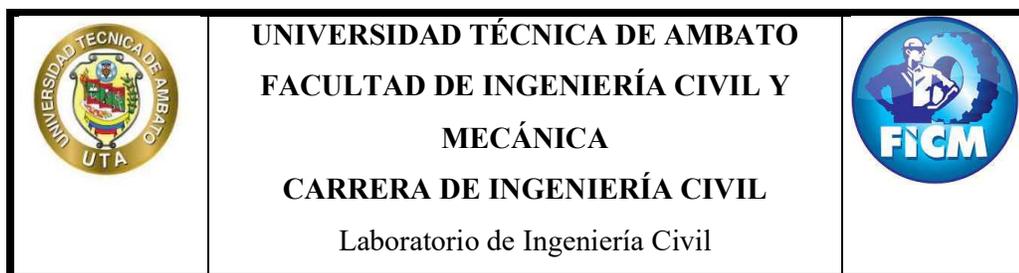
Tabla 32. Resultados del ensayo de densidad óptima de agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”

<i>Porcentaje máximo de agregado fino (%)</i>	45,00%
<i>Porcentaje máximo de agregado grueso (%)</i>	55,00%
<i>Porcentaje óptimo de agregado fino (%)</i>	41,00%
<i>Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)</i>	59,00%
<i>Peso unitario máximo (gr/cm³)</i>	1,740
<i>Peso unitario óptimo (gr/cm³)</i>	1,730

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

Los valores de porcentajes óptimos que obtenemos no varían entre el agregado grueso de la mina “ACOSTA” al agregado grueso de “Triturado de Hormigón Reciclado”, observamos que el hormigón reciclado nos brinda una densidad menor y con esa densidad trabajamos para proceder a calcular la dosificación.



3.1.1.14. DENSIDAD ÓPTIMA DEL CEMENTO

NORMA: NTE-INEN 156

MARCA: Holcim Fuerte

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR

FECHA: 20/12/2022

VILLACRES TIRADO

TIPO: GU

Tabla 33. Densidad real del cemento

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	153,75	153,75
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	203,75	203,75
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	557,30	557,75
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	353,55	354,00
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	521,43	521,43
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	367,68	367,68
DG=M6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0,74	0,74
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	14,13	13,68
M _c =M2-M1	Masa del cemento	gr	50,00	50,00
V _G =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm ³	19,22	18,60
DRC=M _c /V _G	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2,60	2,69
	Densidad real promedio	gr/cm ³	2,64	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

La densidad calculada de 2.64 g/cm³ resultante del ensayo realizado corresponde a los valores esperados para un cemento de tipo GU (Cemento hidráulico para construcción en general) por lo que es recomendable para la elaboración de hormigones de excelente resistencia mecánica.

3.1.1.15 DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN DE $f'_c=21\text{MPa}$

El método seleccionado para el diseño de esta mezcla de hormigón es el método de dosificación óptima para el cual se requieren los datos obtenidos mediante los ensayos de caracterización de los agregados anteriormente realizados junto con el dato resultante del ensayo en el cemento seleccionado.

El motivo por el cual se decidió emplear el método antes descrito se debe a que su propuesta es el usar una cantidad mínima de pasta para la posterior obtención de una buena calidad en el hormigón ya que los agregados dejarían un menor porcentaje de vacíos. A continuación, se enlista los datos requeridos en el método y su nomenclatura.

Tabla 34. *Requisitos y nomenclatura para la dosificación del hormigón*

DRA	Densidad Real de la Arena	DOM	Densidad Óptima de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	CAA	Capacidad de Absorción de la Arena
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	CAR	Capacidad de Absorción del Ripio
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	CHA	Contenido de Humedad de la Arena
DAA	Densidad Aparente de la Arena	CHR	Contenido de Humedad del Ripio
DAR	Densidad Aparente del Ripio	DRC	Densidad Real del Cemento

Realizado por: Vladimir Villacrés

En base a la resistencia que se pretende obtener se determina el valor de la relación Agua/Cemento que se utilizará en el cálculo. Siendo que la resistencia de diseño es de 210 kg/cm^2 , el valor correspondiente es 0.58 de acuerdo con la norma INEN 490. Además, en base al asentamiento requerido, será necesario una cierta cantidad de pasta para llenar los vacíos que deja el árido y así tener una trabajabilidad adecuada en el hormigón. Ver tabla 29.

Tabla 35. *Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido.*

Asentamiento en cm	Cantidad de Pasta en %
0-3	POV +2% +3%(POV)
3-6	POV +2% +6%(POV)

6-9	POV +2% +8%(POV)
9-12	POV +2% +11%(POV)
12-15	POV +2% +13%(POV)

*Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón
Ing. Marco Garzón C. 2010*

Para el diseño del hormigón a elaborar se seleccionó un asentamiento de 6 a 9 cm debido a que este permite una mejor trabajabilidad a la mezcla y una consistencia plástica.

Mezcla de Prueba

Se recomienda realizar mezclas de prueba para verificar que el hormigón diseñado si cumple con las condiciones de trabajabilidad, consistencia, uniformidad, cohesión y resistencia, para así, en caso de que no cumpla las condiciones mencionadas se deben hacer las respectivas modificaciones para como punto siguiente preparar la mezcla definitiva de hormigón.

Para la debida comprobación del cumplimiento de la resistencia a la compresión se elaboran 3 cilindros de prueba por resistencia y origen de agregados gruesos, que serán ensayadas a los 7 días y se observa que estas en promedio resisten del 65% al 75% de la resistencia para la que fue diseñada, lo que quiere decir la resistencia esperada a los 28 días.

Diseño de la Mezcla de Prueba para la mina “ACOSTA” para 21MPa

Datos:

$f'c = 21\text{MPa}$

W/C= 0.58 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6-9 cm

Tabla 36. Datos de la mina “ACOSTA”

DRA	2.19 gr/cm ³	DOM	1.84 gr/cm ³
DRR	2.62 gr/cm ³	CAA	2.22%
POA	41%	CAR	1.12%

POR	59%	CHA	6.84%
DAA	1.44 gr/cm ³	CHR	0.72%
DAR	1.47 gr/cm ³	DRC	2.64 gr/cm ³

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Densidad Real de la Mezcla

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.19 * 41}{100} + \frac{2.62 * 59}{100}$$

$$DRM = 2.44 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

$$POV = \frac{2.45 - 1.84}{2.45} * 100$$

$$POV = 24.70\%$$

Cantidad de pasta (CP)

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 24.70 + 2 + 0.08(24.70)$$

$$CP = 286.81$$

Cantidad de cemento para 1 m³ de hormigón (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{286.81}{0.58 + \frac{1}{2.64}}$$

$$C = 299.14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Cantidad de agua para 1m³ de hormigón (W)

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 299.14 * 0.58$$

$$W = 173.5 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de arena para 1m³ de hormigón (A)

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 286.81) * 2.19 * 41}{100}$$

$$A = 640.38 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de ripio para 1m³ de hormigón (R)

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(100 - 286.81) * 2.62 * 59}{100}$$

$$R = 1102.45 \frac{kg}{m^3}$$

Con los datos obtenidos a través de los cálculos se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg que vamos a requerir para la mezcla tomando en cuenta la cantidad de cilindros y sus dimensiones (diámetro 10cm y altura 20cm).

Tabla 37. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	173.50	0.58	0.82
C	299.14	1	1.41
A	640.38	2.14	3.02
R	1102.45	3.69	5.20

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Después de obtener las magnitudes en kg para la mezcla a preparar se realiza corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$A_{\text{corregida}} = A * \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.02 * \frac{100 + 6.84}{100 + 2.22}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.157\text{kg}$$

Ripio

$$R_{\text{corregido}} = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$R_{\text{corregido}} = 5.20 * \frac{100 + 0.72}{100 + 1.12}$$

$$R_{\text{corregido}} = 5.18 \text{ kg}$$

Agua

$$W_{\text{corregida}} = (R_{\text{corregido}} - R) + (A_{\text{corregido}} - A)$$

$$W_{\text{corregida}} = W - (5.18 - 5.20) + (3.157 - 3.02)$$

$$W_{\text{corregida}} = 0.703\text{kg}$$

Tabla 38. Corrección por humedad de las cantidades de material

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.58	0.703
C	1	1.41
A	2.14	3.157
R	3.69	5.180

Realizado por: Vladimir Villacrés

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión obteniéndose como dosificación final la siguiente

Tabla 39. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.58	1.578
C	1	2.92
A	2.14	3.16
R	3.69	5.19

Realizado por: Vladimir Villacrés

Asentamiento conseguido 6.5cm

Diseño de la Mezcla de Prueba para la mina “ACOSTA” para 28MPa

Datos:

$f'c = 28\text{MPa}$

W/C= 0.52 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6-9 cm

Tabla 40. Datos de la mina “ACOSTA”

DRA	2.19 gr/cm ³	DOM	1.84 gr/cm ³
DRR	2.62 gr/cm ³	CAA	2.22%
POA	41%	CAR	1.12%
POR	59%	CHA	6.84%
DAA	1.44 gr/cm ³	CHR	0.72%
DAR	1.47 gr/cm ³	DRC	2.64 gr/cm ³

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Densidad Real de la Mezcla

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.19 * 41}{100} + \frac{2.62 * 59}{100}$$

$$DRM = 2.44 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

$$POV = \frac{2.45 - 1.84}{2.45} * 100$$

$$POV = 24.70\%$$

Cantidad de pasta (CP)

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 24.70 + 2 + 0.08(24.70)$$

$$CP = 286.81$$

Cantidad de cemento para 1 m³ de hormigón (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{286.81}{0.52 + \frac{1}{2.64}}$$

$$C = 319.10 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de agua para 1m³ de hormigón (W)

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 299.14 * 0.52$$

$$W = 165.93 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de arena para 1m³ de hormigón (A)

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 286.81) * 2.19 * 41}{100}$$

$$A = 640.38 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de ripio para 1m³ de hormigón (R)

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(100 - 286.81) * 2.62 * 59}{100}$$

$$R = 1102.45 \frac{kg}{m^3}$$

Con los datos obtenidos a través de los cálculos se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg que vamos a requerir para la mezcla tomando en cuenta la cantidad de cilindros y sus dimensiones (diámetro 10cm y altura 20cm).

Tabla 41. *Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros*

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	165.93	0.52	0.78
C	319.10	1	1.50
A	640.38	2.01	3.02
R	1102.45	3.45	5.20

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Después de obtener las magnitudes en kg para la mezcla a preparar se realiza corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$A_{\text{corregida}} = A \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.02 * \frac{100 + 6.84}{100 + 2.22}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.157\text{kg}$$

Ripio

$$R_{\text{corregido}} = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$R_{\text{corregido}} = 5.20 * \frac{100 + 0.72}{100 + 1.12}$$

$$R_{\text{corregido}} = 5.18 \text{ kg}$$

Agua

$$W_{\text{corregida}} = W - (R_{\text{corregido}} - R) + (A_{\text{corregido}} - A)$$

$$W_{\text{corregida}} = 0.78 - (5.18 - 5.20) + (3.157 - 3.02)$$

$$W_{\text{corregida}} = 0.663 \text{ kg}$$

Tabla 42. Corrección por humedad de las cantidades de material

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.58	0.663
C	1	1.50
A	2.14	3.157
R	3.69	5.180

Realizado por: Vladimir Villacrés

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión obteniéndose como dosificación final la siguiente

Tabla 43. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.52	2.928
C	1	5630
A	2.14	3.16
R	3.69	5.19

Realizado por: Vladimir Villacrés

Asentamiento conseguido 6.5cm

Diseño de la Mezcla de Prueba para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” para 21MPa

Datos:

$f'c = 21\text{MPa}$

W/C= 0.58 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6-9 cm

Tabla 44. Datos para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

DRA	2.19 gr/cm ³	DOM	1.73 gr/cm ³
DRR	2.37 gr/cm ³	CAA	2.22%
POA	41%	CAR	1.28%
POR	59%	CHA	6.84%
DAA	1.44 gr/cm ³	CHR	0.75%
DAR	1.26 gr/cm ³	DRC	2.64 gr/cm ³

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Densidad Real de la Mezcla

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.19 * 41}{100} + \frac{2.37 * 59}{100}$$

$$DRM = 2.296 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

$$POV = \frac{2.296 - 1.73}{2.296} * 100$$

$$POV = 24.66\%$$

Cantidad de pasta (CP)

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 24.66 + 2 + 0.08(24.66)$$

$$CP = 286.31$$

Cantidad de cemento para 1 m³ de hormigón (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{286.81}{0.52 + \frac{1}{2.64}}$$

$$C = 298.61 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de agua para 1m³ de hormigón (W)

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 298.61 * 0.58$$

$$W = 173.2 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de arena para 1m³ de hormigón (A)

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 286.31) * 2.19 * 41}{100}$$

$$A = 640.82 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de ripio para 1m³ de hormigón (R)

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(100 - 286.81) * 2.37 * 59}{100}$$

$$R = 997.96 \frac{kg}{m^3}$$

Con los datos obtenidos a través de los cálculos se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg que vamos a requerir para la mezcla tomando en cuenta la cantidad de cilindros y sus dimensiones (diámetro 10cm y altura 20cm).

Tabla 45. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	173.20	0.58	0.82
C	298.61	1	1.41
A	640.82	2.14	3.02
R	997.96	3.34	4.70

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Después de obtener las magnitudes en kg para la mezcla a preparar se realiza corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$Acorregida = A * \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$Acorregida = 3.02 * \frac{100 + 6.84}{100 + 2.22}$$

$$Acorregida = 3.157kg$$

Ripio

$$Rcorregido = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$Rcorregido = 4.70 * \frac{100 + 0.75}{100 + 1.28}$$

$$Rcorregido = 4.68 kg$$

Agua

$$Wcorregida = W - (Rcorregido - R) + (Acorregido - A)$$

$$Wcorregida = 0.82 - (4.68 - 4.70) + (3.157 - 3.02)$$

$$Wcorregida = 0.703kg$$

Tabla 46. Corrección por humedad de las cantidades de material

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.58	0.703
C	1	1.41
A	2.15	3.157
R	3.34	4.680

Realizado por: Vladimir Villacrés

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión obteniéndose como dosificación final la siguiente

Tabla 47. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.58	1.503
C	1	2.89
A	2.15	3.16
R	3.34	4.69

Realizado por: Vladimir Villacrés

Asentamiento conseguido 6.5cm

Diseño de la Mezcla de Prueba para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” para 28MPa

Datos:

$f'c = 28\text{MPa}$

W/C= 0.52 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6-9 cm

Tabla 48. Datos para agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

DRA	2.19 gr/cm ³	DOM	1.84 gr/cm ³
DRR	2.37 gr/cm ³	CAA	2.22%
POA	41%	CAR	1.12%
POR	59%	CHA	6.84%
DAA	1.44 gr/cm ³	CHR	0.72%
DAR	1.47 gr/cm ³	DRC	2.64 gr/cm ³

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Densidad Real de la Mezcla

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.19 * 41}{100} + \frac{2.62 * 59}{100}$$

$$DRM = 2.296 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

$$POV = \frac{2.45 - 1.84}{2.45} * 100$$

$$POV = 24.66\%$$

Cantidad de pasta (CP)

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 24.70 + 2 + 0.08(24.70)$$

$$CP = 286.31$$

Cantidad de cemento para 1 m³ de hormigón (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{286.81}{0.52 + \frac{1}{2.64}}$$

$$C = 318.55 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de agua para 1m³ de hormigón (W)

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 299.14 * 0.52$$

$$W = 165.65 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de arena para 1m³ de hormigón (A)

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 286.81) * 2.19 * 41}{100}$$

$$A = 640.82 \frac{kg}{m^3}$$

Cantidad de ripio para 1m³ de hormigón (R)

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(100 - 286.81) * 2.62 * 59}{100}$$

$$R = 997.96 \frac{kg}{m^3}$$

Con los datos obtenidos a través de los cálculos se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg que vamos a requerir para la mezcla tomando en cuenta la cantidad de cilindros y sus dimensiones (diámetro 10cm y altura 20cm).

Tabla 49. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	165.93	0.52	0.78
C	319.10	1	1.50
A	640.38	2.01	3.02
R	1102.45	3.45	4.70

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Después de obtener las magnitudes en kg para la mezcla a preparar se realiza corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$Acorregida = A \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.02 * \frac{100 + 6.84}{100 + 2.22}$$

$$A_{\text{corregida}} = 3.157 \text{ kg}$$

Ripio

$$R_{\text{corregido}} = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$R_{\text{corregido}} = 4.70 * \frac{100 + 0.72}{100 + 1.12}$$

$$R_{\text{corregido}} = 4.68 \text{ kg}$$

Agua

$$W_{\text{corregida}} = W - (R_{\text{corregido}} - R) - (A_{\text{corregida}} - A)$$

$$W_{\text{corregida}} = 0.78 - (4.70 - 4.68) - (3.157 - 3.02)$$

$$W_{\text{corregida}} = 0.623 \text{ kg}$$

Tabla 50. Corrección por humedad de las cantidades de material

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.52	0.623
C	1	1.50
A	2.14	3.157
R	3.69	4.68

Realizado por: Vladimir Villacrés

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión hasta obtener un resultado final favorable, siendo la última dosificación la siguiente:

Tabla 51. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.51	1.523

C	1	2.986
A	1.06	3.157
R	1.57	4.68

Realizado por: Vladimir Villacrés

Asentamiento conseguido 6 cm

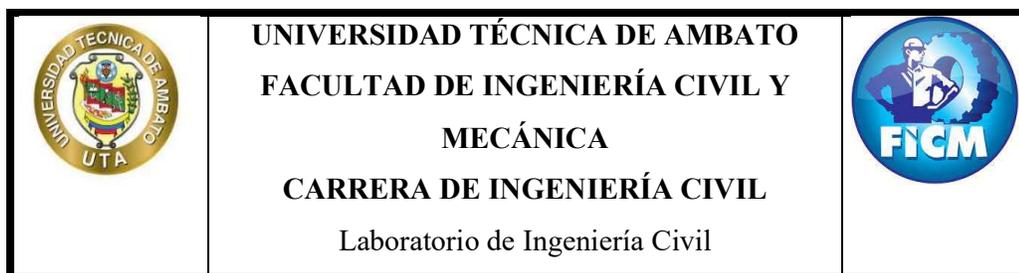
RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA ENSAYADOS A COMPRESIÓN SIMPLE A LA EDAD DE 7 DÍAS

Se realizaron las mezclas de prueba en las que determinamos después de ensayar los cilindros a los 7 días que para la mezcla de agregados gruesos de la mina “ACOSTA” se mantiene los valores de relación agua/cemento, la resistencia obtenida era la requerida al séptimo día tanto para 21MPa y 28Mpa de diseño.

Para los agregados gruesos “Triturados de Hormigón Reciclado” en cambio luego de varias mezclas se determinó que para hormigones de 21Mpa se puede mantener la relación agua/cemento ya que a los 7 días de prueba se cumplió con lo requerido para el diseño, mientras que, para 28Mpa se le hizo con diferentes relaciones agua/cemento pero no llegó a cumplir lo mínimo requerido al ensayar a los 7 días por lo que observamos que para hormigones de altas resistencias no se puede realizar con hormigón reciclado.

Finalmente, las mezclas definitivas que establecieron la dosificación y por ende las cantidades adecuadas de los materiales son:

- Tabla 37. Para hormigones de 21Mpa con materiales de mina “ACOSTA”.
- Tabla 41. Para hormigones de 28 Mpa con materiales de mina “ACOSTA”.
- Tabla 45. Para hormigones de 21Mpa con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”.
- Tabla 49. Para hormigones de 28 Mpa con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”.



3.1.1.16. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA

FECHA: 25/01/2023

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 21 y 28 MPA

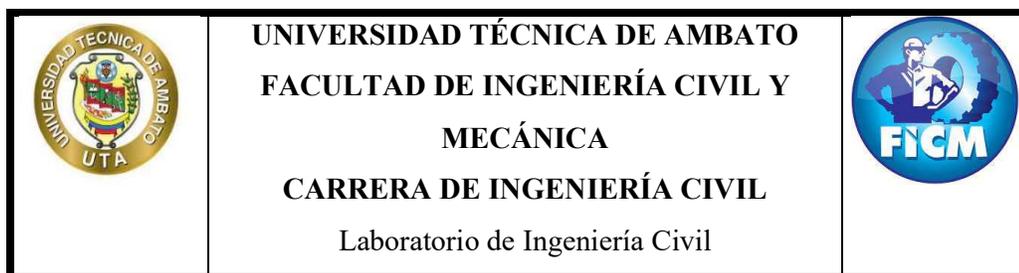
Tabla 52. Resultados del ensayo a compresión simple em cilindros de prueba con agregados de mina “ACOSTA”

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (Mpa)	RESISTENCIA EFECTIVA Mpa	PORCENTAJE
ACOSTA	1-1	7	100	200	13,65	21	65,00%
	1-2	7	100	200	13,65	21	65,00%
	1-3	7	100	200	14,55	21	69,29%
	2-1	7	100	200	17,3	28	61,79%
	2-2	7	100	200	19,2	28	68,57%
	2-3	7	100	200	18,3	28	65,36%

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

En la tabla podemos distinguir que los cilindros ensayados para la resistencia efectiva de 21Mpa están dentro del 65%-75% a la edad de 7 días; mientras que, para la resistencia efectiva de 28Mpa el cilindro 2-1 está por debajo del 65% pero en promedio los 3 cilindros nos dan 65.24% que está dentro del rango 65%- 75%, lo que indica un buen desarrollo de sus resistencias y garantiza que los hormigones cumplirán con los requisitos que establece la NTE INEN 1855 para el caso de resistencia especificada de 35 Mpa o menor , a la edad de 28 días.



3.1.1.17. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA **FECHA:** 01/02/2023

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 21 y 28 MPA

Tabla 53. Resultados del ensayo a compresión simple en cilindros de prueba con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (Mpa)	RESISTENCIA EFECTIVA Mpa	PORCENTAJE
Triturado de Hormigón Reciclado	1-1	7	100	200	13,75	21	65,48%
	1-2	7	100	200	13,95	21	66,43%
	1-3	7	100	200	14,6	21	69,52%
	2-1	7	100	200	20,4	28	72,86%
	2-2	7	100	200	19,6	28	70,00%
	2-3	7	100	200	20,9	28	74,64%

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión:

En la tabla podemos distinguir que los cilindros ensayados para la resistencia efectiva de 21MPa están dentro del 65%-75% a la edad de 7 días; al igual que, para la resistencia efectiva de 28MPa están dentro del rango 65%- 75%, lo que indica un buen desarrollo de sus resistencias y garantiza que los hormigones cumplirán con los requisitos que establece la NTE INEN 1855 para el caso de resistencia especificada de 35 MPa o menor, a la edad de 28 días.

3.1.1.18 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS

Tabla 54. Propiedades del hormigón fresco de la mina "ACOSTA" para resistencia de 21Mpa

ORIGEN:		"ACOSTA"				ASENTAMIENTO:		6,5 cm	FECHA:	
ENSAYADO POR:		VLADIMIR JONATHAN VILLACRÉS TIRADO				NORMA:		NTE INEN 1576- NTE INEN 1578		
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m ²)	Volumen Molde (m ³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
1M-1	28	0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,27	3,53	2247,26	2240,37
1M-2		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,22	3,48	2215,43	
1M-3		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,21	3,5	2228,16	
1M-4		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,22	3,48	2215,43	
1M-5		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,27	3,55	2259,99	
1M-6		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,26	3,52	2240,90	
1M-7		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,26	3,52	2240,90	
1M-8		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,26	3,55	2259,99	
1M-9		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,21	3,5	2228,16	
1M-10		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,27	3,55	2259,99	
1M-11		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,27	3,53	2247,26	
1M-12		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,26	3,52	2240,90	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2240.37 kg/m³ cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal de acuerdo con la norma ACI 318-19. Con un revenimiento de 6.5 cm se observa que si cumple el asentamiento determinado y está dentro del rango 8cm +/- 2.5cm.

3.1.1.19 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS

Tabla 55. Propiedades del hormigón fresco de la mina "ACOSTA" para resistencia de 28Mpa

ORIGEN:		"ACOSTA"				ASENTAMIENTO:		6,0 cm	FECHA:	
ENSAYADO POR:		VLADIMIR JONATHAN VILLACRÉS TIRADO				NORMA:		NTE INEN 1576- NTE INEN 1578		
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m ²)	Volumen Molde (m ³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
2M-1	28	0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,26	3,52	2240,90	2247,79
2M-2		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,25	3,54	2253,63	
2M-3		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,73	11,26	3,53	2247,26	
2M-4		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,65	11,2	3,55	2259,99	
2M-5		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,27	3,53	2247,26	
2M-6		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,23	3,51	2234,53	
2M-7		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,23	3,52	2240,90	
2M-8		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,27	3,55	2259,99	
2M-9		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,26	3,52	2240,90	
2M-10		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,25	3,54	2253,63	
2M-11		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,65	11,2	3,55	2259,99	
2M-12		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,23	3,51	2234,53	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2247.79 kg/m³ que cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal de acuerdo con la norma ACI 318-19. Con un revenimiento de 6 cm se observa que si cumple el asentamiento determinado y está dentro del rango 8cm +/- 2.5cm.

3.1.1.20 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS

Tabla 56. Propiedades del hormigón fresco de “Triturado de Hormigón Reciclado” para resistencia de 21Mpa

ORIGEN:	TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO					ASENTAMIENTO:	6,5cm	FECHA:		
ENSAYADO POR:	VLADIMIR JONATHAN VILLACRÉS TIRADO					NORMA:	NTE INEN 1576- NTE INEN 1578			
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m ²)	Volumen Molde (m ³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
R-01	28	0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,15	3,44	2189,97	2199,52
R-02		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,19	3,45	2196,33	
R-03		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,67	11,16	3,49	2221,80	
R-04		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,73	11,18	3,45	2196,33	
R-05		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,72	11,18	3,46	2202,70	
R-06		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,73	11,18	3,45	2196,33	
R-07		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,73	11,17	3,44	2189,97	
R-08		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,17	3,46	2202,70	
R-09		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,71	11,17	3,46	2202,70	
R-10		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,2	3,46	2202,70	
R-11		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,74	11,19	3,45	2196,33	
R-12		0,1	0,2	0,0079	0,0016	7,73	11,18	3,45	2196,33	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2199.52 kg/m³ cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal de acuerdo con la norma ACI 318-19. Con un revenimiento de 6.5 cm se observa que si cumple el asentamiento determinado y está dentro del rango 8cm +/- 2.5cm.

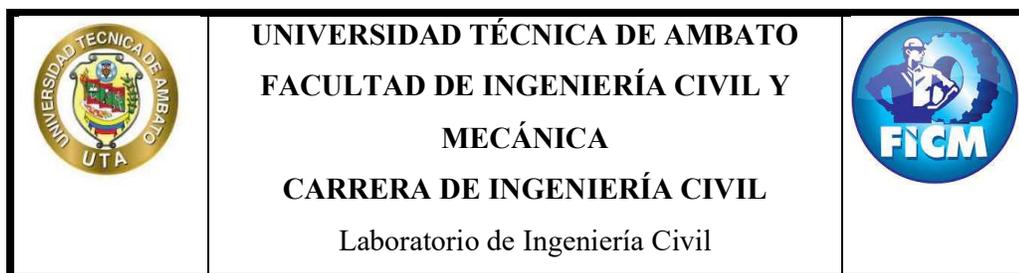
3.1.1.21 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS

Tabla 57. Propiedades del hormigón fresco de “Triturado de Hormigón Reciclado” para resistencia de 28Mpa

ORIGEN:	TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO					ASENTAMIENTO:	6,0cm	FECHA:		
ENSAYADO POR:	VLADIMIR JONATHAN VILLACRÉS TIRADO					NORMA:	NTE INEN 1576- NTE INEN 1578			
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m ²)	Volumen Molde (m ³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
2R-1	28	0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.61	8.19	3.58	2279.09	2223.39
2R-2		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.76	8.26	3.5	2228.16	
2R-3		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.72	8.23	3.51	2234.53	
2R-4		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.82	8.32	3.5	2228.16	
2R-5		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.71	8.32	3.61	2298.19	
2R-6		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.68	8.19	3.51	2234.53	
2R-7		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.74	8.26	3.52	2240.90	
2R-8		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.72	11.19	3.47	2209.07	
2R-9		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.73	11.2	3.47	2209.07	
2R-10		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.74	11.1	3.36	2139.04	
2R-11		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.72	11.13	3.41	2170.87	
2R-12		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.73	11.2	3.47	2209.07	

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2223.39 kg/m³ que cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal de acuerdo con la norma ACI 318-19. Con un revenimiento de 6 cm se observa que si cumple el asentamiento determinado y está dentro del rango 8cm +/- 2.5cm.



3.1.1.22. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DEFINITIVOS

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA

FECHA: 08/02/2022

ENSAYADO POR: JONATHAN

RESISTENCIA EFECTIVA: 21y28

MPA

VLADIMIR VILLACRES TIRADO

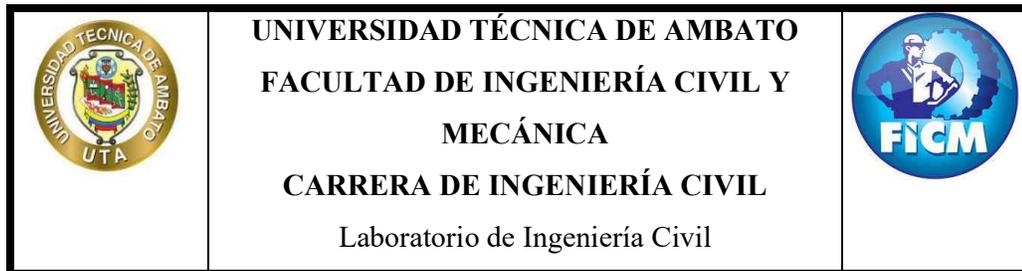
***Tabla 58.** Resistencia a la compresión del hormigón definitivo con agregado de la mina “ACOSTA” a la edad de 28 días*

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (Mpa)	RESISTENCIA EFECTIVA Mpa	PORCENTAJE
ACOSTA	1M-10	28	100	200	23,7	21	112,86%
	1M-11	28	100	200	21,3	21	101,43%
	1M-12	28	100	200	21,6	21	102,86%
	2M-10	28	100	200	28,4	28	101,43%
	2M-11	28	100	200	27,2	28	97,14%
	2M-12	28	100	200	28,8	28	102,86%

***Realizado por:** Vladimir Villacrés*

Análisis y discusión: A través de los ensayos a compresión realizados el 08 de febrero del 2023 para las probetas de la mina “ACOSTA” para la resistencia de 21MPa se obtuvieron las resistencias de 23.7MPa, 21.3MPa y 21.6MPa por lo que las tres llegaron a superar la resistencia deseada, cumplen con los requisitos de la norma NTE INEN 1855. Para los cilindros ensayados con resistencia de 28MPa se obtuvieron las

resistencias de 28.4MPa, 27.2MPa y 28.8MPa considerando la resistencia efectiva 2 de los 3 cilindros llegaron a la resistencia; sin embargo, en promedio la resistencia de las 3 probetas da un valor de 28.13MPa y la resistencia individual de 27.2MPa no se encuentra por debajo de la resistencia especificada en mas de 3.5MPa, lo que de acuerdo a la norma NTE INEN 1855 cumple los requisitos.



3.1.1.23. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DEFINITIVOS

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA

FECHA: 23/02/2023

ENSAYADO POR: JONATHAN
VLADIMIR

RESISTENCIA EFECTIVA: 21 y 28

VILLACRES TIRADO

Tabla 59. Resistencia a la compresión del hormigón definitivo a la edad de 28 días.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (Mpa)	RESISTENCIA EFECTIVA (Mpa)	PORCENTAJE
"Triturado de Hormigón Reciclado"	R-10	28	100	200	21.4	21	101.90%
	R-11	28	100	200	21.8	21	103.81%
	R12	28	100	200	22.4	21	106.67%
	2R-10	28	100	200	28.6	28	102.14%
	2R-11	28	100	200	29.3	28	104.64%
	2R-12	28	100	200	28.3	28	101.07%

Realizado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: A través de los ensayos a compresión realizados el 23 de febrero del 2023 para las probetas de “Triturado de Hormigón Reciclado” para la resistencia de 21MPa se obtuvieron las resistencias de 21.4MPa, 21.8MPa y 22.4MPa por lo que las tres llegaron a superar la resistencia deseada. Para los cilindros ensayados con resistencia de 28MPa se obtuvieron las resistencias de 28.6MPa, 29.3MPa y 28.3MPa las tres llegan a superar la resistencia deseada. En las dos resistencias ninguna probeta difiere más de 3.5MPa, lo que de acuerdo con la norma NTE INEN 1855 cumple los requisitos.

3.1.1.24. RESISTENCIA DEL HORMIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Utilizando los datos de la tabla 51 y 52 se calcula la media aritmética de las resistencias resultantes agrupándoles por edad y procedencia.

Media aritmética de resistencia de las probetas de mina “ACOSTA”

Edad de 28 días

Resistencia 21MPa

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{23.7 + 21.3 + 21.6}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 22.2 \text{ MPa}$$

Resistencia 28MPa

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{28.4 + 27.2 + 28.8}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 28.13 \text{ MPa}$$

Media aritmética de resistencia de las probetas con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”

Edad de 28 días

Resistencia 21MPa

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{21.4 + 21.8 + 22.4}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 21.87$$

Resistencia 28MPa

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{28.6 + 29.3 + 28.3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 28.73 \text{MPa}$$

3.1.1.25. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN

Para determinar el módulo estático del hormigón se empleará la formula teórica que propone la norma ACI 318, también se aplicará el método experimental aplicado en este informe ASTM C-469.

Las fórmulas son las siguientes:

ACI 318

$$Ec = 4700\sqrt{f'c}$$

MÉTODO EXPERIMENTAL ASTM-469

$$Ec = \frac{0.4\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x.})} - 0.00005}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad secante, psi

$0.4\sigma_{m\acute{a}x}$ = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

$\sigma_{(0.00005)}$ = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, de 0.00005

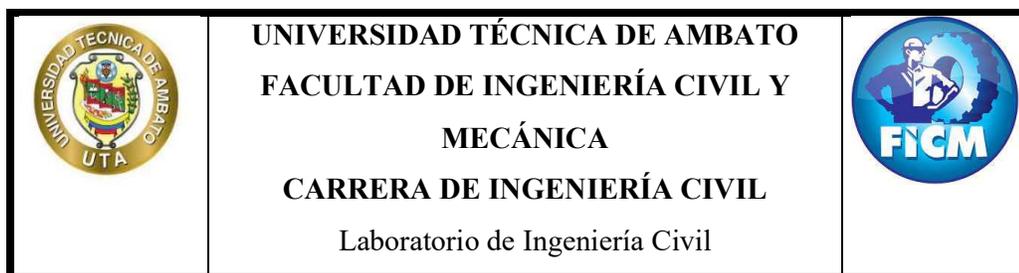
$\epsilon_{(0.4\sigma_{\acute{a}x})}$ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo $\sigma_{(0.00005)}$

Los datos que resultan de la aplicación de cada una de las fórmulas se resumen en las tablas a continuación.

Tabla 60. *Módulo de Elasticidad Estático con Fórmula ACI-318*

ORIGEN Y RESISTENCIA	f'c (Mpa)	Módulo de Elasticidad Estático ACI-318 (Mpa)	MEE PROMEDIO (Mpa)
"ACOSTA" 21MPa	23.7	22880.84352	22138.62447
	21.3	21691.40383	
	21.6	21843.62607	
"ACOSTA" 28MPa	28.4	25047.07568	24927.3745
	27.2	24512.20104	
	28.8	25222.84679	
"Triturado Hormigon Reciclado" 21MPa	21.4	21742.26299	21977.08131
	21.8	21944.52096	
	22.4	22244.45998	
"Triturado de Hormigón Reciclado" 28MPa	28.6	25135.11488	25192.96923
	29.3	25440.85297	
	28.3	25002.93983	

Realizado por: Vladimir Villacrés



**3.1.1.26. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN
CILINDROS DEFINITIVOS MINA ACOSTA 21 MPa**

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA

FECHA: 23/02/2023

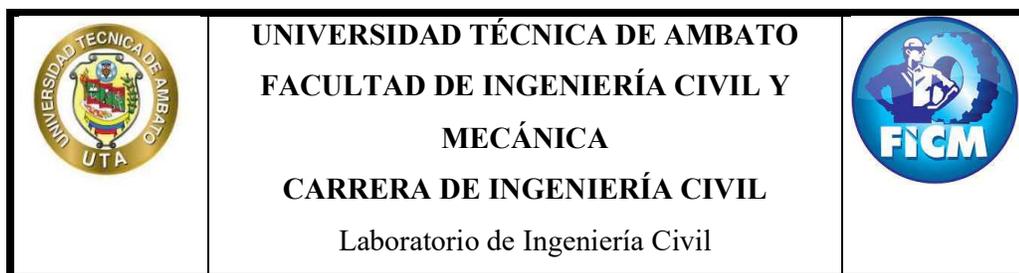
ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 21 MPa

*Tabla 61. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con
agregado de mina “ACOSTA”*

Edad	28 días	Norma	ASTM C-469	e1	0.00005
Resistencia (Mpa)	22.2			S2 (Mpa)	8.88
Probeta N°	Lectura		DENSIDAD (kg/m³)	MEE (Mpa)	
	S1 (Mpa)	e2			
1M-1	1.579949	0.0004123	2247.26	20149.19	
1M-2	1.483983	0.000415	2215.43	20263.06	
1M-3	1.343372	0.000422335	2228.16	20241.52	
1M-4	1.311579	0.00042599	2215.43	20129.31	
1M-5	1.474835	0.00041249	2259.99	20428.60	
1M-6	1.561574	0.0004155	2240.90	20023.05	
1M-7	1.63876	0.00041225	2240.90	19989.62	
1M-8	1.541417	0.000415	2259.99	20105.71	
1M-9	1.35175	0.0004225	2228.16	20210.07	
PARAMETROS DE CONTROL	Rango		44.6	439.0	
	Desviación Estandar		16.9	133.5	
	Coefficiente de Variación		0.75%	0.66%	
	Promedio		2237.4	20171.1	
	Mediana		2240.9	20149.2	

Realizado por: Vladimir Villacrés



**3.1.1.27. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN
CILINDROS DEFINITIVOS MINA ACOSTA 28MPa**

NORMA: ASTM C-469

FECHA: 23/02/2023

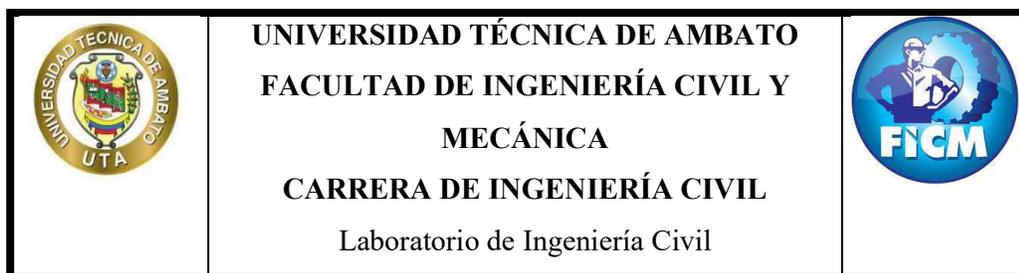
ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 28 MPA

Tabla 62. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado de mina “ACOSTA”

Edad	28 días	Norma	ASTM C-469	e1	0.00005
Resistencia (Mpa)	28.13	S2 (Mpa)		S2 (Mpa)	11.25
Probeta N°	Lectura		DENSIDAD	MEE (Mpa)	
	S1 (Mpa)	e2			
2M-1	1.146911	0.0005214	2240.9	21432.09	
2M-2	1.122545	0.0005185	2253.63	21616.77	
2M-3	1.155163	0.0005275	2247.26	21141.02	
2M-4	1.123875	0.0005224	2259.99	21435.49	
2M-5	1.184963	0.000519	2247.26	21460.63	
2M-6	1.249082	0.000525	2234.53	21054.56	
2M-7	1.12399	0.0005215	2240.9	21476.16	
2M-8	1.138174	0.0005184	2259.99	21588.01	
2M-9	1.11415	0.0005215	2240.9	21497.03	
PARAMETROS DE CONTROL	Rango		25.5	562.2	
	Desviación Estandar		9.0	190.0	
	Coeficiente de Variación		0.40%	0.89%	
	Promedio		2247.3	21411.3	
	Mediana		2247.3	21460.6	

Realizado por: Vladimir Villacrés



**3.1.1.28. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN
CILINDROS DEFINITIVOS**

NORMA: ASTM C-469

FECHA: 23/02/2023

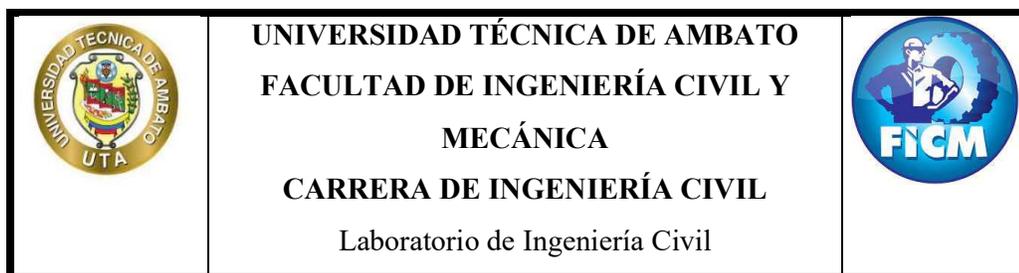
ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 21 MPA

Tabla 63. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado grueso “Triturado de Hormigón reciclado”

Edad	28 días	Norma	ASTM C-469	e1	0.00005
Resistencia (Mpa)	21.87			S2 (Mpa)	8.75
Probeta N°	Lectura		DENSIDAD (kg/m³)	MEE (Mpa)	
	S1 (Mpa)	e2			
1M-1	1.700484	0.0004395	2189.97	18093.75	
1M-2	1.666309	0.000442	2196.33	18065.54	
1M-3	1.627589	0.0004455	2221.80	18003.57	
1M-4	1.731246	0.0004356	2196.33	18196.98	
1M-5	1.610265	0.00044515	2202.70	18063.36	
1M-6	1.610184	0.0004459	2196.33	18029.34	
1M-7	1.658512	0.00043465	2189.97	18431.01	
1M-8	1.642051	0.000437	2202.70	18361.63	
1M-9	1.646693	0.0004364	2202.70	18378.12	
PARAMETROS DE CONTROL	Rango		31.8	427.4	
	Desviación Estandar		9.6	167.1	
	Coefficiente de Variación		0.44%	0.92%	
	Promedio		2199.9	18180.4	
	Mediana		2196.3	18093.8	

Realizado por: Vladimir Villacrés



3.1.1.29. ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EXTENSÓMETROS EN CILINDROS DEFINITIVOS

NORMA: DENSIDAD ÓPTIMA

FECHA: 23/02/2023

ENSAYADO POR: JONATHAN VLADIMIR VILLACRES TIRADO

RESISTENCIA EFECTIVA: 28 MPA

Tabla 64. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 con agregado grueso “Triturado de Hormigón reciclado”

Edad	28 días	Norma	ASTM C-469	e1	0.00005
Resistencia (Mpa)	28.73			S2 (Mpa)	11.49
Probeta N°	Lectura		DENSIDAD (kg/m³)	MEE (Mpa)	
	S1 (Mpa)	e2			
2M-1	1.364737	0.00057	2279.09	19475.51	
2M-2	1.327425	0.0005706	2228.16	19524.73	
2M-3	1.266117	0.0005715	2234.53	19608.60	
2M-4	1.382809	0.0005754	2228.16	19240.94	
2M-5	1.287018	0.0005777	2298.19	19338.61	
2M-6	1.353183	0.00057	2234.53	19497.73	
2M-7	1.309456	0.000563	2240.90	19849.02	
2M-8	1.308349	0.0005712	2209.07	19538.85	
2M-9	1.313786	0.000571	2209.07	19535.92	
PARAMETROS DE CONTROL	Rango		89.1	608.1	
	Desviación Estandar		29.9	169.4	
	Coeficiente de Variación		1.34%	0.87%	
	Promedio		2240.2	19512.2	
	Mediana		2234.5	19524.7	

Elaborado por: Vladimir Villacrés

3.1.1.30. COMPARACIÓN MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DE HORMIGON DE MINA “ACOSTA” Y HORMIGON CON AGREGADO GRUESO “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO”

Tabla 65. Porcentaje de variación MEE con ACI-318 y método experimental ASTM C-469

PROCEDENCIA	ACI- 318		EXPERIMENTAL ASTM C-169		% DE VARIACIÓN	
	21MPa	28MPa	21MPa	28MPa	21MPa	28MPa
MINA ACOSTA	22138.62	24927.37	20171.1	21411.3	9%	14%
AGREGADO GRUESO TRITURADO HORMIGON RECICLADO	21977.08	25192.97	18180.4	19512.2	17%	23%

Elaborado por: Vladimir Villacrés.

Análisis y discusión: Se puede apreciar que para la mina “ACOSTA” el MEE calculado experimental es inferior a la calculada con la fórmula del ACI-318 en un 9% para $f'c$ de 21Mpa y 14% para $f'c$ de 28Mpa, mientras que para hormigón realizado con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” difiere en mayor porcentaje aún, 17% para $f'c$ de 21MPa y 23% para $f'c$ de 28Mpa.

3.1.1.31. COMPARACIÓN MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO CON MÉTODO EXPERIMENTAL ASTM C-469 HORMIGON MINA ACOSTA VS HORMIGON CON AGREGADO GRUESO “TRITURADO DE HORMIGÓN RECICLADO.

Tabla 66. Porcentaje de variación MEE con el método experimental ASTM C-469 mina “ACOSTA” vs “Triturado de Hormigón Reciclado”

PROCEDENCIA	EXPERIMENTAL ASTM C-169	
	21MPa	28MPa
MINA ACOSTA	20171.1	21411.3
AGREGADO GRUESO TRITURADO HORMIGON RECICLADO	18180.4	19512.2
% DE VARIACIÓN	10%	9%

Elaborado por: Vladimir Villacrés

Análisis y discusión: Se puede determinar que el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón con material de la mina “ACOSTA” difiere en un 10% aproximado para las dos resistencias 21Mpa y 28Mpa.

3.1.1.32. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Con el objetivo de encontrar una ecuación que considere la variación que puede tener la resistencia a compresión del hormigón, se determina ocupar la resistencia característica,

$$Ec = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

$$Ec = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

En donde:

Ec= Módulo de elasticidad estático del hormigón

f'c= Resistencia a la compresión del concreto obtenida.

β= factor

Determinación de la resistencia característica del Hormigón con agregados mina “ACOSTA”

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático 21MPa

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

$$\beta = \frac{20171.1}{\sqrt{22.2}}$$

$$\beta = 4281.08$$

Ecuación teórica propuesta:

$$Ec = 4281.08\sqrt{f'c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$Ec = 4281\sqrt{f'c}$$

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático 28MPa

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

$$\beta = \frac{21411.3}{\sqrt{28.13}}$$

$$\beta = 4036.99$$

Ecuación teórica propuesta:

$$Ec = 4036.99\sqrt{f'c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$Ec = 4037\sqrt{f'c}$$

**Determinación de la resistencia característica del Hormigón con agregado grueso
“Triturado de Hormigón Reciclado”**

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático 21MPa

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

$$\beta = \frac{18180.4}{\sqrt{21.87}}$$

$$\beta = 3887.58$$

Ecuación teórica propuesta:

$$Ec = 3887.58\sqrt{f'c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$Ec = 3885\sqrt{f'c}$$

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático 28MPa

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

$$\beta = \frac{19512.2}{\sqrt{28.73}}$$

$$\beta = 3640.31$$

Ecuación teórica propuesta:

$$Ec = 3640.31\sqrt{f'c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$Ec = 3640\sqrt{f'c}$$

3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

El módulo de elasticidad estático del hormigón elaborado con el 100% de agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” no tiene un valor similar al realizado con agregado grueso normal, ya que los valores obtenidos difirieron hasta en 10%, lo que se verá reflejado en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura construida con estos hormigones.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1 Conclusiones

- De acuerdo con el estudio realizado se determinaron las propiedades físico mecánicas fundamentales de los agregados tanto de la mina “ACOSTA” como del agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado”, datos indispensables para elaborar la dosificación, de manera que se concluyó que dichos materiales cumplieron los parámetros establecidos.
- Mediante la aplicación del método de la densidad óptima se efectuó la dosificación para el hormigón con resistencia a la compresión de 21MPa y 28MPa.
- Se determinó que el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón correspondiente al obtenido mediante la resistencia a compresión y la aplicación de la norma ASTM C-469 fue de 20171.1MPa para $f'c$ 21MPa y 21411.3MPa para $f'c$ 28MPa para hormigones con agregados de la mina “ACOSTA”, mientras que para hormigones con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” para $f'c$ 21MPa fue de 18180.4 y para $f'c$ 28MPa fue de 19512.2.
- Se concluye que, con un valor promedio 20171.1MPa para $f'c$ 21MPa y 21411.3MPa para $f'c$ 28MPa correspondiente a los datos de la mina “ACOSTA”, estos son 9% y 14% inferiores respectivamente al calculado con la fórmula que establece la ACI-318.
- Se concluye que, con un valor promedio 18180.4MPa para $f'c$ 21MPa y 19512.2MPa para $f'c$ 28MPa correspondiente a los datos de hormigón preparado con agregados gruesos “Triturado de Hormigón Reciclado”, estos son 17% y 23% inferiores respectivamente al calculado con la fórmula que establece la ACI-318.

- Se determinó como ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón con un $f'c=21\text{MPa}$ elaborado con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” y cemento “Holcim”, la siguiente:

$$Ec = 3887.58\sqrt{f'c}$$

- Se determinó como ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón con un $f'c=28\text{MPa}$ elaborado con agregado grueso “Triturado de Hormigón Reciclado” y cemento “Holcim”, la siguiente:

$$Ec = 3640\sqrt{f'c}$$

4.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda para los ensayos tener disponibilidad de espacio y planificar las fechas con anticipación para evitar retrasos
- Se recomienda tener suficiente agregado para evitar dificultades futuras en caso de que ya no haya disponibilidad de los áridos.

4.2. BIBLIOGRAFIA

- [1] W. D. Callister, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales: Vol. I*. Editorial Reverte, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/67848>
- [2] T. E. Harmsen, *Diseño de estructuras de concreto armado (5a ed.)*. Pontificia Universidad Católica de Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/51234>
- [3] F. A. Lamus Sofía, *Concreto reforzado. Fundamentos*. Ecoe Ediciones, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/39426>
- [4] “ENTREVISTA LEONARDO MASSONE SECRETARIO TÉCNICO DEL COMITÉ NCH430 ENERGY VAULT UNA ALTERNATIVA EFICIENTE PARA LA SUSTENTABILIDAD OBRA DESTACADA ESTANQUES DE PIRQUE”. [En línea]. Disponible en: www.ich.cl.
- [5] “CSchust-TFG-IM-2021”.
- [6] D. Montserrat, Z. Toro, D. Ignacio, y V. Espinosa, *Zoraida Sánchez Roldán*. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/55703>
- [7] W. Martínez-Molina *et al.*, “Concreto reciclado: una revisión”, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat
- [8] R. Orler, *Introducción al cálculo de hormigón estructural*. Editorial Nobuko, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/34276>
- [9] M. de Estático Elasticidad Del Hormigón En Base A Su, “UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL”. Consultado: el 7 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2219>
- [10] ACI, “American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto’ Comité ACI”, USA, 2008.

- [11] ASTM, “Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del hormigón en compresión.”, USA, 2010.
- [12] R. Sriravindrarajah, N. D. H. Wang, y L. J. W. Ervin, “Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete”, *Int J Concr Struct Mater*, vol. 6, núm. 4, pp. 239–246, dic. 2012, doi: 10.1007/s40069-012-0024-x.
- [13] J. Cintas, J. Montes, y F. Cuevas, *Ciencia e Ingeniería de los materiales*, vol. 1ra edición. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014.
- [14] Diego Sánchez de Guzmán, *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editores, 2001.
- [15] S. W. Ruscalleda Gallart George; Nilson A. H., *Proyecto de estructuras de hormigón*. Barcelona: Editorial Reverte, 1977. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/103458>
- [16] " Jose y S. Cañas, “UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA”. [En línea]. Disponible en: <http://geotech.uta.edu/lab/Main//sieve/index.htm>,
- [17] D. Ingeniero Civil, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO”. Consultado: el 21 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33567>
- [18] S. H. Kosmatka, *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association, 2004.
- [19] “ACI 318S-14”, 2014.
- [20] “EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANÍJALES”, 2003. Consultado: el 21 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- [21] D. de del Módulo Rotura En Vigas De Hormigón, “UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL”.

Consultado: el 21 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2575>

[22] “TABLA No.1 1. GRANULOMETRIAS PARA AFIRMADOS”. Consultado:
el 24 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

[23] " Jose y S. Cañas, “UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA”.

[24] Carrasco Díaz S., *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*,
Primera Edicion. Lima , 2005.

[25] S. W. Medina Robalino, *Manual e Ensayo de Materiales II*. Ambato, 2006.

4.3. ANEXOS

4.3.1. Anexo 1. Fotografías



Selección



Recolección



*Hormigón reciclado en
Trituradora Acosta*



Reconocimiento de trituradora



*Observando la función
de la trituradora*



*Colocando el hormigón reciclado
en la trituradora*



Material reciclado en la Trituradora



Recolección del material triturado



Recolección del hormigón reciclado triturado



Agregado fino para ensayos



*Agregado grueso reciclado para
Ensayar*



*Agregado grueso de mina
para ensayar*



Granulometría agregado grueso



*Agregado grueso y fino para
densidad real de los agregados*



Ensayo tamizado de agregado fino



Secado superficial agregado grueso



Secado superficial de agregado fino



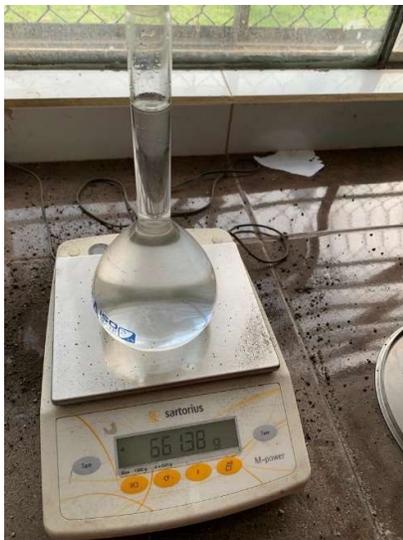
*Recolección agregado grueso
superficie seca*



Peso de canastilla al aire



*Peso de canastilla sumergida con
agregado grueso*



Peso del picnómetro + agua



*Girando picnómetro para eliminar
Burbujas*



Peso de picnómetro + agua + muestra



Enrasando cilindro



Peso densidad suelta del agregado grueso reciclado



Peso densidad compactada de agregado grueso reciclado



Llenado de cilindro para densidad suelta y compactada de agregado fino



Cilindro enrasado de agregado fino



Peso de cilindro + agregado fino



Dando 25 golpes a capa de agregado Grueso



Densidad combinada compactada de los agregados



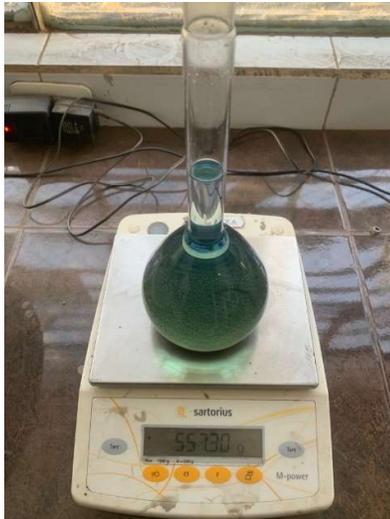
Densidad específica del cemento



Peso picnómetro + gasolina



Peso de cemento



Peso picnómetro + gasolina + cemento



Mezcla de agregados



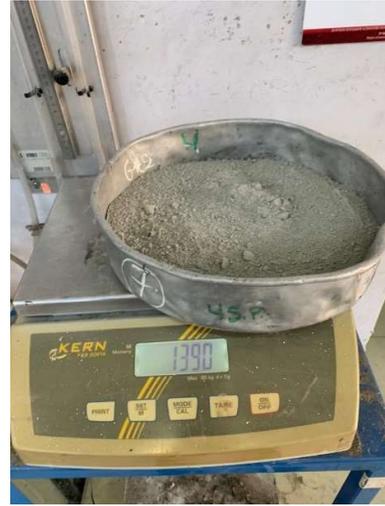
*Colocación de agregados mezclados
en cilindro*



*Peso de agregado grueso triturado
para densidad combinada*



Peso de cilindro + agregado combinado



Peso de cemento para hormigones de prueba



Etiquetado de cilindros



Ensayo de Cono de Abrahams



Asentamiento



Etiquetado de cilindros de hormigón



Pesando cilindro + hormigón en estado fresco



Desencofrado de cilindros



Cilindros desencofrados



Colocando cilindros en piscina



Cilindros en piscina



Ensayo a compresión de cilindros



Cilindros ensayados a compresión



Hormigón con agregado grueso de hormigón reciclado



Hormigón con agregado grueso reciclado en piscina de curado



Sacando cilindros para ensayar



Cilindros a los 28 días para ensayar



*Cilindros secando 30 minutos
antes de ensayo*