



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES
DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

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

AUTOR: JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ

DIRECTOR: ING. JORGE EFRAÍN CRESPO CRESPO

AZOGUES – ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

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

AUTOR: JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ.

DIRECTOR: JORGE EFRAÍN CRESPO CRESPO.

AZOGUES - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Jéssica Lisseth Vivar González portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302183264**.

Declaro ser el autor de la obra: “**Hormigón con áridos reciclados procedentes de residuos de construcción**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **31 de agosto de 2021**



Jéssica Lisseth Vivar González

C.I. 0302183264

CERTIFICADO DEL TUTOR

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Azogues, 12 de agosto de 2021.

ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación.

Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

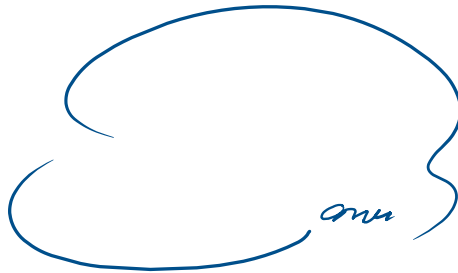
**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES.
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación del estudiante VIVAR GONZÁLEZ JÉSSICA LISSETH, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “Hormigón con áridos reciclados procedentes de residuos de construcción”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de 50/50.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Jorge Crespo Crespo MSc.
**DOCENTE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES**

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primero a Dios por darme la vida y que me ha dado la perseverancia para alcanzar esta meta propuesta, así como también, infinita gratitud para mis padres y demás familiares, por su apoyo, valores y consejos que han sido la base de mi formación.

A la Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, que me abrió sus puertas y me forjó como ser humano, en la persona del Ing. Jorge Crespo Crespo por su dedicación, acompañamiento y asesoramiento brindado durante el planteamiento, desarrollo y culminación de este trabajo de titulación. Así también, agradezco al Sr. Pablo Sáenz por su apoyo durante el desarrollo de la fase experimental.

Al Municipio de Azogues, que me ha brindado toda su colaboración para la recopilación de la información para el desarrollo del tema y los materiales empleados en la fabricación de las probetas.

RESUMEN

El presente trabajo comparó el comportamiento bajo sollicitaciones de compresión de un hormigón reciclado y un hormigón convencional, con escombros previamente clasificados y analizados obtenidos de la escombrera municipal del cantón Azogues, con el objeto de recomendar o descartar la utilización de un hormigón ecológico en elementos estructurales y no estructurales en donde se los requiera.

Para la elaboración de los ensayos de hormigón ecológico se realizaron actividades previas como la selección, clasificación y trituración de los escombros utilizados en los ensayos, posteriormente se definió las propiedades físico mecánicas del agregado reciclado como: pesos volumétricos, granulometría, humedad, absorción; necesarios para la elaboración del hormigón.

Los resultados que presentaron los ensayos de un hormigón convencional y ecológico se compararon en función de la relación agua/cemento y los porcentajes de áridos naturales y reciclados aplicados en cada una de las probetas ensayadas.

La aplicación de un hormigón ecológico presenta una ventaja en cuanto la utilización de los mismos por su costo y mitigación ambiental; si bien las condiciones de resistencia no son superiores a la de un hormigón convencional, se puede decir que la utilización de los mismos puede ayudar de una manera significativa a mitigar las afecciones ambientales; teniendo en cuenta la calidad aceptable en cuanto a la resistencia a la compresión que estos poseen.

Palabras clave: Escombros, esfuerzo compresión, hormigón ecológico, relación a/c

ABSTRACT

This work analyzes the behavior, under compressive stresses, of recycled concrete and conventional concrete, with previously classified and analyzed rubble obtained from the municipal dump of the Azogues canton, to recommend or discard the use of ecological concrete in structural and non-structural elements where it is required. For the elaboration of the ecological concrete tests, previous activities were conducted such as the selection, classification, and crushing of the rubble used in the tests, then the physical-mechanical properties of the recycled aggregate were defined, such as volumetric weights, granulometry, humidity, absorption; necessary for the elaboration of the concrete. The results of the tests of conventional and ecological concrete were compared according to the water/cement ratio and the percentages of natural and recycled aggregates applied in each of the specimens tested. The application of ecological concrete presents an advantage in terms of cost and environmental mitigation; although the resistance conditions are not superior to those of conventional concrete, it can be said that the use of ecological concrete can help significantly to mitigate environmental affections, taking into account the acceptable quality in terms of compressive strength that it possesses.

Keywords: Rubble, compressive strength, ecological concrete, w/c ratio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
1. CAPÍTULO I: LINEAMIENTOS.....	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 GENERAL.....	12
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	12
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.4 JUSTIFICACIÓN	14
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 Hormigón	15
2.2 Cemento	15
2.2.1 Tipos de Cemento Portland.....	16
2.3 Áridos.....	18
2.4 Clasificación de los áridos.....	18
2.4.1 Clasificación según su procedencia	18
2.4.2 Clasificación según su tamaño.....	19
2.4.3 Clasificación por su forma y textura.....	19

2.5	Propiedades de los áridos	20
2.5.1	Propiedades físicas.....	20
2.5.2	Propiedades mecánicas	28
2.6	Tipo de fallas	28
3	CAPITULO III: ÁRIDO RECICLADO	29
3.1	Propiedades de los áridos reciclados.....	29
3.1.1	Granulometría	29
3.1.2	Forma y textura.....	30
3.1.3	Densidad y absorción.....	31
3.1.4	Contenido de contaminantes e impurezas.....	32
3.2	Propiedades del hormigón reciclado	33
3.2.1	Manejabilidad	33
3.2.2	Estado endurecido.....	33
3.2.3	Propiedades de durabilidad.....	33
3.2.4	Porosidad.....	34
3.3	Proporcionamiento para el diseño de hormigón reciclado	34
3.3.1	Contenido de agua.....	35
3.3.2	Contenido de cemento.....	35
3.3.3	Contenido de árido reciclado	35
4	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	37
4.1	Delimitación.....	37
4.2	Proceso utilizado	37
4.3	Cementos para la elaboración de hormigón	38
4.4	Fuentes de Áridos.....	38
4.5	Árido reciclado.....	38

4.5.1	Recolección del material.....	39
4.5.2	Trituración del material.....	40
4.5.3	Volumen de escombros.....	41
4.6	Materiales y caracterización.....	43
4.6.1	Cemento.....	43
4.6.2	Áridos.....	43
4.6.3	Muestreo.....	43
4.7	Cálculo de humedad natural de los materiales.....	44
4.8	Granulometría.....	45
4.9	Gravedad específica y absorción de los áridos.....	49
4.10	Peso volumétrico.....	53
4.11	Diseño de las mezclas.....	55
4.11.1	Asentamiento.....	56
4.11.2	Elección del tamaño máximo del árido.....	56
4.11.3	Cálculo de la cantidad de agua y el contenido de aire para la mezcla.....	56
4.11.4	Resistencia de diseño.....	57
4.11.5	Selección de la relación Agua/Cemento.....	58
4.11.6	Cálculo del contenido de cemento.....	59
4.11.7	Cálculo de las cantidades de los agregados.....	60
4.11.8	Corrección de humedad.....	62
4.12	Pruebas de hormigón.....	64
4.12.1	Estimación del número de pruebas.....	64
4.12.2	Elaboración de las mezclas.....	64
4.12.3	Curado de las muestras.....	67
4.12.4	Ensayos de Rotura.....	68

5	CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES	71
5.1	Estado fresco	71
5.2	Estado de endurecimiento	73
5.2.1	Esfuerzo a Compresión ($f'c$).....	73
5.2.2	Tablas de valores de $f'c$	73
5.2.3	Tipo de Falla presentadas en las muestras	81
5.3	Análisis el costo de producción árido reciclado.....	85
6	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
6.1	Conclusiones	87
6.2	Recomendaciones.....	88
7	CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	90
7.1	BIBLIOGRAFÍA.....	90
7.2	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Cono empleado en el cálculo del estado SSS en la arena. Fuente: El Autor	23
Figura 2-2 Tipo de fallas del hormigón. [9].....	28
Figura 3-1 Curvas de distribución del tamaño de partículas. Fuente: El Autor.....	30
Figura 4-1 Recolección de material. Fuente: El Autor.	39
Figura 4-2 Trituración del material reciclado. Fuente: El autor	41
Figura 4-3 Cantidad de material. Fuente: El Autor.....	42
Figura 4-4 Cuarteo del árido fino. Fuente: El autor.....	44
Figura 4-5 Curva granulométrica árido fino. Fuente: El autor	45
Figura 4-6 Curva granulométrica árido grueso. Fuente: El autor.	47
Figura 4-7 Curva granulométrica árido reciclado. Fuente: El autor.	49
Figura 4-8 Proceso en el cálculo del estado Saturado y Superficial Seco de la arena. Fuente: El Autor.	50
Figura 4-9 Cálculo del peso sumergido en agua del material grueso. Fuente: El autor.	52
Figura 4-10 Determinación del peso volumétrico del árido reciclado. Fuente: El autor.	55
Figura 4-11 Determinación del peso de los áridos. Fuente: El Autor.....	66
Figura 4-12 Preparación de los moldes. Fuente: El Autor.	66
Figura 4-13 Evaluación del asentamiento a través del cono de Abrams. Fuente: El Autor.	67
Figura 4-14 Control de temperatura y curado por inmersión. Fuente: El Autor.....	68
Figura 4-15 Medición y pesaje de los cilindros antes del ensayo. Fuente: El Autor.	69
Figura 4-16 Ensayos de la misma relación A/C, pero con porcentajes de escombros diferentes. Fuente: El Autor.....	70
Figura 5-1 Ensayo de Asentamiento. Fuente: El Autor.	71
Figura 5-2 Resistencia del hormigón (A/C=0,35) a los 28. Fuente: El Autor.	77
Figura 5-3 Resistencia del hormigón (A/C=0,40) a los 28. Fuente: El Autor.	77
Figura 5-4 Resistencia del hormigón (A/C=0,45) a los 28. Fuente: El Autor.	78
Figura 5-5 Resistencia del hormigón (A/C=0,55) a los 28. Fuente: El Autor.	79
Figura 5-6 Resistencia del hormigón (A/C=0,60) a los 28. Fuente: El Autor.	79
Figura 5-7 Comportamiento del hormigón reciclado con el 50%. Fuente: El Autor.....	81
Figura 5-8 Falla Tipo 4. Fuente: El Autor.	82
Figura 5-9 Falla Tipo 3. Fuente: El Autor.	83

Figura 5-10 Falla Tipo 5. Fuente: El Autor. 84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Siglas para cementos hidráulicos. Fuente: [4]	17
Tabla 2-2 Masa mínima del material de ensayo. [9].....	25
Tabla 4-1 Composición del material. Fuente: El Autor.	42
Tabla 4-2 Granulometría Árido Fino. Fuente: El Autor.	46
Tabla 4-3 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso. [9]	47
Tabla 4-4 Granulometría del árido reciclado. Fuente: El Autor.	48
Tabla 4-5 Densidad y absorción del material fino. Fuente: El autor	50
Tabla 4-6 Densidad y absorción del árido grueso. Fuente: El autor.	51
Tabla 4-7 Densidad y absorción del árido reciclado. Fuente: El autor.	53
Tabla 4-8 Determinación de pesos volumétricos. Fuente: El Autor.	54
Tabla 4-9 Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diversos tamaños de áridos. [11].....	57
Tabla 4-10 Resistencia media a la compresión necesaria cuando no los datos son escasos para establecer una desviación estándar de la muestra. Fuente: [2].....	58
Tabla 4-11 Agua y cemento necesario para cada relación A/C. Fuente: El Autor.	59
Tabla 4-12 Volumen de árido grueso SH por unidad de concreto para módulos de finura de árido fino. [26]	61
Tabla 4-13 Resumen de pesos calculados para 15 cilindros. Fuente: El autor.	62
Tabla 4-14 Ejemplo de la corrección de humedad por árido. Fuente: El Autor.	63
Tabla 5-1 Asentamiento de las muestras. Fuente: El Autor.....	72
Tabla 5-2 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,35. Fuente: El Autor.	74
Tabla 5-3 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,40. Fuente: El Autor.	74
Tabla 5-4 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,45. Fuente: El Autor.	75
Tabla 5-5 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,55. Fuente: El Autor.	75
Tabla 5-6 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,60. Fuente: El Autor.	76
Tabla 5-7 Resistencias máximas de hormigón reciclado vs hormigón convencional. Fuente: El Autor.	80
Tabla 5-8 Análisis de precios. Fuente: El Autor.....	86

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 2-1 Densidad relativa árido fino (SH)	23
Ec. 2-2 Densidad relativa árido fino (SSS).....	23
Ec. 2-3 Densidad relativa aparente árido fino.....	24
Ec. 2-4 Densidad (SH) árido fino	24
Ec. 2-5 Densidad (SSS) árido fino.....	24
Ec. 2-6 Densidad aparente árido fino.....	24
Ec. 2-7 Absorción árido fino.....	24
Ec. 2-8 Densidad relativa árido grueso (SH)	26
Ec. 2-9 Densidad relativa árido grueso (SSS).....	26
Ec. 2-10 Densidad relativa aparente árido grueso	26
Ec. 2-11 Densidad árido grueso (SH)	26
Ec. 2-12 Densidad árido grueso (SSS).....	26
Ec. 2-13 Densidad aparente árido grueso	26
Ec. 2-14 Absorción árido grueso	26
Ec. 2-15 Masa unitaria.	26
Ec. 4-1 Humedad del árido [25].....	44
Ec. 4-2 Masa unitaria compactada.....	53
Ec. 4-3 Masa unitaria suelta.....	53
Ec. 4-4 Relación Agua / Cemento.....	59
Ec. 4-5 Determinar la cuantía de cemento.....	59
Ec. 4-6 Calculo del volumen absoluto de cemento.....	59
Ec. 4-7 Volumen absoluto de las partículas de árido grueso.	60
Ec. 4-8 Volumen árido fino.	61
Ec. 4-9 Peso húmedo del material.....	63
Ec. 4-10 Cantidad de agua por.....	63
Ec. 4-11 Determinación del número de ensayos.....	64
Ec. 4-12 Determinación de número de ensayos.....	64
Ec. 5-1 Resistencia a Compresión.	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 7-1 Número de permiso de construcción.....	93
Anexo 7-2 Ingreso al laboratorio de la Universidad.	96
Anexo 7-3 Ensayo de Granulometría Árido Fino.	97
Anexo 7-4 Ensayo de Granulometría Árido Grueso.	98
Anexo 7-5 Granulometría Árido Reciclado.	99
Anexo 7-6 Ensayo pesos volumétricos árido grueso.	100
Anexo 7-7 Ensayo pesos volumétricos árido fino.	101
Anexo 7-8 Ensayo pesos volumétricos árido reciclado.	102
Anexo 7-9 Ensayo para determinar la Densidad.....	103
Anexo 7-10 Tabla de datos para una relación a/c 0,35. Fuente: El Autor.	104
Anexo 7-11 Tabla de datos para una relación a/c 0,40. Fuente: El Autor.	105
Anexo 7-12 Tabla de datos para una relación a/c 0,45. Fuente: El Autor.	106
Anexo 7-13 Tabla de datos para una relación a/c 0,55. Fuente: El Autor.	107
Anexo 7-14 Tabla de datos para una relación a/c 0,60. Fuente: El Autor.	108
Anexo 7-15 Diseño de la dosificación en Excel. Fuente: El autor.	111

1. CAPÍTULO I: LINEAMIENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción son materiales generalmente inertes resultantes de los desechos de actividades tales como: movimientos de tierras, demoliciones, fabricación in situ; usualmente son desperdicios o sobrantes de materiales de construcción que tienen un manejo inadecuado de residuos sólidos dentro de la construcción. A estos residuos se les conoce también con el nombre de escombros.

Los residuos que se generan en actividades constructivas son conducidos hacia lugares especialmente acondicionados (escombreras) para su acopio y tratamiento. Las autoridades locales en cada jurisdicción, dedican ingentes cantidades de tiempo y recursos para localizar, planificar y adecuar espacios públicos destinados a recibir estos residuos sin ocasionar un daño ambiental considerable. La disposición inadecuada de materiales en las escombreras genera una afección importante a la flora y fauna del lugar, así como un sustancial deterioro del paisaje.

Los procesos constructivos actuales promueven el reciclaje como una acción que mitiga el impacto ambiental de las actividades antrópicas. En la construcción, el uso de materiales reciclados permite menguar la explotación de materia prima y disminuir el efecto negativo de los restos en las escombreras. El uso de residuos de construcción como alternativa al empleo del árido grueso en el hormigón a sido probado con éxito en algunos lugares alrededor del mundo, que actualmente va tomado mucha fuerza como medida de protección al medioambiente.

En el cantón Azogues, provincia del Cañar, los lugares destinados a escombreras municipales se colmatan frecuentemente convirtiéndose en un conflicto recurrente para la administración municipal. El presente trabajo consiste en analizar y caracterizar los materiales que llegan al

escombrero municipal , los cuales, luego de un proceso de clasificación y trituración, se emplearán en la fabricación de hormigones de cemento portland como reemplazo del árido grueso convencional. Al final, se evaluarán sus propiedades físico-mecánicas y sus costos de fabricación para conocer la viabilidad técnico-económica para el empleo en un proyecto ecológico municipal.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Determinar las características físicas y mecánicas de hormigones elaborados con áridos reciclados obtenidos de los escombros de construcción, a través de ensayos de laboratorio que permitan evaluar las características del hormigón y de sus componentes no convencionales, promoviendo el uso de áridos de bajo costo y menos agresivos al medioambiente.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar con proximidad los volúmenes y características de los materiales producto de la construcción y demolición que llegan a la escombrera municipal de Azogues.
- Determinar las características físicas y mecánicas de los áridos reciclados obtenidos a partir de procesos de trituración y clasificación de los residuos de construcción que llegan a la escombrera municipal de Azogues.
- Evaluar las características físico mecánicas de hormigones elaborados con áridos reciclados, ya sea en un estado fresco como endurecido, estableciendo dosificaciones basadas en métodos de proporcionamiento convencionales.
- Realizar un estudio técnico económico mediante un análisis de los resultados alcanzados de las pruebas de laboratorios y los costos de elaboración, comparándolos con los hormigones convencionales.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática de la contaminación ambiental producida por desechos de construcción es muy amplia y es muy difícil resolverlo únicamente desde un solo objetivo. Sin embargo, cualquier acción que permita mitigarlo, formará parte de la solución integral a este grave conflicto. Este trabajo aplicará el uso de escombros de construcción que llegan a los lugares de acopio del cantón Azogues que, luego de procesos simples de selección y trituración, podrán convertirse en áridos para el hormigón en reemplazo de gravas o gravillas convencionales. La investigación se centrará en determinar las características de estos áridos y su relación con las características del hormigón en estado endurecido y fresco, estableciendo su viabilidad desde una visión económica y técnica.

Los procesos experimentales se ejecutarán siguiendo los lineamientos establecidos en las correspondientes normas ecuatorianas e internacionales, para ensayos de materiales; y, procedimientos de prueba y error para procesos sin normalización.

Para efectuar el adecuado procesamiento del material de estudio, se procederá a realizar una clasificación de los escombros que se van a emplear para la elaboración del hormigón, donde se excluirán del estudio los materiales metálicos y polímeros.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La protección al medioambiente es un problema que atañe a toda la sociedad, especialmente para quienes forman parte de las actividades productivas cuyas bases conceptuales contemporáneas se fundamentan en el principio de desarrollo sostenible. La mitigación de impactos ambientales negativos es una acción obligatoria en las actividades de construcción, y cualquier acción desarrollada para implementarla se justifica por sí sola.

El uso de áridos reciclados es una teoría que se ha venido implementando en otros lugares y existen excelentes testimonios de ello. Desarrollar un proyecto en el que se pueda demostrar que es posible fabricar hormigones en base a residuos de construcción que llegan a la escombrera municipal, permitirá disminuir la incidencia negativa de estos materiales en el medioambiente local y regional; y a su vez, obtener áridos de bajo costo para construcción en el entorno inmediato.

Por último, la elaboración de la investigación resulta factible, debido a que se puede tener fácil acceso al lugar de obtención de los residuos de construcción; así también, se dispone de los equipos de laboratorio necesarios para la elaboración de los ensayos, proporcionados por el centro de estudios.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón

Se considera al hormigón como una combinación de roca triturada, grava, arena u otros áridos que se complementan en un compuesto rocos a través de una pasta de agua y cemento; no obstante, existen diversos aditivos que se pueden agregar con el objeto de alterar las especificaciones del concreto como la duración de fraguado, la durabilidad y ductilidad. [1]

Tratándose de un material heterogéneo, las proporciones y especificaciones de los materiales que lo constituyen, producen diferentes tipos de hormigones, que se clasifican por sus características químicas y físico-mecánicas como densidad, trabajabilidad, resistencia a la flexión y compresión, durabilidad, costo y demás. [1]

2.2 Cemento

El cemento se trata de un componente aglomerante con cualidades como la cohesión y adherencia, las mismas que conceden enlazar fracciones de minerales entre sí, y así, conformar un elemento compacto con la durabilidad y resistencia apropiada. [1]

La elaboración del cemento portland, se fundamenta en triturar y mezclar de manera homogénea las arcillas y calizas con cantidades apropiadas, por consiguiente, son cocinadas en una caldera de forma cilíndrica a una temperatura de 1450°C, que produce una aglutinación y de esta manera se obtiene esferas entre tres y cinco centímetros conocido como “Clinker portland”; luego este se enfría inmediatamente y por último se almacena para ser molido con yeso. [2]

El cemento portland se encuentra conformado por cuatro composiciones químicas, sus cantidades contribuyen a que el cemento adquiera diversas cualidades descritas por [1]:

- Aluminio Tricálcico (C_3A)

- Silicato Tricálcico (C₃S)
- Silicato Dicálcico (C₂S)
- Ferroatluminato Tetracálcico (C₄AF)

2.2.1 Tipos de Cemento Portland

El cemento puede presentar diversas propiedades que están en función de la composición química, las que permiten clasificarla en varios tipos, teniendo en cuenta los usos y aplicaciones que puedan tener para sus usuarios. La norma ASTM C150 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) presenta una agrupación del cemento la cual es admitida por varias regiones a nivel mundial. La norma ecuatoriana INEN NTE 520 (Instituto Ecuatoriano de Normalización), la categoriza de la siguiente manera [3]:

- Tipo I: Se requiere cuando no es necesario las características esenciales descritas para cualquier categoría.
- Tipo IA: Idéntico al tipo I, excepto que este consta un sistema de aire, empleado en los usos del tipo anterior.
- Tipo II: Su uso es común, principalmente cuando se requiere una resistencia módica al calor de hidratación de sulfatos.
- Tipo IIA: Similar al Tipo II, con la diferencia que este posee un incorporador de aire para los mismos usos del tipo anterior.
- Tipo III: Es necesario para cuando se requiera una alta resistencia inicial.
- Tipo IIIA: Similar al Tipo III, este posee un incorporador de aire para las mismas aplicaciones empleadas en el anterior tipo.
- Tipo IV: Aplicados en caso de requerir una baja temperatura de hidratación.

- Tipo V: Aplicado cuando se necesita una resistencia alta en presencia de los sulfatos.

En los cementos compuestos se tiene la siguiente clasificación de acuerdo a la norma INEN NTE 490 [4]:

Cemento compuesto binario: Se trata del cemento hidráulico compuesto que establece la relación de cemento portland con una puzolana.

Cemento compuesto ternario: Es aquel que establece la relación entre el cemento portland y la combinación de 2 puzolanas divergentes o con cemento escoria o una puzolana.

De acuerdo a lo estipulado en la norma los tipos cementos hidráulicos se conocen mediante las siglas detalladas en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Siglas para cementos hidráulicos. Fuente: [4]

Siglas	Descripción
Tipo IP	Cemento portland puzolánico
Tipo IS	Cemento portland de escoria
Tipo IT	Cemento compuesto ternario

La INEN pone en ejecución la norma NTE 2380 en el 2011, establecido en la ASTM C 1157, la misma que cataloga los cementos en relación con las exigencias específicas solicitadas para su desempeño; esta plantea seis tipos de cementos, los cuales se describen a continuación [5]:

- Tipo GU: Empelado en construcción general. En caso de no ser necesario un tipo especial.
- Tipo HE: Requerido para altas resistencias iniciales.
- Tipo MS: Requerido para resistencias elevadas a los sulfatos.

- Tipo MH: Produce un módico calor de hidratación.
- Tipo LH: Produce una disminución en la temperatura de hidratación.

2.3 Áridos

Conocidos también como agregados, son gránulos sólidos inertes, que se agregan al hormigón para generar volumen y aglomerar a través del cemento Portland y al añadir agua producen un todo compacto (piedra artificial) que desarrolla resistencias mecánicas. [1]

2.4 Clasificación de los áridos

Los áridos a lo largo del tiempo se han clasificado de varias formas, de acuerdo con los criterios de su origen, densidad, tamaño, textura y forma. [1]

2.4.1 Clasificación según su procedencia

Acorde con el origen de los áridos se pueden categorizar en dos grupos, los cuales pueden provenir de fuentes naturales o sean previamente fabricados a través de la producción industrial. [1]

Los áridos naturales son el resultado de explotar reservas naturales como depósitos fluviales o glaciares y de yacimientos de piedras y rocas de origen natural. Los fragmentos de estos áridos provienen por lo general de la roca madre (roca con mayor tamaño) que fueron divididas por agentes geodinámicos, o por la actividad del hombre mediante la trituración mecánica. Por consiguiente, las características mecánicas, químicas y físicas de los agregados se encuentran relacionadas con las propiedades de sus rocas originarias; las cuales transmiten sus propias características. [1]

Respecto a los áridos artificiales, son aquellos que son conseguidos a través de un proceso industrial utilizando materia prima natural tales como: esquistos expandidos y arcillas; o subproductos de actividades industriales como Clinker, escorias, limaduras de hierros y demás. [1]

2.4.2 Clasificación según su tamaño

Una manera habitual de catalogar los áridos es mediante el tamaño de los granos; a través de ensayos granulométricos se determina el tamaño de los áridos, este se fundamenta en ingresar el material por un conjunto de tamices con dimensiones diferentes que son colocadas de manera vertical y secuencial de mayor abertura a menor abertura. Los tamices logran detener las partículas de mayor tamaño, y así, dividiéndolas de las menores para establecer una clasificación por tamaños y rango de tamaños. La norma ASTM para el tamaño de los áridos los caracteriza como: árido fino, árido grueso y material fino; los cuales son utilizados en mezclas de hormigón. [1]

2.4.2.1 Árido grueso

Es el árido que se retiene en un tamiz cuya malla tiene una apertura de 4.75 mm. cumpliendo con los criterios descritos en la INEN 696. El árido grueso se considera una piedra de origen natural o artificial triturada y sometida a un análisis granulométrico.

2.4.2.2 Árido fino

De acuerdo con la INEN NTE 694 se define árido como al material que se retiene en un tamiz cuya malla tiene una apertura de 9,5mm (3/8") y la mayor porción de las partículas atraviesan la malla de 4,75mm y son acumuladas en la malla 75 μm .

2.4.3 Clasificación por su forma y textura

Las características de textura y forma superficial de los áridos son de gran importancia para la mezcla de hormigón en condiciones fresco y endurecido. De acuerdo con su textura las partículas angulares, alargadas o ásperas necesitan una gran cantidad de agua y cemento para conseguir un hormigón trabajable y conservar la misma relación agua/cemento; a diferencia de las partículas redondas, lisas y compactas. No obstante, al obtener una buena granulometría para los agregados

triturados y no triturados se logra producir hormigones con una resistencia similar, sin alterar el volumen de cemento. [7]

2.5 Propiedades de los áridos

En general, es importante mencionar las propiedades físicas y mecánicas que presentan los áridos, las cuales permiten realizar un análisis que permite conocer sus resultados al momento de realizar el cálculo de las mezclas de hormigón.

2.5.1 Propiedades físicas

2.5.1.1 Granulometría

Define el rango de los tamaños de partículas presentes en la masa de agregado, el rango de los tamaños está en función de un análisis granulométrico cuyo propósito es dividir una muestra de material en porciones del mismo tamaño, la cual se define como granulometría; este concepto parte de colocar una determinada cantidad de material en el equipo de tamizaje; en el cual se colocan los tamices con las aberturas de mayor a menor tamaño considerando lo estipulado en las normas antes mencionadas. [1]

2.5.1.2 Módulo de Finura (MF)

Es un proceso rudimentario el cual ayuda a determinar qué tan grueso o fino es el material. Para la obtención de este valor se realiza la suma de los porcentajes de áridos retenidos y que son recolectados en las series de mallas, empezando con la malla #100 hasta el mayor tamaño encontrado, dividido por cien. [1] En el diseño de mezclas desarrollado mediante el ACI este parámetro es indispensable.

2.5.1.3 Tamaño máximo del agregado

La máxima dimensión del agregado se define como un factor que resulta del análisis granulométrico y de acuerdo con la norma INEN NTE 696 es la abertura de menor tamaño del tamiz la cual concede el paso del 100% del material. [7]

2.5.1.4 Tamaño máximo nominal del árido

Uno de los factores que resulta de un análisis granulométrico es el tamaño nominal, el mismo que resulta ser la medida promedio de las partículas con mayor tamaño dentro de un volumen de una fracción gruesa, para determinar la abertura inmediatamente superior del tamiz se considera aquella que retiene un porcentaje acumulado del 15% o más. [1]

2.5.1.5 Absorción y densidad

Todas aquellas características físicas de los agregados resultan del origen de su roca madre. La propiedad de absorción se define como la capacidad que tiene el material de retener al agua en sus poros saturables. Esta propiedad se calcula mediante la desigualdad de pesos, considerando el saturado, superficialmente seco y el peso seco, el mismo que se representa en porcentaje. [1]

La densidad se calcula en función del compuesto del árido y el porcentaje de partículas que ocupa el espacio; el cual puede variar dependiendo de la porosidad del material, para ello se rige en la norma INEN NTE 856 y 857 la misma que se enumera a continuación: [1]

- 1) Densidad.
- 2) Densidad seca al horno (SH).
- 3) Densidad saturada superficialmente seca (SSS).
- 4) Densidad aparente.
- 5) Densidad relativa.

- 6) Densidad relativa seca al horno (SH).
- 7) Densidad relativa saturada superficialmente seca (SSS).
- 8) Densidad relativa aparente. [8]

2.5.1.6 Densidad del árido fino

La INEN NTE 856 describe detalladamente un proceso gravimétrico y volumétrico, los cuales son necesarios para estimar la densidad del agregado fino; el proceso recomendado según los lineamientos de la norma es el ensayo gravimétrico, que se describe a continuación:

- a) De acuerdo con lo estipulado en la norma INEN NTE 0695, se toma la muestra del árido fino la cual se reduce hasta lograr tener una cantidad de material igual a 1 kg, acogiendo el proceso mencionado en la INEN NTE 2566.
- b) Previamente se requiere saturar la muestra debido que la arena presenta porosidad, para ello se deja reposar durante 24 horas en un envase con agua cubriendo la masa total.
- c) Luego, se filtra el agua de parte superior sin producir la pérdida del árido y se lo sitúa en una superficie no absorbente y plana y con una brisa de temperatura alta se logra absorber la humedad superficial (SSS) de las partículas.
- d) Posteriormente, el cono metálico truncado observado en la Figura 2-1, se ubica en una superficie plana no absorbente, con el orificio menor hacia arriba; y sosteniéndolo firme sobre la superficie se introduce el árido en SSS. Una vez que el árido se encuentra en el cono se compacta con un pistón de 340 gr, dejándolo caer por 25 veces a una altura inferior a 5mm. Después de compactar el material se levanta el cono verticalmente. De esta manera se determina si el material adquirió las características de saturado y superficialmente seco (SSS), cuando un lado del árido se derrumba. [8]



Figura 2-1 Cono empleado en el cálculo del estado SSS en la arena. Fuente: El Autor

- e) Por último, se pesa una probeta o frasco (picnómetro) agregando agua hasta su marca de calibración. Se toman 500 gr de material se deposita en el fondo del picnómetro, se agrega agua dejando libre la marca de calibración para que permita sacudir el recipiente; de esta manera suprimir el aire dentro de la muestra. Luego, se añade agua dejando libre la marca, posteriormente se anota el peso. Y finalmente se retira la arena junto con el líquido, cuidadosamente se retira el excedente de agua y se coloca el material en el horno durante un día para calcular el peso seco del material.

Para el cálculo se emplea las siguientes ecuaciones:

$$(SH) = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Ec. 2-1 Densidad relativa árido fino
(SH)

$$(SSS) = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Ec. 2-2 Densidad relativa árido fino
(SSS)

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B+A-C)} \quad \text{Ec. 2-3 Densidad relativa aparente árido fino}$$

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(B + S - C)} \quad \text{Ec. 2-4 Densidad (SH) árido fino}$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 S}{(B + S - C)} \quad \text{Ec. 2-5 Densidad (SSS) árido fino}$$

$$\text{Densidad aparente (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(B + A - C)} \quad \text{Ec. 2-6 Densidad aparente árido fino}$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S - A)}{A} * 100 \quad \text{Ec. 2-7 Absorción árido fino}$$

Donde:

A = Masa del espécimen SH (gr).

B = Masa del picnómetro agregando agua, dejando libre la marca de calibración (gr).

C = Masa del picnómetro lleno con el espécimen y añadiendo agua hasta su marca de calibración (gr).

S = Masa del espécimen SSS (gr).

2.5.1.7 Densidad del árido grueso

En el cálculo de la densidad del agregado grueso se considera las especificaciones descritas en la norma INEN NTE 857, la cual indica el procedimiento gravimétrico mencionado a continuación:

- a) La toma del material grueso se realiza de manera semejante al procedimiento del material fino, con la diferencia que la muestra mínima depende del máximo tamaño del árido, detallado en la Tabla 2-2, teniendo en cuenta que se descartará el árido que atraviese el tamiz #4.

Tabla 2-2 Masa mínima del material de ensayo. [9]

Tamaño Nominal Máximo (mm)	Masa Mínima del espécimen para la Prueba (kg)
≤ 12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50,0	8
63,0	12
75,0	18
90,0	25
100,0	40
125,0	75

- b) Una vez reducida la muestra se satura los poros, esto se logra dejando el material bajo el agua por 24 horas, luego de haber pasado un día se aparta el material del agua y se absorbe la humedad superficial con un paño, el material se torna brillante respecto al agua superficial (condición SSS).
- c) Se apunta el valor de la masa del ensayo en condiciones SSS.
- d) Seguidamente registrado el valor, se ubica la muestra en estado SSS dentro de una canastilla. La balanza necesariamente debe permitir que la canasta este colgado para sumergirla completamente dentro del agua y así conocer la masa del material en condiciones SSS.
- e) Por último, se retira el material y se coloca en el horno para secarlo con una temperatura de 110°C durante 1 día; se registra el dato del peso seco del material y se calculan las densidades con los datos alcanzados a través de las ecuaciones descritas a continuación:

$$(SH) = \frac{A}{(B - C)}$$

Ec. 2-8 Densidad relativa árido grueso (SH)

$$(SSS) = \frac{B}{(B - C)}$$

Ec. 2-9 Densidad relativa árido grueso (SSS)

$$(SSS) = \frac{A}{(A - C)}$$

Ec. 2-10 Densidad relativa aparente árido grueso

$$Densidad (SH), \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(B - C)}$$

Ec. 2-11 Densidad árido grueso (SH)

$$Densidad (SSS), \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 B}{(B - C)}$$

Ec. 2-12 Densidad árido grueso (SSS)

$$Densidad aparente, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(A - C)}$$

Ec. 2-13 Densidad aparente árido grueso

$$Absorción, \% = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Ec. 2-14 Absorción árido grueso

En donde "A" representa la masa en aire del material seco al horno, el término "B" la masa en aire del material saturado superficialmente seco y por último "C" indica la masa aparente en agua del espécimen saturado.

2.5.1.8 Masa unitaria

Se determina mediante la correlación establecida entre el peso de la muestra y el volumen ocupado, dentro de un recipiente de volumen conocido con anterioridad. Para determinar el resultado se debe tener en cuenta la composición del material, el nivel de adaptación de los gránulos en el envase, ya que a su vez está en función de la textura y forma del árido, su dato se calcula mediante la Ec. 2-15: [1]

$$Masa unitaria = \frac{Peso seco del material}{Volumen del recipiente}$$

Ec. 2-15 Masa unitaria.

El volumen del envase incluye el volumen de los espacios vacíos, de la masa sólida del árido y los poros saturados y no saturados. Actualmente se establecen dos tipos de masa unitaria los cuales se describen a continuación [1]:

2.5.1.9 Masa unitaria compactada

Se refiere a la forma de ajustarse de las partículas del material al momento de ser compactadas, permitiendo una mejor consolidación y aumento de la masa unitaria. Este factor es de gran importancia debido que por medio de este se calculan los volúmenes absolutos de áridos para el cálculo en el diseño de las mezclas. [1]

Para el cálculo de este parámetro, la norma indica que se debe llenar un envase con un volumen conocido en 3 capas con una misma altura, a las cuales se les da 25 golpes de manera uniforme con una varilla de acero que tiene un diámetro de 16mm y punta redondeada. Para calcular la masa del árido que contiene el envase se mide la masa y se la divide para el volumen del mismo.

2.5.1.10 Masa unitaria suelta

Cuando el agregado está en un estado de reposo se conoce como masa unitaria suelta, debido que la masa unitaria es menor con relación al volumen que ocupa. Este parámetro es de gran importancia al momento de trabajar los agregados, por ejemplo, el transporte se realiza en estado suelto y por volumen, de modo que el volumen de material a consumir y transportar sea mayor a la capacidad de áridos dentro del hormigón a elaborar, ubicar y compactar. [1]

El cálculo de la masa unitaria suelta se realiza de igual manera que la masa unitaria compactada; con la excepción que el agregado es colocado sin compactación, soltando el material a una altura no mayor a 5cm. [9]

2.5.2 Propiedades mecánicas

2.5.2.1 Resistencia a la compresión

Es la principal propiedad mecánica del hormigón. Para la determinación de dicha propiedad se realiza a través de la toma de muestras y especímenes para fallar cuando son sometidos a ensayos mecánicos. Las fallas pueden presentarse en diferentes casos como: falla en la división del árido y la pasta (adherencia), falla de la pasta y falla del árido. En el caso de los hormigones con un peso normal, se presenta una resistencia mayor de los áridos en relación a la mezcla de cemento, por ello no se presenta alteraciones en su resistencia; no obstante, al presentarse el caso de hormigones de resistencia alta o baja, los agregados tienden a fallar antes que la pasta, produciendo conflictos al conjunto. [1]

2.6 Tipo de fallas

Es necesario tener en cuenta la dirección de las líneas de falla con el objeto de pronosticar los tipos de esfuerzos producidos en el proceso de carga. En la Figura 2-2 puede identificar las superficies de falla necesarias para conocer ciertas propiedades.

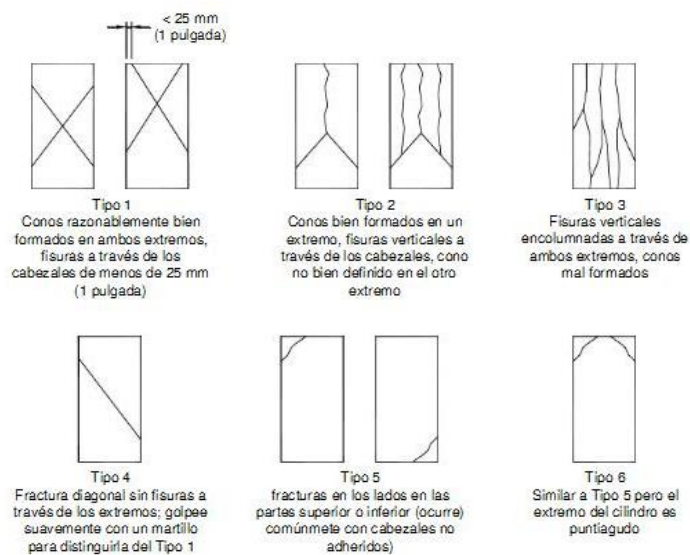


Figura 2-2 Tipo de fallas del hormigón. [9]

3 CAPITULO III: ÁRIDO RECICLADO

La norma ASTM C-125-03 conceptualiza árido como un elemento granular como piedra triturada, grava, arena, o escoria de hierro de alto horno, se emplea como recurso cementante para elaborar cemento hidráulico, hormigón o mortero. [9]

El árido reciclado, al estar conformado por partes de árido natural, es aplicable dentro de la ASTM C-125-03 como piedra triturada. [10]

3.1 Propiedades de los áridos reciclados

Estos áridos provienen de ciertos procesos de elementos inorgánicos empleados en acciones de construcción, o son considerados como desechos producto de la demolición más conocidos como escombros, aquellos que se trituran, con el objetivo de ser reutilizados. [10]

Las propiedades que poseen los materiales reciclados en relación a los naturales, presentan una diferencia en los resultados, debido a su calidad, la misma que está relacionada con diversos elementos como el grado de impurezas.

3.1.1 Granulometría

La norma ASTM C-136 determina a la granulometría como la distribución del tamaño de las partículas de un árido, el cual se fundamenta en separar el agregado en varias porciones de partículas de similar tamaño, a través del tamizado y determinar el porcentaje en que ingresa en el agregado. [10]

Mediante el análisis granulométrico se consiguen las curvas granulométricas, las cuales son gráficas con los datos de abertura del tamiz, estos se representan mediante una escala logarítmica en las abscisas y el porcentaje acumulado de material que pasa por cada una de las mallas en las ordenadas. [1]

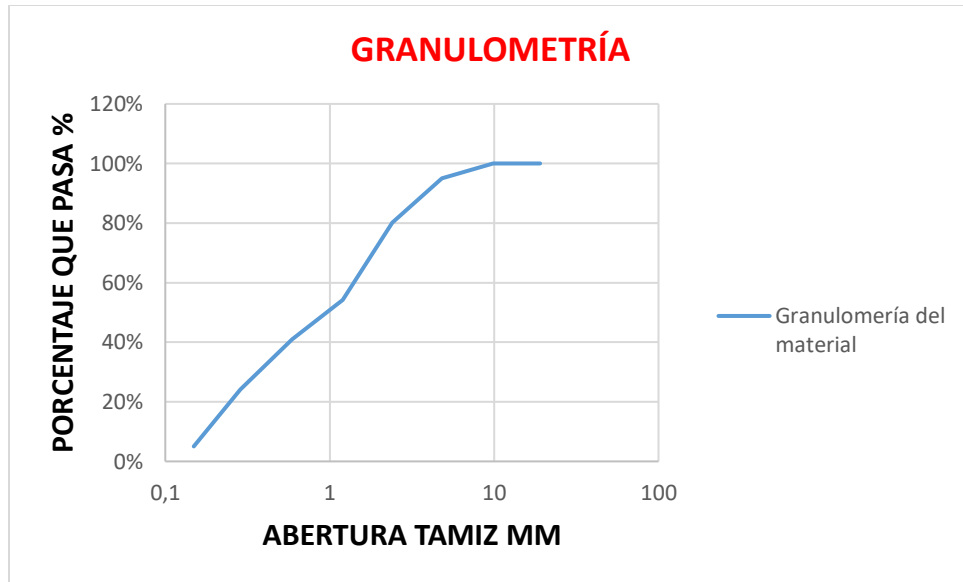


Figura 3-1 Curvas de distribución del tamaño de partículas. Fuente: El Autor.

El análisis granulométrico se fundamenta en colocar una muestra significativa de árido por un conjunto de tamices que van colocados de forma ordenada uno sobre otro, con la abertura mayor en su zona superior y los de menor en el inferior, con el objeto de establecer la distribución de tamaños del árido. [1]

El procedimiento para la trituración seleccionado y el tamizado influyen en la granulometría del árido reciclado, de igual manera, depende de la formación del material; ejemplo, la dureza. [11]. La Asociación Europea de Demolición, determina que los áridos triturados presentan una aceptable gradación, comprendido en un intervalo de 70% a 90%, esta corresponde a la fracción gruesa; en donde se puede identificar a través de una curvatura granulométrica idónea que se alinea a las estipulaciones descritas por la normativa internacional [12].

3.1.2 Forma y textura

Los áridos reciclados presentan una textura diferente en relación de los áridos naturales, esta se presenta rugosa y porosa debido a la manera en la que se adquiere este material y por el mortero que se encuentra en su superficie. Esta propiedad ayuda a que el hormigón que se fabrica con

dichos áridos presente afecciones en las cualidades del hormigón en condición fresca, incrementando el agua requerida para adquirir una eficiente trabajabilidad en la mezcla. [13]

En general se puede decir, la textura y forma de los áridos reciclados requieren especialmente de la forma de trituración empleada para su obtención, además su propia naturaleza. Se logra identificar un aumento de los índices de forma cuando el árido estudiado obtiene un aumento en la cantidad de material cerámico; debido que este posee una mayor fragilidad y tiende a descomponerse en formas menos cúbicas. [13]

3.1.3 Densidad y absorción

Los agregados naturales tienen una mayor densidad en relación a los reciclados, debido que los áridos reciclados presentan el mortero adherido y su textura es más porosa. La investigación de varios autores demuestran que esta característica muestra una disminución entre el intervalo de 5% al 10% en relación con los agregados naturales, en este punto intervine el procedimiento de trituración aplicado en su fabricación, la graduación y el tamaño original del árido; debido que, mientras el tamaño disminuye se puede identificar un aumento en el volumen de mortero adherido. [14]

La absorción de los materiales reciclados es superior en relación a los áridos naturales, obteniendo datos significativamente mayores; esto se produce por la adherencia del mortero que se localiza superficialmente en el material. En varios ensayos las absorciones experimentales por los áridos naturales establecen un intervalo de 0% a 4%; mientras que estudios realizados por el autor Castaño exponen que la absorción de los materiales reciclados se encuentra entre 3% y 13%, mostrando un incremento considerable respecto al árido natural. [15]

La densidad y absorción son propiedades muy importantes las mismas que sirven para catalogar la calidad del material, debido que estos datos son relevantes e indispensables para determinar la dosificación ideal de la relación agua/cemento; puesto que a mayor absorción aumenta la necesidad de requerir más agua, debido a la elaboración del material como en la fabricación del hormigón [11]

3.1.4 Contenido de contaminantes e impurezas

La cantidad de impurezas y contaminantes son un factor importante en la elección del árido reciclado, ya que influyen de manera significativa en las propiedades de endurecido durante la elaboración de nuevos hormigones. Los elementos contaminantes presentes pueden ser: yeso, plásticos, aluminio, madera, materia orgánica, ladrillo, vidrio, entre otros. [15]

El alto contenido de impurezas produce una menor resistencia mecánica del hormigón; sin embargo, al identificar contaminantes de arcilla y cal se tiene una tendencia mayor. Estos contaminantes requieren de manera significativa de la calidad y naturaleza de los áridos reciclados, por ese motivo se propone una destrucción selectiva y separación en la fuente de donde provienen. [15]

Cuando se trata de áridos reciclados de mampostería, ciertos autores mencionan una influencia poco favorable en la resistencia mecánica de un hormigón con inconvenientes de expansión, ya que estos adquieren una afección mayor cuando existen ciclos de hielo-deshielo. De la misma manera, el yeso produce afecciones por causa de la madera o sulfatos, división superficial y arenas arcillosas con retracciones elevadas. [16]

3.2 Propiedades del hormigón reciclado

3.2.1 Manejabilidad

La manejabilidad en concretos reciclados disminuye en relación con el hormigón convencional [17]; lo cual se ocasiona por la presencia de altos valores en su absorción del agua de la dosificación en su zona porosa, produciendo una disminución en su trabajabilidad respecto al hormigón convencional; siendo muy notorio en hormigones con sustituciones $\geq 50\%$. [18]

3.2.2 Estado endurecido

3.2.2.1 Esfuerzo a la compresión

El esfuerzo de compresión en los concretos reciclados es el factor importante en el estudio del rendimiento del hormigón [19], y requiere del proceso de preparación, materiales, temperatura, edad y áridos utilizados. Este ensayo es empleado para la elaboración de cálculos estructurales de edificios, puentes y otros elementos similares. El esfuerzo a compresión es la sollicitación máxima que puede soportar un hormigón que se encuentra sometido a una carga axial. [20]

De igual manera, las características químicas y físicas de los áridos producto de los desechos constructivos y las cantidades en la dosificación del concreto, muestran el resultado de resistencia que se presentan en las obras civiles. La pérdida del esfuerzo a la compresión depende del porcentaje de áridos reciclados que se añadan a la mezcla. [10]

3.2.3 Propiedades de durabilidad

A lo largo del tiempo las estructuras de hormigón reciclado pueden presentar problemas o inconvenientes, lo cuales se originan por la escases en su conocimiento frente a los factores que afectan la durabilidad, debido que la mayor parte de las investigaciones que se desarrollan sobre hormigones reciclados se enfocan en las características mecánicas, del mismo modo disminuye al

momento de evaluar las propiedades a largo plazo del concreto que llegarían alterar de manera notoria el desempeño de las estructuras fabricadas con hormigón reciclado. [21]

La durabilidad del hormigón según los autores se entiende como la facultad para soportar perjuicios inherentes al lugar en donde son utilizados y reflejan las características más relevantes en el futuro como la permeabilidad, porosidad y penetración, dado que estas permiten determinar el rendimiento del hormigón a tolerar el flujo a través de la parte interna de su estructura. [21]

3.2.4 Porosidad

Las mezclas de hormigón en las cuales el reemplazo del material natural por el reciclado aumenta, se observa un crecimiento en el número de vacíos existentes en la estructura; Zaharieva en su investigación determina que al sustituir el 100% de áridos de origen natural por áridos reciclados la porosidad del hormigón presenta un aumento. Este incremento en la cantidad de vacíos del concreto reciclado se produce por la presencia de mortero aglutinado a los áridos reciclados que incrementa su absorción de agua significativamente en los áridos, esto provoca que el hormigón aumente su permeabilidad a los fluidos en comparación a un hormigón convencional. [22]

3.3 Proporcionamiento para el diseño de hormigón reciclado

Para dosificar un hormigón elaborado con áridos reciclados, se emplean metodologías habituales para la elaboración de hormigones convencionales. Cabe recalcar que para dosificar el hormigón con agregado reciclado es necesario tener en cuenta el volumen reemplazo de agregado natural por agregado reciclado, debido que esta sustitución actúa al momento de realizar el ensayo de esfuerzo a compresión. [10]

Se recomienda efectuar una observación detallada de la absorción, densidad, y humedad de los materiales reciclados, a lo largo del procedimiento de producción y acopio del material, con el

objeto de garantizar las cualidades del hormigón realizado con materiales reciclados, debido que sus características influyen de manera directa en la cantidad de agua/cemento necesario y la cantidad máxima de reemplazo del material natural por el reciclado. [23]

3.3.1 *Contenido de agua*

Para la elaboración de un concreto reciclado la cantidad de agua aumenta respecto a un hormigón convencional, este aumento está en un intervalo de 5% a 10% en proporción al agua requerida para la producción de un hormigón convencional; debido a las características que presentan los áridos como una absorción mayor, su matriz porosa y a una elevación en la cantidad de vacíos, esto permite un material mayor permeabilidad. [24]

3.3.2 *Contenido de cemento*

El contenido de cemento requiere un incremento en su dosificación en comparación a la de un hormigón convencional, con el propósito de evitar diferencias notorias presentes en el concreto reciclado en diferencia al convencional. Para su aumento se debe considerar la cantidad de reemplazo de los materiales naturales por los reciclados; según diversas fuentes, cuando se posee una sustitución total de 100% de árido natural por árido reciclado grueso, se produce una elevación en su dosificación de cemento, aproximadamente 5%. De igual manera, en el caso de existir reemplazos del árido grueso y fino por árido reciclado, este volumen de cemento se eleva significativa, al menos 15% en la dosificación. [24]

3.3.3 *Contenido de árido reciclado*

En la elaboración de la mezcla es importante considerar la cantidad de árido natural que será reemplazado por material reciclado, debido a que se encuentra en función a las características del hormigón en condición fresca como la exudación, manejabilidad, endurecido y a futuro como la durabilidad. [24]

Se debe realizar un reemplazo total de árido grueso por árido reciclado, debido a que las características del concreto exhiben una baja importante, aumentando la afectación en el módulo de elasticidad e incrementando la retracción; además el esfuerzo de flexión y compresión presentan una baja del valor aproximado de un 15%. Del mismo modo indica que, al generar un hormigón de un máximo de 50% de material reciclado, se logra identificar mínimos aumentos en la retracción del hormigón, mermas en el módulo de elasticidad y datos análogos del esfuerzo a la flexión y compresión en relación a un hormigón común. [10]

4 CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

En este apartado se detalla el proceso aplicado en la fabricación del hormigón aplicando áridos reciclados de escombros. Inicialmente se determinó el número de cilindros para el ensayo, los valores de sustitución y posteriormente se caracterizó de los materiales empleados en la fabricación de un hormigón reciclado; luego se determinó el volumen de material en la dosificación y se fabricaron los concretos mediante varias relaciones agua/cemento e iterando el porcentaje de material natural por reciclado; cabe recalcar que el árido fino natural se lo empleó de manera habitual.

4.1 Delimitación

Los residuos producto de la construcción empleados para la elaboración y ensayos para un hormigón ecológico se obtuvieron de la escombrera municipal ubicada en el cantón Azogues, Provincia del Cañar.

4.2 Proceso utilizado

Con el objeto de cumplir con las actividades planteadas con anterioridad se desarrolló el siguiente procedimiento:

- Caracterización de los materiales
 - ✓ Muestreo del material
 - ✓ Clasificación y trituración del árido
 - ✓ Caracterización áridos
- Dosificación de los especímenes
- Elaboración, vaciado y curado de los especímenes
- Características de los hormigones fabricados

Es necesario indicar que para el diseño de los hormigones los intervalos de reemplazo del material reciclado por el natural fueron de 25%, 50% 75% y del 100%; con el fin de estudiar su comportamiento según el porcentaje de sustitución.

4.3 Cementos para la elaboración de hormigón

Actualmente existen cinco fábricas cementeras operativas en el Ecuador, de las cuales dos son empresas que pertenecen a la compañía UCEM C.E.M, Por otra parte, las empresas restantes son privadas y sus plantas de producción se localizan en Latacunga y Guayaquil (Holcim); Otavalo (UNACEM) y Cuenca (ATENAS); sin embargo, estas empresas mencionadas, las marcas más comercializables en el medio en donde se realizó esta investigación son: Holcim, Guapán y Atenas.

4.4 Fuentes de Áridos

Los áridos aplicados en este estudio son principalmente de las canteras que extraen el material del río Cuenca, del cantón Santa Isabel, estos son transportados y comercializados en el cantón de Azogues, mientras que los áridos reciclados se obtuvieron de la escombrera municipal del cantón en mención.

4.5 Árido reciclado

Los áridos reciclados aplicados en estos ensayos provienen de procesos de demolición de construcción depositados en la Escombrera Municipal de la ciudad de Azogues, de acuerdo a la información facilitada por el departamento de Control Urbano del Municipio de Azogues, de tal manera, que a lo largo del año 2019 se otorgaron 350 permisos de construcción mayor. Por ello, se determina que a la escombrera cada mes llega un promedio de 200 metros cúbicos, dependiendo el número de permisos que son emitidos. [24]

4.5.1 Recolección del material

Cabe recalcar que en cada viaje que llega a la escombrera, no únicamente se pueden encontrar desechos de construcción como: ladrillo, concreto, tejas, maderas, cartón, papel, plástico, vidrios, suelo, yeso, hormigón, metales y áridos; por otra parte, se pudo observar residuos ajenos a la construcción como: desechos plásticos, textiles y orgánicos.

Durante la recolección del material, debido a la dificultad de trituración, se excluyeron materiales como: cartón, maderas, plásticos, vidrio y papel; debido que estos materiales necesitan un proceso de producción más avanzado.



Figura 4-1 Recolección de material. Fuente: El Autor.

4.5.2 Trituración del material

Luego de la recolección de los escombros en sitio se empleó un proceso de trituración manual, mediante un combo de 4 libras hasta obtener un tamaño adecuado para la elaboración de hormigones.

En este proceso de trituración manual se observó diferentes tipos de materiales entre los cuales se puede mencionar: cerámica de diferentes espesores, pedazos de ladrillos, tejas, bloques y hormigón.

Las normativas INEN 686, 862, 859, 858 se emplearon en la aplicación de los materiales naturales y reciclados con el propósito de identificar las características y uniformidad durante su aprovechamiento, estos fueron desarrollados en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Suelos de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.

En la Figura 4-2 se indica el procedimiento de trituración manual que se empleó con el árido reciclado luego de su extracción, como se puede observar existe una mezcla de todo tipo de material de construcción, así pues, los residuos de bloque y ladrillo fueron fáciles y rápidos de triturar; sin embargo, la producción de los residuos de cerámica requirió un mayor esfuerzo de trituración debido a la dureza de este.



Figura 4-2 Trituración del material reciclado. Fuente: El autor

4.5.3 Volumen de escombros

Para determinar la composición de los escombros que llegan, se realizó una visita en campo, donde se observó que de 1 metro cúbico de escombros llega diferentes tipos de materiales, posteriormente se realizó un cálculo del porcentaje de cada uno de los materiales.

Primeramente, se recolectaron un determinado número de recipientes con un volumen conocido, a fin de obtener un metro cúbico de material de escombros; una vez definido el volumen de una muestra de materiales de escombros recolectados directamente de la escombrera municipal se procedió a clasificar según su procedencia, por consiguiente, en la Figura 4-3 se puede observar la clasificación y cálculo de volúmenes de cada uno de los materiales encontrados.

Posteriormente se realizó el conteo de los recipientes clasificados por tipo de material, en función del número de recipientes de cada uno de los materiales encontrados y conociendo de antemano el volumen de los mismos se determinó el porcentaje que existe en un metro cúbico de escombros, así pues, en la Tabla 4-1 se puede observar la clasificación de cada uno de ellos.

Tabla 4-1 Composición del material. Fuente: El Autor.

Material	Cantidad (%)
Cerámica	0.50
Ladrillo	0.20
Bloque	0.15
Hormigón	0.15
TOTAL	1.00



Figura 4-3 Cantidad de material. Fuente: El Autor.

4.6 Materiales y caracterización

En el transcurso de la investigación se utilizaron áridos reciclados producto de la construcción, demolición y materiales naturales necesarios para la fabricación de hormigones; estos materiales se detallan a continuación:

4.6.1 *Cemento*

El cemento utilizado en este estudio pertenece a la marca Guapán de tipo GU con alta durabilidad, la selección de este cemento depende de la disponibilidad y su amplio uso en condiciones óptimas de calidad y muestreo.

4.6.2 *Áridos*

Generalmente, en un trabajo de investigación se busca obtener buenos resultados, por lo que se requiere mayor calidad de pruebas posible en los áridos, para descartar cualquier variable que pueda interferir en los mismos.

Por lo antes expuesto, la probabilidad de tener áridos que cumplan con la normativa de calidad que presente valores verdaderamente confiables, acortando la posibilidad de que el ensayo fracase a causa de áridos mal gradados que contengan un alto grado de impurezas. Generalmente las especificaciones de construcción toman como criterio para la aprobación de los agregados del hormigón la aplicación de la “ASTM C33” ya que permite referenciar de manera similar a la norma técnica INEN NTE 872, que actualmente está en vigencia en el Ecuador.

4.6.3 *Muestreo*

Para determinar la cantidad de materiales empleados en los ensayos, se realiza el método conocido como cuarteo, el mismo que se describe en la normativa INEN NTE 2566, en el cual se indica el espécimen en la superficie a nivel, posteriormente se homogeniza el material y a través de una

paleta se procede a hacer el cuarteo como se indica en la Figura 4-4, una vez realizado el cuarteo se consideró los cuartos opuestos de la muestra total.



Figura 4-4 Cuarteo del árido fino. Fuente: El autor.

4.7 Cálculo de humedad natural de los materiales

Este proceso se desarrolla cumpliendo lo descrito en la norma NTE INEN 0862; esta detalla el procedimiento correspondiente y la aplicación de la fórmula:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad \text{Ec. 4-1 Humedad del árido [25]}$$

En la Ec. 4-1 se obtiene la Humedad del árido en porcentaje (P), mediante el empleo de factores necesarios como es el peso del árido húmedo (W) y árido seco en el horno (D).

La determinación de la humedad del árido es necesario cuando se elabora un cierto tipo de hormigón, con el propósito de posteriormente corregir dicha humedad, a través de una metodología precisa como la de la estufa, el cual da a conocer en un tiempo relativamente corto y con una buena aproximación la humedad del árido.

4.8 Granulometría

Es una de las características más indispensables en el estudio de los agregados ya que influye directamente en el comportamiento del concreto. Una buena gradación le permite una trabajabilidad eficaz del hormigón fresco y resistencias mecánicas aceptables al encontrarse en estado endurecido. En el cálculo y diseño se establecen estándares para que los agregados utilizados obtengan propiedades físicas, químicas y mecánicas aceptables. Actualmente en el Ecuador, la “INEN NTE 872” detalla los requerimientos granulométricos que los agregados deben practicar y que son de estricto cumplimiento.

El tamaño de muestra para la granulometría del árido fino no debe ser menor a 300 gramos, por lo que en este ensayo se trabajó con 528,33 gr, luego se debe seleccionar los tamices necesarios y se coloca en la tamizadora entre 1 minuto a minuto y medio.

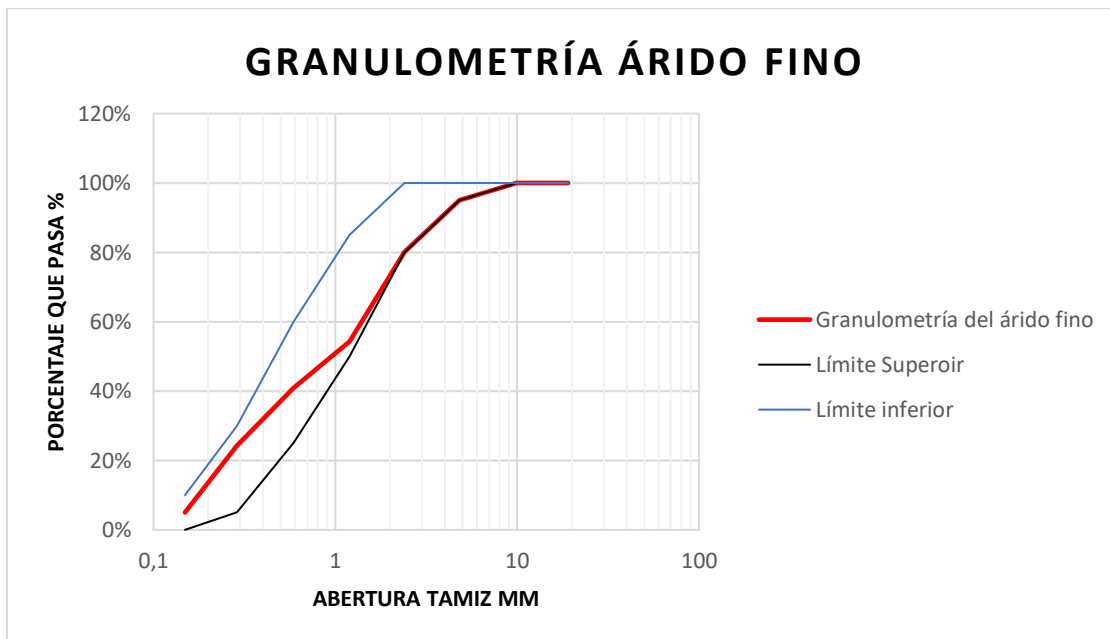


Figura 4-5 Curva granulométrica árido fino. Fuente: El autor

En la Figura 4-5 se observa el comportamiento granulométrico del árido, el cual se encuentra dentro de los requerimientos granulométricos que establece la norma INEN NTE 872, la Tabla 4-

2 se detalla el módulo de finura ligeramente grueso que presenta el árido el mismo que posee un valor de 3. La normativa ACI recomienda que, para la aplicación en la metodología de diseño de mezclas, el valor del módulo de finura debe estar entre 2,3 y 3,1; en el presente caso de estudio se determinó un valor de 3.0 el cual se identifica dentro del rango indicado en las especificaciones granulométricas.

Tabla 4-2 Granulometría Árido Fino. Fuente: El Autor.

Granulometría Arena INEN 696:2011 ASTM C 136-05										
#TAMIZ		Peso Acumulado (gr)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%Pasa	Norma INEN 872	Norma INEN 872	Cumple Norma INEN 872	
ISO	ASTM (mm)									
3/4	19.05	0	0.00	0.00%	0.00%	100	100	100	✓	
1/2	12.5	0	0.00	0.00%	0.00%	100	100	100	✓	
3/8	9.9	0	0.00	0.00%	0.00%	100	100	100	✓	
4	4.80	26.00	26.00	4.92%	4.92%	95	95	100	✓	
8	2.4	104.78	78.78	14.92%	19.84%	80	80	100	✓	
16	1.2	241.5	136.72	25.89%	45.73%	54	50	85	✓	
30	0.59	312.12	70.62	13.37%	59.10%	41	25	60	✓	
50	0.287	400.24	88.12	16.69%	75.79%	24	5	30	✓	
100	0.149	501.54	101.30	19.18%	94.97%	5	0	10	✓	
Fondo	Fondo	528.1	26.56	5.03%	100.00%	0				
TOTAL			528.10gr							
Masa inicial muestra		528.33gr								
% de pérdidas (Error)		0.04%								
Módulo de Finura		3.0			Ligeramente grueso			CUMPLE		

En la Tabla 4-3 se detalla la cantidad de material grueso a utilizar para el ensayo, la misma que está en función del tamaño máximo del agregado. En el árido grueso la especificación granulométrica está en relación con el tamaño máximo del árido, en el presente estudio es de 20 mm el mismo que se encuentra en un intervalo de 19,00 mm y 25,00 mm según lo establecido en la tabla de la norma

estos valores indican el empleo de 5 a 10 kg de masa inicial, para el estudio se utilizó 9,697 kg (9697 gr), luego se seleccionó los tamices adecuados para el ensayo.

Tabla 4-3 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso. [9]

Tamaño Nominal Máximo (mm)	Tamaño del espécimen del Ensayo Mínimo (kg)
9,50	1
12,50	2
19,00	5
25,00	10
37,50	15
50,00	20
63,00	35
75,00	60
90,00	100
100,00	150
125,00	300

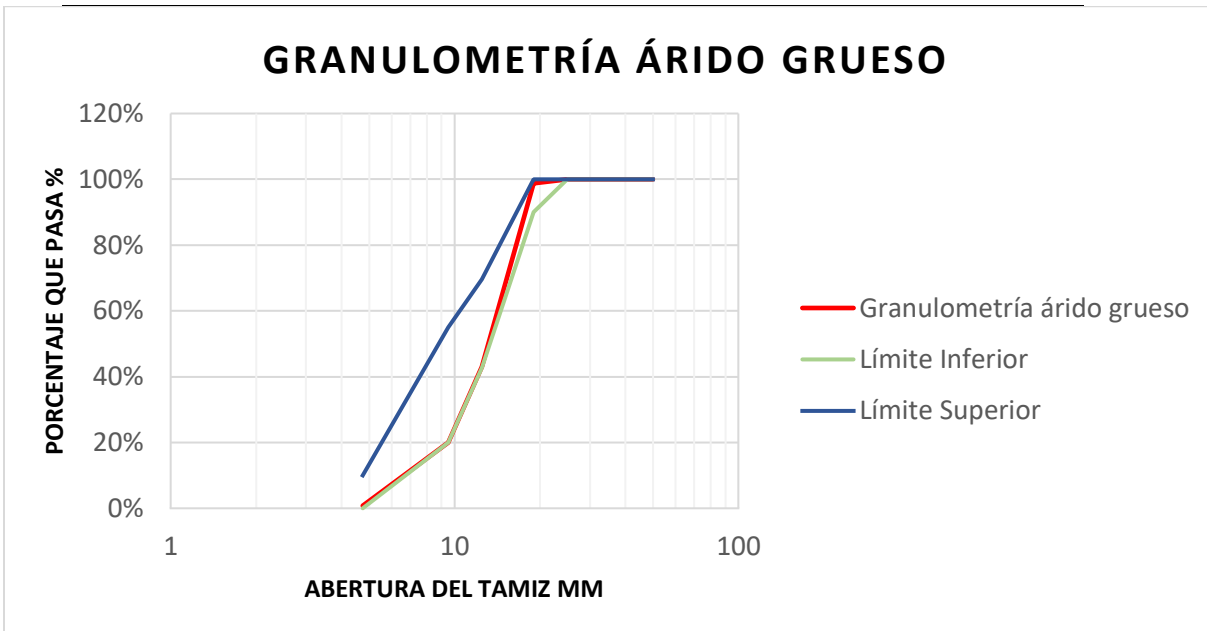


Figura 4-6 Curva granulométrica árido grueso. Fuente: El autor.

En la granulometría del árido reciclado se consideró como un árido grueso ordinario siguiendo las mismas condiciones que estipula la normativa, con la excepción que se realizó la gradación del material mediante la tabla de la INEN NTE 872.

Para la obtención de esta curva granulométrica, acorde con las necesidades para el diseño, se realizaron ensayos de granulometría en laboratorio, los mismo que se pueden visualizar desde el Anexo 7-3 hasta el Anexo 7-5.

Debido al proceso de trituración y la adherencia del mortero, los áridos reciclados presentan de forma angulosa. En la Tabla 4-4 se especifica la granulometría de árido reciclado el cual se consideró una masa inicial de 8380 gr de acuerdo con el tamaño máximo del material, y mediante la gradación del material la curva granulométrica cumple de acuerdo a la norma.

Tabla 4-4 Granulometría del árido reciclado. Fuente: El Autor.

GRANULOMETRÍA ÁRIDO GRUESO (RECICLADO)									
Árido Grueso									
#TAMIZ	Peso	Peso	%	% Retenido	% Pasa	Norma	Cumple		
ISO	ASTM	Acumulado	Retenido	Retenido	Acumulado	GRADACION	Norma	INEN 872	Cumple
	(mm)	(gr)	(gr)				INEN 872		INEN 872
2	50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100	100	100	✓
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100	100	100	✓
1	25	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100	90	100	✓
3/4	19	2700.00	2700.00	32.23%	32.23%	68	40	85	✓
1/2	12.5	6840.00	4140.00	49.42%	81.64%	18	10	40	✓
3/8	9.5	7760.00	920.00	10.98%	92.62%	7	0	15	✓
#4	4.75	8310.00	550.00	6.56%	99.19%	1	0	5	✓
Fondo	Fondo	8378.00	68.00	0.81%	100.00%				CUMPLE
TOTAL		8378.00gr							
Masa inicial muestra		8380.00gr							
% de pérdidas (Error)		0.02%							

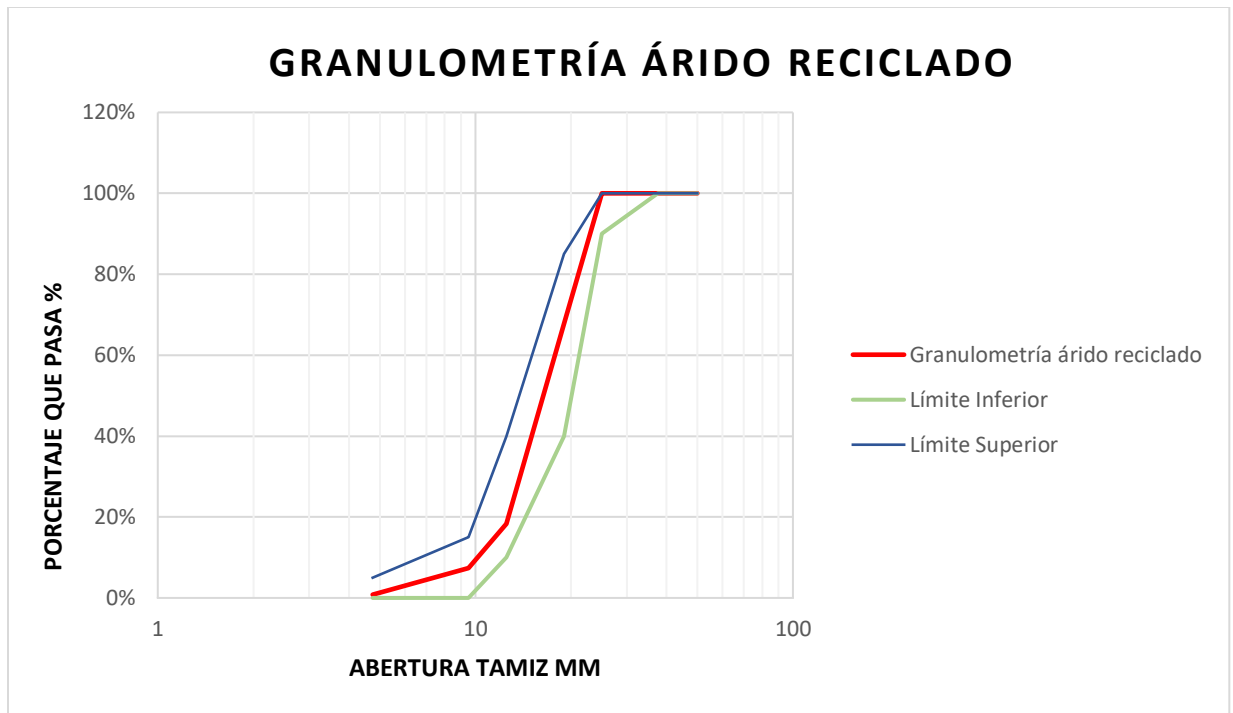


Figura 4-7 Curva granulométrica árido reciclado. Fuente: El autor.

4.9 Gravedad específica y absorción de los áridos

Para un diseño de mezclas estos parámetros son importantes, debido a que permiten determinar los volúmenes ocupados en el conjunto. La propiedad de absorción da a conocer la cantidad de agua neta prevista en la mezcla más la ocupada por los poros saturables de material.

En el cálculo de la absorción y gravedad específica del material fino se utiliza el proceso detallado en la INEN NTE 856 como ya se explicó en el capítulo anterior. Los resultados del árido fino que son obtenidos de los ensayos se reflejan en la Tabla 4-5:



Figura 4-8 Proceso en el cálculo del estado Saturado y Superficial Seco de la arena. Fuente: El Autor.

Tabla 4-5 Densidad y absorción del material fino. Fuente: El autor

Descripción	Valor
Densidad relativa seca al horno	2,34
Densidad relativa saturada superficialmente seca	2,48
Densidad relativa aparente	2,73
Densidad seca al horno kg/m^3	2332,86
Densidad saturada superficialmente seca, kg/m^3	2474,45
Densidad aparente seca al horno, kg/m^3	2718,77
Absorción %	6,07%

En el agregado grueso y reciclado se aplicaron las ecuaciones Ec. 2-8 a la Ec. 2-14 que se indicaron en el capítulo anterior, correspondientes a la norma INEN NTE 857; estos se muestran en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6 Densidad y absorción del árido grueso. Fuente: El autor.

Descripción	Valor
Densidad relativa seca al horno	2,57
Densidad relativa saturada superficialmente seca	2,61
Densidad relativa aparente	2,69
Densidad seca al horno kg/m ³	2563,71
Densidad saturada superficialmente seca, kg/m ³	2607,04
Densidad aparente seca al horno, kg/m ³	2680,13
Absorción %	1,69 %

La Tabla 4-6, describe cada uno de los datos obtenidos en laboratorio para la absorción y densidad del árido grueso. La Figura 4-9 indica el procedimiento para determinar el peso inmerso en agua del material grueso en una condición “SSS”.



Figura 4-9 Cálculo del peso sumergido en agua del material grueso. Fuente: El autor.

El árido reciclado presentó poros en el interior y en su superficie, gracias al proceso de trituración y la pasta de cemento adherida, lo que permite que la humedad ingrese; así también la cantidad y velocidad de penetración depende de las características de los poros. Es necesario considerar el estado del árido reciclado al momento de utilizarlo, debido a que el agua contenida podría generar una variación en la consistencia de la pasta debido a su excesiva porosidad.

En la Tabla 4-7 se indican las cifras para la densidad y absorción para el árido reciclado, el cual se obtuvo con la misma metodología del árido grueso natural, considerando que ambos trabajan a iguales condiciones como árido grueso.

Tabla 4-7 Densidad y absorción del árido reciclado. Fuente: El autor.

Descripción	Valor
Densidad relativa seca al horno	2,73
Densidad relativa saturada superficialmente seca	2,80
Densidad relativa aparente	2,92
Densidad seca al horno kg/m ³	2727,43
Densidad saturada superficialmente seca, kg/m ³	2790,21
Densidad aparente seca al horno, kg/m ³	2910,62
Absorción %	2,30%

4.10 Peso volumétrico

Es también considerado como masa unitaria y se aplica para encontrar el volumen ocupado por un material grueso dentro del volumen unitario de un concreto en condición fresco, por lo que se considera un lineamiento necesario para el diseño de mezclas. Mientras que el agregado fino sirve precisamente para una dosificación volumétrica o transformar un volumen a peso y/o la inversa.

El cálculo de este proceso se expresa en la normativa INEN NTE 858 que indica que se vierte el material en un molde, en el cual se compacta mediante uno de los tres procesos indicados en la prueba, posteriormente se determina el peso volumétrico del material y el contenido de vacíos a través de las formulaciones Ec. 4-2 y Ec. 4-3 indicadas a continuación:

$$M_C = \frac{G_C - T}{V}$$

Ec. 4-2 Masa unitaria compactada.

$$M_S = \frac{G_S - T}{V}$$

Ec. 4-3 Masa unitaria suelta.

Donde:

M_C : Masa unitaria compactada (kg/m^3).

M_S : Masa unitaria suelta (kg/m^3).

G_C : Masa unitaria compactada del material, incluido el envase (kg).

G_S : Masa unitaria suelta del material y el envase (kg).

T : Masa del envase (kg).

V : Volumen del envase (m^3).

Los valores encontrados en el laboratorio se detallan en la Tabla 4-8, estos corresponden al agregado fino, grueso y reciclado, respectivamente.

Tabla 4-8 Determinación de pesos volumétricos. Fuente: El Autor.

Árido	Valor (kg/m^3)
Árido Fino compactado	1590,55
Árido Fino suelto	1540,19
Árido Grueso compactado	1335,84
Árido Grueso suelto	1284,43
Árido Reciclado compactado	1266,95
Árido Reciclado suelto	1201,81

En la Figura 4-10 se puede observar cómo se realizó el método por varillado, en el cual se basa en llenar la tercera parte del recipiente con el material (áridos) y compactar con 25 golpes distribuidos uniformemente, luego se realiza el mismo proceso con la segunda y última capa de material.



Figura 4-10 Determinación del peso volumétrico del árido reciclado. Fuente: El autor.

4.11 Diseño de las mezclas

En la elaboración de los ensayos se empleó la metodología establecida por el “Instituto Americano del Concreto” y es el más aplicado actualmente. Esta metodología requiere como condición que los áridos cumplan con las exigencias granulométricas descritas por la “ASTM C33” que se relacionan en la norma INEN NTE 872.

Posteriormente se detallaron en una hoja de cálculo las cantidades de materiales requeridos en el diseño de mezclas, con el objeto de encontrar una resistencia a compresión. Para aplicar la metodología de diseño se especificación distintas relaciones de agua/cemento.

4.11.1 Asentamiento

El asentamiento es un factor que se debe emplear de acuerdo con el tipo de elemento que se pretende construir, este parámetro está relacionado con la trabajabilidad. Se debe tener claro que para la selección del asentamiento se debe tomar de referencia la tabla del ACI, ya que, la cantidad de agua que se añade está en relación a las propiedades físicas de los áridos; para la investigación se trata de elaborar probetas cilíndricas que serán sometidas a ensayos de compresión, se trabajará con un asentamiento intermedio escogido mediante el cono de Abrams de 80mm, el cual permite una manejabilidad adecuado del hormigón.

4.11.2 Elección del tamaño máximo del árido

Depende de la trituración del material, el cual se llegó al tamaño máximo del árido de 3/4", lo que permite tener una comparación con los el tamaño de los áridos naturales empleados, debido a que este tamaño es usual para la aplicación en una gran cantidad de elementos constructivos.

4.11.3 Cálculo de la cantidad de agua y el contenido de aire para la mezcla

El volumen de agua requerido se denomina agua neta y es necesaria en el humedecimiento del cemento y la manejabilidad de la mezcla; en base a ello el agua no se incluye en la absorción que se encuentra en los poros saturados del árido.

El cálculo de la cantidad de aire atrapado, se determina mediante la Tabla 4-9, que relaciona el tamaño máximo de las partículas; cabe recalcar que mientras este aumenta, la cantidad de aire

atrapado es menor; para nuestra mezcla de prueba se estimó aproximadamente 2% que para 1 m³ el volumen equivale a 0,02 m³.

Tabla 4-9 Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diversos tamaños de áridos. [11]

Contenido Aproximado de Aire en el Concreto para varios Grados de Exposición y Tamaños del Árido

Tamaños Max. Árido Grueso		Porcentaje Aproximado De Aire Atrapado	Porcentaje Total De Aire Recomendado Para Varios Grados De Exposición		
			Ligera	Moderado	Severo
Pulg	mm				
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Nota: Adaptado del A.C.I.-211 y del A.C.I.-318

4.11.4 Resistencia de diseño

Esta se expresa con las siglas f'_{cr} y se calcula en función de un análisis estadístico de una población de muestras, mediante las cuales permite encontrar una cifra característica y la variabilidad de los ensayos. Se considera al valor f'_{cr} como un factor de mayoración para prevenir aquellos resultados que presenten valores inferiores a la resistencia requerida. Este factor de sobre diseño está relacionado con la variabilidad de los resultados y disminuye acorde se reduzca la discrepancia en los valores obtenidos. [1]

En la ocasión en la que se desconozca las estadísticas, es necesario guiarse en las tablas indicadas en la normativa ACI, la misma que se muestra Tabla 4-10.

En el caso de estudio, se escoge principalmente seis relaciones de agua cemento, sin tomar en cuenta la resistencia a compresión a la que pertenece; una vez obtenido este dato se omite el procedimiento previo, sin embargo, en un apartado se conserva toda la información con el objeto de comprobar y permitir un seguimiento de la confiabilidad de los resultados.

Tabla 4-10 Resistencia media a la compresión necesaria cuando no los datos son escasos para establecer una desviación estándar de la muestra. Fuente: [2]

Resistencia especificada	Resistencia requerida
MPa	MPa
$f'c < 21$	$f'c = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'c = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'c = 1,1 f'c + 5,0$

4.11.5 Selección de la relación Agua/Cemento

Por lo antes expuesto, las relaciones de agua/cemento están anticipadamente detalladas en las propuestas de estudio y no se encuentran enlazadas obligatoriamente a una resistencia de diseño en específico. Por lo tanto, las relaciones agua cemento aplicadas en este estudio son: 0,35 – 0,40 – 0,45 – 0,55 – 0,60.

Las relaciones agua cemento se seleccionaron con el criterio de abarcar un rango de resistencia que incluye hormigones de altas y bajas resistencias, tomando cinco rangos para analizar el comportamiento del hormigón ante la variabilidad de este parámetro.

4.11.6 Cálculo del contenido de cemento

A través de la relación agua/cemento se puede estimar la cantidad de cemento. Con el dato de la relación y la cantidad de agua calculada se puede despejar la Ec. 4-4 y calcular el dato mediante la ecuación Ec. 4-5.

$$\left(\frac{A}{C}\right) = \frac{\text{Cuantía de agua (A), kg}}{\text{Cuantía de cemento (C), kg}} \quad \text{Ec. 4-4 Relación Agua / Cemento}$$

$$\text{Cuantía de cemento (C), kg} = \frac{\text{Cuantía de agua (A), kg}}{\left(\frac{A}{C}\right)} \quad \text{Ec. 4-5 Determinar la cuantía de cemento.}$$

En función de las relaciones agua/cemento y volúmenes de agua se calculó las cuantías de cemento necesarias en la fabricación de 1 m³ de hormigón. En la Tabla 4-11 se muestra un resumen.

Tabla 4-11 Agua y cemento necesario para cada relación A/C. Fuente: El Autor.

Relación agua/cemento	Cantidad de Agua	Cuantía de cemento
	kg	kg
0,35	200	571
0,40	200	500
0,45	200	444
0,55	200	363
0,60	200	333

Para determinar el volumen ocupado por el cemento en el hormigón (volumen absoluto), se realiza el cociente entre la masa seca del concreto y su densidad como se expresa en la Ec.4-6.

$$\text{volumen absoluto de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{masa seca del cemento, kg}}{\text{densidad del cemento, kg/m}^3} \quad \text{Ec. 4-6 Calculo del volumen absoluto de cemento.}$$

4.11.7 Cálculo de las cantidades de los agregados

Árido Grueso

Según la técnica ACI 211.1, el cual considera volúmenes absolutos utilizados en la dosificación, se emplea una relación entre el MF del material fino y el término b/b_0 detallado a continuación:

b = Volumen absoluto del material grueso por unidad de volumen.

b_0 = Volumen absoluto del material grueso, por unidad de volumen compactado.

El término b/b_0 expresa la cantidad de material grueso seco y compactado por volumen unitario de concreto, mientras que el valor b_0 es el cociente la masa unitaria seca compactada y la densidad seca al horno del material grueso, como es expresa en la Ec.4-7. [1]

$$b_0 = \frac{\text{Masa unitaria compactada}}{\text{Densidad (SH)}} \quad \text{Ec. 4-7 Volumen absoluto de las partículas de árido grueso.}$$

Teniendo las cifras del máximo tamaño del material y el módulo de finura obtenidos en las pruebas de granulometría, se tienen los resultados indicados en la Tabla 4-12, el valor corresponde a b/b_0 ; cabe recalcar que el dato determinado en la tabla es multiplicado por el peso volumétrico compactado, el cual posteriormente es el peso seco del agregado. Y para obtener el volumen absoluto del material se divide ese valor para su densidad SH.

Tabla 4-12 Volumen de árido grueso SH por unidad de concreto para módulos de finura de árido fino. [26]

Máximo tamaño nominal de áridos	Volumen de Árido Grueso Secado en el horno por unidad de concreto para diferentes módulos de finura de árido fino			
	Módulo de Finura (MF)			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Árido fino

En el cálculo del volumen del material fino, se emplea la metodología de los volúmenes absolutos, entre la resta del volumen total y la de los demás componentes, como se expresa en la Ec. 4-8.

$$Vol_{ag\ fino} = 1 - Vol_{ag\ nat} - Vol_{ag\ esc} - Vol_{agua} - Vol_{aire} \quad \text{Ec. 4-8 Volumen árido fino.}$$

Donde:

$Vol_{ag\ fino}$: Volumen de árido fino.

$Vol_{ag\ nat}$: Volumen de árido natural (grava)

$Vol_{ag\ esc}$: Volumen de árido reciclado (escombros)

Vol_{agua} : Volumen de agua.

Vol_{aire} : Volumen de aire.

Para un volumen unitario, las cantidades estimadas se expresa en 1m^3 , se deben aplicar para las cantidades que se van a utilizar en cada dosificación de hormigón. En el laboratorio se tiene una mezcladora con la capacidad de aproximadamente 45 litros, en la cual se elaboró 15 cilindros de 15x20 cm.

En la Tablas 4-13 se indica un apartado del cálculo donde se identifica una síntesis de los pesos para un cilindro con una dosificación de $A/C=0,35$.

Tabla 4-13 Resumen de pesos calculados para 15 cilindros. Fuente: El autor.

Material	Peso (kg)	Volumen absoluto
Cemento	363,64	0,121
Agr. Grueso	592,47	0,23
Escombros	153,40	0,05
Agr. Fino	869,84	0,35
Agua	200	0,2
Total	2179,35	1,0 m³

4.11.8 Corrección de humedad

Al determinar los pesos de los elementos en la fabricación de la dosificación se calcula la humedad de cada uno de los materiales con el objeto de identificar la cantidad necesaria para añadir al cemento y a los agregados con el objeto de requerir el asentamiento necesario. El agua neta es el volumen de agua requerido en la mezcla, esta agua es la que se debe añadir a la mezcla independientemente si el árido pueda absorber en sus poros hasta alcanzar una condición de saturada superficialmente seca. Se debe considerar que los poros de los escombros absorben mayor cantidad de agua debido que se trata de materiales como cerámicas, bloque pómez y ladrillos. En el cálculo del peso real del material se aplicó la Ec. 4-9, en donde “*Ph*” es el peso húmedo del

árido, el cual se obtiene mediante el valor de “ P_s ” que es el peso seco del agregado y “ H ” representa el % de humedad del agregado.

$$Ph = P_s \left(1 + \frac{H}{100} \right)$$

Ec. 4-9 Peso húmedo del material.

Mediante la Ec. 4-10 se calcula el volumen de agua requerida en la mezcla.

$$A_c = A - (H_{ng} - H_{sg}) \times P_{sg} - (H_{nf} - H_{sf}) \times P_{sf}$$

Ec. 4-10 Cantidad de agua por aumentar.

En donde “ A_c ” representa el volumen de agua con corrección de humedad; “ H_{ng} ” el porcentaje de humedad natural del material grueso; “ H_{sg} ” el porcentaje de absorción del material grueso; “ P_{sg} ” el peso seco del material grueso; “ H_{nf} ” el porcentaje de humedad natural de la arena; “ H_{sf} ” el porcentaje de absorción de la arena y “ P_{sf} ” el peso seco de la arena.

Tabla 4-14 Ejemplo de la corrección de humedad por árido. Fuente: El Autor.

Material	Peso (kg)	Corrección de Humedad
Cemento	363,64	363,64
Agr. Grueso	566,40	574,89
Escombros	97,59	98,57
Agr. Fino	869,84	904,64
Agua	200	221,10

4.12 Pruebas de hormigón

4.12.1 Estimación del número de pruebas

En la estimación del número de ensayos se calcula la cantidad de muestras necesarias para obtener datos confiables dentro del estudio, por lo cual se emplea la Ec. 4-11 que permite determinar muestras de poblaciones infinitas debido a que no existe una población de estudio.

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times p \times q}{E^2} \quad \text{Ec. 4-11 Determinación del número de ensayos.}$$

En donde “N” representa la población; el término “ $Z_{\alpha/2}$ ” representa la puntuación z para un área de $\alpha/2$; “p” indica la probabilidad esperada, “q” la probabilidad de fracaso y finalmente “E” expresa el margen de error.

Para calcular la muestra se consideran los siguientes datos: la población de éxito (p) se considera el 50% puesto que la investigación a realizar no se ha desarrollado aun dentro de la zona de estudio y lugares aledaños; para la confiabilidad ($Z_{\alpha/2}$) se considerará el 95%, mientras que el margen de error (E) se tomará un valor del 5% el cual permitirá brindarle un nivel de confianza optimo a los resultados; así pues, la Ec. 4-11 representa el procedimiento detallado anteriormente:

$$N = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2} \quad \text{Ec. 4-12 Determinación de número de ensayos.}$$

Una vez aplicada la formula, se determinó que se deberá realizar 384 cilindros dentro de nuestro estudio.

4.12.2 Elaboración de las mezclas

Para realizar las mezclas para los ensayos de resistencia, se debe tener en cuenta varias acciones las mismas que se detallan a continuación:

- a) Adecuar todos los equipos, herramientas y moldes para elaborar las mezclas
- b) Almacenar en un sitio adecuado los áridos a utilizar, con el objeto de evitar la segregación.
- c) Colocar el cemento en un espacio seco con el objeto de evitar que se genere humedad en el mismo, y así evitar su endurecimiento y pérdida de sus propiedades.
- d) Disponer del suficiente volumen de agua potable para la elaboración de las mezclas y para mantener limpio el lugar de trabajo.
- e) Acomodar las muestras en un lugar apropiado, evitando exponerlas a condiciones ambientales extremas.

Al realizar el proceso de elaboración de una mezcla es necesario tener los siguientes equipos y herramientas, para facilitar el trabajo al investigador:

- Hormigonera.
- Balanzas de diferentes capacidades (kg)
- Moldes cilíndricos de 15x20 cm para toma de muestras
- Equipo para la determinación del asentamiento
- Recipientes para pesar los materiales
- Bailejo y martillo de goma.

A continuación, se presentan ciertas etapas que se realizaron en el transcurso de la elaboración de los ensayos.



Figura 4-11 Determinación del peso de los áridos. Fuente: El Autor.



Figura 4-12 Preparación de los moldes. Fuente: El Autor.



Figura 4-13 Evaluación del asentamiento a través del cono de Abrams. Fuente: El Autor.

4.12.3 Curado de las muestras

Los cilindros se almacenaron en un área fresca, con el propósito de controlar la pérdida de humedad. Las primeras horas son muy importantes por lo cual para evitar pérdidas de humedad y se cubrieron las superficies expuestas con láminas plásticas hasta el siguiente día. Posteriormente se desmoldaron y se colocó una nomenclatura de acuerdo a su porcentaje de escombros, para ser colocadas en la piscina hasta la fecha de su ensayo de rotura. La temperatura del agua se controló mediante calentadores eléctricos equipados de termostatos, con el propósito de controlar la temperatura de curado dentro del intervalo de 21 a 23 °C.

La Figura 4-14 evidencia que la temperatura se mantiene entre 21,7 a 22,3 °C dependiendo de las condiciones climáticas (clima frío) y de la hora (7am) que fue tomada.



Figura 4-14 Control de temperatura y curado por inmersión. Fuente: El Autor.

4.12.4 Ensayos de Rotura

Las pruebas a compresión simple se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días, lo que permitió conocer la resistencia mecánica del concreto y sus variaciones en el transcurso de la maduración. La norma NTE INEN 1573 describe claramente el proceso para las pruebas de resistencia en ensayo de compresión de muestras cilíndricas.

En la Figura 4-15 se observa el cálculo de las medidas y pesos de los cilindros, previos a ser sometidos a los ensayos de compresión; cabe recalcar que el peso no influye en el cálculo de los esfuerzos, sin embargo, este permite conocer la densidad del hormigón, característica necesaria para el estudio de cualquier análisis físico del hormigón.



Figura 4-15 Medición y pesaje de los cilindros antes del ensayo. Fuente: El Autor.

La Figura 4-16 presenta dos probetas luego de ser sometidas al ensayo de compresión con la misma relación A/C de 0.35, pero con diferente porcentaje de escombros. La figura de la izquierda pertenece a un cilindro de baja resistencia con un porcentaje de escombros de 10% mientras que la de la derecha a uno de alta resistencia con un porcentaje de escombros de 75%. Cabe recalcar que en los primeros ensayos (resistencias menores a los 300 kgf), las fallas se presentaron de una manera suave, sin desprendimiento del material, mientras que en la probeta de alta resistencia las fallas fueron bruscas y explosivas, lo que provocó el desprendimiento violento de los fragmentos hacia afuera, para ello se tomó todas las medidas de seguridad. Todas las pruebas realizadas fallaron de manera común, sin alteraciones que indiquen irregularidades en el mecanismo de falla.



Figura 4-16 Ensayos de la misma relación A/C, pero con porcentajes de escombros diferentes. Fuente: El Autor.

El equipo de compresión utilizado en los ensayos es de marco “*ELE International*”, este posee una capacidad de carga de 250 000 lbf, así también se encuentra instalado un dispositivo ADR con el cual se puede regular la velocidad de aplicación de las cargas. La prensa trabaja dando la resistencia a compresión a través de un registro digital del equipo (kgf).

Para finalizar, se seleccionan los valores pertenecientes a la máxima carga identificada en la prensa que posteriormente se utilizará en el cálculo del mayor esfuerzo soportado por la muestra. En los anexos desde el Anexo 7-10 hasta el Anexo 7-14 se pueden observar los registros de laboratorio, donde se detallan los días de elaboración y rotura, dimensiones y pesos de las muestras y demás datos identificados en el ensayo.

5 CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

Mediante los registros de laboratorio se puede determinar el comportamiento del hormigón, ya sea en estado fresco como en estado endurecido, haciendo referencia al esfuerzo de compresión. Los cálculos y procedimientos estadísticos permiten determinar la presencia de un patrón de comportamiento que presenta el hormigón ante el efecto de las cargas.

5.1 Estado fresco

Para determinar el asentamiento del hormigón se aplicó la norma ASTM 143; en la Tabla 5-1 se detallan los datos que se obtuvieron en cada una de las muestras, las cuales la mayoría cumplen con los criterios establecidos inicialmente en el diseño de la dosificación (asentamiento 8 ± 2 cm). En relación con los asentamientos de control de un hormigón convencional, se muestra una disminución en la trabajabilidad de ciertas dosificaciones con un 12,5 %, debido que los agregados reciclados presentan una mayor capacidad de absorción. También se presenta una mayor trabajabilidad hasta de 50% debido a la relación agua/cemento que se emplea. La Figura 5-1 indica el procedimiento del Ensayo de Asentamiento, por medio del cono de Abrams, para ello es necesario considerar la normativa.



Figura 5-1 Ensayo de Asentamiento. Fuente: El Autor.

En la Tabla 5-1 se describe el asentamiento de las muestras ensayadas, la primera columna indica el nombre de la muestra, seguidamente se indica el significado del nombre de la muestra como posteriormente se puede observar el asentamiento obtenido en los ensayos y el porcentaje de relación con el hormigón convencional respecto a cada muestra.

Tabla 5-1 Asentamiento de las muestras. Fuente: El Autor.

Muestra	Significado de la Nomenclatura	Asentamiento cm	Relación con el Convencional %
	Hormigón Convencional	8	%
0,35-B-25	A/C de 0,35 con 25% de escombros	7	87,5
0,35-C-50	A/C de 0,35 con 50% de escombros	8	-
0,35-D-75	A/C de 0,35 con 75% de escombros	8	-
0,35-E-100	A/C de 0,35 con 100% de escombros	7	87,5
0,40-G-25	A/C de 0,40 con 25% de escombros	11	137,5
0,40-H-50	A/C de 0,40 con 50% de escombros	8	-
0,40- I -75	A/C de 0,40 con 75% de escombros	8	-
0,40-J-100	A/C de 0,40 con 100% de escombros	8	-
0,45-L-25	A/C de 0,45 con 25% de escombros	10	125
0,45-M-50	A/C de 0,45 con 50% de escombros	8	-
0,45- N -75	A/C de 0,45 con 75% de escombros	11	137,5
0,45-O-100	A/C de 0,45 con 100% de escombros	8	-
0,55-Q-25	A/C de 0,55 con 25% de escombros	12	150
0,55-R-50	A/C de 0,55 con 50% de escombros	7	87,5

Muestra	Significado de la Nomenclatura	Asentamiento cm	Relación con el Convencional %
Hormigón Convencional		8	%
0,55- S -75	A/C de 0,55 con 75% de escombros	12	150
0,55-T-100	A/C de 0,55 con 100% de escombros	5	137,5
0,60-V-25	A/C de 0,60 con 25% de escombros	11	137,5
0,60-W-50	A/C de 0,60 con 50% de escombros	8	-
0,60-X-75	A/C de 0,60 con 75% de escombros	11	137,5
0,60-Y-100	A/C de 0,60 con 100% de escombros	12	150

5.2 Estado de endurecimiento

5.2.1 Esfuerzo a Compresión ($f'c$)

Para realizar el esfuerzo de compresión, es necesario dividir la carga máxima identificada en la prueba de compresión entre el área transversal del cilindro, expresada en la Ec. 5-1.

$$f'c = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Ec. 5-1 Resistencia a Compresión.

Donde " $f'c$ " representa la resistencia a compresión en $\frac{kgf}{cm^2}$; " P " indica la mayor carga a compresión en kgf y finalmente " D " ese el diámetro promedio de la sección transversal en cm.

5.2.2 Tablas de valores de $f'c$

En las tablas desde la 5-2 hasta la 5-6 se detallan las cifras determinadas en los ensayos realizados, se especifica las diferentes relaciones agua/cemento que se emplearon, y con los respectivos porcentajes de escombros.

Tabla 5-2 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,35. Fuente: El Autor.

RESISTENCIA f'_c CON RELACIÓN A/C 0,35					
DÍAS	Convencional	25% Escombros	50% Escombros	75% Escombros	100% Escombros
7	221	162	191	200	162
7	220	161	186	198	160
14	264	172	226	224	189
14	270	185	208	260	193
28	328	276	276	338	306
28	340	261	299	322	298
28	343	253	308	334	304
28	347	269	286	315	311
28	329	269	325	338	317
28	324	247	306	347	311
28	326	267	308	348	313
28	343	266	318	315	303
28	326	268	325	337	301

Tabla 5-3 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,40. Fuente: El Autor.

RESISTENCIA f'_c CON RELACIÓN A/C 0,40					
DÍAS	Convencional	25% Escombros	50% Escombros	75% Escombros	100% Escombros
7	171	166	126	131	122
7	180	156	125	130	126
14	235	237	182	167	148
14	234	240	162	162	152
28	275	280	224	211	212
28	274	280	202	205	195
28	280	283	221	194	200
28	289	291	204	205	187
28	280	275	199	196	197
28	284	275	216	189	205
28	283	283	190	198	189
28	282	298	216	208	183
28	283	290	221	209	156

Tabla 5-4 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,45. Fuente: El Autor.

RESISTENCIA f'c CON RELACIÓN A/C 0,45					
DÍAS	Convencional	25% Escombros	50% Escombros	75% Escombros	100% Escombros
7	178	153	153	147	113
7	177	150	148	146	121
14	212	179	169	164	141
14	213	183	162	166	142
28	242	218	183	195	165
28	270	215	195	156	165
28	254	205	197	205	184
28	272	185	209	208	181
28	267	213	206	210	169
28	257	222	206	206	165
28	269	221	197	210	178
28	267	226	209	190	164
28	267	218	213	198	167

Tabla 5-5 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,55. Fuente: El Autor.

RESISTENCIA f'c CON RELACIÓN A/C 0,55					
DÍAS	Convencional	25% Escombros	50% Escombros	75% Escombros	100% Escombros
7	104	106	99	87	119
7	101	100	97	77	120
14	148	124	132	87	165
14	154	139	128	91	171
28	150	172	151	124	199
28	157	167	158	117	205
28	161	173	152	121	199
28	164	179	150	118	191
28	161	164	155	112	200
28	161	172	159	117	195
28	224	161	151	120	197
28	198	171	158	118	191
28	226	167	158	119	191

Tabla 5-6 Resistencia de ensayos con relación A/C de 0,60. Fuente: El Autor.

RESISTENCIA f'c CON RELACIÓN A/C 0,60					
DÍAS	Convencional	25% Escombros	50% Escombros	75% Escombros	100% Escombros
7	67	80	80	87	83
7	71	81	79	88	81
14	91	114	111	123	111
14	90	114	111	123	110
28	121	116	134	150	144
28	115	148	131	154	140
28	122	142	134	144	134
28	114	144	133	142	143
28	122	144	133	162	142
28	127	141	125	156	140
28	128	142	135	155	142
28	123	143	135	143	139
28	128	143	132	161	144

Mediante los resultados alcanzados en las tablas anteriores, al momento de sustituir el árido natural por el árido reciclado a edad de 28 días, se presenta en ciertos casos un esfuerzo de compresión similar y en otros son superiores o inferiores al ensayo de control (hormigón convencional), los cuales se detallarán a continuación.

En la Figura 5-2 se indica el esfuerzo de compresión al sustituir el agregado natural por el reciclado con sus diferentes porcentajes mediante la relación agua/cemento de 0.35, en la que podemos decir que la sustitución óptima en esta relación pertenece cuando se sustituye con el 75%, debido que es el más cercano al esfuerzo de la mezcla de control. En esta relación se asemeja en los criterios de [11] en la cual indica que con el porcentaje del 100% disminuye entre un 10 y 20% en relación al hormigón convencional, en nuestro caso de estudio existe una disminución de 8,08 que esta próximo al valor indicado el cual puede variar dependiendo del porcentaje de ladrillo que sea añadido.

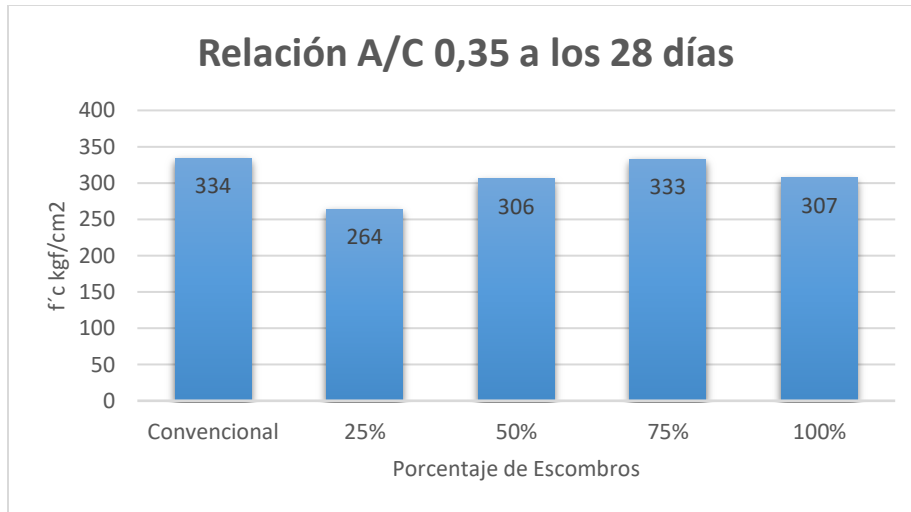


Figura 5-2 Resistencia del hormigón (A/C=0,35) a los 28. Fuente: El Autor.

En la Figura 5-3 con una relación de 0,40 a una edad de 28 días se observa que al sustituir el árido natural por el reciclado con un porcentaje del 25% resulta favorable en relación con los porcentajes de 50, 75 y 100%. Lo cual se asemeja al estudio de [26], el mismo que detalla que al sustituir el árido natural por el reciclado con un porcentaje del 10% se presente resistencias superiores al valor requerido. Mientras que [11] concluyó que al sustituir hasta un 30% de agregado natural por reciclado no se presenta ninguna variación.

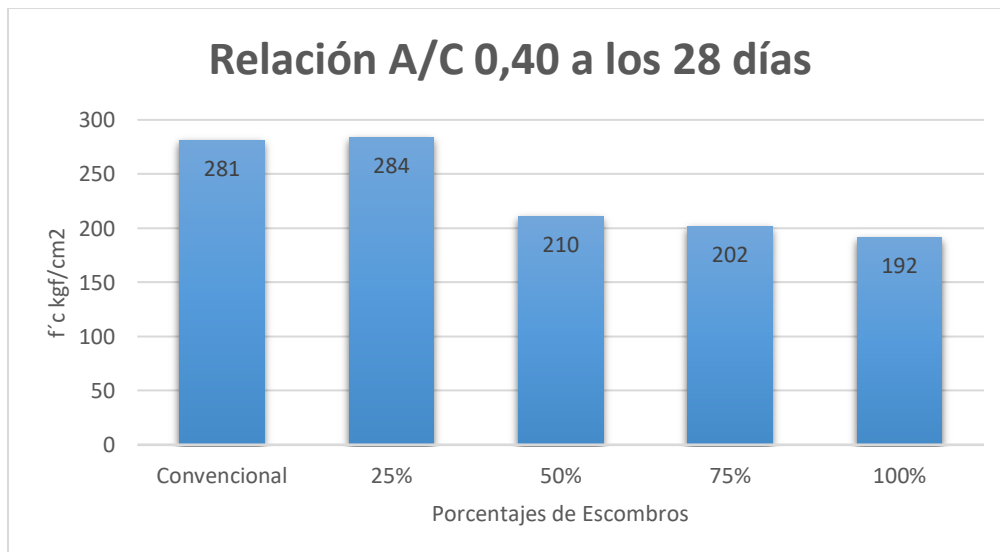


Figura 5-3 Resistencia del hormigón (A/C=0,40) a los 28. Fuente: El Autor.

En la relación agua/ cemento de 0,45, a los 28 días se presenta un descenso del esfuerzo de compresión con cada porcentaje de escombros, por ejemplo, en la muestra de hormigón la cual fue sustituida con el 100% agregado natural por agregado reciclado presentó un descenso de 31.67% en relación con el hormigón convencional. Lo cual concuerda con [23] indica que, en una relación de 0,45 con una sustitución de 50 y 100 % la resistencia del hormigón se reduce hasta un 32 % en relación al hormigón convencional.

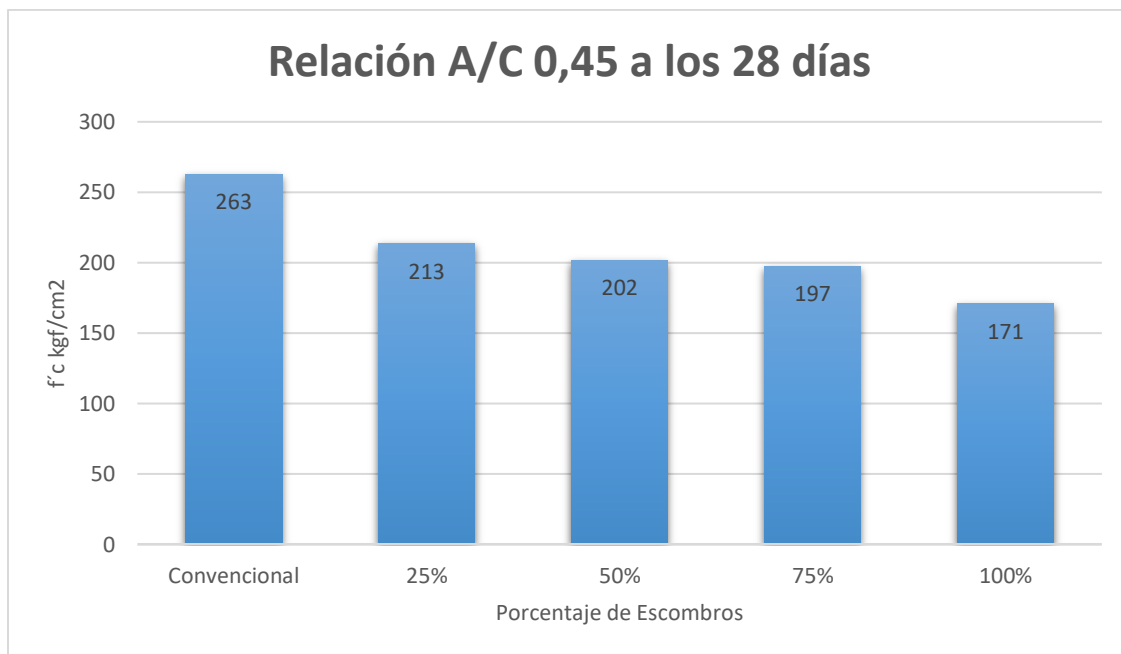


Figura 5-4 Resistencia del hormigón (A/C=0,45) a los 28. Fuente: El Autor.

La Figura 5-5, indica la relación agua/cemento de 0,55, la cual presenta resultados muy favorables, sin embargo, el porcentaje de 75% muestra un descenso de 33,70%, mientras que al realizar el reemplazo de agregado reciclado con la totalidad del 100% existe un aumento de esfuerzo del 9,64% en relación al esfuerzo del ensayo de control.

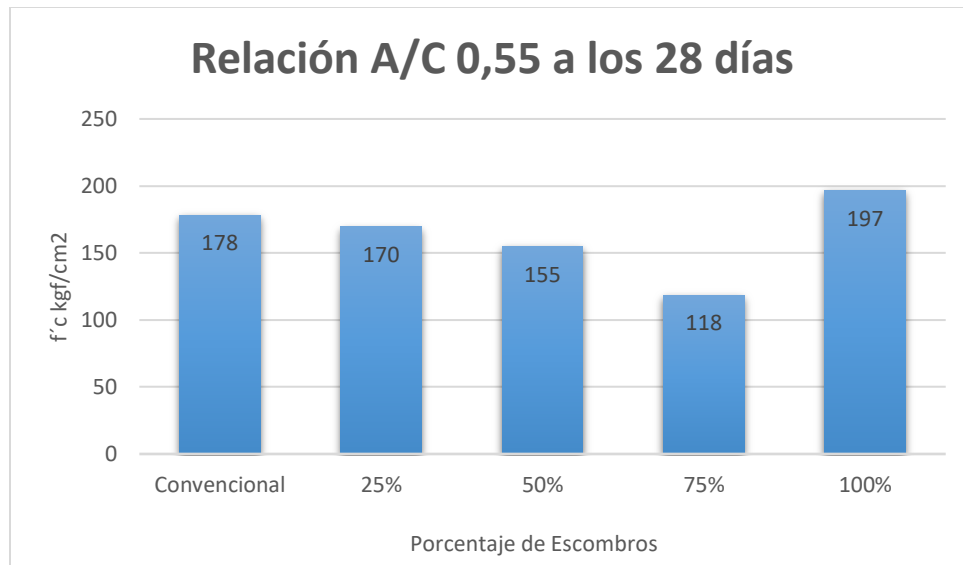


Figura 5-5 Resistencia del hormigón (A/C=0,55) a los 28. Fuente: El Autor.

La relación agua/cemento de 0,60 presenta resultados favorables en relación a las demás relaciones agua/cemento, esto se debe a que todos sus porcentajes de escombros aumentan su esfuerzo hasta un 19,73%, esto debido a la adherencia que presentan los materiales reciclados con la pasta de cemento.

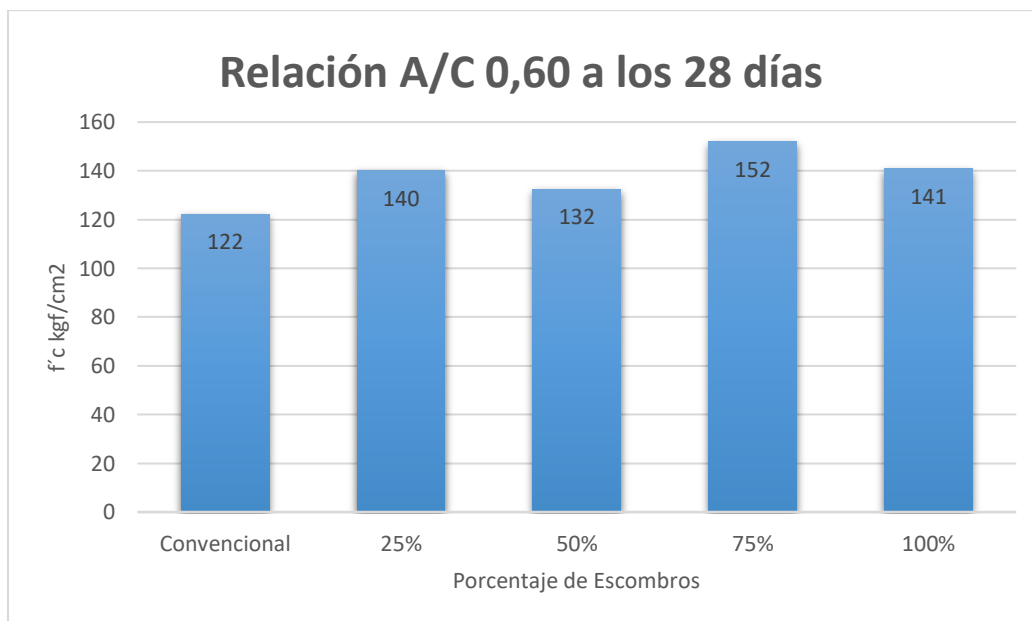


Figura 5-6 Resistencia del hormigón (A/C=0,60) a los 28. Fuente: El Autor.

Tabla 5-7 Resistencias máximas de hormigón reciclado vs hormigón convencional. Fuente: El Autor.

Número de análisis	Relación a/c	% de árido reciclado	Máxima Resistencia de un Hormigón Reciclado	Resistencia Hormigón Convencional
1	0,35	75%	306	334
2	0,40	25%	284	281
3	0,45	25%	213	263
4	0,55	100%	197	178
5	0,60	75%	152	122

En la Tabla 5-7 se observa que las resistencias del hormigón reciclado están cerca o incluso superan a las del hormigón convencional lo cual resulta favorable debido a las recomendaciones de seguridad, puede ser que este hormigón sea empleado para obras de estructuras que no solo sean para estructuras de solicitaciones (cargas) bajas debido a que se observa que con las relaciones agua/cemento, el porcentaje de árido reciclado adecuado puede llegar a tener resistencias similares o incluso mayores con las mismas características de elaboración; por ejemplo, en el número de análisis 4, para una relación a/c de 0,55 con la sustitución total del árido reciclado se alcanza una resistencia mayor a la de un hormigón convencional.

De acuerdo a lo observado en las relaciones a/c de 0,55 se llega a una discrepancia con lo que [11] explica que hasta un 30% de sustitución de árido reciclado por natural no altera la resistencia, pero al sustituir el 100% se presenta una disminución de un 10 y 20%.

En la Figura 5-7 representa gráficamente el comportamiento de hormigón con el 50% de escombros en función a las diferentes relaciones agua/cemento; aquí se puede observar que con una relación A/C de 0,60 el ensayo realizado presento una mayor capacidad de resistencia en función a las demás relaciones a/c. la gráfica se presentó en función de las recomendación indicas anteriormente por [13] la cual recomienda que la mejor sustitución de árido es la del 50%

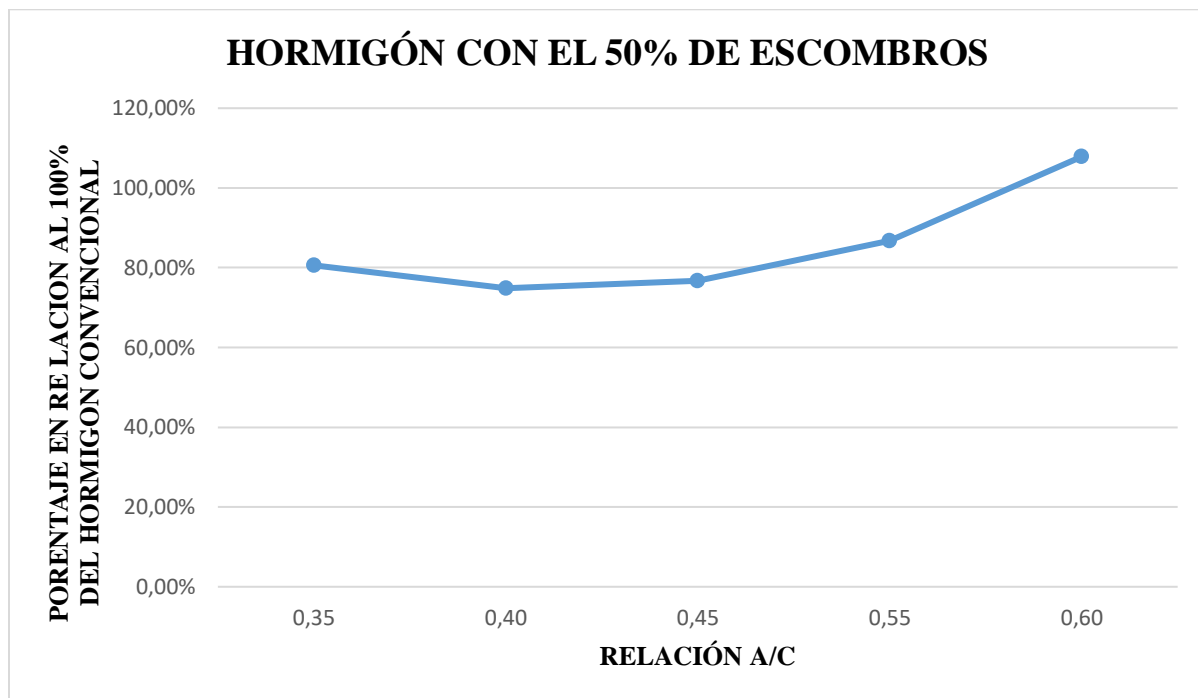


Figura 5-7 Comportamiento del hormigón reciclado con el 50%. Fuente: El Autor.

5.2.3 Tipo de Falla presentadas en las muestras

Durante los ensayos se pudo observar en el plano de falla como los agregados reciclados presentan menor adherencia en función a los agregados naturales, debido a esto se notó en los cilindros la separación de los materiales reciclados y posteriormente de los naturales. A continuación, se puede observar los tipos de fallas que se presentaron en los ensayos:

En la Figura 5-9, se observa los pedazos de cerámica los mismo que no presentan una adherencia a la pasta de cemento, debido a esto, el ensayo a compresión presenta una fractura diagonal sin fisuras en los extremos, conocida como “Falla Tipo 4”.



Figura 5-8 Falla Tipo 4. Fuente: El Autor.

En la Figura 5-10, durante el ensayo de compresión se presentan fisuras verticales en ambos extremos resultante correspondiente a una falla de Tipo 3, debido a la poca adherencia y a la alta porosidad de los agregados reciclados.

Se puede observar en la Figura 5-11, que el hormigón presenta una fisura en el extremo del cilindro, el mismo que corresponde a una falla Tipo 5. Como se puede observar la presencia de la cerámica por esto ocasiona la falla, debido a sus propiedades.

Además, podemos observar las superficies de falla para conocer algunas propiedades. Por ejemplo, si en el plano de falla se ve que el agregado natural grueso no se fractura, es clara evidencia que no hubo la suficiente adherencia con la pasta de cemento.



Figura 5-9 Falla Tipo 3. Fuente: El Autor.



Figura 5-10 Falla Tipo 5. Fuente: El Autor.

Según los ensayos de compresión se puede observar que los análisis realizados existen comportamientos favorables en cuanto a su resistencia a compresión, sin embargo existen ensayos con ciertas características en específico (a/c y % de escombros) que disminuyen su capacidad de resistencia a compresión lo cual afectaría en el caso de una columna, por lo que es recomendable utilizar este tipo de hormigones en estructuras que no demanden esfuerzos significativos que puedan poner en riesgo la seguridad de cierta estructura.

Los tipos de falla que presentan el hormigón reciclado en relación al hormigón convencional en ciertos casos son las mismas fallas es decir de Tipo 3, esto se ocasiona principalmente cuando el porcentaje de agregado reciclado es de un 25% que en relación con los demás porcentajes es el más cercano; pero en general en el hormigón reciclado se presentan de tipo 4 y 5 esto sucede por el comportamiento de los materiales reciclado en mayor parte por la presencia de cerámica que al ser un material altamente poroso no se adhiere con la misma facilidad que lo hace el agregado grueso natural (grava) con a la pasta de cemento.

5.3 Análisis el costo de producción árido reciclado

Una vez analizado el proceso de diseño de hormigón reciclado, se realiza un análisis de los costos del árido reciclado, el mismo que al ser producido en sitio y a través de la trituración manual presenta un costo bajo en comparación del árido natural. Para la determinación de la herramienta menor esta corresponde al 5% de costo de la mano de obra, en la cual se empleó 3 peones con una tarifa de 3.62 la misma que se obtienen de la tabla de contraloría del año 2021 ya que este valor varía cada año. Para calcular el rendimiento se calcula mediante la división de la jornada y la producción diaria. En cuanto a los materiales se obtuvieron de manera gratuita por lo que su valor es 0.

El costo de producción del árido reciclado es menor debido que en este no se considera el costo del material, mientras que el costo del árido natural grueso tiene un valor de 13.54 \$ el mismo que a diferencia del árido reciclado se considera el costo de transporte, excavación y maquinaria.

Tabla 5-8 Análisis de precios. Fuente: El Autor.

Rubro: PRODUCCIÓN DE ÁRIDO RECICLADO					
Unidad: m3					
Detalle:					
EQUIPOS Y MAQUINARIA					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Precio hora	Rendimiento	Precio
Herramienta menor					0.43
				Subtotal M	0.43
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Precio hora	Rendimiento	Precio
Peón	3.00	3.62	10.86	0.8	8.69
				Subtotal N	8.69
MATERIALES					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Precio hora	Rendimiento	Precio
				Subtotal O	0
TRANSPORTE					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Precio hora	Rendimiento	Precio
				Subtotal P	0
				COSTO DIRECTO	9.12
				COSTO INDIRECTO	
			%	20	1.82
				Precio Total del Rubro	10.94
				Precio Final	10.94

6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se concluye que al realizar la clasificación los materiales utilizados para la sustitución del agregado grueso se lograron identificar que los escombros predominantes en cuanto a su cantidad en la muestra fueron: cerámica, ladrillo, bloque, y hormigón; definiendo así que, el material que alcanzó un mayor porcentaje en cuanto a los demás fue la cerámica con 0.50 m³ de una muestra de un metro cúbico.

Así también se logró identificar que la porosidad que presentan los áridos reciclados y la superficie rugosa de estos dificulta el empleo del hormigón en un estado fresco se concluyó que estos presentan una absorción de agua mayor respecto a los materiales naturales, lo que implicó una alteración en la dosificación de agua, al realizar el ensayo con un agregado reciclado se requirió de un 2.30% de agua respecto a un 1.60% que se requirió al utilizar un árido natural; respecto a las demás características como la granulometría, pesos volumétricos, concuerdan con las características de un árido natural (grava); los agregados reciclados al ser sometidos a ensayos granulométricos cumplen con lo estipulado en la normativa, además presentan una similitud con los agregados de origen natural esto tiene una relación con la manera de obtención y trituración de los escombros, lo cual beneficia al realizar la dosificación y ensayo de las muestras, debido a que no hubo una diferencia significativa entre el escombros y el árido natural grueso.

Respecto al asentamiento que presenta a lo largo de los diferentes porcentajes de escombros y las diferentes relaciones a/c, el más favorable se ocasiona cuando se añade el 50% de escombros en cada una de las relaciones agua/cemento.

La carga máxima a compresión en un concreto reciclado es favorable respecto a sus efectos de compresión mecánica en las diferentes relaciones agua/cemento dependiendo del porcentaje de agregado reciclado (Escombros) que se utilice; así como se observó en las relaciones a/c de 0,35 en donde al sustituir el 75% de áridos naturales por reciclados se produce una resistencia favorable en relación a la de un hormigón convencional.

Finalmente se concluye que, a pesar que no existieron diferencias significativas en las características del concreto en función a las características mecánicas de un hormigón convencional, este no es un impedimento para la aplicación de agregados reciclados en la construcción a través de hormigones nuevos; así pues, se puede aplicar el uso de agregados reciclados a hormigones que requieren de sollicitaciones y esfuerzos menores, sin embargo, se presenta un máximo esfuerzo a compresión en la relación agua/cemento de 0,35 con un porcentaje de sustitución del 75% que es posible optimizarlo con una dosificación de cemento mayor o empleando los aditivos necesarios. Por último, la aplicación de dichos hormigones resulta favorable respecto a condiciones ambientales, debido a que presentan una reducción significativa en el aprovechamiento de recursos pétreos naturales y la posible generación de una mayor cantidad de escombros.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda a las escombreras la clasificación de los materiales de acuerdo a sus características para una mejor recolección.

Se puede aplicar aditivos cuando se elabora la mezcla con el fin de obtener una manejabilidad óptima de la mezcla de hormigón reciclado.

Para mayor exactitud en los datos se recomienda realizar ensayos con cada uno de los escombros, es decir, analizar el comportamiento de la cerámica, teja, ladrillo y bloque.

Se recomienda aplicar estos hormigones en elementos considerados como no estructurales que no demanden solicitaciones específicas, tales como bordillos, aceras y cerramientos.

7 CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

7.1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Sánchez de Guzmán , Tecnología Del Concreto y del Mortero, Colombia: BHANDAR EDITORES LTDA, 2002.
- [2] INECYC, Notas técnicas de los cementos compuestos, 2010.
- [3] INEN 2010a, NTE INEN 152: Cemento Portland Requitos.
- [4] INEN , NTE INEN 490: Cementos hidráulicos compuestos, requisitos, 2011.
- [5] INEN, NTE INEN 2380: Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos, 2010b.
- [6] S. Kostmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tanessi, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Mexico D.F: s.n, 2004.
- [7] INEN, NTE INEN 856: Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino., vol. 1, Gestión Ambiental. , 2002a, p. 5.
- [8] INEN , NTE INEN 872.Áridos para hormigón. Requisitos, 2011.
- [9] G. P. Alaejos, Tipos y propiedades de áridos reciclados, CEDEX, 2008.
- [10] GERD, Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, España, 2012.
- [11] ASTM C-136, American Society of Testing Materials, Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos, 2001.
- [12] F. López Gayarre, Influencia de las variaciones de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre propiedades físicas y mecánicas, Oviedo: Institute A,C, 2008.

- [13] C. Poon, S. Kou y S. Lam, Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks., Vols. %1 de %216, 281-289, Cement and Concrete Research, 2002.
- [14] T. J. Castaño, Fluencia y retracción de hormigón de áridos reciclados., Valencia: Tesis Universidad Politecnica de Valencia, 2009.
- [15] European Demolition Association, Guía Española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD), España, 1992.
- [16] I. Topcu, Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete., Vols. %1 de %227, 1817-1823, Cement and Concrete Research, 1997.
- [17] R. Akash, N. Kumar y M. Sudhir, Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete., Vols. %1 de %250, 71-81, Resources, Conservation and Recycling, 2007.
- [18] C. M. Bedoya, Viviendas de interes social y prioritarias sostenibles en Colombia., Colombia: Sostenibilidad Tecnología y Humanismo, 2011.
- [19] C. J. Vanegas y C. J. Robles, Estudio experimental de las propiedades mecánicas del concreto reciclado para su uso en edificaciones convencionales., Bogotá: Tesis Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Javeriana., 2008.
- [20] F. Olorunsogo y N. Padayachee, Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes, vol. 32, Cement and Concrete Research, 2002.
- [21] R. Zaharieva, F. Buyle-Bodin, F. Skoczylas y E. Wirquin, Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete, Vols. %1 de %225, 223-232, Cement and Concrete Composites, 2003.
- [22] C. K. Sagoe y T. Brown, Guide for specification of recycled concrete aggregate (RCA) for concrete production, 1998.
- [23] R. A. Arias Cabezas, Artist, *TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL*. [Art]. Universidad Central del Ecuador, 2017.

- [24] INEN, «Áridos. Determinación del contenido total de humedad,» de *NTE INEN 0980*, 2012.
- [25] ASTM C 125, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates., Annual Book of ASTM Standards, vol. 3, no., 2011.
- [26] INEN, «Áridos. Reducción de muestras a tamaños de ensayo,» de *NTE INEN 2566*, 2010c.
- [27] C. Poon, Z. Shui, S. Lam, H. Fok y S. Kou, Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete, Vols. %1 de %234, 31-36, Cement and Concrete research, 2004.
- [28] M. F. Serrano y D. D. Pérez, Use of recycling materials to build paver blocks for low volume roads in developing countries. Journal Transportation Research Record., Transportation Research Board of the National Academies, 2011.
- [29] M. Olivares, J. Laffarga, C. Galán y P. Nadal, Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad., vol. 54, Materiales de Construcción, 2003.
- [30] G. Rivera, Concreto Simple. Tecnología del concreto, pp.256, 2013.

7.2 ANEXOS



**Ilustre Municipalidad de
Azogues**
**DEPARTAMENTO DE CONTROL
URBANO**



OFICIO N° GADMA-DCU-2020-0625-O
Azogues, 20 de julio de 2020

Ingeniero
Ricardo Romero
Presente.

De mi consideración:

En atención al oficio GADMA-2020-7770-Ext, en el cual solicita información con respecto al número de **PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN MAYOR**, emitidos en el año 2019, para la elaboración de trabajo de titulación de Jéssica Lisseth Vivar González, me permito informar que, en total se emitieron 350 *Permisos de Construcción Mayor*, durante todo el año 2019.

Particular que comunico a Usted para fines pertinentes.

Atentamente,

Arq. Génesis Cadena Ortega
ARQUITECTA

Adjunto: - OFICIO



Dirección: Solano y Matovelle esq. Teléfono: (5937) 2240060 ext. 3141 Fax (5937) 2240212
www.azogues.gob.ec

SGO GADMA

1/1

Anexo 7-1 Número de permiso de construcción.

Azogues, 12 de enero de 2021

Ingeniero

Ricardo Romero González.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Su despacho. -

Reciba un atento saludo y al mismo tiempo aprovecho para desearle éxitos en sus funciones. Por medio del presente, me dirijo a usted para solicitarle de la manera más comedida, permitir el acceso al laboratorio de suelos de la universidad.

En el mismo se realizarán alrededor de cuarenta prácticas de ensayos de hormigón a partir de las 8 de la mañana a las 12 del día, con los siguientes materiales: cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (escombros) se ingresará 18 cilindros para ensayos de 15x20 adicionales a los que se me facilitaran en el laboratorio.

Las actividades a realizarse servirán para el trabajo de titulación "**HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION**" mediante el asesoramiento del docente tutor Ing. Jorge Crespo Crespo.

Anticipando mis agradecimientos por la oportuna atención que sabrá dar al presente.

Atentamente,

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO



Jéssica Lisseth Vivar González

Cronograma

ENERO					
Días/ Actividad	Lunes 25	Martes 26	Miércoles 27	Jueves 28	Viernes 29
08:00H - 12H00	Granulometría agregado fino	Absorción agregado fino	Peso específico agregado fino	Densidad agregado fino	Elaboración de cilindros de prueba
FEBRERO					
Días/ Actividad	Lunes 01	Martes 02	Miércoles 03	Jueves 04	Viernes 05
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros
FEBRERO					
Días/ Actividad	Lunes 08	Martes 09	Miércoles 10	Jueves 11	Viernes 12
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Ensayo de Compresión	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros
FEBRERO					
Días/ Actividad	Lunes 15	Martes 16	Miércoles 17	Jueves 18	Viernes 19
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros y Ensayo de Compresión	Elaboración de cilindros
FEBRERO					
Días/ Actividad	Lunes 22	Martes 23	Miércoles 24	Jueves 25	Viernes 26
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros
MARZO					
Días/ Actividad	Lunes 01	Martes 02	Miércoles 03	Jueves 04	Viernes 05
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros y Ensayo de Compresión	Elaboración de cilindros
MARZO					
Días/ Actividad	Lunes 08	Martes 09	Miércoles 10	Jueves 11	Viernes 12
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros

MARZO					
Días/ Actividad	Lunes 15	Martes 16	Miércoles 17	Jueves 18	Viernes 19
08:00H - 12H00	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Elaboración de cilindros	Ruptura de cilindros

Anexo 7-2 Ingreso al laboratorio de la Universidad.



TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
FECHA DEL ENSAYO	
MATERIAL	ARENA GRUESA DE SANTA ISABEL

Granulometría Agregado Fino									
INEN 696:2011 ASTM C 136-05									
Agregado Fino									
#TAMIZ		Peso Acumulado	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%Pasa	Norma INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM (mm)								
3/4	19,05	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
3/8	9,9	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
4	4,80	26,00	26,00	4,92	4,92	95,08	95%	100%	✓
8	2,4	104,78	78,78	14,92	19,84	80,16	80%	100%	✓
16	1,2	241,50	136,72	25,89	45,73	54,27	50%	85%	✓
30	0,59	312,12	70,62	13,37	59,10	40,90	25%	60%	✓
50	0,287	400,24	88,12	16,69	75,79	24,21	5%	30%	✓
100	0,149	501,54	101,30	19,18	94,97	5,03	0%	10%	✓
Fondo	Fondo	528,10	26,56	5,03	100	0			
TOTAL			528,10						
Peso inicial muestra			528,33						
% de pérdidas (Error)			0,04						
Modulo de Finura			3 -						

Anexo 7-3 Ensayo de Granulometría Árido Fino.

TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
FECHA DEL ENSAYO	
MATERIAL	GRAVA DE SANTA ISABEL

Granulometría Agregado Grueso									
INEN 696:2011 ASTM C 136-05									
Agregado Grueso									
#TAMIZ		Peso Acumulado	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%Pasa	Norma INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM (mm)								
2	50	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
1 1/2	37,5	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
1	25	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
3/4	19	118,00	118,00	1,22	1,22	98,78	90%	100%	✓
1/2	12,5	5527,00	5409,00	55,84	57,06	42,94	43%	70%	✓
3/8	9,5	7345,00	2218,00	22,90	79,96	20,04	20%	55%	✓
#4	4,75	9610,00	1865,00	19,25	99,22	0,78	0%	10%	✓
Fondo	Fondo	9686,00	76,00	0,78	100	0	5%	30%	✓
TOTAL			9686,00						
Peso inicial muestra			9697,00						
% de pérdidas (Error)			0,11						

Anexo 7-4 Ensayo de Granulometría Árido Grueso.

TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
FECHA DEL ENSAYO	
MATERIAL	ESCOMBROS (Escombrera Municipal Azogues)

Granulometría Agregado Escombros									
INEN 696:2011 ASTM C 136-06									
Escombros									
#TAMIZ		Peso Acumulado	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%Pasa	Norma GRADACION INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM(mm)								
2	50	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
1 1/2	37,5	0	0	0	0	100	100%	100%	✓
1	25	0	0	0	0	100	90%	100%	✓
3/4	19	2700,00	2700,00	32,23	32,23	67,77	40%	85%	✓
1/2	12,5	6840,00	4140,00	49,42	81,64	18,36	10%	40%	✓
3/8	9,5	7760,00	920,00	10,98	92,62	7,38	0%	15%	✓
#4	4,75	8310,00	550,00	6,56	99,19	0,81	0%	5%	✓
Fondo	Fondo	8378,00	68,00	0,81	100	0			
TOTAL		8378,00							
Peso inicial muestra		8380,00							
% de pérdidas (Error)		0,02							



TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR:	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
MATERIAL:	GRAVA DE SANTA ISABEL
PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO GRUESO	

DATOS	
Gc=	277460
Gs=	27190,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m3

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	27735
Peso 2	27752
Peso 3	27751
Promedio	27746

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	27183
Peso 2	27237
Peso 3	27100
Promedio	27190

PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO GRUESO	
---	--

DATOS	
Gc=	27621,0
Gs=	27250,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m3

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	27624
Peso 2	27621
Peso 3	27619
Promedio	27621

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	27249
Peso 2	27247
Peso 3	27255
Promedio	27250

PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO GRUESO	
---	--

DATOS	
Gc=	27790,0
Gs=	27241,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m3

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	27790
Peso 2	27787
Peso 3	27793
Promedio	27790

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	27243
Peso 2	27241
Peso 3	27239
Promedio	27241

Anexo 7-6 Ensayo pesos volumétricos árido grueso.



TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
MATERIAL	ARENA GRUESA DE SANTA ISABEL
PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO FINO	

DATOS	
Gc=	10775,4
Gs=	10675,7
T=	6104,0
V=	0,00295

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m4

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	10777,2
Peso 2	10675,5
Peso 3	10873,6
Promedio	10775,4

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	10673,9
Peso 2	10675,2
Peso 3	10677,6
Promedio	10675,7

PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO FINO	
---	--

DATOS	
Gc=	10828,0
Gs=	10637,0
T=	6104,0
V=	0,00295

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m4

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	10829
Peso 2	10824
Peso 3	10831
Promedio	10828,0

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	10633
Peso 2	10633
Peso 3	10640
Promedio	10637,0

PESOS VOLUMETRICOS AGREGADO FINO	
---	--

DATOS	
Gc=	10785,0
Gs=	10630,0
T=	6104,0
V=	0,00295

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m4

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	10789
Peso 2	10784
Peso 3	10782
Promedio	10785,0

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	10628
Peso 2	10631
Peso 3	10631
Promedio	10630,0

TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO
MATERIAL	ESCOMBROS
PESOS VOLUMETRICOS ESCOMBROS	

DATOS	
Gc=	25768,0
Gs=	24818,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m ³

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	25798
Peso 2	25804
Peso 3	25699
Promedio	25768,0

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	24817
Peso 2	24818
Peso 3	24819
Promedio	24818,0

PESOS VOLUMETRICOS ESCOMBROS	
-------------------------------------	--

DATOS	
Gc=	27621,0
Gs=	27250,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m ³

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	27620
Peso 2	27621
Peso 3	27621
Promedio	27621,0

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	27249
Peso 2	27250
Peso 3	27251
Promedio	27250,0

PESOS VOLUMETRICOS ESCOMBROS	
-------------------------------------	--

DATOS	
Gc=	27790,0
Gs=	27241,0
T=	14935,0
V=	0,00957

Nomenclatura	
Gc	masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
Gs	masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
T	masa del molde; kg
V	Volumen del molde; m ³

P.VOL.COMPACTADO-MOLDE	
Peso 1	27792
Peso 2	27789
Peso 3	27790
Promedio	27790,0

P.VOL.SUELTO-MOLDE	
Peso 1	27241
Peso 2	27243
Peso 3	27239
Promedio	27241,0



TESIS:	HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE
ALUMNO:	JÉSSICA LISSETH VIVAR GONZÁLEZ
TUTOR	ING. JORGE EFARÍN CRESPO CRESPO

DENSIDAD DE AGREGADO FINO

DATOS		
Peso picnómetro	413,00	gr
Peso picnómetro + agua	1207,79	gr
Peso picnómetro + agua + mues	1506,9	gr
Peso inicial de la muestra	500	

DENSIDAD DE AGREGADO GRUESO

DATOS	
Peso de la canasta	1604
A= Masa de la muestra al horno	2840
B= Masa en aire de la muestra sss	2880
C=Masa aparente en agua de la muestra	1783

DENSIDAD DE AGREGADO DE ESCOMBROS

DATOS	
Peso de la canasta	1604
A= Masa de la muestra al horno	1955
B= Masa en aire de la muestra sss	2000
C=Masa aparente en agua de la muestra	1285

Anexo 7-9 Ensayo para determinar la Densidad.

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	PESO (kg)	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAM. PROM.	ALTURA 1	ALTURA 2	AREA	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg)	NOMENCLATURA
1	4/2/2021	11/2/2021	7	3659	10	10	10	20,4	20,5	78,54	17390	221	1Aa
2	4/2/2021	11/2/2021	7	3568	10	9,9	9,95	20,1	20,2	77,76	17180	221	2Aa
3	24/2/2021	10/3/2021	14	3672	10,4	10,3	10,35	20	20	84,13	22250	264	3Aa
4	24/2/2021	10/3/2021	14	3670	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	22360	271	4Aa
5	24/2/2021	24/3/2021	28	3672	10,1	10,2	10,15	20,3	20,4	80,91	26550	328	5Aa
6	24/2/2021	24/3/2021	28	3613	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	28130	341	6Aa
7	24/2/2021	24/3/2021	28	3614	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	27810	344	7Aa
8	24/2/2021	24/3/2021	28	3681	10	10,1	10,05	20,3	20,5	79,33	27590	348	8Aa
9	24/2/2021	24/3/2021	28	3641	10,1	10,3	10,20	20	20	81,71	26950	330	9Aa
10	24/2/2021	24/3/2021	28	3662	10,3	10,2	10,25	20,3	20,4	82,52	26740	324	10Aa
11	24/2/2021	24/3/2021	28	3651	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	26450	327	11Aa
12	24/2/2021	24/3/2021	28	3625	10	10	10,00	20	20	78,54	27000	344	12Aa
13	24/2/2021	24/3/2021	28	3574	10,1	10,3	10,20	20,3	20,5	81,71	26690	327	13Aa
14	4/2/2021	11/2/2021	7	3552	10,2	10,3	10,25	20	20	82,52	11920	144	1A
15	4/2/2021	11/2/2021	7	3403	10	10	10	20	19,9	78,54	11790	150	2A
16	4/2/2021	22/2/2021	18	3422	10	10,1	10,05	19,9	20	79,33	13588	171	3A
17	4/2/2021	22/2/2021	18	3402	9,8	9,9	9,85	19,9	19,9	76,20	12514	164	4A
18	4/2/2021	4/3/2021	28	3444	10	10	10	19,9	20	78,54	19980	254	5A
19	4/2/2021	4/3/2021	28	3404	10	10	10	19,9	20	78,54	19540	249	6A
20	4/2/2021	4/3/2021	28	3438	10	10	10	20	19,9	78,54	20960	267	7A
21	4/2/2021	4/3/2021	28	3440	10	10	10	20	20	78,54	20290	258	8A
22	4/2/2021	4/3/2021	28	3430	9,9	10	9,95	20	20	77,76	21090	271	9A
23	4/2/2021	4/3/2021	28	3405	9,9	10	9,95	20	20	77,76	20700	266	10A
24	4/2/2021	4/3/2021	28	3420	10	10	10	20,2	20,3	78,54	20870	266	11A
25	4/2/2021	4/3/2021	28	3440	10,1	10	10,05	20	20	79,33	20950	264	12A
26	4/2/2021	4/3/2021	28	3410	10	10	10	20	20	78,54	20900	266	13A
27	4/2/2021	11/2/2021	7	3574	10,2	10,1	10,15	20,3	20,3	80,91	13110	162	1B
28	4/2/2021	11/2/2021	7	3602	10,2	10,1	10,15	20,3	20,5	80,91	13030	161	2B
29	4/2/2021	22/2/2021	18	3585	10,3	10,4	10,35	19,9	20	84,13	14474	172	3B
30	4/2/2021	22/2/2021	18	3589	10	10	10	20,4	20,3	78,54	14560	185	4B
31	4/2/2021	4/3/2021	28	3519	10,1	10	10,05	20	20	79,33	21960	277	5B
32	4/2/2021	4/3/2021	28	3605	10,3	10,3	10,3	20	20	83,32	21780	261	6B
33	4/2/2021	4/3/2021	28	3599	10,3	10,2	10,25	20,1	20	82,52	20900	253	7B
34	4/2/2021	4/3/2021	28	3607	10,3	10,3	10,3	20	20,1	83,32	22490	270	8B
35	4/2/2021	4/3/2021	28	3650	10,3	10,2	10,25	20,5	20,3	82,52	22200	269	9B
36	4/2/2021	4/3/2021	28	3415	10	10	10	20	20	78,54	19450	248	10B
37	4/2/2021	4/3/2021	28	3415	10	10	10	20,1	20	78,54	20980	267	11B
38	4/2/2021	4/3/2021	28	3412	10	10	10	20	20	78,54	20900	266	12B
39	4/2/2021	4/3/2021	28	3399	10	10	10	20	20	78,54	21100	269	13B
40	5/2/2021	12/2/2021	7	3414	10	10	10	20	20	78,54	15020	191	1C
41	5/2/2021	12/2/2021	7	3423	10	10	10	20	19,9	78,54	14620	186	2C
42	5/2/2021	22/2/2021	17	3423	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	17360	226	3C
43	5/2/2021	22/2/2021	17	3411	10	10	10	20	20	78,54	16371	208	4C
44	5/2/2021	5/3/2021	28	3424	10	10	10	19,9	20	78,54	21700	276	5C
45	5/2/2021	5/3/2021	28	3439	10	10	10	20	20	78,54	23460	299	6C
46	5/2/2021	5/3/2021	28	3445	10	10	10	20	20	78,54	24250	309	7C
47	5/2/2021	5/3/2021	28	3423	10	10	10	20,1	20	78,54	22440	286	8C
48	5/2/2021	5/3/2021	28	3420	10	10	10	20	20	78,54	25500	325	9C
49	5/2/2021	5/3/2021	28	3403	10	10	10	20	20	78,54	24010	306	10C
50	5/2/2021	5/3/2021	28	3423	10	10	10	20,2	20,1	78,54	24200	308	11C
51	5/2/2021	5/3/2021	28	3406	10	10	10	19,9	20	78,54	24970	318	12C
52	5/2/2021	5/3/2021	28	3420	10	10	10	20,1	20,1	78,54	25490	325	13C
53	5/2/2021	12/2/2021	7	3578	10,3	10,2	10,25	20,1	20	82,52	16490	200	1D
54	5/2/2021	12/2/2021	7	3565	10,3	10,2	10,25	20,4	20,3	82,52	16300	198	2D
55	5/2/2021	22/2/2021	17	3485	10,2	10,2	10,2	19,9	20	81,71	18331	224	3D
56	5/2/2021	22/2/2021	17	3558	10,1	10,1	10,1	19,8	19,9	80,12	20868	260	4D
57	5/2/2021	5/3/2021	28	3581	10	10	10	20,4	20,4	78,54	26580	338	5D
58	5/2/2021	5/3/2021	28	3545	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	26590	322	6D
59	5/2/2021	5/3/2021	28	3551	10,1	10,1	10,1	20,3	20,3	80,12	26760	334	7D
60	5/2/2021	5/3/2021	28	3620	10,2	10,2	10,2	20,4	20,4	81,71	25740	315	8D
61	5/2/2021	5/3/2021	28	3541	10,3	10,2	10,25	19,9	20	82,52	27900	338	9D
62	5/2/2021	5/3/2021	28	3556	10	10	10	20,4	20,3	78,54	27270	347	10D
63	5/2/2021	5/3/2021	28	3382	9,9	10	9,95	19,9	19,9	77,76	27080	348	11D
64	5/2/2021	5/3/2021	28	3518	10,3	10,4	10,35	20	20	84,13	26480	315	12D
65	5/2/2021	5/3/2021	28	3650	10,3	10,2	10,25	20,4	20,3	82,52	27840	337	13D
66	8/2/2021	18/2/2021	10	3346	10	10	10	20	20	78,54	12761	162	1E
67	8/2/2021	18/2/2021	10	3344	10	10	10	20	20	78,54	12544	160	2E
68	8/2/2021	22/2/2021	14	3651	10,2	10,1	10,15	20,3	20,3	80,91	15310	189	3E
69	8/2/2021	22/2/2021	14	3680	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	15940	193	4E
70	22/2/2021	8/3/2021	28	3350	10	10	10,00	20	20	78,54	24050	306	5E
71	22/2/2021	8/3/2021	28	3350	10	10	10,00	20	20	78,54	23380	298	6E
72	22/2/2021	8/3/2021	28	3361	10	10	10,00	20	20,1	78,54	23840	304	7E
73	22/2/2021	8/3/2021	28	3358	9,9	10	9,95	20	20	77,76	24200	311	8E
74	22/2/2021	8/3/2021	28	3352	10	9,9	9,95	20	20	77,76	24670	317	9E
75	22/2/2021	8/3/2021	28	3364	10	10	10,00	20,1	20	78,54	24420	311	10E
76	22/2/2021	8/3/2021	28	3359	10	10	10,00	20	20,1	78,54	24590	313	11E
77	22/2/2021	8/3/2021	28	3332	10	10	10,00	20	20	78,54	23800	303	12E
78	22/2/2021	8/3/2021	28	3343	10	10	10,00	20	20	78,54	23660	301	13E

Anexo 7-10 Tabla de datos para una relación a/c 0,35. Fuente: El Autor.

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	PESO (kg)	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAM. PROM.	ALTURA 1	ALTURA 2	AREA	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg)	NOMENCLATURA
1	4/2/2021	11/2/2021	7	3553	10	9,9	9,95	20	20	77,76	13330	171	18b
2	4/2/2021	11/2/2021	7	3559	10	10	10	20	20	78,54	14100	180	28b
3	25/2/2021	11/3/2021	14	3543	10	10	10	20	20	78,54	18420	235	38b
4	25/2/2021	11/3/2021	14	3540	10	10	10	20,1	20	78,54	18360	234	48b
5	25/2/2021	25/3/2021	28	3533	10	10	10	20	20	78,54	21600	275	58b
6	25/2/2021	25/3/2021	28	3539	10	10	10	20	20	78,54	21490	274	68b
7	25/2/2021	25/3/2021	28	3555	10	10	10	20	20	78,54	21990	280	78b
8	25/2/2021	25/3/2021	28	3568	10	10	10	20	20	78,54	22690	289	88b
9	25/2/2021	25/3/2021	28	3537	10	10	10	20	20	78,54	22010	280	98b
10	25/2/2021	25/3/2021	28	3556	10	10	10	20	20	78,54	22330	284	108b
11	25/2/2021	25/3/2021	28	3550	10	10	10	20	20	78,54	22240	283	118b
12	25/2/2021	25/3/2021	28	3542	10	10	10	20	20	78,54	22150	282	128b
13	25/2/2021	25/3/2021	28	3539	10	10	10	20	20	78,54	22230	283	138b
14	8/2/2021	18/2/2021	10	3645	10,2	10,2	10,2	20,4	20,4	81,71	12999	159	1F
15	8/2/2021	18/2/2021	10	3591	10,2	10	10,1	20	20	80,12	12820	160	2F
16	8/2/2021	22/2/2021	14	3353	9,9	10	9,95	20,1	20	77,76	18890	243	3F
17	8/2/2021	22/2/2021	14	3340	10	10	10	19,9	20	78,54	18160	231	4F
18	22/2/2021	8/3/2021	28	3649	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	24640	302	5F
19	22/2/2021	8/3/2021	28	3746	10,2	10,2	10,2	20,3	20,5	81,71	26080	319	6F
20	22/2/2021	8/3/2021	28	3652	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	25780	315	7F
21	22/2/2021	8/3/2021	28	3703	10,2	10,2	10,2	20,4	20,5	81,71	24200	296	8F
22	22/2/2021	8/3/2021	28	3675	10,1	10,1	10,1	20,5	20,5	80,12	22520	281	9F
23	22/2/2021	8/3/2021	28	3645	10,1	10,1	10,1	20,3	20,3	80,12	24520	306	10F
24	22/2/2021	8/3/2021	28	3470	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	22110	287	11F
25	22/2/2021	8/3/2021	28	3456	10	9,9	9,95	20,1	20	77,76	24310	313	12F
26	22/2/2021	8/3/2021	28	3475	10	10,1	10,05	19,9	20	79,33	23970	302	13F
27	9/2/2021	18/2/2021	9	3425	10	9,9	9,95	20	20	77,76	12872	166	1G
28	9/2/2021	18/2/2021	9	3429	10	10	10	20	20	78,54	12242	156	2G
29	9/2/2021	23/2/2021	14	3430	10	10	10	20,1	20,1	78,54	18630	237	3G
30	9/2/2021	23/2/2021	14	3450	10	10	10	20	20	78,54	18860	240	4G
31	9/2/2021	9/3/2021	28	3454	10	10	10	20	20	78,54	22030	280	5G
32	9/2/2021	9/3/2021	28	3441	10	10	10	20,1	20	78,54	22010	280	6G
33	9/2/2021	9/3/2021	28	3427	10	10	10	20	20	78,54	22230	283	7G
34	9/2/2021	9/3/2021	28	3428	10	9,9	9,95	19,9	20	77,76	22650	291	8G
35	9/2/2021	9/3/2021	28	3441	10	10	10	20	20	78,54	21580	275	9G
36	9/2/2021	9/3/2021	28	3416	10	10	10	19,9	20	78,54	21560	275	10G
37	9/2/2021	9/3/2021	28	3436	10	10	10	20	20	78,54	22210	283	11G
38	9/2/2021	9/3/2021	28	3425	9,8	9,9	9,85	20	20	76,20	22680	298	12G
39	9/2/2021	9/3/2021	28	3437	10	10	10	20	20	78,54	22800	290	13G
40	9/2/2021	18/2/2021	9	3568	10,3	10,3	10,3	20,4	20,4	83,32	10473	126	1H
41	9/2/2021	18/2/2021	9	3408	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	10333	125	2H
42	9/2/2021	23/2/2021	14	3345	10	10	10	20	19,9	78,54	14280	182	3H
43	9/2/2021	23/2/2021	14	3529	10,3	10,3	10,3	20,1	20,1	83,32	13480	162	4H
44	9/2/2021	9/3/2021	28	3474	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	18300	224	5H
45	9/2/2021	9/3/2021	28	3561	10,2	10,2	10,2	20,5	20,4	81,71	16490	202	6H
46	9/2/2021	9/3/2021	28	3534	10	10	10	20,5	20,4	78,54	17380	221	7H
47	9/2/2021	9/3/2021	28	3345	10	10	10	20,1	20	78,54	16040	204	8H
48	9/2/2021	9/3/2021	28	3517	10,1	10,2	10,15	20,3	20,4	80,91	16130	199	9H
49	9/2/2021	9/3/2021	28	3530	10,2	10,3	10,25	20	20	82,52	17840	216	10H
50	9/2/2021	9/3/2021	28	3514	10,2	10,1	10,15	20,3	20,2	80,91	15410	190	11H
51	9/2/2021	9/3/2021	28	3352	10	10	10	20	20	78,54	16980	216	12H
52	9/2/2021	9/3/2021	28	3533	10,1	10,1	10,1	20	20	80,12	17680	221	13H
53	10/2/2021	18/2/2021	8	3237	10	10	10	19,9	19,9	78,54	10316	131	1I
54	10/2/2021	18/2/2021	8	3234	10	9,9	9,95	20	20	77,76	10106	130	2I
55	10/2/2021	24/2/2021	14	3259	10	10	10	20	20	78,54	13080	167	3I
56	10/2/2021	24/2/2021	14	3210	10	10	10	20,1	20	78,54	12700	162	4I
57	10/2/2021	10/3/2021	28	3259	10	10	10,00	20	20	78,54	16550	211	5I
58	10/2/2021	10/3/2021	28	3241	10	10	10,00	20	20	78,54	16130	205	6I
59	10/2/2021	10/3/2021	28	3250	10	10	10,00	20	20	78,54	15260	194	7I
60	10/2/2021	10/3/2021	28	3252	10	10	10,00	20	20	78,54	16130	205	8I
61	10/2/2021	10/3/2021	28	3218	10	10	10,00	20	20	78,54	15390	196	9I
62	10/2/2021	10/3/2021	28	3246	10,2	10,3	10,25	20,5	20,4	82,52	15560	189	10I
63	10/2/2021	10/3/2021	28	3247	10	10	10,00	20	20	78,54	15570	198	11I
64	10/2/2021	10/3/2021	28	3238	10	10	10,00	20	20	78,54	16310	208	12I
65	10/2/2021	10/3/2021	28	3231	10	10	10,00	20	20	78,54	16410	209	13I
66	10/2/2021	18/2/2021	8	3366	10,1	10,3	10,2	19,9	20	81,71	9948	122	1J
67	10/2/2021	18/2/2021	8	3450	10,2	10,3	10,25	20,3	20,2	82,52	10386	126	2J
68	10/2/2021	24/2/2021	14	3217	10	10	10	20	20	78,54	11630	148	3J
69	10/2/2021	24/2/2021	14	3230	10	10	10	20	20	78,54	11900	152	4J
70	10/2/2021	10/3/2021	28	3418	10,2	10,2	10,20	20	20	81,71	17340	212	5J
71	10/2/2021	10/3/2021	28	3251	10	10	10,00	20	20	78,54	15350	195	6J
72	10/2/2021	10/3/2021	28	3413	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	16500	200	7J
73	10/2/2021	10/3/2021	28	3425	10,2	10	10,10	20,3	20,4	80,12	14950	187	8J
74	10/2/2021	10/3/2021	28	3502	10,1	10	10,05	20,4	20,4	79,33	15610	197	9J
75	10/2/2021	10/3/2021	28	3417	10,1	10,2	10,15	20,2	20,3	80,91	16610	205	10J
76	10/2/2021	10/3/2021	28	3348	10,1	10	10,05	20,1	20	79,33	15030	189	11J
77	10/2/2021	10/3/2021	28	3415	10,2	10,2	10,20	20	20	81,71	14990	183	12J
78	10/2/2021	10/3/2021	28	3373	10,1	10,2	10,15	20,3	20,2	80,91	12600	156	13J

Anexo 7-11 Tabla de datos para una relación a/c 0,40. Fuente: El Autor.

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	PESO (kg)	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAM. PROM.	ALTURA 1	ALTURA 2	AREA	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg)	NOMENCLATURA
1	5/2/2021	12/2/2021	7	3609	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	13700	178	1Cc
2	5/2/2021	12/2/2021	7	3615	10	9,9	9,95	20	20	77,76	13800	177	2Cc
3	25/2/2021	11/3/2021	14	3579	10	10	10	20,1	20	78,54	16660	212	3Cc
4	25/2/2021	11/3/2021	14	3570	10	10	10	20	20	78,54	16700	213	4Cc
5	25/2/2021	25/3/2021	28	3580	10	10	10	20	20	78,54	19030	242	5Cc
6	25/2/2021	25/3/2021	28	3571	10	10	10	20	20	78,54	21200	270	6Cc
7	25/2/2021	25/3/2021	28	3580	10	10	10	20	20	78,54	19940	254	7Cc
8	25/2/2021	25/3/2021	28	3575	10	9,9	9,95	20,2	20,1	77,76	21170	272	8Cc
9	25/2/2021	25/3/2021	28	3763	10,3	10	10,15	20,5	20,5	80,91	21620	267	9Cc
10	25/2/2021	25/3/2021	28	3546	10	10	10	20,1	20	78,54	20180	257	10Cc
11	25/2/2021	25/3/2021	28	3652	10	10	10	20	20	78,54	21150	269	11Cc
12	25/2/2021	25/3/2021	28	3541	10	10	10	20	20	78,54	20980	267	12Cc
13	25/2/2021	25/3/2021	28	3694	9,9	10	9,95	20,2	20,1	77,76	20790	267	13Cc
14	11/2/2021	18/2/2021	7	3422	10	10	10	19,9	20	78,54	12730	162	1K
15	11/2/2021	18/2/2021	7	3426	10,2	10,1	10,15	19,8	19,9	80,91	12270	152	2K
16	11/2/2021	25/2/2021	14	3445	10	10	10	20	20	78,54	14140	180	3K
17	11/2/2021	25/2/2021	14	3438	10	10	10	20	20	78,54	14730	188	4K
18	11/2/2021	11/3/2021	28	3441	10	10	10	20	20	78,54	18110	231	5K
19	11/2/2021	11/3/2021	28	3416	10	10	10	20	20	78,54	17020	217	6K
20	11/2/2021	11/3/2021	28	3458	10	10	10	20	20	78,54	18370	234	7K
21	11/2/2021	11/3/2021	28	3436	10	10	10	20	20	78,54	18470	235	8K
22	11/2/2021	11/3/2021	28	3458	10	10	10	20	20	78,54	19030	242	9K
23	11/2/2021	11/3/2021	28	3426	10	10	10	20	20	78,54	17860	227	10K
24	11/2/2021	11/3/2021	28	3436	10	10	10	20	20	78,54	18410	234	11K
25	11/2/2021	11/3/2021	28	3446	10	10	10	20	20	78,54	18890	241	12K
26	11/2/2021	11/3/2021	28	3458	10	10	10	20	20	78,54	18740	239	13K
27	11/2/2021	18/2/2021	7	3511	10,2	10	10,1	20	19,7	80,12	12270	153	1L
28	11/2/2021	18/2/2021	7	3373	10	9,9	9,95	20	20	77,76	11680	150	2L
29	11/2/2021	25/2/2021	14	3373	10	10	10	20	20	78,54	14074	179	3L
30	11/2/2021	25/2/2021	14	3567	10,1	10,2	10,15	20,4	20,5	80,91	14840	183	4L
31	11/2/2021	11/3/2021	28	3579	10	10	10	20	20,1	78,54	17110	218	5L
32	11/2/2021	11/3/2021	28	3571	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	17730	215	6L
33	11/2/2021	11/3/2021	28	3566	10,3	10,2	10,25	20,4	20,4	82,52	16930	205	7L
34	11/2/2021	11/3/2021	28	3517	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	14940	185	8L
35	11/2/2021	11/3/2021	28	3566	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	17370	213	9L
36	11/2/2021	11/3/2021	28	3636	10,2	10,3	10,25	20,4	20,3	82,52	18290	222	10L
37	11/2/2021	11/3/2021	28	3551	10,1	10,1	10,1	20,5	20,5	80,12	17670	221	11L
38	11/2/2021	11/3/2021	28	3596	10,2	10,2	10,2	20,4	20,4	81,71	18450	226	12L
39	11/2/2021	11/3/2021	28	3556	10	10	10	20,3	20,3	78,54	17140	218	13L
40	12/2/2021	22/2/2021	7	3505	10	10	10	20	20	78,54	11990	153	1M
41	12/2/2021	22/2/2021	7	3339	10	10	10	20	20	78,54	11610	148	2M
42	12/2/2021	26/2/2021	14	3331	10	10	10	20	20	78,54	13260	169	3M
43	12/2/2021	26/2/2021	14	3318	10	10	10	20,1	20	78,54	12740	162	4M
44	12/2/2021	12/3/2021	28	3334	10	10	10	20,1	20,1	78,54	14350	183	5M
45	12/2/2021	12/3/2021	28	3324	10	10	10	20	20	78,54	15300	195	6M
46	12/2/2021	12/3/2021	28	3320	10	10	10	20,1	20,1	78,54	15510	197	7M
47	12/2/2021	12/3/2021	28	3340	10	10	10	20,1	20	78,54	16400	209	8M
48	12/2/2021	12/3/2021	28	3347	10	10	10	20	20,1	78,54	16210	206,39	9M
49	12/2/2021	12/3/2021	28	3344	10	10	10	20	20	78,54	16210	206,39	10M
50	12/2/2021	12/3/2021	28	3338	10	10	10	20,1	20,1	78,54	15440	196,59	11M
51	12/2/2021	12/3/2021	28	3347	10	10	10	20	20	78,54	16410	208,94	12M
52	12/2/2021	12/3/2021	28	3336	10	10	10	20	20	78,54	16710	212,76	13M
53	12/2/2021	22/2/2021	7	3485	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	12040	147	1N
54	12/2/2021	22/2/2021	7	3561	10,2	10,3	10,25	20,5	20,4	82,52	12040	146	2N
55	12/2/2021	26/2/2021	14	3454	10,1	10,2	10,15	20,1	20	80,91	13290	164	3N
56	12/2/2021	26/2/2021	14	3308	10	10	10	20	20	78,54	13010	166	4N
57	12/2/2021	12/3/2021	28	3312	10	10	10	20	20	78,54	15320	195	5N
58	12/2/2021	12/3/2021	28	3329	10	10	10	20,1	20,1	78,54	12250	156	6N
59	12/2/2021	12/3/2021	28	3546	10,2	10,2	10,2	20,4	20,4	81,71	16720	205	7N
60	12/2/2021	12/3/2021	28	3495	10	10	10	20,5	20,5	78,54	16300	208	8N
61	12/2/2021	12/3/2021	28	3522	10,1	10	10,05	20,4	20,4	79,33	16620	210	9N
62	12/2/2021	12/3/2021	28	3489	10,2	10,1	10,15	20,3	20,3	80,91	16670	206	10N
63	12/2/2021	12/3/2021	28	3510	10,2	10,2	10,2	20,1	20,1	81,71	17150	210	11N
64	12/2/2021	12/3/2021	28	3487	10,1	10,1	10,1	20,5	20,5	80,12	15250	190	12N
65	12/2/2021	12/3/2021	28	3489	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	16050	198	13N
66	18/2/2021	25/2/2021	7	3276	10	10	10	20	20,1	78,54	8870	113	1O
67	18/2/2021	25/2/2021	7	3281	10	9,9	9,95	20,1	20,2	77,76	9420	121	2O
68	18/2/2021	3/3/2021	14	3280	10	10	10	20,2	20,1	78,54	11050	141	3O
69	18/2/2021	4/3/2021	14	3320	10	10	10	20	20,1	78,54	11120	142	4O
70	18/2/2021	18/3/2021	28	3279	10	9,9	9,95	19,69	20	77,76	12820	164,87	5O
71	18/2/2021	18/3/2021	28	3297	10	9,9	9,95	20	20	77,76	12800	164,62	6O
72	18/2/2021	18/3/2021	28	3294	10	9,9	9,95	19,8	19,9	77,76	14330	184,29	7O
73	18/2/2021	18/3/2021	28	3282	10	9,9	9,95	19,8	19,9	77,76	14050	180,69	8O
74	18/2/2021	18/3/2021	28	3258	9,8	9,9	9,85	19,8	19,9	76,20	12880	169,03	9O
75	18/2/2021	18/3/2021	28	3274	10	9,9	9,95	19,9	20	77,76	12850	165,26	10O
76	18/2/2021	18/3/2021	28	3280	10	10	10	19,9	20	78,54	14000	178,25	11O
77	18/2/2021	18/3/2021	28	3290	10	10	10	20	19,9	78,54	12850	163,61	12O
78	18/2/2021	18/3/2021	28	3270	10	9,9	9,95	19,8	19,9	77,76	12980	166,93	13O

Anexo 7-12 Tabla de datos para una relación a/c 0,45. Fuente: El Autor.

N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	PESO (kg)	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAM. PROM.	ALTURA 1	ALTURA 2	AREA	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg)	NOMENCLATURA
1	5/2/2021	12/2/2021	7	3716	10,2	10,3	10,25	20	20	82,52	8590	104	1Dd
2	5/2/2021	12/2/2021	7	3741	10,1	10,1	10,1	20	20	80,12	8120	101	2Dd
3	25/2/2021	11/3/2021	14	3693	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	12120	148,32	3Dd
4	25/2/2021	11/3/2021	14	3693	10,1	10,1	10,1	20	20	80,12	12350	154,15	4Dd
5	25/2/2021	25/3/2021	28	3725	10,1	10,1	10,1	20,3	20,3	80,12	12050	150,40	5Dd
6	25/2/2021	25/3/2021	28	3616	10,2	10,2	10,2	19,8	19,9	81,71	12840	157,14	6Dd
7	25/2/2021	25/3/2021	28	3713	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	13140	160,81	7Dd
8	25/2/2021	25/3/2021	28	3698	10,1	10,1	10,1	20,3	20,2	80,12	13130	163,88	8Dd
9	25/2/2021	25/3/2021	28	3780	10,2	10,2	10,2	20,4	20,4	81,71	13180	161,30	9Dd
10	25/2/2021	25/3/2021	28	3722	10,3	10,3	10,3	20	20	83,32	13450	161,42	10Dd
11	25/2/2021	25/3/2021	28	3680	10,1	10,1	10,1	19,8	19,9	80,12	17980	224,42	11Dd
12	25/2/2021	25/3/2021	28	3741	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	16200	198,25	12Dd
13	25/2/2021	25/3/2021	28	3621	9,9	9,8	9,85	20	20	76,20	17250	226,37	13Dd
14	18/2/2021	25/2/2021	7	3410	10	10	10	20	20	78,54	6860	87	1P
15	18/2/2021	25/2/2021	7	3429	9,9	10	9,95	20	20	77,76	6810	88	2P
16	18/2/2021	4/3/2021	14	3422	10	10	10	19,9	20	78,54	9210	117	3P
17	18/2/2021	4/3/2021	14	3545	10	10	10	20	20	78,54	9150	117	4P
18	18/2/2021	18/3/2021	28	3396	9,8	9,9	9,85	19,9	19,8	76,20	11800	154,85	5P
19	18/2/2021	18/3/2021	28	3427	10	10	10	19,9	19,8	78,54	11930	151,90	6P
20	18/2/2021	18/3/2021	28	3407	9,9	9,8	9,85	20	20	76,20	11830	155,25	7P
21	18/2/2021	18/3/2021	28	3408	9,9	10	9,95	19,9	19,9	77,76	11820	152,01	8P
22	18/2/2021	18/3/2021	28	3416	10	9,9	9,95	20	19,9	77,76	12170	156,51	9P
23	18/2/2021	18/3/2021	28	3417	10	9,9	9,95	19,9	20	77,76	11850	152,40	10P
24	18/2/2021	18/3/2021	28	3406	9,9	10	9,95	20	19,9	77,76	11150	143,40	11P
25	18/2/2021	18/3/2021	28	3418	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	11780	153,03	12P
26	18/2/2021	18/3/2021	28	3410	10	10	10	19,9	20	78,54	12000	152,79	13P
27	18/2/2021	25/2/2021	7	3593	10	10,3	10,15	20	20	80,91	8550	106	1Q
28	18/2/2021	25/2/2021	7	3598	10	10	10	20,5	20,4	78,54	7890	100	2Q
29	18/2/2021	4/3/2021	14	3607	10,2	10	10,1	20,2	20,1	80,12	9900	124	3Q
30	18/2/2021	4/3/2021	14	3705	10	10	10	20	20,1	78,54	10920	139	4Q
31	18/2/2021	18/3/2021	28	3640	10	10	10	20,3	20,3	78,54	13480	171,63	5Q
32	18/2/2021	18/3/2021	28	3361	10,2	10,3	10,25	20,2	20,3	82,52	13750	166,63	6Q
33	18/2/2021	18/3/2021	28	3691	10,1	10,2	10,15	20,3	20,3	80,91	14020	173,27	7Q
34	18/2/2021	18/3/2021	28	3619	10,2	10,2	10,2	19,9	20	81,71	14620	178,92	8Q
35	18/2/2021	18/3/2021	28	3617	10,2	10,1	10,15	20	19,9	80,91	13310	164,50	9Q
36	18/2/2021	18/3/2021	28	3618	10,1	10	10,05	20,1	20,2	79,33	13650	172,07	10Q
37	18/2/2021	18/3/2021	28	3641	10,2	10,1	10,15	20	19,9	80,91	13010	160,79	11Q
38	18/2/2021	18/3/2021	28	3659	10	10,1	10,05	19,9	19,8	79,33	13590	171,32	12Q
39	18/2/2021	18/3/2021	28	3689	10,2	10,1	10,15	20	20,1	80,91	13500	166,84	13Q
40	22/2/2021	1/3/2021	7	3367	10	10	10	20,1	20	78,54	7770	99	1R
41	22/2/2021	1/3/2021	7	3360	10	10	10	20	19,9	78,54	7580	97	2R
42	22/2/2021	8/3/2021	14	3334	9,9	9,8	9,85	19,8	20	76,20	10030	131,62	3R
43	22/2/2021	8/3/2021	14	3340	10	10	10	20	19,9	78,54	10090	128,47	4R
44	22/2/2021	22/3/2021	28	3361	10	10	10	20,1	20	78,54	11850	150,88	5R
45	22/2/2021	22/3/2021	28	3367	10	9,9	9,95	20	20	77,76	12260	157,67	6R
46	22/2/2021	22/3/2021	28	3376	10	10	10	20,2	20	78,54	11950	152,15	7R
47	22/2/2021	22/3/2021	28	3381	10	10	10	20,2	20	78,54	11800	150,24	8R
48	22/2/2021	22/3/2021	28	3340	10	10	10	19,9	20	78,54	12200	155,33	9R
49	22/2/2021	22/3/2021	28	3334	10	9,9	9,95	20	20	77,76	12330	158,57	10R
50	22/2/2021	22/3/2021	28	3341	10	10	10	20,1	19,9	78,54	11880	151,26	11R
51	22/2/2021	22/3/2021	28	3369	10	9,9	9,95	20	20,1	77,76	12260	157,67	12R
52	22/2/2021	22/3/2021	28	3350	10	10	10	20	20	78,54	12420	158,14	13R
53	22/2/2021	1/3/2021	7	3274	10	9,9	9,95	20	20	77,76	6770	87	1S
54	22/2/2021	1/3/2021	7	3286	10,1	10	10,05	20,1	20	79,33	6090	77	2S
55	22/2/2021	8/3/2021	14	3391	10,3	10,2	10,25	19,8	19,9	82,52	7170	86,89	3S
56	22/2/2021	8/3/2021	14	3380	10,1	10	10,05	19,9	20	79,33	7190	90,64	4S
57	22/2/2021	22/3/2021	28	3314	10	10	10	20	20	78,54	9720	123,76	5S
58	22/2/2021	22/3/2021	28	3401	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	9450	116,79	6S
59	22/2/2021	22/3/2021	28	3303	10	10	10	20,1	20	78,54	9470	120,58	7S
60	22/2/2021	22/3/2021	28	3283	9,9	9,9	9,9	19,9	20	76,98	9120	118,48	8S
61	22/2/2021	22/3/2021	28	3313	10	10	10	20	20,1	78,54	8780	111,79	9S
62	22/2/2021	22/3/2021	28	3268	9,9	10	9,95	19,9	20	77,76	9080	116,77	10S
63	22/2/2021	22/3/2021	28	3268	10	10	10	20	20	78,54	9460	120,45	11S
64	22/2/2021	22/3/2021	28	3278	9,9	9,9	9,9	20,1	19,9	76,98	9100	118,22	12S
65	22/2/2021	22/3/2021	28	3259	10	9,9	9,95	19,9	20	77,76	9290	119,48	13S
66	22/2/2021	1/3/2021	7	3506	10,1	10,2	10,15	20,2	20	80,91	9600	119	1T
67	22/2/2021	1/3/2021	7	3529	10	10,1	10,05	20	20	79,33	9490	120	2T
68	22/2/2021	8/3/2021	14	3512	10,2	10,2	10,2	19,9	20	81,71	13520	165,46	3T
69	22/2/2021	8/3/2021	14	3509	10,1	10	10,05	20	20	79,33	13540	170,69	4T
70	22/2/2021	22/3/2021	28	3511	10	10	10	20,6	20,4	78,54	15640	199,13	5T
71	22/2/2021	22/3/2021	28	3635	10,3	10,3	10,3	20,5	20,3	83,32	17090	205,11	6T
72	22/2/2021	22/3/2021	28	3552	10,1	10,2	10,15	20,3	20,4	80,91	16070	198,61	7T
73	22/2/2021	22/3/2021	28	3525	10,3	10,1	10,2	20	20,1	81,71	15630	191,28	8T
74	22/2/2021	22/3/2021	28	3555	10,3	10,2	10,25	20,1	20,3	82,52	16540	200,45	9T
75	22/2/2021	22/3/2021	28	3511	10,3	10,3	10,3	20,1	20	83,32	16240	194,90	10T
76	22/2/2021	22/3/2021	28	3551	10,2	10,1	10,15	20	19,9	80,91	15960	197,25	11T
77	22/2/2021	22/3/2021	28	3560	10,1	10,2	10,15	20,1	20,1	80,91	15420	190,57	12T
78	22/2/2021	22/3/2021	28	3550	10,3	10,2	10,25	20,2	20,3	82,52	15780	191,24	13T

Anexo 7-13 Tabla de datos para una relación a/c 0,55. Fuente: El Autor.

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	PESO (kg)	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAM. PROM.	ALTURA 1	ALTURA 2	AREA	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg)	NOMENCLATURA
1	8/2/2021	18/2/2021	7	3720	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	5470	67	1Ee
2	8/2/2021	18/2/2021	7	3742	10,1	10,1	10,1	20	20	80,12	5680	71	2Ee
3	26/2/2021	12/3/2021	14	3799	10,2	10,2	10,2	19,9	20	81,71	7430	90,93	3Ee
4	26/2/2021	12/3/2021	14	3730	10,1	10,1	10,1	20	20	80,12	7210	89,99	4Ee
5	26/2/2021	26/3/2021	28	3690	10,1	10,1	10,1	20,4	20,3	80,12	9700	121,07	5Ee
6	26/2/2021	26/3/2021	28	3632	10,1	10,1	10,1	19,9	20	80,12	9210	114,95	6Ee
7	26/2/2021	26/3/2021	28	3708	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	10080	122,16	7Ee
8	26/2/2021	26/3/2021	28	3770	10,2	10,1	10,15	20,3	20,4	80,91	9190	113,58	8Ee
9	26/2/2021	26/3/2021	28	3793	10,3	10,3	10,3	20,3	20,3	83,32	10190	122,30	9Ee
10	26/2/2021	26/3/2021	28	3711	10,2	10,1	10,15	20,4	20,3	80,91	10300	127,30	10Ee
11	26/2/2021	26/3/2021	28	3752	10,1	10,1	10,1	19,9	20	80,12	10250	127,94	11Ee
12	26/2/2021	26/3/2021	28	3720	10,3	10,2	10,25	20	20	82,52	10120	122,64	12Ee
13	26/2/2021	26/3/2021	28	3785	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	10360	128,04	13Ee
14	23/2/2021	2/3/2021	7	3466	10	10	10	20	20	78,54	5710	73	1U
15	23/2/2021	2/3/2021	7	3463	10	10	10	20,1	20	78,54	5790	74	2U
16	23/3/2021	9/3/2021	14	3432	10	10	10	20	20	78,54	7960	101,35	3U
17	23/3/2021	9/3/2021	14	3430	10	10	10	20	20	78,54	7950	101,22	4U
18	23/2/2021	23/3/2021	28	3477	9,9	10	9,95	20	20	77,76	10600	136,32	5U
19	23/2/2021	23/3/2021	28	3457	9,9	9,9	9,9	20,1	20	76,98	10690	138,87	6U
20	23/2/2021	23/3/2021	28	3452	9,9	10	9,95	20	20	77,76	10090	129,76	7U
21	23/2/2021	23/3/2021	28	3470	10	10	10	20	19,9	78,54	9960	126,81	8U
22	23/2/2021	23/3/2021	28	3451	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	10210	132,64	9U
23	23/2/2021	23/3/2021	28	3464	9,9	10	9,95	20	20	77,76	10340	132,98	10U
24	23/2/2021	23/3/2021	28	3468	9,9	10	9,95	20	19,9	77,76	10120	130,15	11U
25	23/2/2021	23/3/2021	28	3441	10	10	10	20	20	78,54	10210	130,00	12U
26	23/2/2021	23/3/2021	28	3470	10	9,9	9,95	20	20	77,76	10110	130,02	13U
27	23/2/2021	2/3/2021	7	3414	10	10,1	10,05	20,1	20	79,33	6380	80	1V
28	23/2/2021	2/3/2021	7	3455	10	10,1	10,05	20,1	20	79,33	6410	81	2V
29	23/3/2021	9/3/2021	14	3435	10	10	10	20	20	78,54	8950	113,95	3V
30	23/3/2021	9/3/2021	14	3433	10	10	10	20	20	78,54	8960	114,08	4V
31	23/2/2021	23/3/2021	28	3424	10	10	10	20	20	78,54	9120	116,12	5V
32	23/2/2021	23/3/2021	28	3438	10	9,9	9,95	20,2	20,2	77,76	11510	148,03	6V
33	23/2/2021	23/3/2021	28	3422	10	10	10	19,9	20	78,54	11140	141,84	7V
34	23/2/2021	23/3/2021	28	3450	9,9	9,9	9,9	19,9	20	76,98	11080	143,94	8V
35	23/2/2021	23/3/2021	28	3422	10	9,9	9,95	19,9	20	77,76	11170	143,65	9V
36	23/2/2021	23/3/2021	28	3556	10,2	10,1	10,15	20	20,1	80,91	11370	140,52	10V
37	23/2/2021	23/3/2021	28	3440	10	10,1	10,05	19,9	20	79,33	11260	141,94	11V
38	23/2/2021	23/3/2021	28	3438	10,1	10,1	10,1	20	19,9	80,12	11480	143,29	12V
39	23/2/2021	23/3/2021	28	3430	9,9	9,9	9,9	19,8	19,9	76,98	11000	142,90	13V
40	23/2/2021	2/3/2021	7	3552	10	10,1	10,05	20,1	20,2	79,33	6380	80	1W
41	23/2/2021	2/3/2021	7	3608	10	10	10	20	20	78,54	6230	79	2W
42	23/3/2021	9/3/2021	14	3594	10,1	10,2	10,15	20,3	20,2	80,91	8950	110,61	3W
43	23/3/2021	9/3/2021	14	3590	10,1	10,2	10,15	20,1	20,2	80,91	8970	110,86	4W
44	23/2/2021	23/3/2021	28	3489	10,1	10,1	10,1	20,4	20,5	80,12	10700	133,55	5W
45	23/2/2021	23/3/2021	28	3609	10,3	10,3	10,3	20,3	20,2	83,32	10880	130,58	6W
46	23/2/2021	23/3/2021	28	3566	10,2	10,2	10,2	20	20	81,71	10950	134,01	7W
47	23/2/2021	23/3/2021	28	3557	10,1	10,2	10,15	20	20	80,91	10790	133,35	8W
48	23/2/2021	23/3/2021	28	3489	10,2	10,1	10,15	20,2	20,3	80,91	10780	133,23	9W
49	23/2/2021	23/3/2021	28	3534	10,2	10,2	10,2	19,8	20,1	81,71	10230	125,19	10W
50	23/2/2021	23/3/2021	28	3598	10,1	10,2	10,15	20	20,1	80,91	10920	134,96	11W
51	23/2/2021	23/3/2021	28	3545	10,2	10,1	10,15	20	20	80,91	10960	135,45	12W
52	23/2/2021	23/3/2021	28	3550	10,3	10,2	10,25	19,9	20	82,52	10890	131,97	13W
53	24/2/2021	3/3/2021	7	3358	10	9,9	9,95	19,8	19,9	77,76	6800	87	1X
54	24/2/2021	3/3/2021	7	3340	10	10	10	20	19,9	78,54	6920	88	2X
55	24/2/2021	10/3/2021	14	3373	10	10	10	20	20	78,54	9630	122,61	3X
56	24/2/2021	10/3/2021	14	3372	10	10	10	20	20	78,54	9670	123,12	4X
57	24/2/2021	24/3/2021	28	3376	10	10	10	19,9	20	78,54	11780	149,99	5X
58	24/2/2021	24/3/2021	28	3370	10	10	10	19,9	20	78,54	12060	153,55	6X
59	24/2/2021	24/3/2021	28	3380	10	10	10	20	20	78,54	11340	144,39	7X
60	24/2/2021	24/3/2021	28	3375	10	10	10	20	20	78,54	11160	142,09	8X
61	24/2/2021	24/3/2021	28	3374	10	10	10	19,9	20	78,54	12740	162,21	9X
62	24/2/2021	24/3/2021	28	3377	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	12010	156,02	10X
63	24/2/2021	24/3/2021	28	3382	10	9,9	9,95	20	20	77,76	12050	154,97	11X
64	24/2/2021	24/3/2021	28	3375	10	10	10	19,9	20	78,54	11250	143,24	12X
65	24/2/2021	24/3/2021	28	3379	9,9	10	9,95	20,1	20	77,76	12490	160,63	13X
66	24/2/2021	3/3/2021	7	3332	9,9	9,9	9,9	20	20	76,98	6380	83	1Y
67	24/2/2021	3/3/2021	7	3425	10	10,1	10,05	20	20	79,33	6410	81	2Y
68	24/2/2021	10/3/2021	14	3344	10	10	10	19,8	19,9	78,54	8680	110,52	3Y
69	24/2/2021	10/3/2021	14	3342	10	10	10	19,9	20	78,54	8660	110,26	4Y
70	24/2/2021	24/3/2021	28	3344	10	10	10	19,9	19,9	78,54	11320	144,13	5Y
71	24/2/2021	24/3/2021	28	3504	10	10,1	10,05	20,4	20,4	79,33	11110	140,05	6Y
72	24/2/2021	24/3/2021	28	3611	10,3	10,3	10,3	20,3	20,3	83,32	11160	133,94	7Y
73	24/2/2021	24/3/2021	28	3334	10	9,9	9,95	20	19,9	77,76	11120	143,01	8Y
74	24/2/2021	24/3/2021	28	3344	10	10,1	10,05	20	19,9	79,33	11260	141,94	9Y
75	24/2/2021	24/3/2021	28	3328	10	10,1	10,05	20	19,9	79,33	11090	139,80	10Y
76	24/2/2021	24/3/2021	28	3324	10	9,9	9,95	19,9	19,9	77,76	11050	142,11	11Y
77	24/2/2021	24/3/2021	28	3500	10	10,1	10,05	20	19,9	79,33	11010	138,79	12Y
78	24/2/2021	24/3/2021	28	3390	10	10,1	10,05	19,9	20	79,33	11450	144,34	13Y

Anexo 7-14 Tabla de datos para una relación a/c 0,60. Fuente: El Autor.

DISEÑO DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I 211.1

Asentamiento		210	
Consistencia del concreto		MEDIA	
Asentamiento de diseño		80	
Elección del Tamaño Máximo del Agregado			
TMA=	3/4	19	mm
Contenido de Aire			

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO

TAMAÑOS MAX. AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Ligera	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Tamaño máximo del árido grueso (pulg.)	3/4
Porcentaje de aire atrapado	2
Lleva aire incluido	NO
Nivel de exposición	LIGERA
Porcentaje de aire incluido	0,0
VOLUMEN DE AIRE POR VOL. UNITARIO	0,02

Cantidad de Agua

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

109

CANTIDAD DE AGUA= 200 (lt agua/m3 concreto)

Resistencia de diseño fcr

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

f'c =	210 Kg/cm ²
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm ²
fcr =	294 Kg/cm ²

Relación Agua/Cemento

Resistencia a Compresión a los 28 días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto con aire incluido	Concreto sin aire incluido
450	0,38	0,31
400	0,43	0,34
350	0,48	0,4
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,7	0,61
100	0,8	0,72

Valor de resistencia (fcr) requerido	294 Kg/cm ²
Relación A/C adoptada	0,55

Cuantía de cemento

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{\text{A/C}} = \frac{200}{0,55} = 363,64 \text{ kg}$$

Determinación Vol de cemento por Vol concreto

$$\text{VOLUMEN DE CEMENTO} = \frac{\text{Cuantía de cemento (kg)}}{\text{Dens. cemento (kg/m}^3)} = \frac{364}{3000} = 0,121 \text{ m}^3$$

Volumen de los agregados

Maximo tamaño nominal de agregados	Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	MODULO DE FINURA			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	0,66	0,64	0,62	0,60
1	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
2	0,78	0,76	0,74	0,72
3	0,82	0,80	0,78	0,76
6	0,87	0,85	0,83	0,81

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b0)= 0,60

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:	
$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$	
$b_0 =$	0,51
$b =$	0,31
Vol. Agregado Grueso	0,31 m3
Determinación del volumen de agregado escombros por m3 de concreto:	
$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$	
$b_0 =$	0,45
$b =$	0,27
Vol. Escombros	0,27 m3
Determinación del volumen de agregado fino:	
Volumen Agregado Fino	0,35 m3

Peso de los agregados				
Peso árido grueso	801,03	kg		
Peso escombros	0,00	kg		
Peso árido fino	869,84	kg		
Peso de los materiales				
	Peso (kg)	Volumen abs.		
Cemento	363,64	0,121 m3		
Agr. Grueso	801,03	0,22		
Escombros	0,00	0,00		
Agr. Fino	869,84	0,35		
Agua	200	0,2		
Total	2234,51	0,9 m3		
Corrección de Humedad		Aporte de Agua Mezcla		
Agr. Grueso	813,04 kg	Agr. Grueso	-1,55 lt	
Escombros	0,00 kg	Escombros	0,00 lt	
Agr. Fino	904,64 kg	Agr. Fino	-18,72 lt	
			-20,27	
Agua Efectiva				
Agua	220,27	lt		
Datos a trabajar con corrección de Humedad para 15 cilindro				
Cemento	Agr. Grueso	Escombros	Agr. Fino	Agua
6,98	15,61	0,00	17,37	4,23

Anexo 7-15 Diseño de la dosificación en Excel. Fuente: El autor.



El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que, Jéssica Lisseth Vivar González portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0302183264 de la Carrera de Ingeniería Civil, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Cuenca, **01 de septiembre del 2021.**


Sr. Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario
Biblioteca Universitaria
MONS. "PROILAN POZO QUEVEDO"

UCACUE-CAVU-UT-2021-014-AP

Azogues, 10 de agosto de 2021

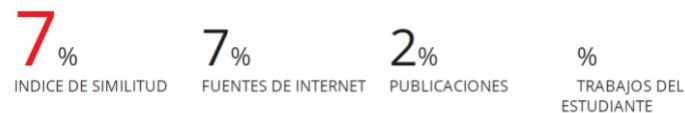
ASUNTO: Índice de similitud del trabajo de titulación de la estudiante *Jessica Lisseth Vivar González*

REFERENCIA: OFICIO N° UCCSA-JC-010-22

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia adjunto el presente **ÍNDICE DE SIMILITUD TURNITIN** del trabajo de titulación: "*Hormigón con áridos reciclados procedentes de residuos de construcción*", elaborado por la estudiante *Jessica Lisseth Vivar González*. El resultado presenta un índice de similitud del **SIETE POR CIENTO (07%)**, siendo menor al límite establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.

VivarGonzalez - E1

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	1%
3	vitela.javerianacali.edu.co Fuente de Internet	1%

Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.

RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN

INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES

Jéssica Lisseth Vivar González portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302183264**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Hormigón con áridos reciclados procedentes de residuos de construcción**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **31 de agosto de 2021**



Jéssica Lisseth Vivar González

C.I. 0302183264