

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ESTUDIO DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA
RESISTENCIA ELABORADO CON AGREGADO GRUESO
RECICLADO COMERCIAL Y CEMENTO PORTLAND TIPO V”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

ELABORADO POR
JULIÁN GIOVANNI CCENCHO DE LA O
ID: 0009-0006-0401-7944

ASESOR
Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN
ID: 0000-0002-8956-2194

Lima - Perú

2025

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos”**

Ccencho De La O, Julián Giovanni

julian.ccencho.d@uni.pe

930268911

DEDICATORIA

A mi madre Marina De La O Samaniego y a mi padre Julián Ccencho Muñoz, por haberme dado la vida y guiarme en ella con paciencia y rectitud.

A mi hermana Mariela y mi sobrino Lucas, por ser una motivación constante para mí.

A Sandy, por su apoyo incondicional y saber darme ánimo en los momentos que más lo necesité.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar a este logro.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme las herramientas para desarrollarme como persona y profesional.

Al Mag. Max Huaynalaya Rashuaman, mi asesor, cuyo aliento y consejo me apoyaron a culminar esta Tesis.

A mis compañeros y amigos de la Universidad Nacional de Ingeniería, que me acompañaron en este arduo, pero satisfactorio proceso formativo; en especial a Tonmy Quezada y Harold Ojeda, con quienes compartí gran parte del desarrollo de esta investigación.

A todos los trabajadores del LEM, y a cada una de las personas que de una u otra manera me apoyaron en la parte experimental de esta Tesis.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VIII
PROLOGO	X
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	XVI
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	4
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo principal:.....	6
1.3.2. Objetivos específicos:	6
1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	7
2.1. CONCRETO.....	7
2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO	7
2.2.1. Trabajabilidad	7
2.2.1.1. Definición.....	7
2.2.1.2. Consideraciones.....	7
2.2.2. Consistencia	7
2.2.2.1. Definición.....	7
2.2.2.2. Clasificación	8
2.2.3. Resistencia	8
2.2.3.1. Definición.....	8
2.2.3.2. Consideraciones.....	8
2.2.4. Durabilidad.....	9

2.2.4.1. Definición.....	9
2.2.4.2. Consideraciones.....	9
2.3. COMPONENTES DE CONCRETO	9
2.3.1. Cemento Portland.....	9
2.3.2. Cemento usado en la tesis (Portland tipo V – Andino).....	10
2.3.3. Agregados	10
2.3.3.1. Agregado grueso:.....	11
2.3.3.2. Agregado fino	11
2.3.3.3. Agregado reciclado	12
2.3.3.4. Agregado global	12
2.3.4. Propiedades de los agregados	12
2.3.4.1. Granulometría.....	12
2.3.4.2. Tamaño máximo.....	15
2.3.4.3. Tamaño máximo nominal.....	15
2.3.4.4. Módulo de Fineza.....	15
2.3.4.5. Peso unitario.....	15
2.3.4.6. Peso unitario suelto (P.U.S).....	16
2.3.4.7. Peso unitario compactado (P.U.C)	16
2.3.4.8. Peso específico	16
2.3.4.9. Absorción.....	17
2.3.4.10. Contenido de humedad.....	18
2.3.4.11. Material más fino que pasa la malla 200	19
2.3.4.12. Abrasión en máquina de Los Ángeles	19
2.3.5. Agua.....	20
CAPITULO III: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	21
3.1. GENERALIDADES	21
3.2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	21
3.2.1. Propiedades físicas del agregado fino y grueso.....	21

3.2.2.	Granulometría del agregado fino	22
3.2.3.	Granulometría del agregado grueso natural	23
3.2.4.	Granulometría del agregado grueso reciclado	24
3.3.	ENSAYO DE MÁXIMA COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL	25
CAPITULO IV: DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO		28
4.1.	GENERALIDADES	28
4.2.	MÉTODOS DE DISEÑO	28
4.2.1.	Método del comité del ACI:	28
4.2.2.	Método por la relación agua/cemento.....	29
4.2.3.	Método del módulo de finura de la combinación de agregados.....	29
4.3.	ESTUDIO TEÓRICO DEL MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL.....	29
4.3.1.	Introducción	29
4.3.2.	Descripción del método.....	30
4.4.	SECUENCIA DE LA METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA .	31
4.5.	DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN.....	31
4.5.1.	Cálculo de la cantidad de agua.....	31
4.5.2.	Porcentaje de agregado grueso/fino según resistencia	33
4.5.3.	Dosificación del concreto patrón	37
4.6.	DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO	38
4.6.1.	Dosificaciones de mezcla con AGR para un $a/c = 0.45$	39
4.6.2.	Dosificaciones de mezcla con AGR para un $a/c = 0.50$	40
4.6.3.	Dosificaciones de mezcla con AGR para un $a/c = 0.55$	41
CAPITULO V: ENSAYOS EN EL CONCRETO.....		43
5.1.	ENSAYOS	43
5.1.1.	Método de diseño utilizado	43
5.1.2.	Propiedades del concreto en estado fresco	43
5.1.2.1.	<i>Ensayo de asentamiento (NTP 339.035, 2022)</i>	43
5.1.2.2.	<i>Ensayo de peso unitario (NTP 339.046, 2019)</i>	47

5.1.2.3. Ensayo de contenido de aire atrapado (NTP 339.080, 2017).....	50
5.1.2.4. Ensayo de exudación (NTP 339.077, 2020).....	54
5.1.2.5. Ensayo de tiempo de fragua (NTP 339.082, 2017).....	58
5.1.3. Propiedades del concreto en el estado endurecido	61
5.1.3.1. Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034, 2021)	61
5.1.3.2. Resistencia a la tracción (NTP 339.084, 2017)	70
5.1.3.3. Resistencia a la flexión en vigas (NTP 339.078, 2022).....	73
CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
6.1. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS	76
6.1.1. Agregados	76
6.1.1.1. Agregado fino	76
6.1.1.2. Agregado grueso natural.....	76
6.1.1.3. Agregado grueso reciclado	76
6.1.1.4. Agregado global	77
6.1.2. Propiedades del concreto en estado fresco	77
6.1.2.1. Consistencia	77
6.1.2.2. Peso unitario.....	78
6.1.2.3. Contenido de aire	78
6.1.2.4. Exudación.....	79
6.1.2.5. Tiempo de fragua	79
6.1.3. Propiedades de concreto en estado endurecido	80
6.1.3.1. Resistencia a la compresión	80
6.1.3.2. Resistencia a la tracción	81
6.1.3.3. Resistencia a la flexión.....	82
6.2. ANÁLISIS DE COSTOS	83
6.2.1. Costo de elaboración de cada diseño.....	83
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES.....	89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS	93

RESUMEN

En la actualidad, es necesario encontrar alternativas para reducir el impacto ambiental de la extracción de materiales, así como el volumen de los residuos de construcción y demolición. Algunos de estas alternativas son los agregados reciclados (AR), que actualmente se producen por pocas empresas en el Perú. Siendo necesario comparar sus propiedades frente a los agregados naturales y de los concretos elaborados con uno u otro material, puesto que actualmente el uso de agregados reciclados se limita a la elaboración de bloques de concreto y para poder masificar su uso se deben estudiar sus propiedades y su influencia en los concretos.

De los antecedentes encontrados, se observó que al analizar las propiedades de los agregados, se ha encontrado que el reciclado presenta una disminución en su peso unitario suelto, compactado, específico y su tamaño y un aumento en la absorción, contenido de humedad y abrasión, respecto al natural. Asimismo, se encontró una disminución en las propiedades físicas y mecánicas de los concretos con AR, sobre todo en la resistencia a la compresión. Sin embargo, solo se han estudiado agregados obtenidos de manera manual, siendo necesario analizar las propiedades e influencia en el concreto, de los AR que se venden en nuestro país, lo cual se aborda en la presente tesis.

En esta investigación se analizaron las propiedades de los AR y su influencia en las propiedades del concreto, al sustituir de manera parcial y total el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado (AGR). El programa experimental comprendió la preparación de mezclas de concreto con un slump de 6" a 7", se realizaron ensayos en estado fresco y en estado endurecido, se empleó el AGR en porcentajes de sustitución de 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respecto del agregado natural, y se consideraron relaciones a/c de 0,45, 0,50, y 0,55.

Los valores encontrados en los ensayos de los agregados mostraron que el reciclado presenta menor tamaño, peso unitario y peso específico y mayor contenido de humedad, absorción y abrasión que el natural. De los ensayos en el concreto fresco y endurecido se obtuvo que los valores de las propiedades, de manera general, de los concretos con agregado reciclado han variado mínimamente en relación a las del concreto patrón. Por lo tanto, se determinó que el AGR comercial puede ser empleado como sustituto del agregado grueso natural.

Palabras clave: Agregado reciclado, sustitución, concreto, propiedades físicas y mecánicas.

ABSTRACT

Currently, it is necessary to find alternatives to reduce the environmental impact of the extraction of materials, as well as the volume of construction and demolition waste. Some of these alternatives are recycled aggregates (RA), which are currently produced by few companies in Peru. It is necessary to compare their properties with natural aggregates and concrete made with one or another material, since currently the use of recycled aggregates is limited to the production of concrete blocks and in order to spread its use, its properties and its influence on concrete must be studied.

From the background found, it was observed that when analyzing the properties of the aggregates, it has been found that recycling presents a decrease in its loose, compacted, specific unit weight and its size, and an increase in absorption, moisture content and abrasion, with respect to natural. Likewise, a decrease in the physical and mechanical properties of concrete with AR was found, especially in compression resistance. However, only aggregates obtained manually have been studied, making it necessary to analyze the properties and influence on the concrete of the AR sold in our country, which is addressed in this thesis.

In this research, the properties of RA and its influence on the properties of concrete were analyzed, by partially and totally replacing the natural coarse aggregate with recycled coarse aggregate (RCA). The experimental program included the preparation of concrete mixtures with a slump of 6" to 7", tests were carried out in the fresh state and in the hardened state, RCA was used in substitution percentages of 25 %, 50 %, 75 % and 100 % with respect to the natural aggregate, and w/c ratios of 0,45, 0,50, and 0,55 were considered.

The values found in the tests of the aggregates showed that the recycled ones has a smaller size, unit weight and specific weight, and higher humidity content, absorption and abrasion than the natural one. From the tests on the fresh and hardened concrete it was obtained that the values of the properties, in general, of concrete with recycled aggregate have varied minimally in relation to those of standard concrete. Therefore, it was determined that commercial RCA can be used as a substitute for natural coarse aggregate.

Key words: Recycled aggregate, substitution, concrete, physical and mechanical properties.

PROLOGO

Es alentador ver como día a día se despierta el espíritu de investigación en nuestros alumnos y egresados de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, y es satisfactorio poder contribuir con ello y guiarlos en el camino de su formación profesional y personal.

Actualmente, se buscan maneras de disminuir el impacto ambiental que genera la industria de la construcción, tanto por la extracción de diferentes recursos naturales, que se utilizan para producir materiales de construcción; como por los residuos que se producen al construir y demoler estructuras; dichos residuos constituyen un grave problema para las ciudades del mundo, ya que se requiere de lugares especiales y espaciosos para su ubicación, así como de su separación de los residuos domésticos para evitar dificultades al momento de su recojo.

Se han encontrado formas de reaprovechar los residuos de construcción y demolición, siendo una de ellas y quizá la más extendida a nivel mundial, especialmente en países desarrollados, es su uso para producir nuevos agregados para producir concreto.

La presente investigación buscó estudiar el uso de un agregado grueso comercial, producido a partir de residuos de construcción y demolición, con el fin de evaluar si el concreto elaborado con dicho agregado, cumple con las propiedades de trabajabilidad y resistencia requeridos para su uso en aplicaciones estructurales.

De los ensayos se observó que el concreto elaborado con agregado grueso reciclado comercial es adecuado para ser utilizado en elementos estructurales, manteniendo buenas propiedades físicas y mecánicas.

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación pretenden servir como orientación para los profesionales de la construcción en el uso de agregados reciclados, teniendo en cuenta las variables para la elaboración del concreto como las propiedades de los demás agregados, tipo de cemento, condiciones climáticas, etc.

Mag. Max Huaynalaya Rashuaman

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 Límites granulométricos del agregado fino	13
Tabla N° 2 Límites granulométricos del agregado grueso	14
Tabla N° 3 Límites granulométricos del agregado global	14
Tabla N° 4 Gradación de las muestras para el ensayo de abrasión	20
Tabla N° 5 Masa de la carga abrasiva para el ensayo de abrasión	20
Tabla N° 6 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según norma NTP 339.088 (INACAL, 2019),.....	20
Tabla N° 7 Resultados de las propiedades del agregado fino y grueso.....	21
Tabla N° 8 Granulometría del agregado fino de la cantera TRAPICHE.....	22
Tabla N° 9 Granulometría del agregado grueso de la cantera UNICON.....	23
Tabla N° 10 Granulometría del agregado grueso reciclado	24
Tabla N° 11 Máxima compacidad del agregado global	25
Tabla N° 12 Granulometría del agregado global.....	26
Tabla N° 13 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 220 l	32
Tabla N° 14 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 230 l	32
Tabla N° 15 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 240 l	33
Tabla N° 16 Cantidad de agua (l) vs Asentamiento (pulg).....	33
Tabla N° 17 ± 3 % de agregados	34
Tabla N° 18 Diseño para porcentajes de arena = 54.50 % y piedra = 45.50 %....	35
Tabla N° 19 Diseño para porcentajes de arena = 51.50 % y piedra = 48.50 %....	35
Tabla N° 20 Diseño para porcentajes de arena = 48.50 % y piedra = 51.50 %....	35
Tabla N° 21 Resultados a la compresión axial a una edad de 7 días	36
Tabla N° 22 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.45	37
Tabla N° 23 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.50	38
Tabla N° 24 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.55	38
Tabla N° 25 Diseño de mezcla para un a/c = 0.45 con 25 % de AGR	39

Tabla N° 26 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.45$ con 50 % de AGR	39
Tabla N° 27 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.45$ con 75 % de AGR	39
Tabla N° 28 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.45$ con 100 % de AGR	40
Tabla N° 29 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.50$ con 25 % de AGR	40
Tabla N° 30 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.50$ con 50 % de AGR	40
Tabla N° 31 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.50$ con 75 % de AGR	41
Tabla N° 32 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.50$ con 100 % de AGR	41
Tabla N° 33 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.55$ con 25 % de AGR	41
Tabla N° 34 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.55$ con 50 % de AGR	42
Tabla N° 35 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.55$ con 75 % de AGR	42
Tabla N° 36 Diseño de mezcla para un $a/c = 0.55$ con 100 % de AGR	42
Tabla N° 37 Slump para un $a/c = 0.45$	44
Tabla N° 38 Slump para un $a/c = 0.50$	45
Tabla N° 39 Slump para un $a/c = 0.55$	46
Tabla N° 40 Peso Unitario y % de variación para un $a/c = 0.45$	48
Tabla N° 41 Peso Unitario y % de variación para un $a/c = 0.50$	49
Tabla N° 42 Peso Unitario y % de variación para un $a/c = 0.55$	49
Tabla N° 43 Contenido de aire y % de variación para un $a/c = 0.45$	51
Tabla N° 44 Contenido de aire y % de variación para un $a/c = 0.50$	52
Tabla N° 45 Contenido de aire y % de variación para un $a/c = 0.55$	53
Tabla N° 46 Exudación y % de variación para un $a/c = 0.45$	55
Tabla N° 47 Exudación y % de variación para un $a/c = 0.50$	56
Tabla N° 48 Exudación y % de variación para un $a/c = 0.55$	57
Tabla N° 49 Tiempo de fragua y % de variación para un $a/c = 0.45$	59
Tabla N° 50 Tiempo de fragua y % de variación para un $a/c = 0.50$	60
Tabla N° 51 Tiempo de fragua y % de variación para un $a/c = 0.55$	61
Tabla N° 52 Resistencia a la compresión para el concreto patrón	62

Tabla N° 53 Resistencia a la compresión para un $a/c = 0.45$ con AGR	63
Tabla N° 54 Resistencia a la compresión para un $a/c = 0.50$ con AGR	64
Tabla N° 55 Resistencia a la compresión para un $a/c = 0.55$ con AGR	65
Tabla N° 56 Resistencia a la compresión para cada % de sustitución de AGR ...	66
Tabla N° 57 Resistencia a la compresión a los 28 días	68
Tabla N° 58 Variación porcentual de las resistencias	69
Tabla N° 59 Resistencia a la tracción y su variación porcentual	71
Tabla N° 60 Resistencia a la flexión y su variación porcentual	74
Tabla N° 61 Costos de elaboración de concreto y variación porcentual	84

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Curva granulométrica del agregado fino.....	22
Figura N° 2 Curva granulométrica del agregado grueso natural	23
Figura N° 3 Curva granulométrica del agregado grueso reciclado.....	24
Figura N° 4 Máxima compacidad del agregado global	26
Figura N° 5 Curva granulométrica del agregado global.....	27
Figura N° 6 Agua vs Slump para una relación a/c de 0.50.....	33
Figura N° 7 Curva de resistencia a la compresión vs. % de arena	36
Figura N° 8 Curvas de P.U.C y resistencia a la compresión vs. % de arena.....	37
Figura N° 9 Slump para la relación a/c = 0.45	45
Figura N° 10 Slump para la relación a/c = 0.50	46
Figura N° 11 Slump para la relación a/c = 0.55	47
Figura N° 12 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.45.....	48
Figura N° 13 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.50.....	49
Figura N° 14 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.55.....	50
Figura N° 15 Contenido de aire y % de variación para la relación a/c = 0.45	52
Figura N° 16 Contenido de aire y % de variación para la relación a/c = 0.50	53
Figura N° 17 Contenido de aire y % de variación para la relación a/c = 0.55.....	54
Figura N° 18 Exudación y % de variación para una relación a/c = 0.45	56
Figura N° 19 Exudación y % de variación para una relación a/c = 0.50	57
Figura N° 20 Exudación y % de variación para una relación a/c = 0.55	58
Figura N° 21 % de variación del tiempo de fragua para el a/c = 0.45	60
Figura N° 22 % de variación del tiempo de fragua para el a/c = 0.50	60
Figura N° 23 % de variación del tiempo de fragua para el a/c = 0.50	61
Figura N° 24 Resistencia a la compresión del C.P por edad de ensayo.....	63
Figura N° 25 Resistencia a la compresión para el a/c = 0.45 con AGR.....	64
Figura N° 26 Resistencia a la compresión para el a/c = 0.50 con AGR.....	65

Figura N° 27 Resistencia a la compresión para el $a/c = 0.55$ con AGR	66
Figura N° 28 f_c según % de sustitución de AGR para el $a/c = 0.45$	67
Figura N° 29 f_c según % de sustitución de AGR para el $a/c = 0.50$	67
Figura N° 30 f_c según % de sustitución de AGR para un $a/c = 0.55$	68
Figura N° 31 Comparación de resistencias a la compresión a los 28 días.	69
Figura N° 32 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días.....	70
Figura N° 33 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción.....	72
Figura N° 34 Variación porcentual de la resistencia a la tracción.	72
Figura N° 35 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión.....	75
Figura N° 36 Variación porcentual de la resistencia a la flexión.....	75
Figura N° 37 Comparación de los costos de elaboración por m^3 de cada diseño de concreto.....	85
Figura N° 38 Variación porcentual de costos	86

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a/c:	Relación agua cemento
ACI:	American Concrete Institute
AGN:	Agregado grueso natural
AGR:	Agregado grueso reciclado
AR:	Agregado reciclado
ASTM:	American Society for Testing and Materials
C.H:	Contenido de humedad
COPANT:	Comisión Panamericana de Normas Técnicas
C.P.T:	Cemento portland tipo
D o Ø:	Diámetro
DIN:	Instituto Alemán de Normalización
DUO:	Diseño unitario de obra
F'c:	Resistencia por compresión axial
LEM:	Laboratorio de Ensayo de Materiales
Max:	Expresión de máximo
MF:	Módulo de finura
NTP:	Norma Técnica Peruana
P:	Carga de rotura
P.C:	Peso de cemento
Psss:	Peso seco superficialmente saturado
PU:	Peso Unitario
P.U.C:	Peso Unitario Compactado
P.U.S:	Peso Unitario Suelto
Q:	Resistencia a la tracción
RCD:	Residuos de construcción y demolición
TMN:	Tamaño máximo nominal
T.F.I:	Tiempo de fragua inicial
T.F.F:	Tiempo de fragua final
UNACEM:	Unión Andina de Cementos
°C:	Grados centígrados
Δ:	Variación

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En los últimos años, se ha hecho evidente la necesidad de mejorar la gestión y la reutilización de los residuos de construcción y demolición (RCD) en nuestro país, esto debido a que la industria de la construcción es una de las más influye en el consumo de recursos y generación de residuos.

Los intentos por mejorar la gestión de los RCD en el Perú son limitados y generalmente focalizados, debido a que no se tiene una normativa para ello.

Flores (2020), en su trabajo de grado, propone un modelo de gestión de los RCD para la ciudad del Cusco, estimando que en mayor medida dichos residuos están compuestos por cerámicos y restos de concreto y agregados, dicha investigación sirve como base para poder estudiar la realidad de la gestión de los RCD en otros lugares de nuestro país y así poder plantear alternativas para mejorarla.

Una de las formas que se viene estudiando para la reutilización de los RCD en su empleo como agregados en la elaboración de concreto, para ello principalmente se realiza su tratamiento con métodos como la separación de residuos de concreto y su rotura con medios manuales.

Ponce (2014), en su tesis, utiliza agregados finos y gruesos reciclados obtenidos mediante la trituración manual de probetas de concreto para poder estudiar la factibilidad de su uso en la elaboración de concretos de mediana a baja resistencia, de los ensayos encontró que el agregado reciclado presenta un aumento en la absorción y una disminución del peso unitario respecto al agregado natural; así mismo en base a un análisis comparativo entre el concreto elaborado con agregados reciclados y el elaborado con agregados naturales, ambos con cemento tipo I y luego de realizar ensayos para ambos tipos de concreto tanto en estado fresco como endurecido, encontró que el elaborado con agregados reciclados presenta una ligera disminución en su trabajabilidad y resistencia a la compresión, respecto al elaborado con agregados naturales y recomendó el uso de aditivos para poder mejorar dichas propiedades.

Meza (2019), en su tesis, utilizó un agregado grueso reciclado obtenido mediante la trituración manual de probetas de concreto para poder estudiar las propiedades de un concreto de mediana a baja resistencia (relaciones agua cemento de 0.6, 0.65 y 0.70) utilizando dicho agregado reciclado, para ello lo comparó con un concreto elaborado con agregados naturales utilizando en el concreto reciclado

porcentajes del 20 %, 50 % y 100 % de sustitución del agregado grueso. El estudio comprendió ensayos de las propiedades de los agregados y del concreto en estado fresco y endurecido, encontrando que el agregado reciclado presenta un aumento en la absorción y una disminución del peso unitario y del peso específico respecto al agregado natural; además concluyó que el concreto elaborado con agregado reciclado presenta una pérdida de trabajabilidad, pues el asentamiento disminuyó alrededor del 15 %; así mismo la resistencia a la compresión presentó una reducción de entre el 5 % y el 20 %, conforme aumentó el porcentaje de sustitución del agregado reciclado, por último el autor recomendó la adecuada identificación de los escombros o residuos que se utilizaran como fuente del agregado reciclado.

Laverde (2014) en su trabajo de grado, analizó las propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad del concreto elaborado utilizando un agregado grueso reciclado obtenido mediante la trituración manual de probetas de concreto elaboradas en laboratorio, dicho concreto fue elaborado con dos dosificaciones de relación agua/cemento 0.50 y 0.60 y con porcentajes del 25 %, 50 % y 100 % de sustitución del agregado grueso natural por agregado reciclado. En el trabajo se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistividad, impedancia, velocidad de pulso ultrasónico, permeabilidad al ion cloruro, carbonatación y sortividad. De los resultados de los ensayos se obtuvo que el agregado reciclado presenta un aumento en la absorción y en el desgaste o abrasión y una disminución del peso unitario y del peso específico respecto al agregado natural, así también en las mezclas con mayor porcentaje de agregado reciclado, se obtuvo una reducción de los valores de elasticidad y la resistencia a la compresión con respecto a los concretos elaborados con agregado natural. La resistencia a la compresión de un concreto con 100 % de ACR tiene una reducción estimada del 20 % al 25 %, con respecto a un concreto con agregado convencional, asimismo las propiedades eléctricas y de durabilidad medida mediante ensayos de resistividad, impedancia, sortividad y permeabilidad al ion cloruro, se ven afectadas con el aumento del porcentaje de agregado reciclado y la relación agua/cemento.

Alape et al. (2021) en su investigación, realizaron un análisis comparativo entre un concreto elaborado con agregados naturales y otros elaborados con una sustitución del 50 %, 75 % y 100 % de agregado grueso natural, por agregado reciclado obtenido al triturar de forma manual los restos de una vivienda demolida, todos los concretos fueron diseñados para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y su resistencia se evaluó mediante el ensayo a la compresión de probetas;

así mismo se compararon las propiedades del agregado natural del agregado natural y del agregado reciclado, encontrando que el agregado reciclado presenta un aumento en la absorción y del contenido de humedad y una disminución del peso unitario y del peso específico respecto al agregado natural; así también, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión, se observaron distintos comportamientos y tendencias de los especímenes; en primer lugar, se determina que los cilindros con agregado grueso reciclado al 75 % y 100 % tienen una maduración retardada en los primeros 14 días; por otra parte, las mezclas con agregado natural y con 50 % de agregado reciclado ya habían superado la resistencia de diseño a esta edad, debido a que el material reciclado presenta características granulométricas y físicas distintas al del agregado natural, en la investigación recomendaron tomar en cuenta los parámetros de absorción y humedad del agregado reciclado dentro del diseño de mezcla con el objetivo de evitar posibles patologías de porosidad.

Cruz & Ramírez (2022) en su investigación estudiaron el uso de tres diferentes tipos de agregado grueso reciclado obtenidos de manera manual, diferenciándose estos en su fuente de obtención; siendo estos: muros de albañilería, concreto vaciado en sitio (probetas) y baldosas prefabricadas, se estudiaron las propiedades de los tres tipos de agregados reciclados, comparándolos con el agregado natural, para finalmente realizar un análisis comparativo de la resistencia a compresión de concreto elaborado usando un 30 %, 50 % y 100 % de agregado grueso reciclado y diseñado mediante el método del ACI para una resistencia de 210 kg/cm², elaborando y ensayando para ello 120 probetas de concreto de 4"x8". De los ensayos se obtuvo que el agregado reciclado presenta un aumento en la absorción, contenido de humedad y en el desgaste o abrasión y una disminución del peso unitario y del peso específico respecto al agregado natural, así mismo la resistencia a la compresión de las mezclas con 30 % de agregado reciclado dieron resultados muy similares a los resultados con 100 % de agregado natural. Conforme se aumentó el porcentaje de agregado reciclado se disminuyó la resistencia, siempre con resultados superiores a la resistencia del diseño. Finalmente se obtuvo que las mezclas con agregado reciclado de muros de albañilería presentaron los mejores resultados a 28 días en sus tres combinaciones en comparación con el agregado proveniente de baldosas prefabricadas y de probetas de concreto, ello debido presumiblemente a que los muros fueron elaborados en condiciones de laboratorio.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La industria de la construcción es una de las que más recursos naturales consume, ya que requiere de materiales como la arena, piedra, madera, etc.; para poder utilizarlos en sus procesos; estos materiales, en su gran mayoría, son no renovables y además, su extracción y tratamiento generan un gran impacto ambiental, ya que se emplean combustibles fósiles y un gran consumo de energía. Asimismo, esta industria es una de las que más residuos produce, no solo en las demoliciones de estructuras y edificaciones, sino en la construcción de estas, ya que muchas veces se generan desperdicios de materiales como, ladrillos, cerámicos, concreto, etc.; así también las empresas productoras de concreto premezclado muchas veces desechan grandes volúmenes de su producción, debido a que esta no cumple con las características requeridas en su propia planta o porque son rechazadas por sus clientes, todo ello contribuye a aumentar la cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD), con la que las ciudades deben lidiar. Por ejemplo, un 50 % del total de residuos generados en el Reino Unido es de residuos de construcción y demolición, con una cantidad de descarga estimada en 70 millones de toneladas anuales (Sealey et al., 2001). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) estimó que en 2015 se generaron 548 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición y que, además, la demolición representa más del 90 por ciento de la generación total de dichos residuos, mientras que la construcción representa menos del 10 por ciento (United States Environmental Protection Agency, 2015). Mientras tanto, en la Unión Europea, la industria aportó el 33 % (de 821 millones de toneladas) de los residuos totales en el año 2012 (Eurostat, 2015).

Por otro lado, en nuestro país, en el año 2012, el porcentaje de residuos producto del sector construcción fue un 3.58 % del total de residuos sólidos, siendo así el segundo tipo de residuo de mayor importancia (Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales y no Municipales en el Perú Gestión 2012 del Ministerio del Ambiente, 2012). En la ciudad de Lima, la industria de la construcción produce cada día aproximadamente 30000 m³ de desmonte, es decir, unas 19000 toneladas (El Comercio, 2017). Así mismo los residuos de construcción y demolición son clasificados como residuos no peligrosos de gestión no municipal y se rigen en lo establecido en el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de Construcción y Demolición, refrendado con el Decreto Supremo N°

003-2013-VIVIENDA (Decreto Supremo 003-2013-VIVIENDA, art 1).

En busca de solucionar la problemática antes planteada, se han venido planteando alternativas para lograr reducir el volumen de los residuos que se generan a través de la construcción y demolición, una de las alternativas más interesantes es el uso de los RCD como materiales para construcciones nuevas, en particular se ha planteado su uso como agregados para la elaboración de concreto. (Ghorbel, Omary & Wardeh, 2016).

En ese sentido son ya un número apreciable de países, los cuales han reforzado su normativa de reducción y reutilización de emisión de residuos por parte de la construcción con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente. En concordancia con ello, han surgido empresas que se dedican a la clasificación de residuos de construcción y demolición y a su reciclaje con el fin de obtener materiales de construcción que puedan ser comercializados para su uso en nuevos proyectos, (Cement & Concrete Association of New Zeland, 2011).

Como se ha visto en el acápite anterior, existen investigaciones que han abordado el estudio de concretos elaborados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, generalmente de probetas de concreto elaboradas para el control de calidad en las obras de construcción y ensayadas en el laboratorio, las cuales luego de ser desechadas son tratadas por medios mecánicos manuales con el fin de obtener agregados tanto finos como gruesos, que luego se usan para la producción de nuevo concreto.

De lo anteriormente descrito y con el fin de ampliar y complementar lo ya estudiado, la presente tesis buscó determinar la factibilidad de usar un agregado grueso reciclado comercial, proveniente de una empresa dedicada a su elaboración; con el fin de obtener un concreto de mediana a alta resistencia que, cumpliendo con los requerimientos de resistencia y trabajabilidad, pueda ser una alternativa al uso de agregado grueso convencional y así contribuir con la reducción del impacto ambiental de la industria de la construcción, teniendo siempre en cuenta que se deben estudiar las propiedades del agregado reciclado, tales como el contenido de humedad, la absorción, el tamaño, el peso unitario y peso específico, entre otros; puesto que como ya se ha visto, son diferentes a las del agregado natural, lo cual influye directamente en el diseño del concreto y en las propiedades de este.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo principal:

Estudiar las propiedades físico-mecánicas de un concreto de mediana a alta resistencia para relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 utilizando agregado grueso reciclado (AGR) comercial y cemento tipo V.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Estudiar las propiedades físicas del concreto en estado fresco utilizando porcentajes de sustitución de 25 %, 50 %, 75 % y 100 % de agregado grueso reciclado (AGR) comercial y cemento tipo V, con respecto a las del concreto patrón (0 % de AGR).
- Estudiar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido utilizando porcentajes de sustitución de 25 %, 50 %, 75 % y 100 % de agregado grueso reciclado (AGR) comercial y cemento tipo V; con respecto a las del concreto patrón (0 % de AGR).
- Estudiar las propiedades del agregado grueso reciclado comercial y compararlas con las del agregado natural.
- Desarrollar y examinar una tabla de comparación con la relación costo-resistencia para los diseños de mezcla aplicados en la presente Tesis.

1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

El uso de agregado grueso reciclado comercial como sustituto del agregado natural en proporciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, permitirá obtener un concreto con propiedades similares a las de un concreto elaborado sin ninguna sustitución.

Si se logra comprobar que con el uso del agregado grueso reciclado comercial se logra obtener un concreto con buenas propiedades físicas y mecánicas, así como con un costo adecuado, se podrá proponer e incentivar su uso como una alternativa para la reducción de los residuos de construcción y demolición y así mitigar el impacto ambiental que estos generan.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. CONCRETO.

Se puede definir como un material de construcción ampliamente utilizado y compuesto por proporciones variables de elementos como el cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y en algunos casos sustancias como aditivos y adiciones, así como el aire atrapado; teniéndose que, como resultado de la combinación de sus constituyentes, se forma una masa heterogénea con facilidad de colocación, resistencia, durabilidad entre otras propiedades que dependen de las condiciones de obra (Rivva, 2007).

2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO

En esta parte se presentarán las correspondientes definiciones y conceptos teóricos de las propiedades del concreto y de ser el caso los ensayos aplicables a este material con las respectivas normas correspondientes a cada una de ellas.

2.2.1. Trabajabilidad

2.2.1.1. Definición

Es la capacidad que presenta el concreto para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado o compactado en su ubicación final, sin que se presente la segregación de sus materiales componentes. Esta definición involucra conceptos de fluidez, moldeo, cohesión y compactación. (Rivera, 1992).

2.2.1.2. Consideraciones

La trabajabilidad que se busque en un determinado diseño de mezcla depende de las condiciones de obra que se requieran.

Es siempre recomendable trabajar con la cantidad mínima de agua para el diseño de muestras de concreto para obtener la trabajabilidad adecuada, manteniendo siempre la trabajabilidad buscada. (Rivva, 2007).

2.2.2. Consistencia

2.2.2.1. Definición

Es una propiedad que define la humedad de la mezcla del concreto por el grado de asentamiento que esta alcanza una vez que ha sido vaciada. La consistencia

está relacionada en forma directa con la trabajabilidad del concreto, teniéndose que la trabajabilidad requerida para cada diseño, está en función de las condiciones de cada proyecto.

2.2.2.2. Clasificación

Existen clasificaciones de la consistencia, como las brindadas por la Norma Alemana y la norteamericana, en este último caso clasifican al concreto por el asentamiento de la mezcla en estado fresco, la cual se hace la medida cuantitativa mediante el método del Cono de Abrams o método del Slump mediante los siguientes rangos:

- Consistencia seca (0" a 2") o (0 mm a 50 mm)
- Consistencia plástica (3" a 4") o (75 mm a 100 mm)
- Consistencia fluida (5" a más) o (125 mm a más)

Cabe resaltar que la necesidad de la variación en el asentamiento requerido, es un indicador expreso para modificar la dosificación del diseño de la mezcla, principalmente en la cantidad de agua que se agrega al momento de la elaboración del concreto (Rivera, 1992).

2.2.3. Resistencia

2.2.3.1. Definición

Se entiende como el esfuerzo máximo que puede ser soportado por un material sin romperse, mediante las siguientes formas o tipos de esfuerzo: corte o cortante, flexión, tracción y compresión, en general el concreto presenta altas resistencias ante los esfuerzos de compresión y baja resistencia ante los esfuerzos de tracción. La propiedad de resistencia más relevante del concreto es la resistencia a la compresión, la cual depende de varios factores tales como la relación a/c, el tipo de cemento empleado, la relación cemento – agregado y las propiedades de los agregados, tales como el tamaño, la forma, el pesu unitario, la resistencia a la abrasión, entre otros.

2.2.3.2. Consideraciones

Un factor determinante que influye en los valores obtenidos en la resistencia del

concreto es el valor de la relación a/c que se considera en el diseño de la mezcla puesto que dicho valor es un indicador de la cohesión que tendrán la pasta y los agregados. Dicha asociación fue analizada y representada gráficamente por el norteamericano Abrams en 1918, quien establece que al mantener la compacidad apropiada, los mismos materiales, similares condiciones y propiedades, el valor de a/c de diseño, tiene relación inversa con la resistencia a la compresión que se obtendrá en los ensayos; es decir, a un mayor valor de a/c le corresponde una menor resistencia.

Los factores negativos que pueden influir en el desarrollo de la resistencia del concreto son la presencia de limos, arcillar, materia orgánica, mica, humus, sales, etc. En la práctica existen distintas y múltiples variables por lo que no se puede tan solo considerar una relación a/c , sino más de una para encontrar la óptima relación con los materiales dispuestos. (Rivera, 1992).

2.2.4. Durabilidad

2.2.4.1. Definición

Se entiende como la capacidad que el concreto debe tener para mantener sus propiedades en el tiempo, aun en aquellas condiciones que pueden hacerle perder su capacidad estructural. El diseño de mezcla debe contemplar las consideraciones necesarias para que cada elemento alcance la vida útil que se espera en el proyecto.

2.2.4.2. Consideraciones

Son condiciones que afectan negativamente la durabilidad del concreto: el congelamiento, la presencia de humedad e insolación, la exposición a cambios extremos de temperatura, así como la presencia de sustancias químicas, en particular la de los iones sulfato y cloruro (Rivva, 2007)

2.3. COMPONENTES DE CONCRETO

2.3.1. Cemento Portland

En la antigüedad culturas como la romana emplearon como agregados para construcción, materiales tales como ladrillos quebrados, a los cuales se embebía en una amalgama de caliza con ladrillo triturado o ceniza de piroclasto; siendo que así se construyó infraestructura como vías, canales, iglesias, palacios etc.

Asimismo, sabemos que se emplearon losas de concreto en sus distintas construcciones megalíticas. Con el fin de obtener concretos ligeros, los pobladores de Roma emplearon vasijas de arcilla que fueron embutidas en la estructura ocasionando espacios en los muros, y consiguiendo así el objetivo de reducir el peso del concreto y así mismo el de los elementos estructurales.

En 1824, J. Aspin, elaboró y patentó un producto similar al cemento, obtenido mediante la cocción de una mezcla de materiales calcáreos y arcilla finamente molida. Este ligante permitió confeccionar un concreto muy similar al obtenido con la piedra Portland (calcáreo muy resistente de la isla de Portland en Inglaterra) comúnmente utilizado para la construcción, de aquí la denominación “Cemento Portland” (Frederik, 1988).

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (INACAL, 2020), se define el cemento portland como un cemento hidráulico elaborado a través de la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos asociados con silicatos, alúmina y óxido de hierro, los cuales son sometidos a altas temperaturas, provocando la formación de escorias (Clinker), posteriormente y al enfriarse, los productos resultantes se trituran hasta convertirse en un polvo menudo, al que finalmente se le adiciona yeso. Este producto resultante es el cemento Portland comercial que se usa de todo el mundo (Neville, 1998).

2.3.2. Cemento usado en la tesis (Portland tipo V – Andino)

En la presente investigación se ha usado el cemento portland tipo V, el cual cumple las normas NTP 334.009 (INACAL, 2020) y ASTM C-150, es fabricado por la empresa UNACEM, presenta alta resistencia al salitre, bajo contenido de álcalis, buena resistencia a agregados álcali reactivos y su formato de distribución es en bolsas de 42.5 kg y a granel.

2.3.3. Agregados

Materiales que constituyen alrededor de un 75 % del volumen del concreto cuyas medidas se ajustan a los límites fijados en la NTP 400.011 (INACAL, 2020), siendo más rentables que el cemento y no hidratándose, pero afectando notablemente las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido

Esta influencia no solo causa un efecto en la forma del acabado y su calidad final,

sino también en la consistencia y trabajabilidad que pueda tener el concreto estando en un estado fresco y en el estado endurecido afecta las propiedades como, durabilidad, resistencia, etc.

La calidad de estos materiales es definida por distintos factores como: la procedencia, su granulometría, densidad, forma y rugosidad superficial. De manera general se han categorizado en agregado grueso y agregado fino, estableciendo valores de tamaño de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino o arena y de 4,76 mm en adelante para el grueso o piedra. Usualmente, la parte de agregado grueso se subdivide en intervalos, tales como, 4,76 mm a 19 mm para la gravilla y de 19 mm a 5 mm para la grava. La selección del tamaño de agregado grueso para un concreto reforzado está en función del tipo de estructura y separación de la armadura (Asocreto, 2010).

2.3.3.1. Agregado grueso:

Este tipo de agregado está constituido por roca o grava desmenuzada las cuales se consiguen de fuentes previamente escogidas y estudiadas en laboratorio, para corroborar sus propiedades y que estas se encuentren dentro de los parámetros requeridos y especificados en la normativa. La mínima dimensión es de 4,75 mm (tamiz N°4). Debe presentar dureza, resistencia, una superficie limpia y no tener presencia de materiales extraños y/o partículas de polvo, los cuales, en caso de encontrarse, deberán ser retirados a través del tamizado o lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños, y que está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037 (INACAL, 2021), (Rivva, 2007).

2.3.3.2. Agregado fino

Este agregado se incorpora al concreto con el fin de mejorar sus características en estado fresco, lograr un mejor acabado, conseguir una consistencia homogénea y evitar la separación de sus componentes. Estas mejoras se logran, en gran parte, por la composición granulométrica, el tamaño, la forma y la textura de la superficie de las partículas que pasan por el tamaño mínimo 9.5 mm (tamiz 3/8") y que está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037 (INACAL, 2021). Con excepción del agregado ligero, el agregado fino para concreto debe consistir en

arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas (Rivva, 2007).

2.3.3.3. *Agregado reciclado*

El agregado reciclado no es otra cosa que el material granular obtenido de un concreto o de otro tipo de material que ha sido previamente usado en otra obra que fue demolida o de residuos de procesos constructivos y que en la industria no serían más que escombros. Este material es tratado por medios mecánicos para lograr la conformación de partículas dentro de una granulometría determinada, los agregados reciclados son utilizados en diversos países como un sustituto parcial o total de los agregados naturales.

EL agregado grueso reciclado generalmente presenta un mayor contenido de humedad, absorción y desgaste y un menor tamaño, peso unitario y peso específico que el agregado grueso natural, ello debido a que los agregados reciclados suelen presentar restos de mortero en su superficie; lo cual puede influir en el comportamiento de concreto de diferentes maneras, tales como; afectar la resistencia del concreto debido a la presencia de cemento no hidratado, afectar la trabajabilidad del concreto por presencia de agua libre en el mortero y afectar la durabilidad del concreto debido a la fragilidad de los residuos del mortero.

2.3.3.4. *Agregado global*

Material constituido por agregado fino y grueso que provienen de la trituración por medios naturales o artificiales, de las rocas, dicho material deberá encontrarse en cantidades óptimas para los requerimientos específicos del diseño las cuales se deben ir ajustando según las necesidades de cada proyecto y garantizando que cumplan con lo establecido en la norma NTP.400.037 (INACAL, 2021).

2.3.4. Propiedades de los agregados

2.3.4.1. *Granulometría*

Es la gradación obtenida mediante la medición de los agregados, al pasarse estos por mallas estandarizadas (tamices), dicha medición nos da un valor de porcentaje en peso por cada tamiz. Dichas mallas son 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100. Esta propiedad al ser continua permite obtener diseños de mezclas con una elevada compactación y mayor densidad para conseguir mejores propiedades mecánicas del concreto y respetando los criterios fijados en

la norma NTP.400.012 (INACAL, 2021).

Las normas ASTM C33 y NTP 400.037 (INACAL, 2021). establecen los límites granulométricos donde debe estar comprendido el agregado fino, de acuerdo a la tabla N° 1 y el agregado grueso, de acuerdo a la tabla N° 2 (Rivva L., 2007).

A continuación, se muestran en las tablas N° 1 y N° 2, los límites granulométricos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas correspondientes al agregado fino y agregado grueso respectivamente.

Tabla N° 1 Límites granulométricos del agregado fino

Límites granulométricos del agregado fino	
Tamiz	% que pasa
3/8" o 9,5 mm	100
N°4 o 4.75 mm	95 a 100
N°8 o 2,36 mm	80 a 100
N°16 o 1.18 mm	50 a 85
N°30 o 600 µm	25 a 60
N°50 o 300 µm	5 a 30
N°100 o 150 µm	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (INACAL, 2021)

Tabla N° 2 Límites granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100mm (4in)	90mm (3 1/2in)	75mm (3in)	63mm (2 1/2in)	50 mm (2in)	37.5mm (1 1/2in)	25mm (1in)	19mm (3/4in)	12.5mm (1/2in)	9.5mm (3/8in)	4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)	3.00 um (Nº 50)
1	90mm a 375mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63mm a 37.5mm (2 1/2 a 1 1/2 in)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50mm a 25mm (2 a 1 in)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50mm a 4.75mm (2 in a Nº4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5mm a 9mm (1 1/2 a 3/4 in)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
461	37.5mm a 4.75mm (1 1/2 in a Nº 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25mm a 12.5 mm (1 in a 1/2 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25mm a 9.5mm (1 in a 3/8 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25mm a 4.75 mm (1 in a Nº 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19mm a 9.5mm (3/4 in a 3/8 in)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19mm a 4.75mm (3/4in a N º4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 in a Nº 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5mm a 2.56 mm (3/8in a Nº 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5mm a 1.18mm (3/8 in a Nº 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75mm a 1.18mm (Nº 4 a Nº 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (INACAL, 2021)

Para el análisis del agregado global se tiene límites granulométricos establecidos que se encuentran en la norma NTP 400.37 (INACAL, 2021). El agregado global esta normalizado en Inglaterra, Francia, Alemania y también lo incluye la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y mostrados a continuación en la tabla N° 3.

Tabla N° 3 Límites granulométricos del agregado global

Tamiz	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados		
	Tamaño Máximo Nominal		
	37,5 mm (1 ½ pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)
50.0 mm (2pulg)	100		
37.5 mm (1 1/2 pulg)	95 a 100	100	
19.0 mm (3/4 pulg)	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2 pulg)			100

9.50 mm (3/8 pulg)			95 a 100
4.75 mm (N° 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (N° 8)			20 a 50
1.18 mm (N° 16)			15 a 40
600 µm (N° 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (N° 50)			5 a 15
150 µm (N° 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*
* Incrementar 10 % para finos de roca triturada			

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (INACAL, 2021)

2.3.4.2. *Tamaño máximo*

Es el diámetro del menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso analizado, debiendo cumplir con lo establecido en la norma NTP.400.037 (INACAL, 2021).

2.3.4.3. *Tamaño máximo nominal*

Es el diámetro de aquel menor tamiz por el que sucede el primer retenido de la muestra analizada. Según la NTP.400.037 (INACAL, 2021). El primer retenido de la muestra estaría entre un 5 % y 10 %.

2.3.4.4. *Módulo de Fineza*

También llamado modulo granulométrico, es un valor adimensional que nos brinda una idea del grosor o finura del agregado en análisis.

Según lo establecido por INACAL (2021), el Módulo de Fineza, se obtiene, al sumar los valores de porcentaje retenido acumulado de las mallas que se encuentren en la proporción de 2 a 1 empezado a partir de la malla N°100 y culminando en la mayor malla presente en la gradación del agregado. Para el cálculo no se considera los tamices de 1" y 1/2". La fórmula para calcular el M.F. se presenta a continuación:

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

2.3.4.5. *Peso unitario*

Es en peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad que se consideren oportunos, se expresa en unidades

de kg/m^3 , es un ensayo que se puede realizar al agregado fino y grueso, respetando la norma NTP 400.017 (INACAL, 2020), así mismo esta norma señala que es preferible llamar a esta propiedad densidad de masa.

2.3.4.6. *Peso unitario suelto (P.U.S)*

Se determina colocando el material seco suavemente en el recipiente hasta llenarlo completamente y a continuación se enrasa con una varilla lisa de 5/8". El procedimiento para su medición debe respetar la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

Es el valor obtenido de la relación masa/volumen expresado en kg/m^3 como se indica en la siguiente Ecuación:

$$PUS = \frac{\text{peso suelto}}{\text{volumen unitario}}$$

2.3.4.7. *Peso unitario compactado (P.U.C)*

Es el valor del peso unitario obtenido al someter a los granos del agregado a un proceso de compactación, incrementándose así el grado de acomodo de las partículas según su tamaño, es aplicable siempre y cuando se siga un procedimiento para compactar el agregado que respete lo indicado en la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

$$PUC = \frac{\text{peso compactado del agregado}}{\text{volumen unitario}}$$

2.3.4.8. *Peso específico*

Según la NTP 400.021 (INACAL, 2020), la densidad es definida como el cociente entre la masa y el volumen de un material, en valores de kg/m^3 . También define a la densidad (OD) como la masa de las partículas de agregado que han sido secadas al horno por unidad de volumen de partículas de agregado.

De acuerdo al vocabulario convencional, en la presente tesis, las palabras "Peso específico" serán usadas como referencia a la densidad (OD).

Este resultado es usado para el diseño de mezclas de concreto, también es un indicador de la calidad del agregado, ya que cuando los valores de peso específico

son elevados podemos suponer que el agregado tiene un buen comportamiento de baja permeabilidad; sin embargo, cuando los valores son bajos, se puede considerar que estamos en la presencia de agregados débiles y absorbentes donde se tiene que realizar otras pruebas adicionales para poder avalar su uso.

En la NTP 400.022 (INACAL, 2021), se establecen los cálculos necesarios para determinar el peso específico del agregado fino, expresado en g/cm³ tal como se indica en la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{(E - D)}{(V - (C - (A + B)))}$$

Donde:

A = Masa de la muestra superficialmente seca. (g)

B = Masa de matriz aforado de 50 ml. (g)

C = Masa de la muestra superficialmente seca más masa del matraz aforado y más la masa del agua, (g)

D = Masa del recipiente, (g)

E = Masa de la muestra secada al horno más la masa del recipiente, (g)

V = Volumen del matraz aforado, 500 ml

Así mismo para el caso del agregado grueso, en la NTP 400.021 (INACAL, 2020), se establecen los cálculos para determinar el peso específico del agregado grueso, expresado en g/cm³, tal como se indica en la siguiente ecuación:

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

Donde:

A = Masa de la muestra superficialmente seca. (g)

B = Masa de la muestra secada al horno. (g)

C = Masa de la muestra saturada en agua, (g)

2.3.4.9. Absorción

Esta propiedad es definida por la NTP 400.021 (INACAL, 2020), como la cantidad de agua presente en los poros de las partículas del agregado, en un lapso de tiempo determinado, pero sin contemplar el agua que de manera superficial está

en dichas partículas, dicha retención genera el incremento de la masa del material. Así mismo, en la norma mencionada anteriormente se establecen los cálculos para determinar la absorción del agregado grueso, expresada como porcentaje (%) de la masa seca como se indica en la siguiente ecuación:

$$\%abs = 100x \frac{(A - B)}{B}$$

Donde:

A = Masa de la muestra superficialmente seca. (g)

B = Masa de la muestra secada al horno. (g)

Para el caso del agregado fino, en la NTP 400.022 (INACAL, 2021e), se establecen los cálculos para determinar su absorción, expresada como porcentaje (%) de la masa seca como se indica en la siguiente ecuación:

$$\%abs = 100x \frac{(500 - (E - D))}{(E - D)}$$

Donde:

E = Masa de la muestra secada al horno más masa del recipiente, (g)

D = Masa del recipiente, (g)

2.3.4.10. Contenido de humedad

Se define como la cantidad de agua evaporable que incluye la humedad superficial y la contenida en los poros de los agregados, pero sin considerar el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es capaz de evaporarse (INACAL, 2021).

Es una característica importante debido a que contribuye a incrementar el agua de la mezcla del concreto. Razón por la cual se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para realizar las correcciones adecuadas en las proporciones de las mezclas de concreto (Pasquel, 1998).

El valor del contenido de humedad total evaporable de los agregados, se expresa en porcentaje (%) y se calcula según la siguiente ecuación:

$$C.H. = \frac{(Masa\ de\ la\ muestra\ humeda - Masa\ de\ la\ muestra\ seca)}{Masa\ de\ la\ muestra\ seca} \times 100$$

2.3.4.11. Material más fino que pasa la malla 200

Se define como el porcentaje de agregado, respecto del total, que pasa por el tamiz de malla N° 200. Acorde a lo establecido dentro de la norma NTP 400.018 (INACAL, 2020).

$$\%Pasa\ malla\ N^{\circ}200 = \left(\frac{peso\ seco - peso\ despues\ de\ lavado}{peso\ seco} \right) \times 100$$

2.3.4.12. Abrasión en máquina de Los Ángeles

Según INACAL (2020), es el procediendo de ensayo para obtener la resistencia a la degradación en agregados gruesos con menores tamaños a 37.5 mm (1 1/2") en la máquina de Los Ángeles, este valor representa la tenacidad de los agregados gruesos, sirviendo como un indicador relativo sobre su calidad. Este valor establece cuanto puede resistir el agregado grueso al impacto de los esfuerzos durante la elaboración, vaciado y compactado del concreto.

La máquina de Los Ángeles es un cilindro hueco de acero que lleva en el interior una carga abrasiva que consiste en esferas de acero de 46 mm a 48 mm de diámetro con una masa de 390 g a 445 g cada una (INACAL, 2020). La masa de la carga de abrasión está indicada en la Tabla N° 5 y se considera de acuerdo a la granulometría escogida en la Tabla N° 4.

Según la NTP 400.019 la degradación del agregado grueso como porcentaje de pérdida se calcula de acuerdo a lo expresado en la siguiente ecuación.

$$Porcentaje\ de\ perdida = \frac{(W_0 - W_1)}{W_1} \times 100$$

Donde:

W_0 = Masa de la muestra al inicio del ensayo, (g)

W_1 = Masa de la muestra luego de las 500 revoluciones, (g)

Tabla N° 4 Gradación de las muestras para el ensayo de abrasión

Medida del tamiz (Abertura cuadrada)		Masa de tamaños indicados			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	1250 ± 25	.....	.....	.....
25 mm (1")	19 mm (3/4")	1250 ± 25	.....	.....	.....
19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	.....	.....	2500 ± 10	.....
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N° 4)	.....	.....	2500 ± 10	.....
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	.....	.....	.....	5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: NTP 400.019 (INACAL, 2020)

Tabla N° 5 Masa de la carga abrasiva para el ensayo de abrasión

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTP 400.019 (INACAL, 2020)

2.3.5. Agua

Es un componente esencial en la fabricación de las mezclas de concreto, existiendo debido a ello, ciertas consideraciones al momento de elegir el agua que se usará para ello. Respetando la norma NTP 339.088 (INACAL, 2019), que considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites (Abanto, 2013).

Tabla N° 6 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según norma NTP 339.088 (INACAL, 2019)

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión	5,000 ppm Máximo
Materia orgánica	3 ppm Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000 ppm Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600 ppm Máximo
Cloruros (Ion Cl)	1,000 ppm Máximo
pH	5 a 8 Máximo

Fuente: Tecnología del concreto. (Abanto, 2013).

CAPITULO III: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

3.1. GENERALIDADES

Dentro de los depósitos de donde son extraídos los agregados se encuentran también grandes cantidades de arcillas y limos los cuales actúan de manera negativa sobre las propiedades del concreto tanto en estado fresco en estado endurecido. Dichas sustancias perjudiciales deben ser retirados de los agregados a través de un proceso de tamizado en seco o someterlos a un proceso de lavado para eliminarlos y así evitar que ingresen a la mezcla.

En la elaboración del concreto usualmente se trabaja con más de un agregado (dos) para lograr un mejor acomodo de las partículas en la mezcla y obtener una alta compacidad y propiedades mecánicas que se desarrollen de manera adecuada.

En esta tesis se han empleado el agregado fino de la cantera “**Trapiche**”, el agregado grueso natural de la cantera “**UNICON**” y el agregado grueso reciclado de la empresa “**CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS**”

3.2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

3.2.1. Propiedades físicas del agregado fino y grueso

Las propiedades del agregado fino se presentan en la Tabla N° 7

Tabla N° 7 Resultados de las propiedades del agregado fino y grueso

Propiedades de los agregados	Unidad	Agregado fino (cantera Trapiche)	Agregado grueso natural (cantera UNICON)	Agregado grueso reciclado (Construcciones Ecológicas)
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1750	1471	1279
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1892	1579	1375
Peso Especifico	g/cm ³	2.65	2.69	2.34
Porcentaje de Absorción	%	1.18	0.84	5.28
Contenido de Humedad	%	1.45	0.37	3.02
% Que pasa la malla N°200	%	4.7	—	—
Módulo de Finura	.-	3.22	7.49	6.48
Tamaño Máximo	pulg	—	1"	3/4"
Tamaño Máximo Nominal	pulg	—	3/4"	1/2"
Abrasión	%		11.77	30.10

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Granulometría del agregado fino

El agregado fino de la cantera **TRAPICHE** presenta la granulometría que se observa en la tabla N° 8 y graficándola origina lo presentado en la figura N° 1.

Tabla N° 8 Granulometría del agregado fino de la cantera TRAPICHE

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO						ASTM C-33/ NTP 400.037	
Malla	ABERTURA (mm)	Muestra (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/8"	9.50	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N°4	4.75	13	2.53	2.53	97.47	95.00	100.00
N°8	2.36	62	12.47	15.00	85.00	80.00	100.00
N°16	1.18	147	29.47	44.47	55.53	50.00	85.00
N°30	0.60	120	24.00	68.47	31.53	25.00	60.00
N°50	0.30	74	14.85	83.31	16.69	5.00	30.00
N°100	0.15	45	8.97	92.28	7.72	0.00	10.00
Fondo		39	7.72	100.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		500	100.00				

Fuente: Elaboración propia

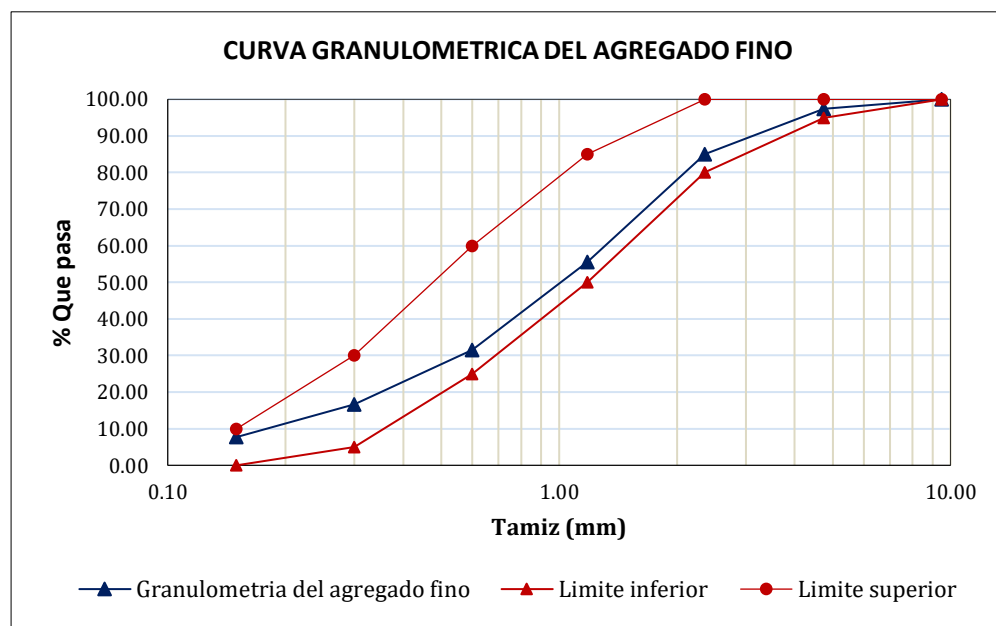


Figura N° 1 Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Granulometría del agregado grueso natural

La granulometría obtenida en el ensayo para el agregado grueso natural que se ha obtenido de la cantera **UNICON**, se observa en la tabla N° 9 y al graficarla genera la información que se presenta la figura N° 2.

Tabla N° 9 Granulometría del agregado grueso de la cantera UNICON

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO NATURAL						NORMA ASTM	
						HUSO 5	
Malla	ABERTURA	Muestra (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1 1/2"	40.00	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	202	2.02	2.02	97.98	90.00	100.00
3/4"	20.00	4915	49.15	51.17	48.83	20.00	55.00
1/2"	12.50	4628	46.28	97.45	2.55	0.00	10.00
3/8"	9.50	191	1.91	99.37	0.63	0.00	5.00
N°4	4.75	45	0.45	99.82	0.18	0.00	0.00
Fondo		18	0.18	100.00	0.00		
TOTAL		10000	100.00				

Fuente: Elaboración propia

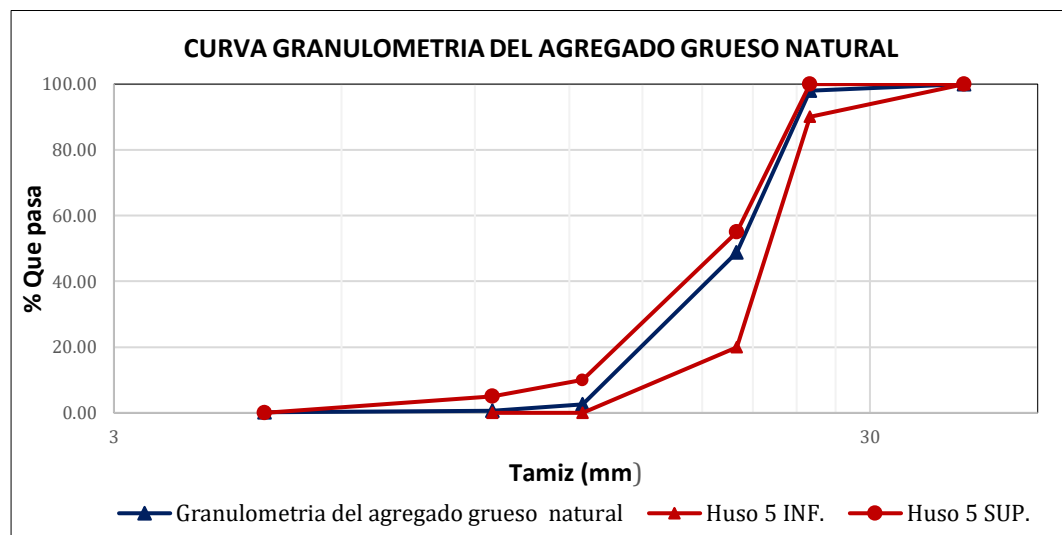


Figura N° 2 Curva granulométrica del agregado grueso natural

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Granulometría del agregado grueso reciclado

La granulometría obtenida en el ensayo para el agregado grueso reciclado que se ha obtenido de empresa **CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS**, se observa en la tabla N° 10 y al graficarla genera la información que se presenta la figura N° 3.

Tabla N° 10 Granulometría del agregado grueso reciclado

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO						NORMA ASTM	
						HUSO 56	
Malla	ABERTURA	Muestra (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1"	25.00	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	20.00	31	0.31	0.31	99.69	90.00	100.00
1/2"	12.50	4404	44.04	44.35	55.65	20.00	55.00
3/8"	9.50	2068	20.68	65.04	34.96	0.00	15.00
N°4	4.75	3208	32.08	97.12	2.88	0.00	5.00
Fondo		288	2.88	100.00	0.00		
TOTAL		10000	100.00				

Fuente: Elaboración propia

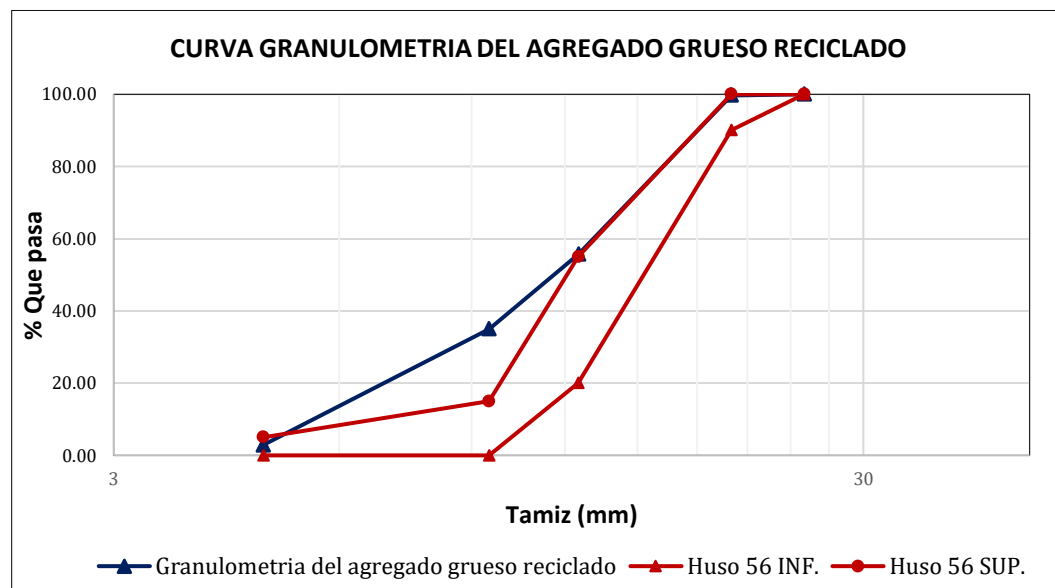


Figura N° 3 Curva granulométrica del agregado grueso reciclado

Fuente: Elaboración propia

3.3. ENSAYO DE MÁXIMA COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL

La metodología de diseño se basa en la consideración de obtener el mejor acomodo de las partículas de los agregados gruesos y finos, teniendo presente que a dicho acomodo le es correlativo el máximo valor del Peso Unitario Compactado (P.U.C), pues al disminuir los vacíos entre las partículas, se consigue una mejor compacidad del agregado global o mezcla de agregados.

Con el fin de encontrar las proporciones de combinación óptimas, se establecen ciertos valores probables para posteriormente graficar dichos valores, escogiendo finalmente el valor al que le corresponda el pico más alto de la gráfica.

Los valores para la combinación de los agregados se han establecido con una variación porcentual de 5 % como son 40 %, 45 %, 50 %, 55 % y 60 % de agregado fino y el valor de la diferencia respecto al 100 % le corresponde al agregado grueso, los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 11 y al graficarlos se obtiene lo presentado en la figura N° 4.

Tabla N° 11 Máxima compacidad del agregado global

AGREGADO GLOBAL								
ARENA (%)	PIEDRA (%)	MUESTRA I (kg)	MUESTRA II (kg)	MUESTRA III (kg)	PESO PROMEDIO (kg)	PESO BALDE (kg)	Peso del agregado global (kg)	P.U.C. (kg/m ³)
40	60	33.76	34.59	34.18	34.17	6.32	27.86	1967
45	55	35.18	34.57	34.69	34.81	6.32	28.49	2012
50	50	35.53	35.48	35.2	35.40	6.32	29.08	2054
55	45	35.33	35.25	35.56	35.38	6.32	29.06	2052
60	40	35.13	35.13	35.03	35.09	6.32	28.78	2032
VOLUMEN DEL BALDE:					1/3 pie ³ =	0.0142	m ³	

Fuente: Elaboración propia

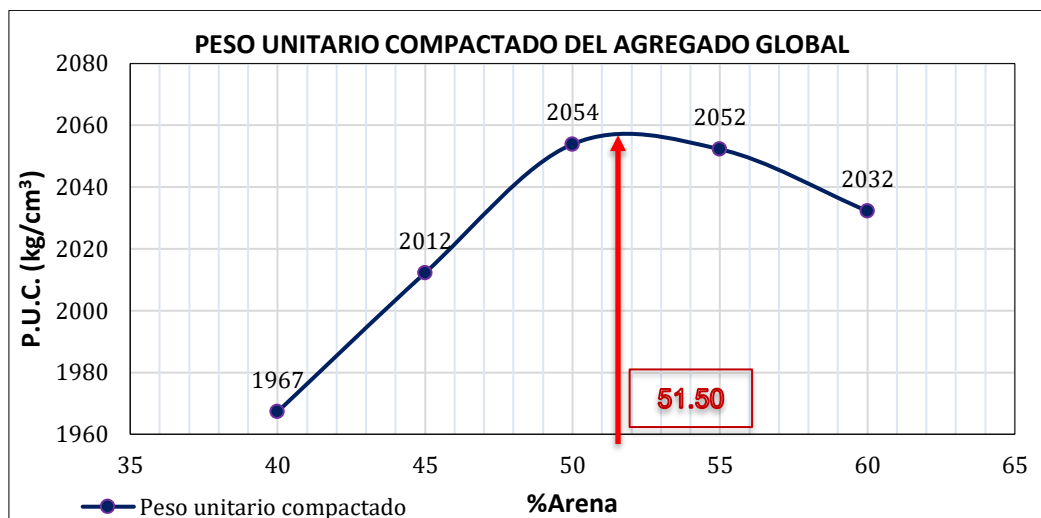


Figura N° 4 Máxima compactación del agregado global

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se tomó el punto más alto ubicado en la gráfica del P.U.C. del agregado global, siendo este valor 2058 kg/m³, este valor es el que permitió determinar las proporciones del agregado a usar, siendo de 51.50 % de agregado fino y 48.50 % de agregado grueso, se determina que con estos valores de combinación se logra a una mejor compactación del agregado global.

Al analizar la granulometría del agregado global con los valores de porcentaje de agregado fino y grueso establecidos anteriormente. Se obtuvieron valores que son mostrados en la tabla N° 12 y al graficarlos se genera lo que muestra la figura N° 5.

Tabla N° 12 Granulometría del agregado global

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL								
Malla	ABERTURA (mm)	% ret. arena	% ret. piedra	% ret. Arena (51.5 %)	% ret. Piedra (48.5 %)	% ret. Total	% Retenido acumulado	% Acumulado que Pasa
1 1/2"	37.50		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00		2.02	0.00	0.98	0.98	0.98	99.02
3/4"	19.00		49.15	0.00	23.84	23.84	24.82	75.18
1/2"	12.50		46.28	0.00	22.45	22.45	47.27	52.73
3/8"	9.50	0.00	1.91	0.00	0.93	0.93	48.19	51.81
N°4	4.75	7.03	0.45	3.62	0.22	3.84	52.03	47.97
N°8	2.36	16.27	0.18	8.38	0.09	8.47	60.50	39.50
N°16	1.18	23.21		11.95		11.95	72.45	27.55
N°30	0.60	22.35		11.51		11.51	83.97	16.03
N°50	0.30	15.21		7.83		7.83	91.80	8.20
N°100	0.15	8.57		4.42		4.42	96.21	3.79
Fondo		7.35		3.79		3.79	100.00	0.00
TOTAL		100.00	100.00	51.50	48.50		100.00	

Fuente: Elaboración propia

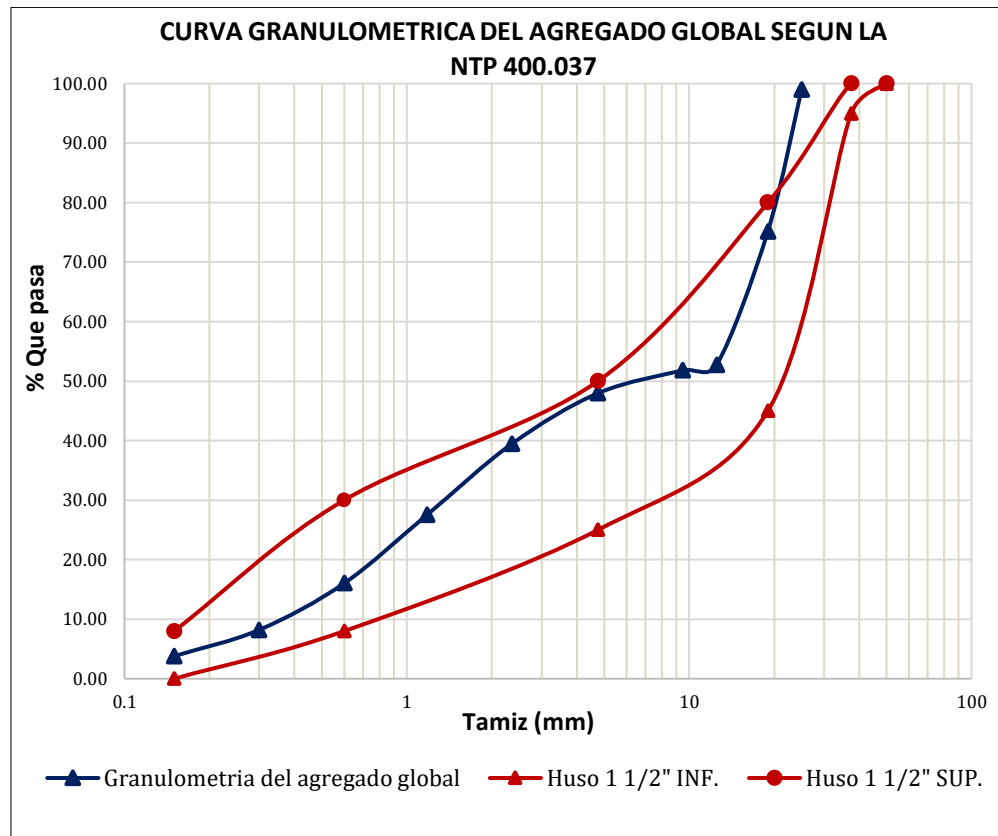


Figura N° 5 Curva granulométrica del agregado global

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

4.1. GENERALIDADES

Hablar del diseño de una dosificación de mezcla de concreto no se refiere a otra cosa que a realizar al cálculo de las proporciones más adecuadas de los materiales que conforman la mezcla, obtenidas con el método más óptimo, con la finalidad de producir concretos económicos y que se adecuen a los requerimientos mínimos de propiedades físicas y mecánicas. De acuerdo a la naturaleza y configuración de cada proyecto (Neville, 1999).

En el Perú se emplean diferentes métodos para la realización de los diseños de mezclas de concreto, dichos métodos en su mayoría presentan tablas y gráficos para la estimación de la cantidad de agua requerida en relación con el tamaño máximo nominal del agregado grueso a usar en la mezcla, la geometría del agregado y el asentamiento requerido de acuerdo a las configuraciones de cada proyecto, los métodos también correlacionan relaciones agua – cemento con resistencias a la compresión experimentales, proporciones de los agregados finos y agregado grueso; en consecuencia el concreto resultante de un determinado diseño de mezcla debe considerarse un material experimental cuyas proporciones se establecen en función de los resultados de laboratorio obtenidos de los diferentes ensayos y de las condiciones particulares requeridas en cada proyecto.

4.2. MÉTODOS DE DISEÑO

4.2.1. Método del comité del ACI:

PROCEDIMIENTO

- Se selecciona la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión y la desviación estándar de la compañía.
- Se selecciona el TMN, asentamiento, volumen unitario de agua y relación a/c de acuerdo a los requerimientos de resistencia y durabilidad.
- Se determina el factor cemento y el contenido de agregado grueso.
- Se determina la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agua de diseño y agregado grueso y volumen absoluto de agregado fino.
- Se determinan los valores de diseño de cemento, agua, aire, agregado fino y grueso, correcciones por humedad y de la proporción en peso por tanda.

4.2.2. Método por la relación agua/cemento

PROCEDIMIENTO

- Cuando no se disponga de información de registros de ensayos, se puede elegir la relación agua/cemento para concretos con o sin aire incorporado en función de la resistencia a la compresión requerida.
- Los concretos elaborados con determinadas proporciones con la relación agua/cemento deben reunir los requisitos de durabilidad y de resistencia a la compresión, de acuerdo a lo establecido en el proyecto.

4.2.3. Método del módulo de finura de la combinación de agregados

En este método las proporciones de agregado fino y grueso varían para las distintas resistencias, siendo que esta se encuentra en función de la relación agua/cemento y el contenido absoluto de agua en la mezcla.

4.3. ESTUDIO TEÓRICO DEL MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL

4.3.1. Introducción

A lo largo del tiempo se han estudiado distintas metodologías de diseño para la dosificación del concreto. Siendo el método del agregado global un complemento de los métodos mencionados anteriormente, y permite adecuar estos métodos de una manera racional y dando lugar a mejoras que permitan obtener resultados adecuados a la naturaleza del proyecto.

De manera general en este método se escoge una relación a/c basándose en la resistencia y durabilidad que se considere, con el fin de obtener la relación más óptima del agregado fino y grueso con la que se pueda obtener un asentamiento necesario y suficiente al mezclarse con los demás componentes; teniendo en cuenta que no se busca una precisión exacta sino tomar los valores como un punto de partida para lograr mejores diseños en obra.

Se suele decir, “El concreto de distinta composición granulométrica requieren dosis de agua muy distinta para obtener iguales o parecidas consistencias en el concreto fresco y con un mismo grado de trabajabilidad”. (Dr. Alfredo Hummel).

En 1917 en EE.UU., Richard B. Fuller y J. Thompson propusieron una curva granulométrica continua y basada en ella, un método de diseño de concretos que patentaron como “método de Fuller”. En ella establecen la premisa de que “la calidad de un concreto no depende solamente de la cantidad de cemento que se coloque en la mezcla, sino que, usando agregados con una curva granulométrica más adecuada pueden mejorarse la resistencia mecánica y otras características que hacen a la bondad del mismo.

En 1925 en Suiza, el Profesor Bolomey propone también una curva granulométrica continua, pero que también incluía el cemento. Al mismo tiempo el Profesor Caquot, en Francia, encontró una solución matemática para la composición granulométrica de los concretos. Por un lado, determino que agregados y a la superficie de las paredes que los contienen (Efecto pared).

Luego fueron utilizados, también en Francia por Faury y Joisel para su aplicación práctica en sus métodos de dosificación de concretos por curvas de referencia.

Hoy en día estas curvas se encuentran normalizadas para los diferentes tamaños máximos del agregado grueso, estas curvas son usadas en lugares como Italia, Alemania, Francia, España, como es la norma DIN 1045 el cual se tomará en cuenta en la presente tesis y presenta curvas referenciales normalizadas para los tamaños máximos nominales de 8 mm, 16 mm, 31.5 mm y 63 mm, también considerando la Norma Técnica Peruana N.T.P. 400.037 (INACAL, 2021).

4.3.2. Descripción del método

Como se sabe, el diseño de mezclas de concreto se trata de buscar las proporciones de materiales que resulten más económicas, reduciendo la cantidad de cemento a emplear ya que, de todos los componentes de una mezcla, este es el material más caro; las proporciones obtenidas deben ser las adecuadas para obtener un concreto en estado fresco con la trabajabilidad y cohesión necesaria y en estado endurecido con la resistencia a la compresión y durabilidad óptima.

Este método del agregado global está basado en la granulometría del agregado fino, agregado grueso y la combinación de dichos agregados o agregado global, buscando obtener una buena relación entre la trabajabilidad de la mezcla y un

menor contenido de pasta. Si la proporción del agregado grueso es menor al requerido se tendrán mezclas de concreto ásperas, segregables y difícil de manipular, mientras que un exceso en el agregado grueso se tornará mezclas con problemas en de retracción y más costosas con resistencias menores.

4.4. SECUENCIA DE LA METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA

Este estudio está basado en tres relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, así como un asentamiento de entre 6" a 7", buscando obtener un concreto de mediana a alta resistencia, utilizando cemento portland tipo V; se busca que el concreto cumpla con los requisitos en estado fresco, presentando una trabajabilidad adecuada; y que en estado endurecido alcance valores de resistencia a la compresión media a alta en todos los diseños (3 del concreto patrón y 12 diseños del concreto utilizando el agregado grueso comercial de la empresa CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS).

4.5. DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN

Con el fin de obtener las proporciones óptimas para la combinación de agregados en la mezcla del concreto patrón, se buscó la máxima compacidad en la mezcla de los agregados a través del ensayo de peso unitario compactado del agregado global.

Las proporciones calculadas y empleadas de manera inicial para el concreto patrón fueron las mismas para los concretos de diferentes relaciones agua cemento; en la presente investigación se trabajó con tres relaciones agua/cemento, las cuales fueron de 0.45, 0.50, 0.55, una vez halladas las proporciones óptimas de agregados se elaboraron las probetas de 4"x8", las cuales se desmoldarán para curarlos en una poza adecuada y posteriormente realizar los ensayos correspondientes.

4.5.1. Cálculo de la cantidad de agua

Después de obtener las proporciones de agregado fino y grueso a emplear en los diseños preliminares, para el cálculo de la cantidad de agua (l/m^3) correspondiente a un determinado asentamiento o Slump (medido en pulg) necesaria para el diseño, se realizan diversos tanteos hasta encontrar el valor de la cantidad de agua adecuado.

Para la relación promedio de un a/c de 0.50, primero experimentalmente en el laboratorio se eligen tres valores de cantidad de agua para el diseño, las cuales son de 220, 230 y 240 l/m³, con la finalidad de que el asentamiento esté dentro del rango de 6" a 7" para lograr la trabajabilidad estipulada al momento del diseño.

El cemento, en cantidad, es obtenido de la relación a/c, las cantidades de agregado fino y grueso, de los porcentajes calculados al analizar la máxima compacidad del agregado global desarrollado en el capítulo anterior, en este caso 51.50 % de arena y 48.50 % de piedra.

Se estimó el aire atrapado para el T.M.N. de 3/4", en este caso 2 % presentado en la tabla ACI. Los diseños para una tanda de 50 kg se muestran en las tablas N° 13, 14 y 15, los Slump obtenidos para cada diseño en la tabla N° 16, y en la figura N° 6, mostrándose a continuación los resultados obtenidos.

Tabla N° 13 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 220 l

DISEÑO DE MEZCLA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m ³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	440.00	0.140	1.00	440.00	1.00	9.43
	AGUA	220.00	0.220	0.50	221.19	0.50	4.74
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.620				
	ARENA	846.58	0.319	1.92	858.85	1.95	18.41
	PIEDRA	809.30	0.301	1.84	812.62	1.85	17.42
Slump	5.00"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 230 l

DISEÑO DE MEZCLA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m ³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	460.00	0.146	1.00	460.00	1.00	9.92
	AGUA	230.00	0.230	0.50	231.16	0.50	4.99
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.604				
	ARENA	824.27	0.311	1.79	836.22	1.82	18.03
	PIEDRA	787.97	0.293	1.71	791.20	1.72	17.06
Slump	6.70"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15 Diseño de mezcla para una cantidad de agua de 240 l

DISEÑO DE MEZCLA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	480.00	0.152	1.00	480.00	1.00	10.41
	AGUA	240.00	0.240	0.50	241.13	0.50	5.23
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.588				
	ARENA	801.95	0.303	1.67	813.58	1.69	17.65
	PIEDRA	766.64	0.285	1.60	769.78	1.60	16.70
Slump	8.00"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16 Cantidad de agua (l) vs Asentamiento (pulg)

OBTENCIÓN DE SLUMP	
AGUA (l)	SLUMP (pulg)
220	5.00
230	6.70
240	8.00

Fuente: Elaboración propia

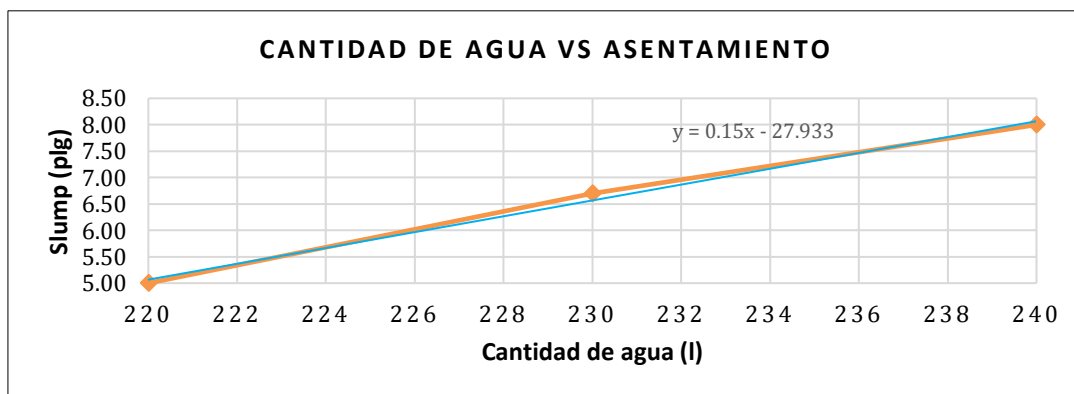


Figura N° 6 Agua vs Slump para una relación a/c de 0.50

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos del cálculo de la cantidad de agua que se requiere para conseguir un asentamiento que esté entre 6" a 7", y escogiendo como promedio un valor de 6.5" se tomará un volumen de agua de 229 lts/m³.

4.5.2. Porcentaje de agregado grueso/fino según resistencia

Previamente se efectuó el ensayo de Peso Unitario Compactado del agregado global encontrando un primer porcentaje adecuado para la combinación de agregados, no obstante, este procedimiento resulta insuficiente puesto que los

valores de los porcentajes de agregados hallados han sido basados solamente en el análisis granulométrico.

En esta parte de la investigación se tendrá consideraciones más precisas como el volumen de agua hallado previamente y en concordancia la cantidad de cemento, en esta situación en particular, las nuevas proporciones de los agregados se calcularán por resistencia experimental mediante el ensayo de compresión axial de probetas de 4"x8" y obteniendo una curva de porcentaje de agregado versus resistencia a la compresión del concreto; dicha curva se superpondrá a la obtenida en el cálculo de la máxima compacidad de agregado global, obteniendo un porcentaje óptimo de arena y por lo tanto de piedra.

Se realizaron nuevos diseños de mezcla para una relación a/c de 0.50 pero ahora manteniendo constante el agua patrón de 229 l/m³, la cual fue obtenida anteriormente y variando el porcentaje de agregados en un +/- 3 % respecto del 51.50 % de arena obtenido en el estudio de la máxima compacidad del agregado global, teniendo los valores de la tabla N° 17; para obtener una curva representativa de los valores de los diseños de las tablas N° 18, N° 19 y N° 20.

Se elaboraron probetas con los tres nuevos diseños y se dejaron curar durante 7 días para realizar el ensayo de compresión axial y obtener la figura N° 7 en la cual se correlaciona la resistencia obtenida al ensayar las probetas versus el % arena utilizado en cada diseño.

Tabla N° 17 +/-3 % de agregados

VARIACIÓN	% ARENA	% PIEDRA
+3 %	54.50	45.50
0 %	51.50	48.50
-3 %	48.50	51.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18 Diseño para porcentajes de arena = 54.50 % y piedra = 45.50 %

DISEÑO DE MEZCLA - 54.50 % DE ARENA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	458.00	0.145	1.00	458.00	1.00	9.87
	AGUA	229.00	0.229	0.50	229.83	0.50	4.95
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.606				
	ARENA	874.64	0.330	1.91	887.32	1.94	19.13
	PIEDRA	741.23	0.276	1.62	744.27	1.63	16.04
Slump	6.40"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19 Diseño para porcentajes de arena = 51.50 % y piedra = 48.50 %

DISEÑO DE MEZCLA - 51.50 % DE ARENA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	458.00	0.145	1.00	458.00	1.00	9.87
	AGUA	229.00	0.229	0.50	230.17	0.50	4.96
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.606				
	ARENA	826.50	0.312	1.80	838.48	1.83	18.07
	PIEDRA	790.10	0.294	1.73	793.34	1.73	17.10
Slump	6.20"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20 Diseño para porcentajes de arena = 48.50 % y piedra = 51.50 %

DISEÑO DE MEZCLA - 48.50 % DE ARENA							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (50kg)
0.50	CEMENTO	458.00	0.145	1.00	458.00	1.00	9.87
	AGUA	229.00	0.229	0.50	230.51	0.50	4.97
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.606				
	ARENA	778.35	0.294	1.70	789.64	1.72	17.01
	PIEDRA	838.97	0.312	1.83	842.41	1.84	18.15
Slump	7.00"						

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla N° 21 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia la compresión a la edad de 7 días, de las probetas elaboradas con los tres diseños de mezcla indicados anteriormente, los cuales al graficarse se obtiene la figura N° 7.

Tabla N° 21 Resultados a la compresión axial a una edad de 7 días

% DE ARENA	% DE PIEDRA	RESISTENCIA (kg/cm ²)	Edad de ensayo (días)
48.50	51.50	251.9	7
51.50	48.50	266.5	7
54.50	45.50	255.3	7

Fuente: Elaboración propia

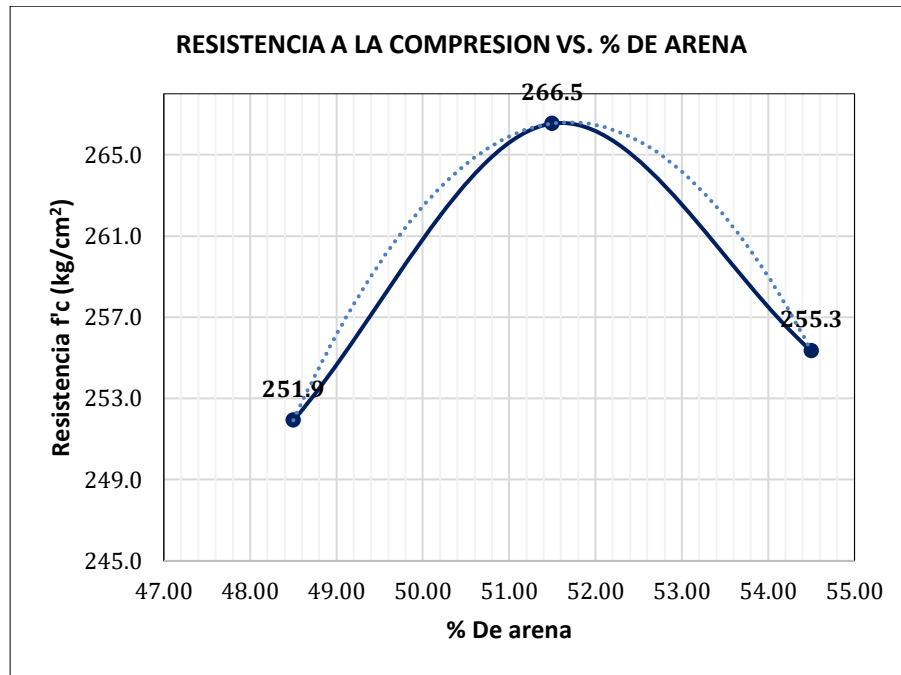


Figura N° 7 Curva de resistencia a la compresión vs. % de arena

Fuente: Elaboración propia

Ahora realizamos la superposición de la curva del P.U.C de la combinación de agregados versus el porcentaje de arena utilizado y de la curva de resistencia a la compresión versus el porcentaje de arena en la mezcla.

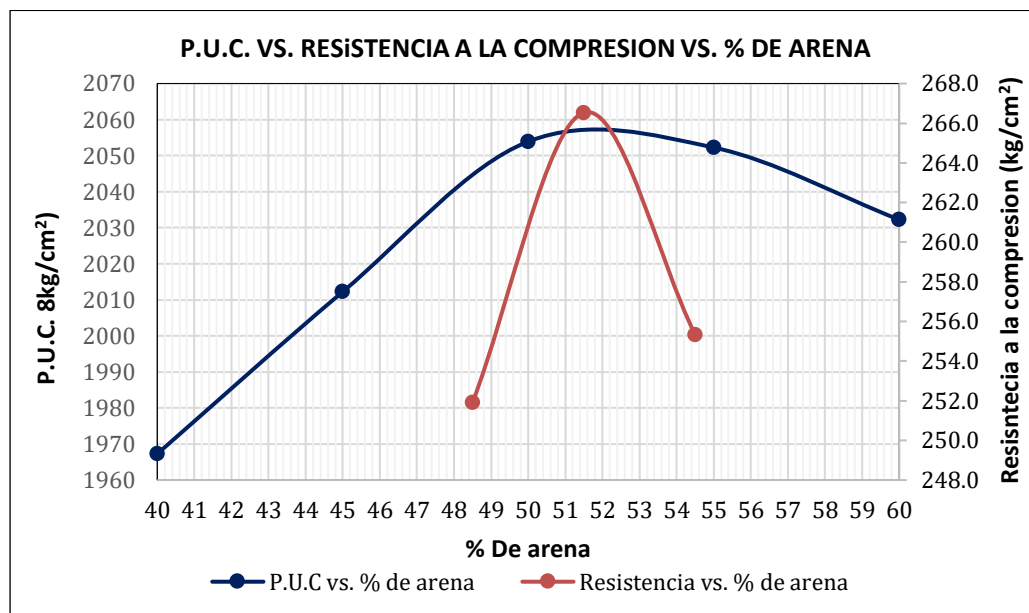


Figura N° 8 Curvas de P.U.C y resistencia a la compresión vs. % de arena

Fuente: Elaboración propia

De esta superposición de ambos gráficos se considera como la opción más óptima para los porcentajes de la combinación de los agregados a la siguiente:

% Arena = 51.50 %

% Piedra = 48.50 %

4.5.3. Dosificación del concreto patrón

A continuación, se presenta una tabla resumen de los diseños de mezcla de los concretos patrones para las relaciones de a/c de 0.45, 0.50, 0.55 obtenidos al seguir el procedimiento descrito anteriormente, los mismos que serán detallados en el capítulo de los anexos.

Tabla N° 22 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.45

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRON							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.45	CEMENTO	528.89	0.168	1.00	528.89	1.00	38.84
	AGUA	238.00	0.238	0.45	239.07	0.45	17.56
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.574				
	ARENA	788.07	0.297	1.49	799.49	1.51	58.71
	PIEDRA	744.36	0.277	1.41	747.42	1.41	54.89
Slump	6.10"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.50

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRON							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170kg)
0.50	CEMENTO	456.00	0.145	1.00	456.00	1.00	33.39
	AGUA	228.00	0.228	0.50	229.17	0.50	16.78
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.607				
	ARENA	828.73	0.313	1.82	840.74	1.84	61.57
	PIEDRA	792.23	0.295	1.74	795.48	1.74	58.25
Slump	6.75"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24 Diseño del concreto patrón para la relación a/c = 0.55

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRON							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.55	CEMENTO	405.45	0.129	1.00	405.45	1.00	29.68
	AGUA	223.00	0.223	0.55	224.19	0.55	16.41
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.628				
	ARENA	860.78	0.325	2.12	873.26	2.15	63.92
	PIEDRA	816.31	0.303	2.01	819.66	2.02	59.99
Slump	7.00"						

Fuente: Elaboración propia

4.6. DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO

Los estudios del concreto con el agregado grueso reciclado serán basados en el diseño del concreto patrón al que se le sustituirá el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado en 4 porcentajes de sustitución; en cuanto a las propiedades físicas del agregado grueso reciclado, se tienen los resultados de los distintos ensayos realizados en el laboratorio.

Las sustituciones del agregado grueso reciclado fueron de 25 %, 50 %, 75 % y 100 % sobre el agregado grueso natural, buscando siempre conseguir el objetivo de conservar las condiciones de trabajabilidad presentada en el diseño de concreto patrón, se buscará un asentamiento entre 6" a 7" rango con el que trabajó desde el inicio de la investigación.

Se tendrá en cuenta que cuando el porcentaje de sustitución sea del 100% se considerara un aire atrapado de 2.50 %, puesto que el T.M.N del agregado grueso reciclado comercial es de ½"

A continuación, se presentarán los resúmenes de los distintos diseños de mezcla

con sustitución de agregado grueso, para las tres relaciones a/c del estudio.

4.6.1. Dosificaciones de mezcla con AGR para un a/c = 0.45.

Tabla N° 25 Diseño de mezcla para un a/c = 0.45 con 25 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 25% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.45	CEMENTO	528.89	0.168	1.00	528.89	1.00	39.13
	AGUA	238.00	0.238	0.45	241.93	0.46	17.90
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.574				
	ARENA	788.07	0.297	1.49	799.49	1.51	59.15
	PIEDRA NAT	558.27	0.208	1.06	560.56	1.06	41.48
	PIEDRA REC	161.88	0.069	0.31	166.77	0.32	12.34
Slump	6.80"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 26 Diseño de mezcla para un a/c = 0.45 con 50 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 50% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.45	CEMENTO	528.89	0.168	1.00	528.89	1.00	39.43
	AGUA	238.00	0.238	0.45	244.79	0.46	18.25
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.574				
	ARENA	788.07	0.297	1.49	799.49	1.51	59.60
	PIEDRA NAT	372.18	0.138	0.70	373.71	0.71	27.86
	PIEDRA REC	323.76	0.138	0.61	333.53	0.63	24.86
Slump	6.50"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27 Diseño de mezcla para un a/c = 0.45 con 75 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 75% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.45	CEMENTO	528.89	0.168	1.00	528.89	1.00	39.73
	AGUA	238.00	0.238	0.45	247.65	0.47	18.60
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.574				
	ARENA	788.07	0.297	1.49	799.49	1.51	60.05
	PIEDRA NAT	186.09	0.069	0.35	186.85	0.35	14.04
	PIEDRA REC	485.64	0.208	0.92	500.30	0.95	37.58
Slump	6.70"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28 Diseño de mezcla para un a/c = 0.45 con 100 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 100% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.45	CEMENTO	528.89	0.168	1.00	528.89	1.00	40.26
	AGUA	238.00	0.238	0.45	250.40	0.47	19.06
	AIRE		0.025				
	VOL. AGREGADOS		0.569				
	ARENA	781.20	0.295	1.48	792.53	1.50	60.33
	PIEDRA NAT	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	PIEDRA REC	641.88	0.274	1.21	661.26	1.25	50.34
Slump	6.60"						

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Dosificaciones de mezcla con AGR para un a/c = 0.50.

Tabla N° 29 Diseño de mezcla para un a/c = 0.50 con 25 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 25% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.50	CEMENTO	456.00	0.145	1.00	456.00	1.00	33.66
	AGUA	228.00	0.228	0.50	232.21	0.51	17.14
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.607				
	ARENA	828.73	0.313	1.82	840.74	1.84	62.06
	PIEDRA NAT	594.17	0.221	1.30	596.61	1.31	44.04
	PIEDRA REC	172.29	0.074	0.38	177.49	0.39	13.10
Slump	7.00"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 30 Diseño de mezcla para un a/c = 0.50 con 50 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 50% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.50	CEMENTO	456.00	0.145	1.00	456.00	1.00	33.93
	AGUA	228.00	0.228	0.50	235.25	0.52	17.50
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.607				
	ARENA	828.73	0.313	1.82	840.74	1.84	62.56
	PIEDRA NAT	396.12	0.147	0.87	397.74	0.87	29.59
	PIEDRA REC	344.58	0.147	0.76	354.98	0.78	26.41
Slump	6.80"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31 Diseño de mezcla para un a/c = 0.50 con 75 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 75% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.50	CEMENTO	456.00	0.145	1.00	456.00	1.00	34.20
	AGUA	228.00	0.228	0.50	238.30	0.52	17.87
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.607				
	ARENA	828.73	0.313	1.82	840.74	1.84	63.06
	PIEDRA NAT	198.06	0.074	0.43	198.87	0.44	14.92
	PIEDRA REC	516.87	0.221	1.13	532.48	1.17	39.94
Slump	6.45"						

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 32 Diseño de mezcla para un a/c = 0.50 con 100 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 100% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.50	CEMENTO	456.00	0.145	1.00	456.00	1.00	34.68
	AGUA	228.00	0.228	0.50	241.23	0.53	18.35
	AIRE		0.025				
	VOL. AGREGADOS		0.602				
	ARENA	821.90	0.310	1.80	833.82	1.83	63.42
	PIEDRA NAT	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	PIEDRA REC	683.48	0.292	1.50	704.12	1.54	53.55
Slump	6.60"						

Fuente: elaboración propia

4.6.3. Dosificaciones de mezcla con AGR para un a/c = 0.55.

Tabla N° 33 Diseño de mezcla para un a/c = 0.55 con 25 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 25% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.55	CEMENTO	405.45	0.129	1.00	405.45	1.00	29.92
	AGUA	223.00	0.223	0.55	227.32	0.56	16.78
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.628				
	ARENA	860.78	0.325	2.12	873.26	2.15	64.44
	PIEDRA NAT	612.23	0.228	1.51	614.74	1.52	45.37
	PIEDRA REC	177.52	0.076	0.44	182.89	0.45	13.50
Slump	6.90"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34 Diseño de mezcla para un a/c = 0.55 con 50 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 50% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.55	CEMENTO	405.45	0.129	1.00	405.45	1.00	30.17
	AGUA	223.00	0.223	0.55	230.46	0.57	17.15
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.628				
	ARENA	860.78	0.325	2.12	873.26	2.15	64.98
	PIEDRA NAT	408.16	0.152	1.01	409.83	1.01	30.49
	PIEDRA REC	355.05	0.152	0.88	365.77	0.90	27.22
Slump	6.20"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 35 Diseño de mezcla para un a/c = 0.55 con 75 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 75% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170 kg)
0.55	CEMENTO	405.45	0.129	1.00	405.45	1.00	30.42
	AGUA	223.00	0.223	0.55	233.59	0.58	17.53
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.628				
	ARENA	860.78	0.325	2.12	873.26	2.15	65.52
	PIEDRA NAT	204.08	0.076	0.50	204.91	0.51	15.37
	PIEDRA REC	532.57	0.228	1.31	548.66	1.35	41.16
Slump	6.30"						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 36 Diseño de mezcla para un a/c = 0.55 con 100 % de AGR

DISEÑO DE MEZCLA - 100% DE AGR							
agua/cemento	MATERIAL	DISEÑO SECO	VOLUMEN ABS. (m³)	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	LABORATORIO (170kg)
0.55	CEMENTO	405.45	0.129	1.00	405.45	1.00	30.68
	AGUA	223.00	0.223	0.55	236.72	0.58	17.91
	AIRE		0.020				
	VOL. AGREGADOS		0.628				
	ARENA	860.78	0.325	2.12	873.26	2.15	66.07
	PIEDRA NAT	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	PIEDRA REC	710.10	0.303	1.75	731.54	1.80	55.35
Slump	6.60"						

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: ENSAYOS EN EL CONCRETO

5.1. ENSAYOS

A continuación, se enumeran los ensayos que se le realizaron a los diferentes diseños de concreto estudiados en la presente Tesis:

- Ensayos realizados al concreto en estado fresco:
 - Asentamiento
 - Peso Unitario
 - Contenido de aire
 - Exudación
 - Tiempo de fragua inicial y final
- Ensayos realizados al concreto en estado endurecido:
 - Ensayo de resistencia a la compresión axial
 - Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral
 - Ensayo de resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas

5.1.1. Método de diseño utilizado

La metodología utilizada para obtener los diseños de mezcla ha sido el método del agregado global, para las relaciones a/c de 0.45, 0.50, 0.55; realizando diseños con los agregados naturales y con sustituciones de agregado grueso reciclado del 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, respecto del agregado grueso natural.

5.1.2. Propiedades del concreto en estado fresco

5.1.2.1. Ensayo de asentamiento (NTP 339.035, 2022)

La metodología de ensayo para hallar el asentamiento de la mezcla consiste en colocar una muestra de mezcla fresca en un molde con forma de tronco de cono (cono de Abrams). El molde se retira de manera firme y vertical hacia arriba permitiendo que el concreto escurra. La separación vertical entre el borde superior del cono de Abrams y el centro de la cara superior del cono deformado da el valor el asentamiento (INACAL, 2022).

El ensayo se realiza con las siguientes herramientas:

- Cono de Abrams (molde en forma de tronco de cono con un diámetro de 20 cm en la base inferior, 10 cm en la parte superior y 30 cm de altura).

- Varilla de 5/8" y 60 cm de longitud con los extremos redondeados.
- Wincha, cucharon metálico, base metálica.

Procedimiento:

- Se humedecen las herramientas y se coloca el cono de Abrams sobre la plancha metálica plana sin absorción.
- Posteriormente se pisa las orejas para darle firmeza y luego llenar en tres capas. Cada capa de 1/3 del volumen del cono de Abrams y se compactara con la varilla cada capa con 25 golpes uniformes distribuidos en forma de espiral del extremo hacia el centro.
- La última capa será llenada con un exceso puesto que luego de compactar se realizará el enrase a la parte superior del molde.
- Se elevará el cono de Abrams en forma vertical y deberá medirse la altura de asentamiento colocando la varilla encima del reverso del molde y hallando la diferencia entre la altura del molde y el centro del cono de mezcla.

Los valores de consistencia obtenidos con el ensayo de asentamiento en los diseños de la relación a/c = 0.45, se presentan en la tabla N° 37 y en consecuencia se genera la respectiva figura N° 9.

Tabla N° 37 Slump para un a/c = 0.45

RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO		
Relación a/c	Diseño	Slump (Pulg.)
0.45	C.P.	6.10
	25 % AGR	6.80
	50 % AGR	6.50
	75 % AGR	6.70
	100 % AGR	6.60

Fuente: Elaboración Propia

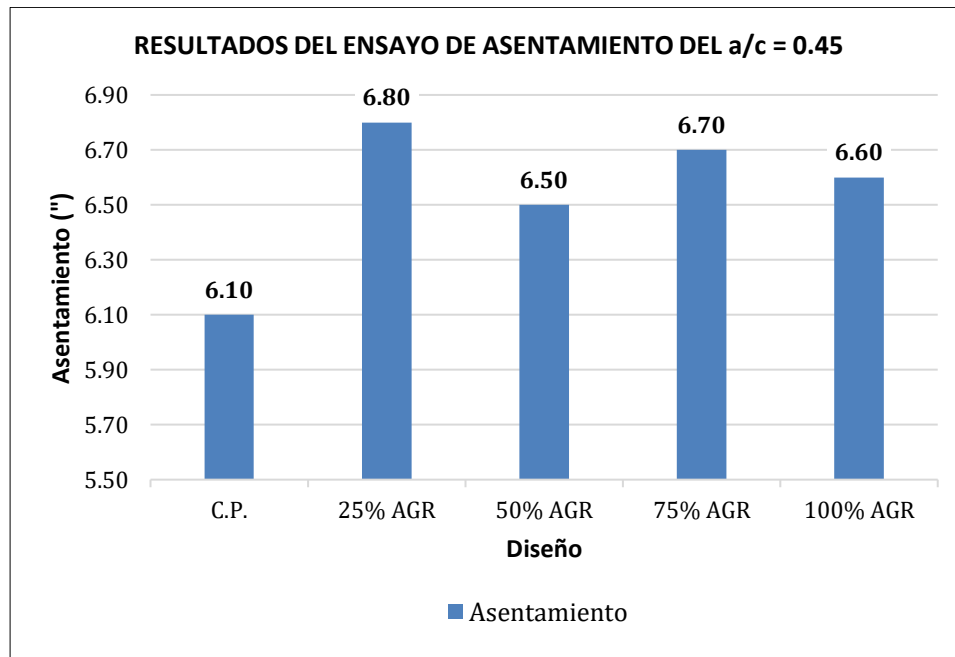


Figura N° 9 Slump para la relación $a/c = 0.45$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de consistencia obtenidos mediante el ensayo de asentamiento para la mezcla de relación $a/c = 0.50$, se muestran en la tabla N° 38 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 10.

Tabla N° 38 Slump para un $a/c = 0.50$

RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO		
Relación a/c	Diseño	Slump (Pulg.)
0.50	C.P.	6.75
	25 % AGR	7.00
	50 % AGR	6.80
	75 % AGR	6.45
	100 % AGR	6.60

Fuente: Elaboración Propia

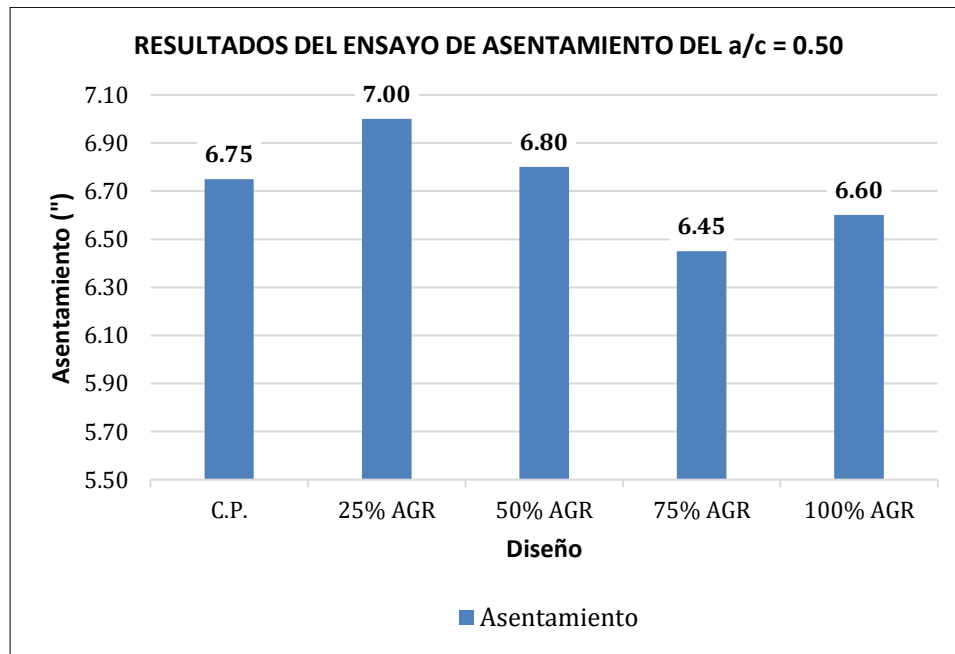


Figura N° 10 Slump para la relación $a/c = 0.50$

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de consistencia obtenidos mediante el ensayo de asentamiento para la mezcla de relación $a/c = 0.55$, se muestran en la tabla N° 39 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 11.

Tabla N° 39 Slump para un $a/c = 0.55$

RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO		
Relación a/c	Diseño	Slump (Pulg.)
0.55	C.P.	7.00
	25 % AGR	6.90
	50 % AGR	6.20
	75 % AGR	6.30
	100 % AGR	6.60

Fuente: Elaboración Propia

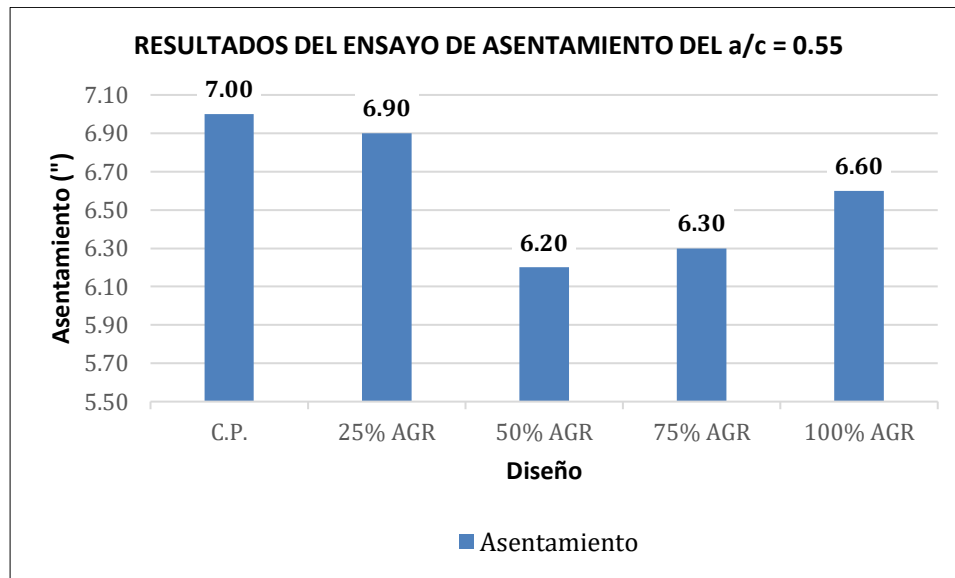


Figura N° 11 Slump para la relación a/c = 0.55

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2.2. Ensayo de peso unitario (NTP 339.046, 2019)

Con este ensayo se obtuvo el peso del concreto fresco por cada metro cubico, lo cual se calculó para cada uno de los diseños de mezcla de la investigación, para este ensayo se utilizaron las siguientes herramientas:

- Molde metálico para concreto.
- Varilla de 5/8" y de 60 cm de longitud.
- Cucharon metálico, martillo de goma.

Procedimiento del ensayo:

- Se llena el molde en tres capas del mismo volumen aproximadamente, compactando cada capa con 25 golpes mediante la varilla.
- Al finalizar de compactar cada capa, se da golpes ligeros en las paredes del molde, con el martillo de goma, para quitar el aire atrapado.
- En la tercera capa llenar en exceso y enrasar al tope del molde para proceder a pesarlo en la balanza.
- De acuerdo con la NTP 339.046, el peso unitario o densidad de masa medida en kg/m³, es calculada de la manera indicada en la educación siguiente.

$$P.U \text{ concreto} = \frac{(M_t - M_m)}{V_m}$$

Donde:

M_t = Masa del recipiente más la muestra del concreto. (kg)

M_m = Masa del recipiente. (kg)

V_m = Volumen del recipiente. (m³)

Los resultados obtenidos de los ensayos de peso unitario del concreto para la relación a/c = 0.45 se presentan en la tabla N° 40 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 12.

Tabla N° 40 Peso Unitario y % de variación para un a/c = 0.45

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO			
Relación a/c	Diseño	P.U. (kg/m ³)	variación respecto al C.P.
0.45	C.P.	2391	100.00 %
	25 % AGR	2369	99.08 %
	50 % AGR	2329	97.43 %
	75 % AGR	2304	96.37 %
	100 % AGR	2289	95.75 %

Fuente: Elaboración propia

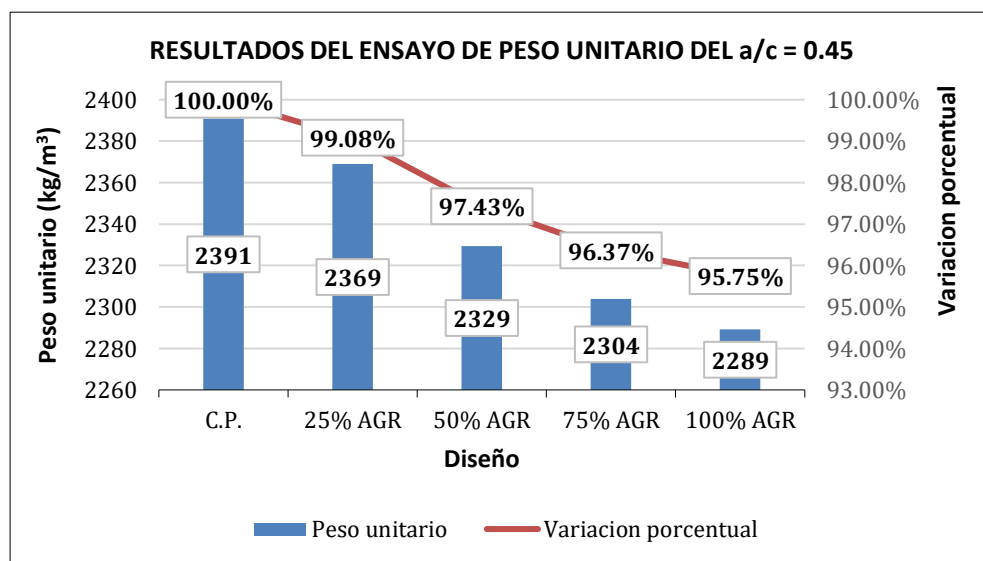


Figura N° 12 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.45

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de peso unitario del concreto para la relación a/c = 0.50 son mostrados en la tabla N° 41 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 13.

Tabla N° 41 Peso Unitario y % de variación para un a/c = 0.50

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO			
Relación a/c	Diseño	P.U. (kg/m ³)	variación respecto al C.P.
0.50	C.P.	2393	100.00 %
	25 % AGR	2367	98.94 %
	50 % AGR	2338	97.70 %
	75 % AGR	2309	96.49 %
	100 % AGR	2293	95.84 %

Fuente: Elaboración propia

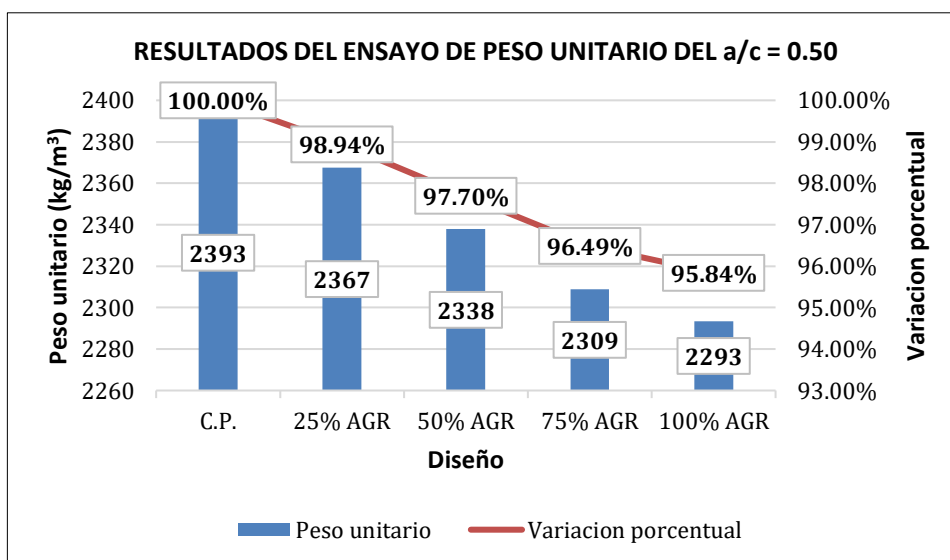


Figura N° 13 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.50

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de peso unitario del concreto para la relación a/c = 0.55 son mostrados en la tabla N° 42 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 14.

Tabla N° 42 Peso Unitario y % de variación para un a/c = 0.55

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO			
Relación a/c	Diseño	P.U. (kg/m ³)	variación respecto al C.P.
0.55	C.P.	2396	100.00 %
	25 % AGR	2383	99.47 %
	50 % AGR	2367	98.79 %
	75 % AGR	2339	97.64 %
	100 % AGR	2290	95.58 %

Fuente: Elaboración propia

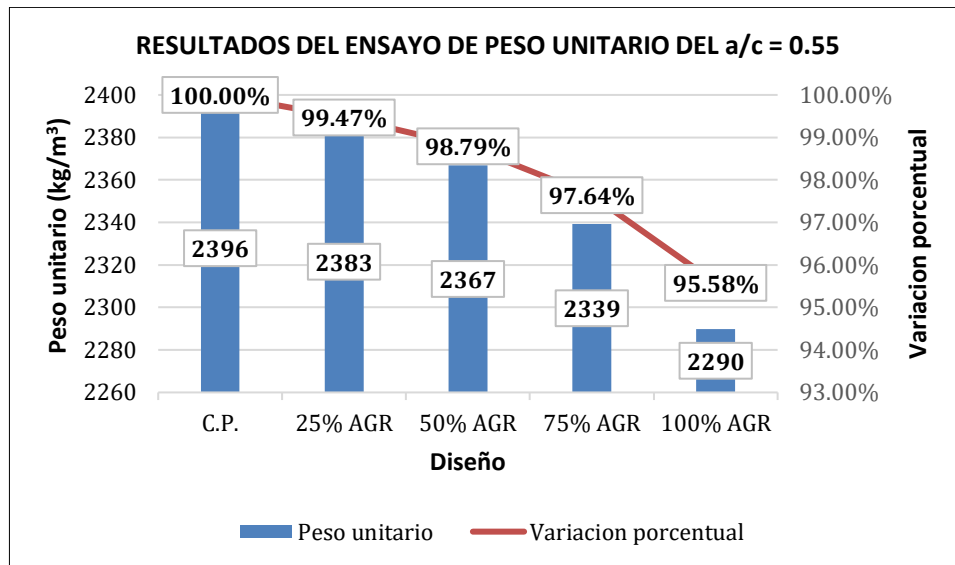


Figura N° 14 Peso Unitario y % de variación para el a/c = 0.55

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2.3. Ensayo de contenido de aire atrapado (NTP 339.080, 2017)

Es un valor expresado en porcentaje, el cual representa el aire atrapado en una muestra de concreto fresco, que se determina a partir de la observación del cambio de volumen del concreto a través de un cambio de presión (INACAL, 2017).

Materiales y herramientas

- Olla de Washington
- Vara metálica lisa de 5/8"
- Regleta de enrase
- Bandeja
- Martillo de goma

Proceso del ensayo:

- Preparar la mezcla en la bandeja para el ensayo, posteriormente se debe colocar en el molde llenando por vez 1/3 del volumen del recipiente.
- Dar 25 golpes con la varilla metálica por capa llegando a la capa directamente inferior y dar golpes con el martillo de goma lograr eliminar el aire que ingresó al varillar.
- En la última capa enrasar la capa y limpiar los bordes para colocar de la tapa

de la olla de Washington.

- Tapar la olla de Washington de manera adecuada en forma centrada cerrando la válvula de purga de aire y llenar con agua por las llaves, hasta lograr el rebalse por la otra llave, dando golpes ligeros al recipiente para que se llenen los vacíos de la mezcla.
- Finalmente bombear aire dentro de la cámara, lo cual se reflejará en el manómetro ya que la aguja se estabilizará al dar golpes y luego cerrar las llaves para lograr un sellado hermético.

Los valores obtenidos de los ensayos de contenido de aire atrapado en el concreto para la relación $a/c = 0.45$ se presentan en la tabla N° 43 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 15.

Tabla N° 43 Contenido de aire y % de variación para un $a/c = 0.45$

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO			
Relación a/c	Diseño	Contenido de aire (%)	Variación respecto al C.P.
0.45	C.P.	1.05	100.00 %
	25 % AGR	1.12	106.67 %
	50 % AGR	1.30	123.81 %
	75 % AGR	1.46	139.05 %
	100 % AGR	1.68	160.00 %

Fuente: Elaboración propia

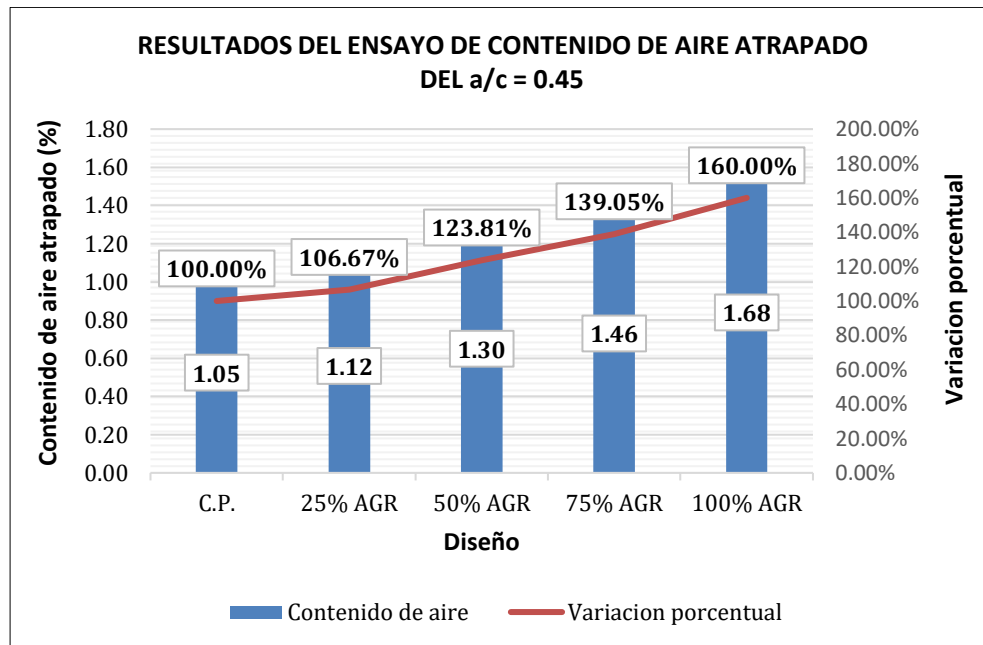


Figura N° 15 Contenido de aire y % de variación para la relación a/c = 0.45

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los ensayos de contenido de aire atrapado en el concreto para la relación a/c = 0.50 se presentan en la tabla N° 44 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 16.

Tabla N° 44 Contenido de aire y % de variación para un a/c= 0.50

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO			
Relación a/c	Diseño	Contenido de aire (%)	Variación respecto al C.P.
0.50	C.P.	0.80	100.00 %
	25 % AGR	0.85	106.25 %
	50 % AGR	1.00	125.00 %
	75 % AGR	1.15	143.75 %
	100 % AGR	1.30	162.50 %

Fuente: Elaboración propia

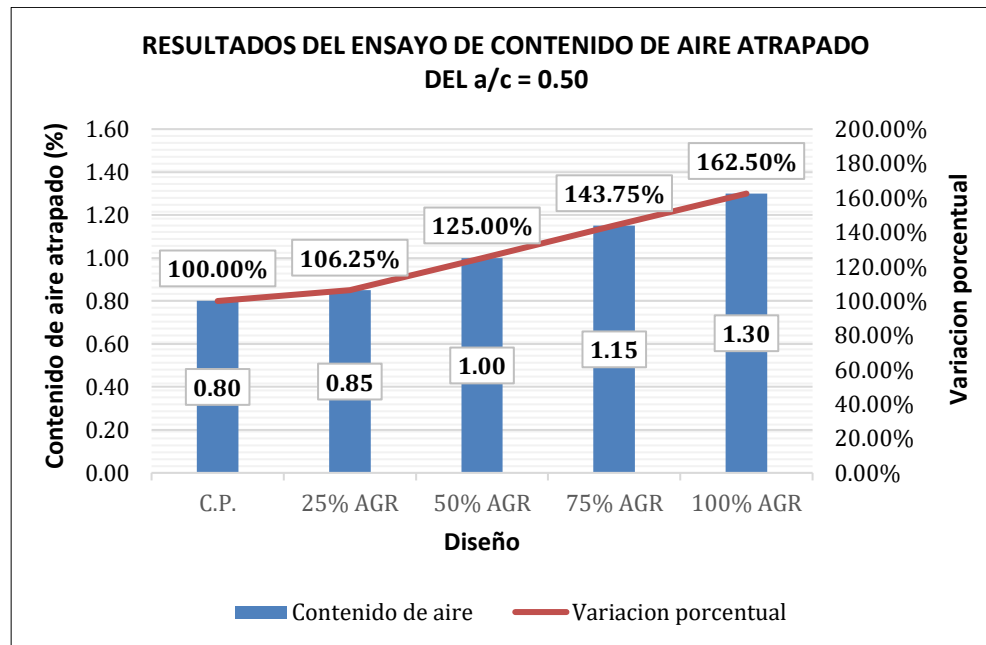


Figura N° 16 Contenido de aire y % de variación para la relación a/c = 0.50

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de los ensayos de contenido de aire atrapado en el concreto para la relación a/c = 0.55 se presentan en la tabla N° 45 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 17.

Tabla N° 45 Contenido de aire y % de variación para un a/c = 0.55

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO			
Relación a/c	Diseño	Contenido de aire (%)	Variación respecto al C.P.
0.55	C.P.	0.60	100.00 %
	25 % AGR	0.68	113.33 %
	50 % AGR	0.73	121.67 %
	75 % AGR	1.05	175.00 %
	100 % AGR	1.50	250.00 %

Fuente: Elaboración propia

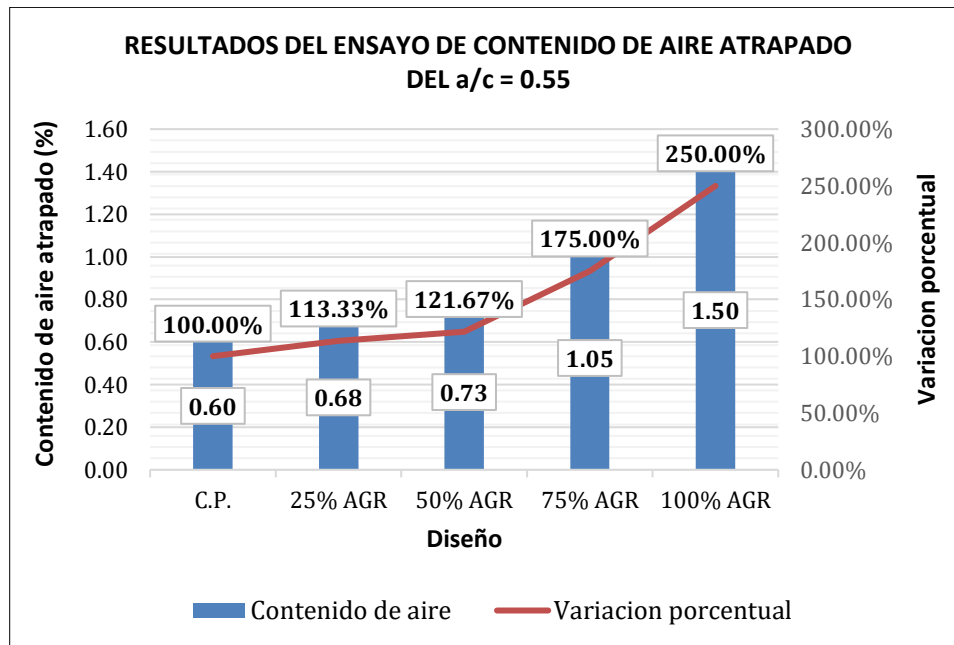


Figura N° 17 Contenido de aire y % de variación para la relación $a/c = 0.55$

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2.4. Ensayo de exudación (NTP 339.077, 2020)

La exudación es un tipo de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla de manera natural sube hacia la superficie del concreto recién colocado en un encofrado o molde, esto sucede debido al menor peso específico que tiene el agua comparada con los demás materiales que conforman la mezcla (Neville, 1999).

A mayor exudación aumentara la relación a/c efectiva de la mezcla de concreto, afectando sus propiedades.

Las herramientas utilizadas para realizar este ensayo son las que siguen:

- Recipiente con diámetro inferior a 255 mm y altura de 280 mm
- Balanza con precisión de gramos
- Pipeta para la extracción del agua
- Probeta graduada de 100 ml de capacidad
- Varilla lisa de puntas redondeadas de 5/8"

Procedimiento:

- Realizar el llenado del recipiente de manera análoga a lo realizado en el ensayo de peso unitario.
- Posteriormente a nivelar y enrasar la muestra, registrar la masa y la hora.

Luego tapar para evitar la pérdida de líquido por evaporación.

- Luego de transcurrido cierto tiempo, realizar el retiro del agua acumulada inclinando de manera cuidadosa el molde con un taco de 50 mm de espesor durante 2 min y posteriormente regresarla a su lugar, realizar cada extracción superficial en lapsos de 10 min durante los primeros 40 min y luego cada 30 minutos hasta que se detenga la exudación, anotando la ultima hora en que se extrajo agua.

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{D}{C} * 100$$

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

C (g): masa de agua en la muestra de ensayo

w (kg): masa total de la tanda

W (kg): masa neta del agua en la mezcla

S (g): masa de la muestra

D (g): masa del agua exudada

Los valores obtenidos de los ensayos de exudación del concreto para la relación $a/c = 0.45$ se muestran en la tabla N° 46 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 18.

Tabla N° 46 Exudación y % de variación para un $a/c = 0.45$

RESULTADOS DE ENSAYO DE EXUDACIÓN			
Relación a/c	Diseño	% de exudación	Variación respecto al C.P.
0.45	C.P.	1.90	100.00 %
	25 % AGR	1.42	74.93 %
	50 % AGR	1.08	56.84 %
	75 % AGR	0.90	47.24 %
	100 % AGR	0.76	40.08 %

Fuente: Elaboración propia

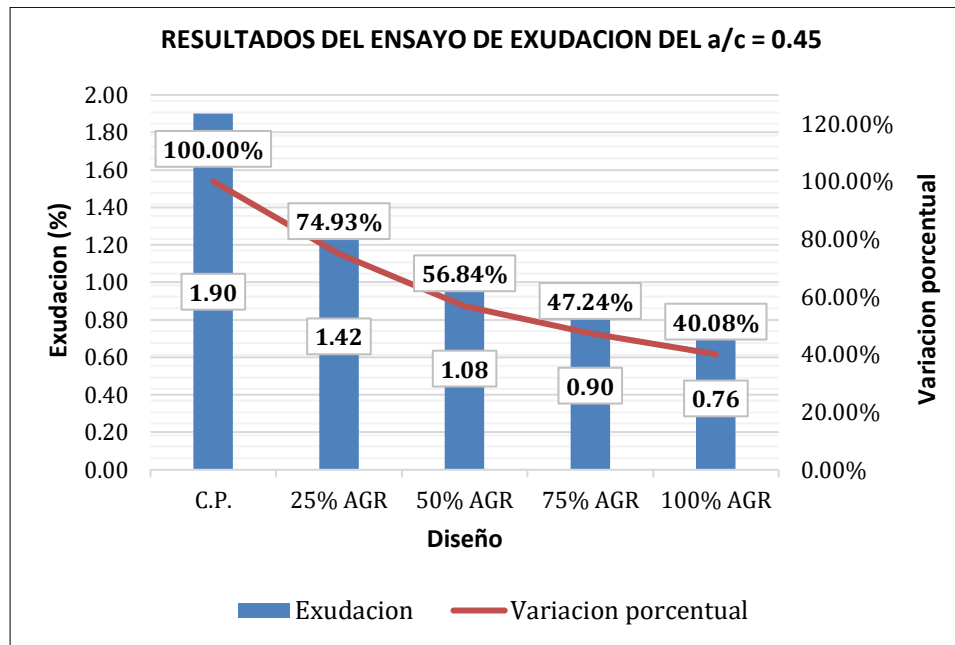


Figura N° 18 Exudación y % de variación para una relación $a/c = 0.45$

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de exudación del concreto para la relación $a/c = 0.50$ se muestran en la tabla N° 47 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 19.

Tabla N° 47 Exudación y % de variación para un $a/c = 0.50$

RESULTADOS DE ENSAYO DE EXUDACIÓN			
Relación a/c	Diseño	% de exudación	Variación respecto al C.P.
0.50	C.P.	1.69	100.00 %
	25 % AGR	1.57	92.69 %
	50 % AGR	1.33	78.67 %
	75 % AGR	1.13	66.60 %
	100 % AGR	1.04	61.44 %

Fuente: Elaboración propia

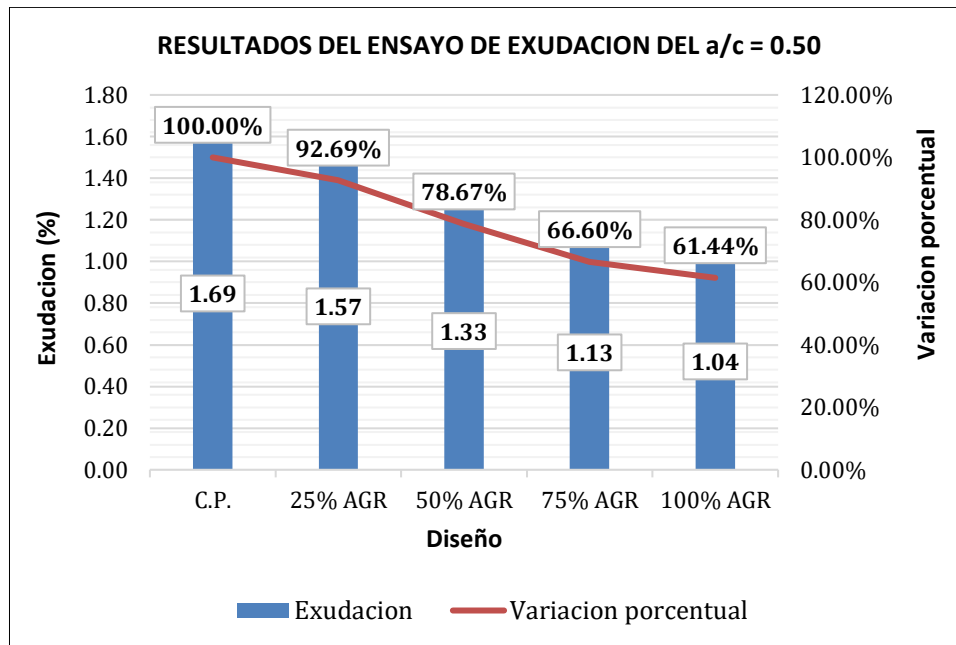


Figura N° 19 Exudación y % de variación para una relación a/c = 0.50

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de exudación del concreto para la relación a/c = 0.55 se muestran en la tabla N° 48 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 20.

Tabla N° 48 Exudación y % de variación para un a/c = 0.55

RESULTADOS DE ENSAYO DE EXUDACIÓN			
Relación a/c	Diseño	% de exudación	Variación respecto al C.P.
0.55	C.P.	1.82	100.0 %
	25 % AGR	1.50	82.4 %
	50 % AGR	1.01	55.6 %
	75 % AGR	0.97	53.4 %
	100 % AGR	0.82	45.2 %

Fuente: Elaboración propia

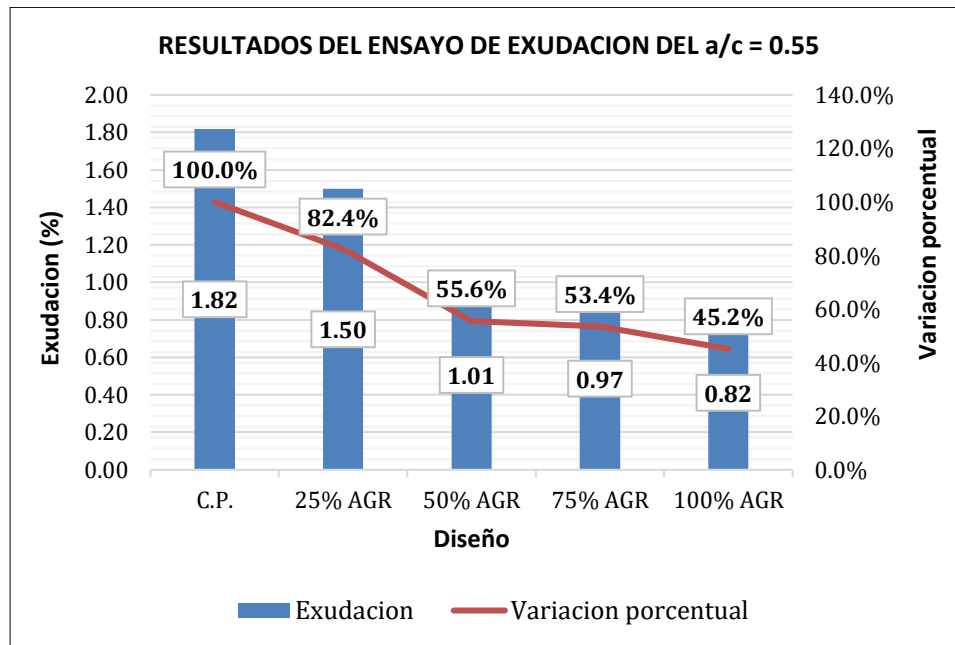


Figura N° 20 Exudación y % de variación para una relación a/c = 0.55

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2.5. Ensayo de tiempo de fragua (NTP 339.082, 2017)

Al transcurrir el tiempo el concreto comienza su endurecimiento, producto de las reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, generando así la pérdida paulatina de la trabajabilidad y dando comienzo al estado de fraguado.

Al tener una trabajabilidad con valor cero, es cuando se llega el estado de fragua final de la mezcla de concreto. Al lapso temporal transcurrido entre el inicio del proceso de reacción entre el agua y la fragua final es llamado el tiempo de fragua

Para el ensayo de tiempo de fragua se emplearán los siguientes equipos y herramientas:

- Tamiz con 4.76 mm de abertura
- Recipiente de 15 cm de diámetro interior y 15 cm de altura interior
- Equipo hidráulico con medidor de presión
- Agujas cilíndricas de áreas de contacto de 0.025, 0.050, 0.10, 0.25, 0.50, 1.0 pulg².

Procedimiento:

- Realizar el tamizaje de la muestra de concreto hasta conseguir una cantidad de pasta que permita llenar el recipiente húmedo a utilizar, posteriormente

enrasarlo hasta cierto nivel, con golpes suaves en el borde para lograr la eliminación de vacíos y tener una superficie nivelada.

- Realizar el retiro del agua de la exudación, en el momento de cada penetración de las agujas
- Aplicar una fuerza uniforme hasta penetrar 2.5 cm en 10 segundos. El cambio de aguja se realiza mientras se va endureciendo el concreto.
- Para cada ensayo de penetración, se tomarán datos de fuerza, el área de la aguja y la hora; el ensayo terminará cuando con la aguja de menor área se alcance una resistencia a la penetración de por lo menos 4000 lb/pulg².

Los valores obtenidos de los ensayos de tiempo de fragua del concreto para la relación $a/c = 0.45$ se muestran en la tabla N° 49 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 21.

Tabla N° 49 Tiempo de fragua y % de variación para un $a/c = 0.45$

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
Relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.45	C.P.	292	407	100.00	100.00
	25 % AGR	282	358	96.58	87.96
	50 % AGR	284	371	97.26	91.15
	75 % AGR	264	351	90.41	86.24
	100 % AGR	252	339	86.30	83.29

Fuente: Elaboración propia

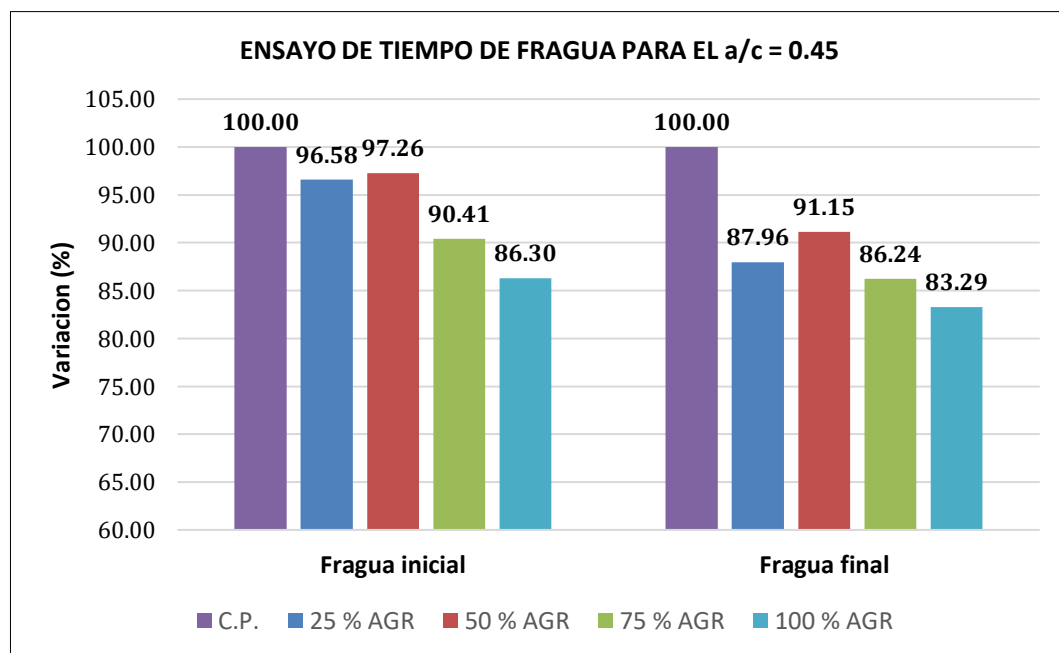


Figura N° 21 % de variación del tiempo de fragua para el $a/c = 0.45$

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de tiempo de fragua del concreto para la relación $a/c = 0.50$ se presentan la tabla N° 50 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 22.

Tabla N° 50 Tiempo de fragua y % de variación para un $a/c = 0.50$

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
Relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.50	C.P.	300	408	100.00	100.00
	25 % AGR	266	361	88.67	88.48
	50 % AGR	271	359	90.33	87.99
	75 % AGR	275	373	91.67	91.42
	100 % AGR	288	393	96.00	96.32

Fuente: Elaboración propia

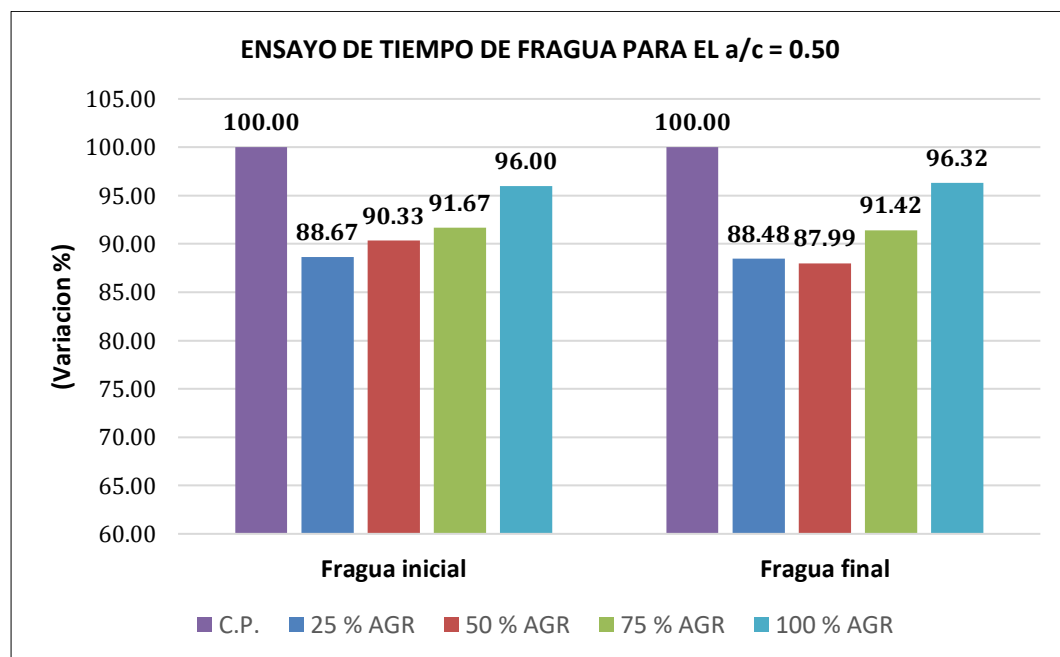


Figura N° 22 % de variación del tiempo de fragua para el $a/c = 0.50$

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de tiempo de fragua del concreto para la relación $a/c = 0.55$ se presentan en la tabla N° 51 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 23.

Tabla N° 51 Tiempo de fragua y % de variación para un a/c = 0.55

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
Relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.55	C.P.	340	452	100.00	100.00
	25 % AGR	330	442	97.06	97.79
	50 % AGR	305	428	89.71	94.69
	75 % AGR	303	417	89.12	92.26
	100 % AGR	306	420	90.00	92.92

Fuente: Elaboración propia

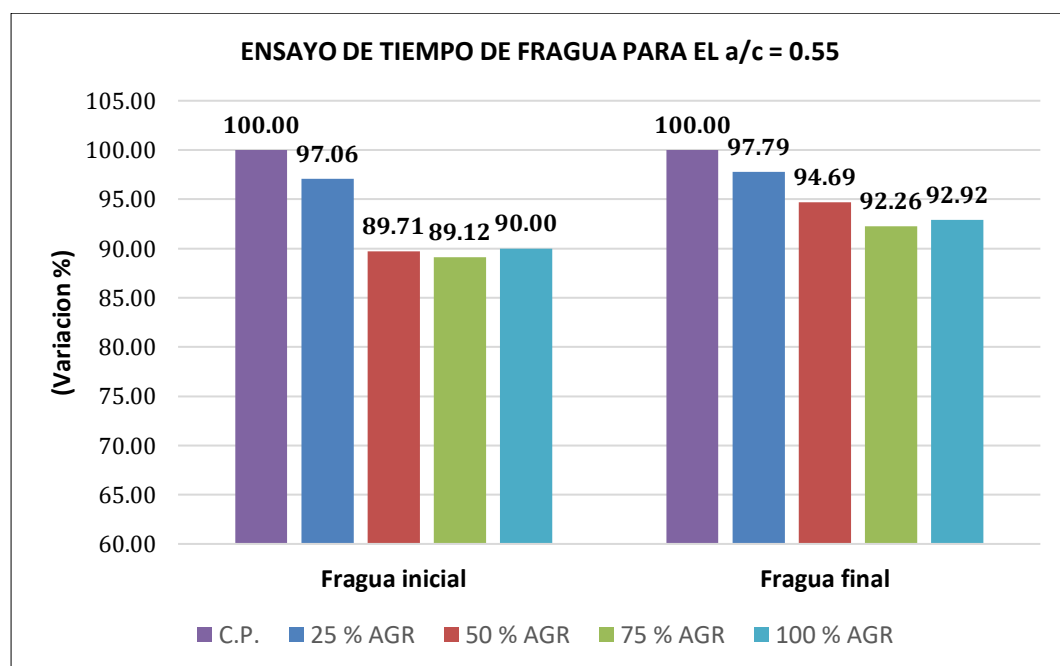


Figura N° % de variación del tiempo de fragua para el a/c = 0.50

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. Propiedades del concreto en el estado endurecido

5.1.3.1. Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034, 2021)

Es una de las propiedades de mayor importancia del concreto en estado endurecido, dependiendo del tipo de concreto fabricado, el cual sirve de referencia para el control de calidad de este y el cumplimiento con las especificaciones de los diseños estructurales (Neville, 1999).

La resistencia a la compresión de un cilindro moldeado o probeta de concreto está influenciada por diversos factores como: tamaño y forma de la probeta, relación

a/c, dosificación, mezclado, cantidad de probetas, fabricación de las probetas, compactación, edad, temperatura y humedad durante el curado (INACAL, 2021b).

Una expresión para el cálculo de la resistencia a la compresión en una probeta de concreto es la que sigue:

$$R_c = \frac{4 * P}{\pi * D^2}$$

Donde:

R_c (kg/cm²) : resistencia a la compresión

P (kg) : carga de rotura

D (cm) : diámetro promedio de la probeta

- Concreto patrón

Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto patrón para cada una de las tres relaciones a/c abarcadas en este estudio se presentan en la tabla N° 52 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 24.

Tabla N° 52 Resistencia a la compresión para el concreto patrón

Edad (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN (kg/cm ²)		
	a/c = 0.45	a/c = 0.50	a/c = 0.55
7	313.7	302.6	260.6
14	397.7	372.6	331.7
28	472.6	419.2	373.4

Fuente: Elaboración propia

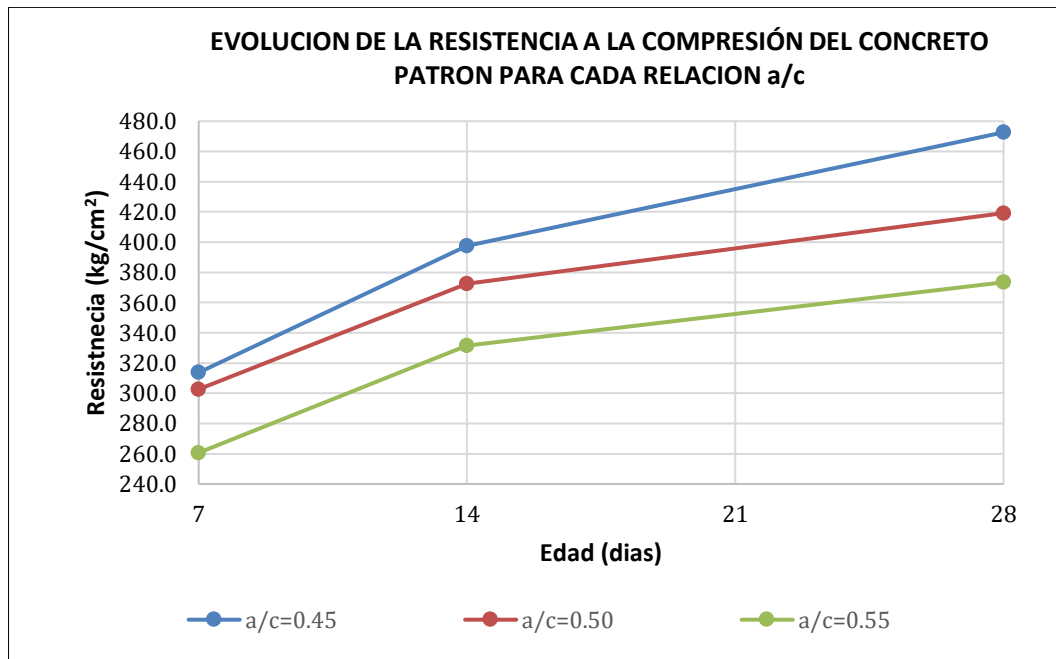


Figura N° 23 Resistencia a la compresión del C.P por edad de ensayo

Fuente: Elaboración Propia

- Concreto con agregado reciclado

Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto con relación $a/c = 0.45$ se muestran en la tabla N° 53 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 25.

Tabla N° 53 Resistencia a la compresión para un $a/c = 0.45$ con AGR

Relación a/c	Edad (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)				
		C.P.	25 % AGR	50 % AGR	75 % AGR	100 % AGR
0.45	7	313.7	337.3	354.9	335.7	348.9
	14	397.7	397.2	404.5	404.8	393.3
	28	472.6	463.0	462.8	448.0	445.6

Fuente: Elaboración propia

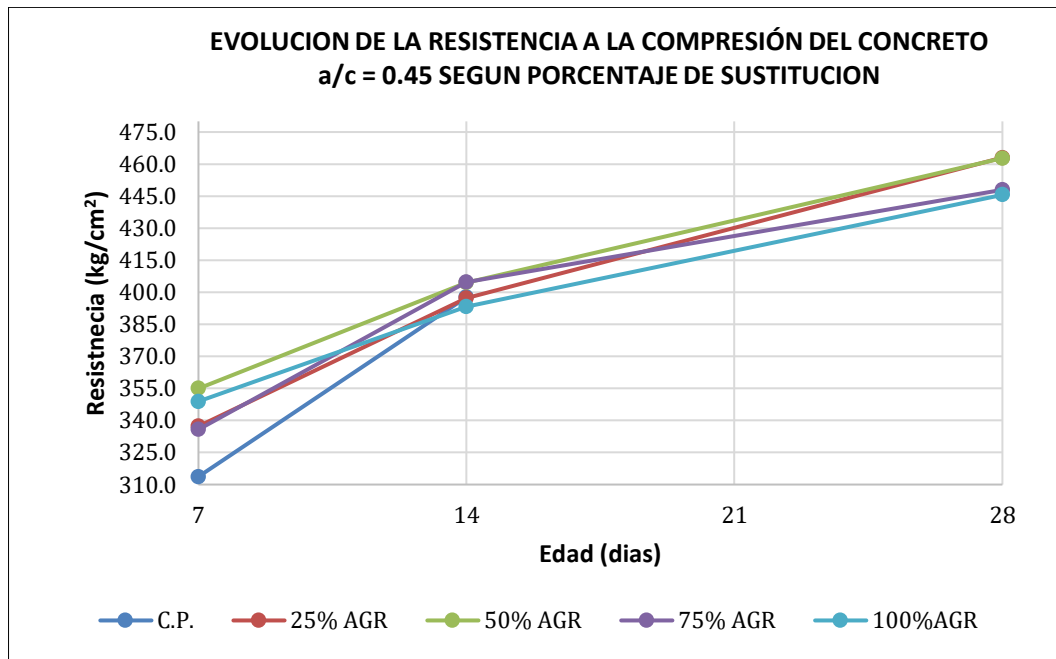


Figura N° 24 Resistencia a la compresión para el a/c = 0.45 con AGR

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto con relación a/c = 0.50 se muestran en la tabla N° 54 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 26.

Tabla N° 54 Resistencia a la compresión para un a/c = 0.50 con AGR

Relación a/c	Edad (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)				
		C.P.	25 % AGR	50 % AGR	75 % AGR	100 % AGR
0.50	7	302.6	301.9	299.2	306.3	282.0
	14	372.6	374.0	355.1	358.0	354.3
	28	419.2	423.6	412.2	408.9	411.1

Fuente: Elaboración propia

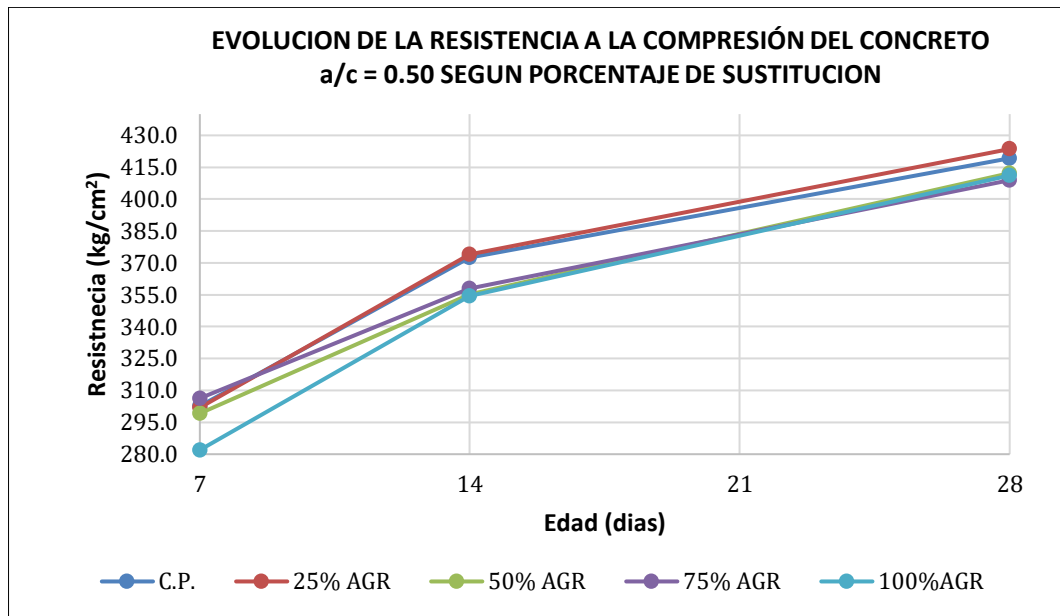


Figura N° 25 Resistencia a la compresión para el a/c = 0.50 con AGR

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto con relación a/c = 0.55 se muestran en la tabla N° 55 y a partir de ello se genera la respectiva figura N° 27.

Tabla N° 55 Resistencia a la compresión para un a/c = 0.55 con AGR

Relación a/c	Edad (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)				
		C.P.	25 % AGR	50 % AGR	75 % AGR	100 % AGR
0.55	7	260.6	267.5	257.7	247.5	280.1
	14	331.7	327.1	312.0	296.1	314.1
	28	373.4	368.8	363.3	350.3	370.1

Fuente: elaboración propia

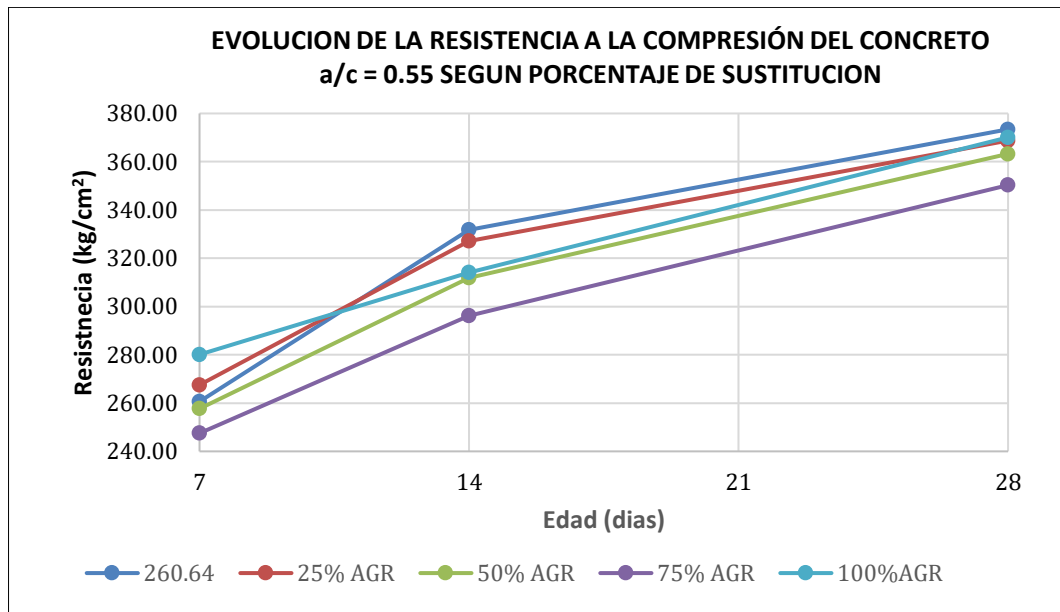


Figura N° 26 Resistencia a la compresión para el a/c = 0.55 con AGR

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 56 se presenta los resultados de la resistencia a la compresión para cada uno de los porcentajes de sustitución de AGR para cada relación a/c.

Tabla N° 56 Resistencia a la compresión para cada % de sustitución de AGR

Relación a/c	% de sustitución/ (días)	Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²) vs % de sustitución de AGR		
		7 días	14 días	28 días
0.45	0	313.7	397.7	472.6
	25	337.3	397.2	463.0
	50	354.9	404.5	462.8
	75	335.7	404.8	448.0
	100	348.9	393.3	445.6
0.50	0	302.6	372.6	419.2
	25	301.9	374.0	423.6
	50	299.2	355.1	412.2
	75	306.3	358.0	408.9
	100	282.0	354.3	411.1
0.55	0	260.6	331.7	373.4
	25	267.5	327.1	368.8
	50	257.7	312.0	363.3
	75	247.5	296.1	350.3
	100	280.1	314.1	370.1

Fuente: elaboración propia

En las figuras N° 28, 29 y 30 se muestran los resultados del comportamiento de la resistencia a la compresión, de acuerdo a la edad de ensayo, con respecto a cada porcentaje de sustitución de AGR para las tres relaciones a/c consideradas en esta investigación.

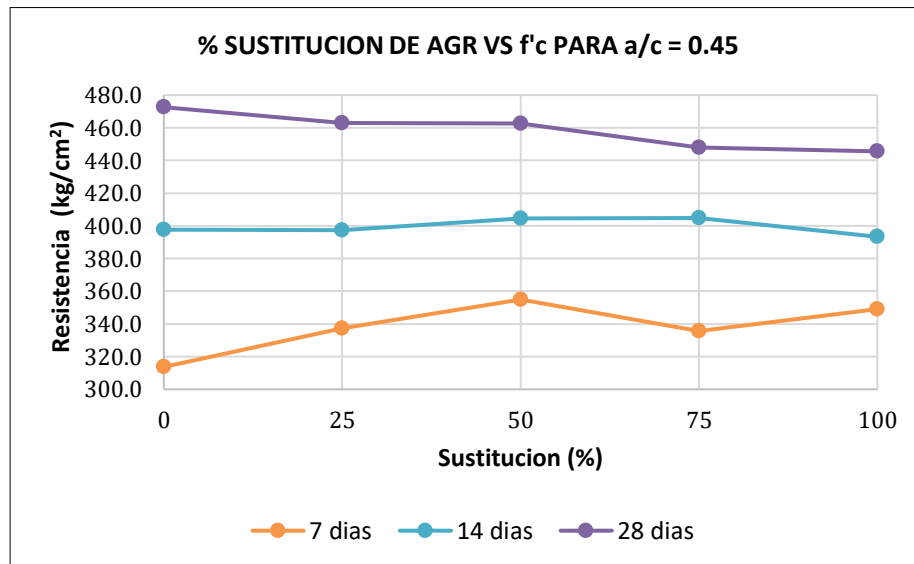


Figura N° 27 f'c según % de sustitución de AGR para el a/c = 0.45.

Fuente: elaboración propia

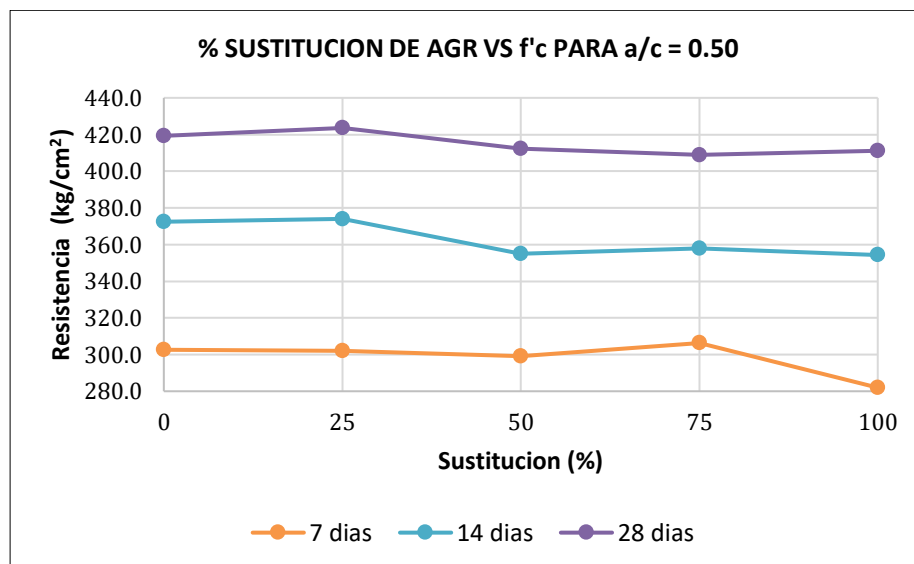


Figura N° 28 f'c según % de sustitución de AGR para el a/c = 0.50.

Fuente: Elaboración propia

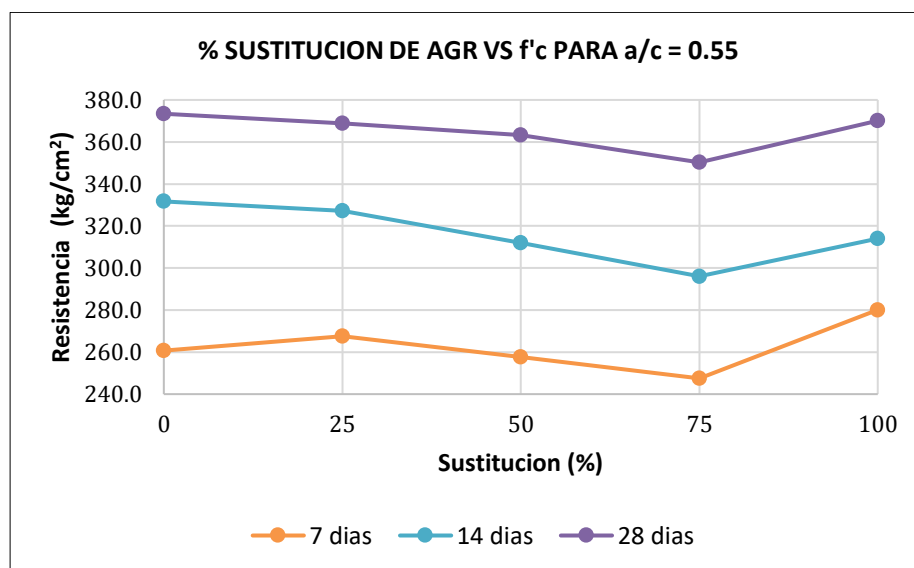


Figura N° 29 f'c según % de sustitución de AGR para un a/c = 0.55.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 57 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto a una edad de 28 días para las tres dosificaciones y de acuerdo al porcentaje de sustitución del AGR

Tabla N° 57 Resistencia a la compresión a los 28 días

Relación a/c	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²)				
	C.P.	25 % AGR	50 % AGR	75 % AGR	100 % AGR
0.45	472.6	463.0	462.8	448.0	445.6
0.50	419.2	423.6	412.2	408.9	411.1
0.55	373.4	368.8	363.3	350.3	370.1

Fuente: Elaboración propia

De los datos de la tabla anterior se obtuvo la figura N° 31 en donde se observa la comparación de todas las resistencias obtenidas al ensayar las probetas a la edad de 28 días para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 así como todos los porcentajes de sustitución de AGR utilizados en esta investigación.

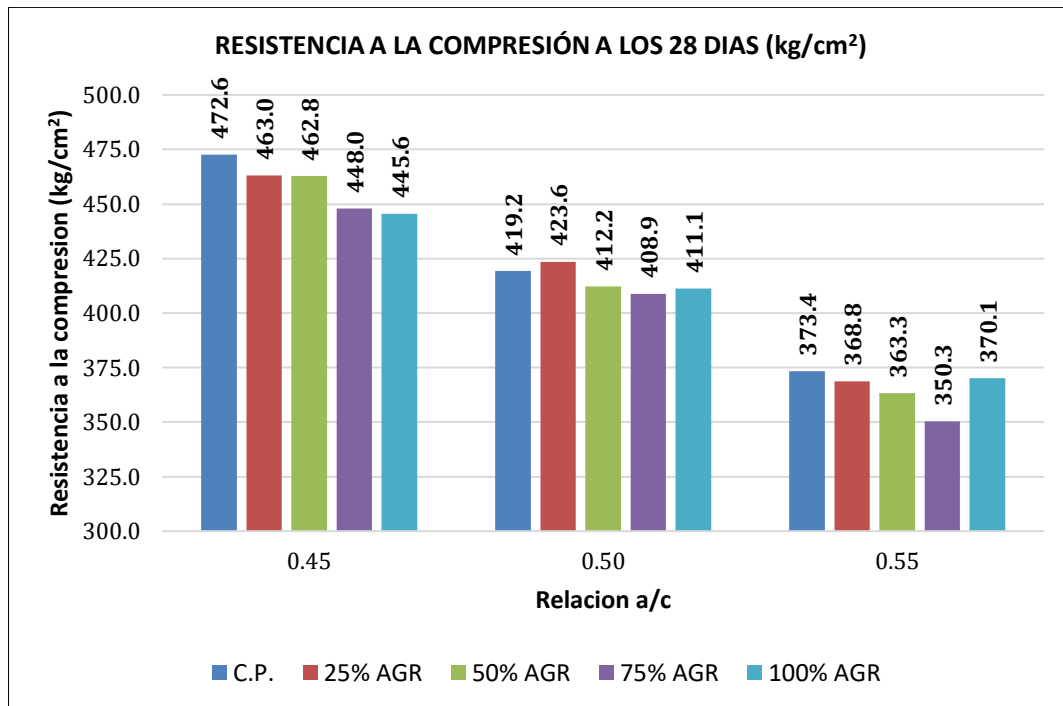


Figura N° 30 Comparación de resistencias a la compresión a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla N° 58 y su correspondiente figura N° 32 se presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de los diseños de mezcla con AGR, donde el valor obtenido para el concreto patrón de cada relación a/c será tomado como un 100 % y los demás valores se mostrarán como un porcentaje respecto a dicho valor a este valor.

Tabla N° 58 Variación porcentual de las resistencias

a/c	VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS				
	C.P.	25 % AGR	50 % AGR	75 % AGR	100 % AGR
0.45	100.00	97.97	97.91	94.78	94.28
0.50	100.00	101.04	98.33	97.54	98.07
0.55	100.00	98.75	97.27	93.81	99.11

Fuente: Elaboración propia

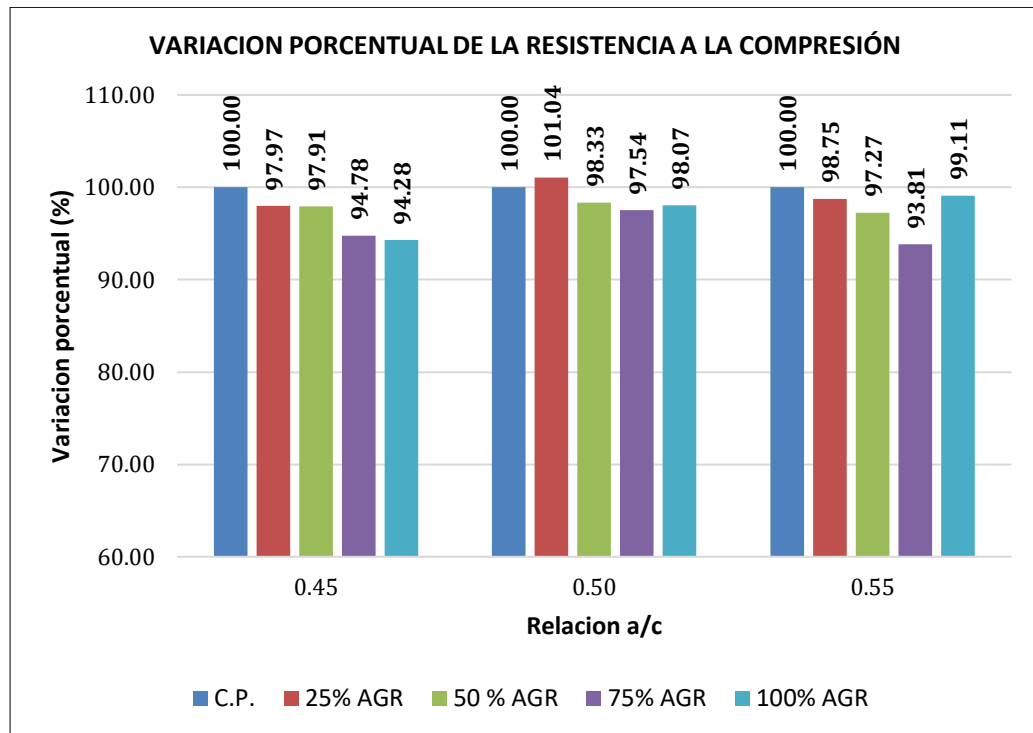


Figura N° 31 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.2. Resistencia a la tracción (NTP 339.084, 2017)

Para este ensayo se ha considerado el método brasileiro, el cual consiste en realizar la rotura de la muestra de concreto entre dos platillos metálicos de la máquina universal, pero colocando ahora el espécimen en contacto con dos trozos de alguna materia suave como el triplay o corcho. En este ensayo, se necesita que los extremos diametralmente opuestos de las muestras estén contactándose con los dos platos de la maquina universal.

En esta tesis dicho ensayo fue realizado de dicha manera, se obtuvieron valores de 3 probetas ensayadas a los 28 días. Donde la fórmula para hallar la resistencia a la tracción por compresión diametral es la siguiente:

$$Q = 2 * \frac{P}{\pi * D * L}$$

Donde:

Q (kg/cm²) : Resistencia a la tracción

P (kg) : Carga de rotura

$D(\text{cm})$: Diámetro de la probeta ensayada

$L(\text{cm})$: Longitud de la probeta ensayada

A continuación, se muestra la tabla N° 59, en donde se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral compresión diametral realizados en el laboratorio, a una edad de 28 días para todas las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.60 así como para todos los porcentajes de sustitución de AGR considerados en esta investigación.

Tabla N° 59 Resistencia a la tracción y su variación porcentual

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL			
relación a/c	Diseño	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	variación (%)
0.45	C.P.	36.8	100.00
	25 % AGR	33.8	91.81
	50 % AGR	36.6	99.59
	75 % AGR	31.3	93.39
	100 % AGR	36.7	99.92
0.50	C.P.	36.3	100.00
	25 % AGR	38.1	104.94
	50 % AGR	38.6	106.34
	75 % AGR	33.5	92.35
	100 % AGR	36.8	101.40
0.55	C.P.	30.4	100.00
	25 % AGR	35.9	117.97
	50 % AGR	29.4	96.56
	75 % AGR	31.0	101.86
	100 % AGR	28.1	92.48

Fuente: Elaboración propia

En correlación a lo presentado anteriormente, en la figura N° 33 se muestra la comparación de valores obtenidos del ensayo a la resistencia a la tracción por compresión diametral y en la figura N° 34 se muestra la variación porcentual de los valores de resistencia, tomando como un 100 % el valor obtenido del concreto patrón de cada relación a/c.

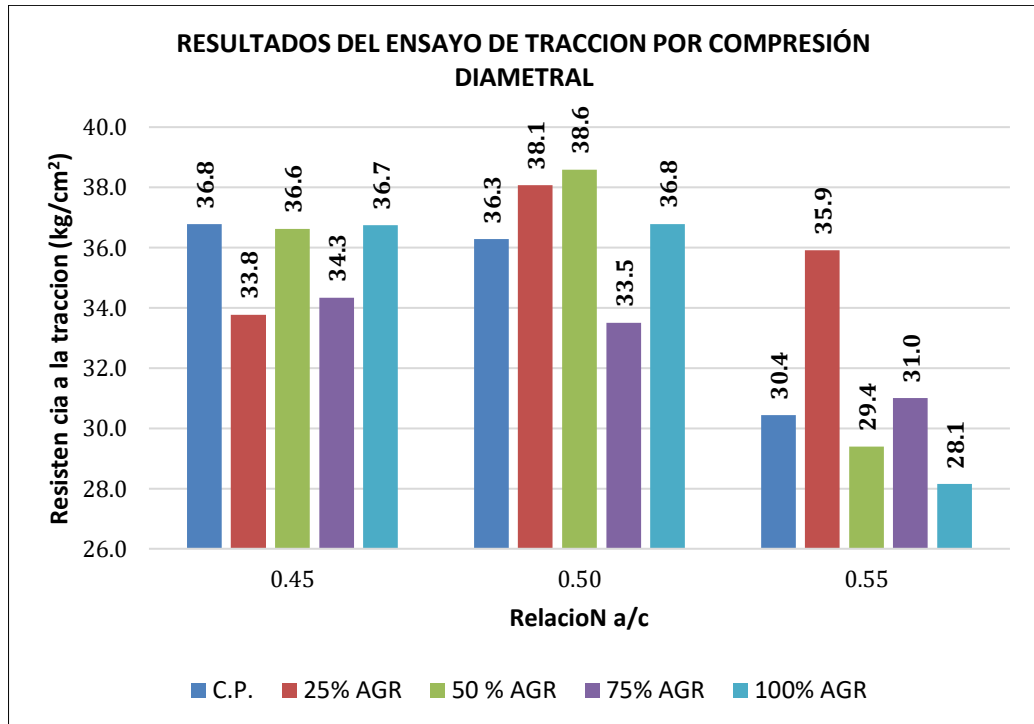


Figura N° 32 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción.

Fuente: Elaboración propia

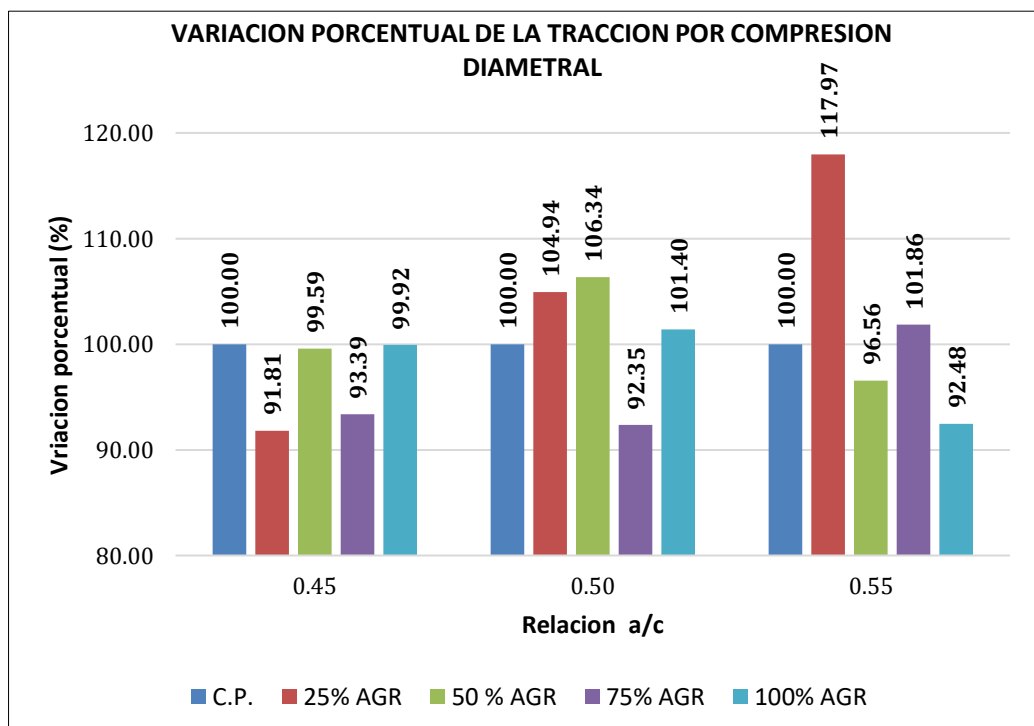


Figura N° 33 Variación porcentual de la resistencia a la tracción.

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.3. Resistencia a la flexión en vigas (NTP 339.078, 2022)

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla.

El módulo de rotura será calculado, de acuerdo a como se ubique la falla: cuando esta ocurra al interior del tercio central o a una distancia de este menor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{P * L}{b * h^2}$$

En donde:

M: es el módulo de rotura, en MPa

P: Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N

L: Es la luz libre entre apoyos, en mm

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm

Si la falla ocurre fuera del tercio central y a una distancia de este menor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{3 * P * a}{b * h^2}$$

En donde:

a: Es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm

Si la falla ocurre fuera del tercio central y a una distancia de este mayor del 5 % de la luz libre, se considera el ensayo como no válido.

A continuación, se muestra la tabla N° 60, en donde se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en el laboratorio, a una edad de 28 días para todas las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 así como para todos los porcentajes de sustitución de AGR considerados en esta investigación.

Tabla N° 60 Resistencia a la flexión y su variación porcentual

RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
relación a/c	Diseño	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	variación (%)
0.45	C.P.	37.2	100.00
	25 % AGR	36.5	98.23
	50 % AGR	36.8	98.92
	75 % AGR	35.0	94.08
	100 % AGR	37.9	101.89
0.50	C.P.	39.2	100.00
	25 % AGR	39.5	100.68
	50 % AGR	42.0	107.16
	75 % AGR	39.6	101.07
	100 % AGR	38.2	97.42
0.55	C.P.	38.1	100.00
	25 % AGR	34.9	91.44
	50 % AGR	36.2	94.88
	75 % AGR	39.1	102.54
	100 % AGR	40.9	107.23

Fuente: elaboración propia

En correlación a lo presentado anteriormente, en la figura N° 35 se muestra la comparación de valores obtenidos del ensayo a la resistencia a la flexión y en la figura N° 36 se muestra la variación porcentual de los valores de resistencia, tomando como un 100 % el valor obtenido del concreto patrón.

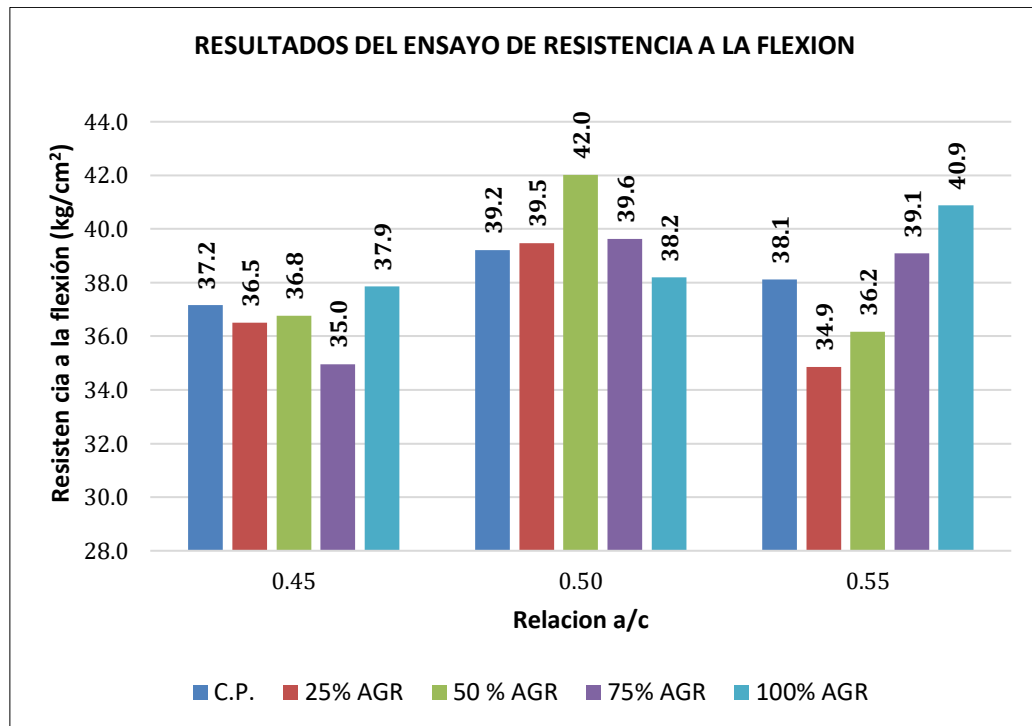


Figura N° 34 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia

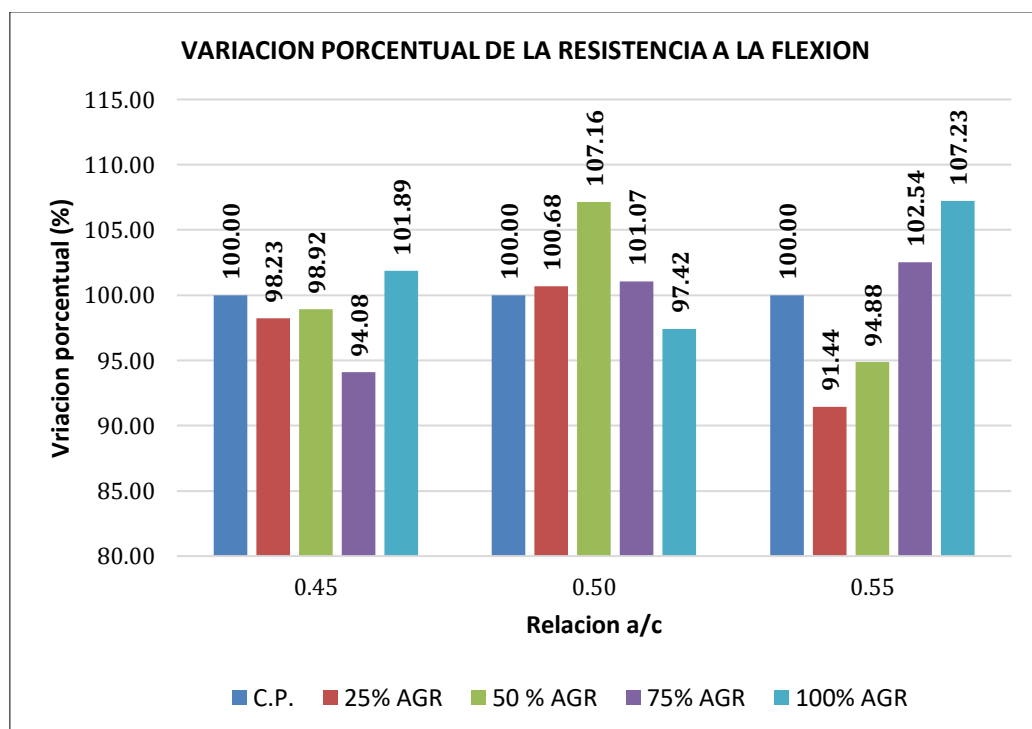


Figura N° 35 Variación porcentual de la resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

Analizaremos los valores obtenidos de los ensayos efectuados a los agregados (fino y grueso), concreto en estado fresco y concreto en estado endurecido para las relaciones a/c (0.45, 0.50 y 0.55) para el concreto patrón y los concretos con porcentajes de sustitución de AGR de 25 %, 50 %, 75 % y 100 %.

6.1.1. Agregados

6.1.1.1. *Agregado fino*

El agregado fino pertenece a la cantera TRAPICHE, obteniéndose en sus ensayos un M.F de 3.22; del ensayo de granulometría se obtuvo una curva dentro de los límites del Huso (C), de lo que se puede considerar que este agregado es adecuado para la elaboración de concretos de tipo normal y cumple con lo requerido en la norma técnica de nuestro país.

El agregado fino utilizado presento un 4.70 % de materiales más finos que la malla N° 200, lo cual es adecuado al ser menor al 5.00 %.

6.1.1.2. *Agregado grueso natural*

El agregado grueso natural pertenece a la cantera UNICON, obteniéndose en sus ensayos un módulo de finura de igual a 7.51, del ensayo de granulometría se obtuvo una curva dentro de los límites del Huso (5), por lo que se puede observar que este agregado es adecuado para la elaboración de concretos de tipo normal y cumple con lo requerido en la norma técnica de nuestro país.

Este agregado presentó un contenido de humedad de 0.37 %, una absorción de 0.84 % y un 11.77 % de desgaste frente a la abrasión en la máquina de los ángeles.

6.1.1.3. *Agregado grueso reciclado*

El agregado grueso reciclado pertenece a la empresa CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS, obteniéndose en sus ensayos un módulo de finura igual a 6.48, del ensayo de granulometría se obtuvo una curva parcialmente dentro de los límites del Huso (56), por lo que se puede observar que este agregado requiere de una verificación de su comportamiento en la elaboración de concretos de tipo normal.

Este agregado presentó un contenido de humedad de 3.02 %, una absorción de 5.28 % y un 30.10 % de desgaste frente a la abrasión en la máquina de los ángeles, lo cual significa que este agregado presenta un aumento del contenido de humedad, de la absorción y del porcentaje de desgaste y una disminución del tamaño, respecto al agregado natural utilizado en esta investigación.

Los resultados obtenidos están parcialmente de acuerdo a lo encontrado por Meza (2019), quien obtuvo que el agregado reciclado que usó presentó un aumento de la absorción y la abrasión y una disminución del contenido de humedad y del tamaño, respecto al agregado natural, así mismo la granulometría del agregado reciclado está parcialmente dentro de un huso distinto al del agregado natural, lo cual está de acuerdo a lo indicado en la investigación mencionada anteriormente; siendo que esta diferencia indica que el agregado reciclado tiene tamaños menores de partículas que el agregado natural, lo cual influirá en las propiedades del concreto, sobre todo en las resistencias mecánicas.

6.1.1.4. *Agregado global*

Del ensayo de máxima compactación del agregado global realizado para hallar la mejor combinación de agregados se obtuvo que los porcentajes que permiten obtener un valor máximo del PUC con los agregados del estudio fueron de 51.50 % y 48.50 % para la arena y piedra respectivamente.

6.1.2. Propiedades del concreto en estado fresco

6.1.2.1. *Consistencia*

El asentamiento considerado para todos los diseños de mezcla de esta investigación fue de 6" a 7", obteniéndose que todos los resultados de los ensayos estuvieron dentro del rango de 6.5" $\pm$ 1/2".

Respecto a la variación de los resultados, podemos mencionar que no existe una correlación clara entre el aumento de porcentaje de sustitución de agregado natural por reciclado, puesto que, al aumentar dicho porcentaje, en algunos casos se observa una disminución del asentamiento, mientras que en otros casos ocurre lo contrario.

Estos resultados son similares a lo obtenido por Meza (2019), quien encontró que el asentamiento de los concretos reciclados es similar o aumenta hasta reemplazos máximos del 50 % de agregado grueso reciclado, mientras que

disminuye para un reemplazo del 100 %; teniendo 1ue todas las muestras se encontraron dentro del rango de asentamiento inicialmente planteado.

6.1.2.2. *Peso unitario*

Todos los valores de peso unitario obtenidos para los diseños de esta investigación se encontraron dentro del rango de 1700 a 2500 kg/m³, lo cual corresponde a valores esperados para un concreto normal.

El peso unitario de los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % De AGR fue 2289, 2293 y 2290 kg/m³ para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 2391, 2393 y 2396 kg/m³ para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Se ha encontrado que al aumentar el porcentaje de sustitución del AGR, los valores de peso unitario se reducen, dicha reducción presenta un valor máximo de 4.42 % el cual corresponde a la relación a/c de 0.55.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Meza (2019), quien halló que el peso unitario de los concretos reciclados disminuye conforme aumenta el porcentaje de sustitución del agregado grueso reciclado, manteniéndose siempre dentro de los rangos de un concreto normal.

6.1.2.3. *Contenido de aire*

El contenido de aire obtenido de los ensayos se encontró dentro del rango de 0.6 % a 1.70 %.

El contenido de arte de los diseños con un porcentaje de sustitución de 100% de AGR fue de 1.68, 1.30 y 1.50 % para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 1.05, 0.80 y 0.60 % para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Se ha encontrado que al aumentar el porcentaje de sustitución del AGR, los valores de contenido de aire aumentan, dicho aumento presenta un valor máximo de 150 % el cual corresponde a la relación a/c de 0.55.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Meza (2019), quien halló que el contenido de aire de los concretos reciclados aumenta de manera significativa conforme aumenta el porcentaje de sustitución del agregado grueso reciclado,

llegando hasta un aumento de casi el 100 % para el mayor porcentaje de sustitución.

6.1.2.4. *Exudación*

Los valores de exudación obtenidos de los ensayos se encontraron dentro del rango de 0.6 % a 2 %.

La exudación de los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % de AGR fue de 0.76, 1.04 y 0.82 % para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 1.90, 1.69 y 1.82 % para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Se ha encontrado que al aumentar el porcentaje de sustitución del AGR, los valores de exudación disminuyen, dicha disminución presenta un valor máximo de 59.92 % el cual corresponde a la relación a/c de 0.45.

Dichos resultados difieren con lo indicado por Laverde (2014) quien sustenta que la exudación es más alta a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado, ya que la mezcla del concreto es más áspera y menos cohesiva.

6.1.2.5. *Tiempo de fragua*

- Tiempo de fragua inicial

El tiempo de fragua inicial obtenido para los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % de AGR fue de 252, 288 y 306 minutos para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 292, 300 y 340 minutos para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

De manera general se ha observado que los tiempos de fragua inicial obtenidos de los diseños con sustitución de AGR disminuyen respecto a los de concretos de tipo patrón, para los tres valores de relación a/c considerados en esta investigación; siendo el valor máximo de disminución de aproximadamente 16 %.

Los resultados obtenidos difieren con otras investigaciones. Meza (2019), halló que el tiempo de fraguado inicial de los concretos elaborados con agregado reciclado tiene una tendencia a aumentar respecto del concreto con agregado natural, mientras se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado grueso natural

por reciclado.

- Tiempo de fragua final

El tiempo de fragua final obtenido para los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % fue de 339, 393 y 420 minutos para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 407, 408 y 452 minutos para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

De manera general se ha observado que los tiempos de fragua final obtenidos de los diseños con sustitución de AGR disminuyen respecto a los de concretos de tipo patrón, para los tres valores de relación a/c considerados en esta investigación; siendo el valor máximo de disminución de aproximadamente 17 %.

Los resultados obtenidos difieren con otras investigaciones. Meza (2019), halló que el tiempo de fraguado final de los concretos elaborados con agregado reciclado tiene una tendencia a aumentar respecto del concreto con agregado natural, mientras se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado grueso natural por reciclado.

6.1.3. Propiedades de concreto en estado endurecido

6.1.3.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión axial a una edad de 28 días, para los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % de AGR fue de 445.6, 411.1 y 370.1 kg/cm² para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 472.6, 419.2 y 373.4 kg/cm² para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Para la relación a/c de 0.45 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50, 75 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la compresión ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que de manera general a mayor porcentaje de sustitución le corresponde una menor resistencia a la compresión, obteniéndose una disminución máxima de 5.72 % respecto del concreto patrón, para el porcentaje de sustitución de 100 %.

Para la relación a/c de 0.50 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 50, 75 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la compresión ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo una disminución máxima de 2.46 % respecto del concreto patrón, para el porcentaje de sustitución de 75 %; mientras que para el porcentaje de sustitución de 25% se obtuvo un incremento en la resistencia a la compresión de 1.04 %.

Para la relación a/c de 0.55 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50, 75 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la compresión ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo una disminución máxima de 6.19 % respecto del concreto patrón, para el porcentaje de sustitución de 75 %.

Los resultados obtenidos en la investigación presentan cierta similitud con lo encontrado por Meza (2019), quien obtuvo que los concretos con agregado reciclado presentaban menores resistencias a la compresión que los concretos con agregado natural siendo que a mayor porcentaje de sustitución, le correspondían menores valores de resistencia hasta una disminución máxima del 25 %, lo cual es mucho mayor de las disminuciones que se encontraron en esta investigación.

6.1.3.2. Resistencia a la tracción

La resistencia a tracción a los días 28 para los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % de AGR fue de 36.7, 36.8 y 28.1 kg/cm² para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 36.8, 36.3 y 30.4 kg/cm² para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Para la relación a/c de 0.45 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50, 75 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la tracción ligeramente menores respecto al valor obtenido en el concreto patrón, obteniéndose una disminución máxima de 8.19 %, para el porcentaje de sustitución de 25 %.

Para la relación a/c de 0.50 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la tracción ligeramente mayores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo un aumento máximo de 6.34 %, para el porcentaje de sustitución de 50 %; mientras que para el porcentaje de sustitución de 75 % se obtuvo una disminución en la resistencia a la tracción de 7.65 %.

Para la relación a/c de 0.55 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 50 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia a la tracción ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo una disminución máxima de 7.52 %, para el porcentaje de sustitución de 100 %; mientras para los porcentajes de sustitución de 25 y 75 % se obtuvieron valores de resistencia a la tracción mayores a los del concreto patrón, siendo el mayor aumento de un 17.97 % , para el 25 % de sustitución.

Los resultados obtenidos en la investigación presentan cierta similitud con lo encontrado por Ponce (2014), quien concluyo que el valor de la resistencia a la tracción fluctúa entre 86% al 92% del concreto patrón según los diferentes contenidos en cemento, siendo que en esta investigación se obtuvieron reducciones máximas de 8 % pero también se obtuvieron incrementos de resistencia hasta del 17 %

6.1.3.3. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión a los días 28 para los diseños con un porcentaje de sustitución de 100 % de AGR fue de 37.9, 38.2 y 40.9 kg/cm² para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente; mientras que los concretos patrones presentaron valores de 37.2, 39.2 y 38.1 kg/cm² para cada uno de dichos valores de a/c de manera respectiva.

Para la relación a/c de 0.45 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50, y 75 % se obtuvieron valores de resistencia a la flexión ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo una disminución máxima de 5.92 %, para el porcentaje de sustitución de 75 %; mientras que para el porcentaje de sustitución

de 100 % se obtuvo un aumento en la resistencia a la flexión de 1.89 %.

Para la relación a/c de 0.50 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25, 50 y 75 % se obtuvieron valores de resistencia a la flexión ligeramente mayores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo un aumento máximo de 7.16 %, para el porcentaje de sustitución de 50 %; mientras que para el porcentaje de sustitución de 100 % se obtuvo una disminución en la resistencia a la flexión de 2.58 %.

Para la relación a/c de 0.55 se obtuvo que para los diseños con los porcentajes de sustitución de AGR de 25 y 50 % se obtuvieron valores de resistencia a la flexión ligeramente menores al valor obtenido en el concreto patrón, siendo que, para dichos porcentajes, se obtuvo una disminución máxima de 8.56 % respecto del concreto patrón, para el porcentaje de sustitución de 25 %; mientras para los porcentajes de sustitución de 75 y 100 % se obtuvieron valores de resistencia mayores a los del concreto patrón; siendo el mayor aumento de un 7.23 % , para el 100 % de sustitución.

Los resultados obtenidos en la investigación presentan cierta similitud con lo encontrado por Meza (2019), quien concluyó que los valores de resistencia a la resistencia a la flexión aumentaron hasta un 9 % para sustituciones del orden del 20 % y a media que la sustitución aumentaba se encontraron reducciones de resistencia de hasta el 15 %.

6.2. ANÁLISIS DE COSTOS

6.2.1. Costo de elaboración de cada diseño

Se analizará el costo beneficio que el uso del agregado grueso reciclado como sustituto del agregado grueso natural, puede generar al elaborar diferentes concretos de mediana a alta resistencia.

Se tomó como referencia el costo de elaboración de 1m³ de concreto de acuerdo a las dosificaciones de mezcla obtenidos en la investigación, así mismo se consideraron los materiales aquí empleados y su respectivo costo en el mercado, siendo estos los siguientes:

- Agregado fino (cantera Trapiche).
- Agregado grueso natural (cantera UNICON).
- Agregado grueso reciclado (CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS).
- Cemento ANDINO Portland Tipo V.
- Agua.

Los detalles de obtención de costos de este análisis se presentan en el anexo correspondientes y dichos costos están actualizados a octubre del 2022, considerando que no se tomara en cuenta el costo de mano de obra, equipos, transporte o colocación.

En la siguiente tabla N° 61 se presentan los resultados obtenidos de los costos de elaboración de 1m³ de concreto para cada diseño, así mismo se muestra la variación porcentual de los valores, tomando como referencia al concreto patrón para cada una de las relaciones a/c de este estudio.

Tabla N° 61 Costos de elaboración de concreto y variación porcentual

a/c	Diseño	f'c a los 28 días	Costo por m ³	Variación del costo (%)
0.45	C.P	472.6	S/ 439.89	100.00
	25 % de AGR	463.0	S/ 434.29	98.73
	50 % de AGR	462.8	S/ 428.69	97.45
	75 % de AGR	448.0	S/ 423.15	96.19
	100 % de AGR	445.6	S/ 417.55	94.92
0.50	C.P	419.2	S/ 389.31	100.00
	25 % de AGR	423.6	S/ 381.61	98.02
	50 % de AGR	412.2	S/ 376.06	96.60
	75 % de AGR	408.9	S/ 370.96	95.29
	100 % de AGR	411.1	S/ 365.36	93.85
0.55	C.P	373.4	S/ 352.63	100.00
	25 % de AGR	368.8	S/ 346.28	98.20
	50 % de AGR	363.3	S/ 339.88	96.38
	75 % de AGR	350.3	S/ 332.83	94.39
	100 % de AGR	370.1	S/ 327.88	92.98

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 37 se presentan los resultados obtenidos de los costos de elaboración de cada diseño de concreto.

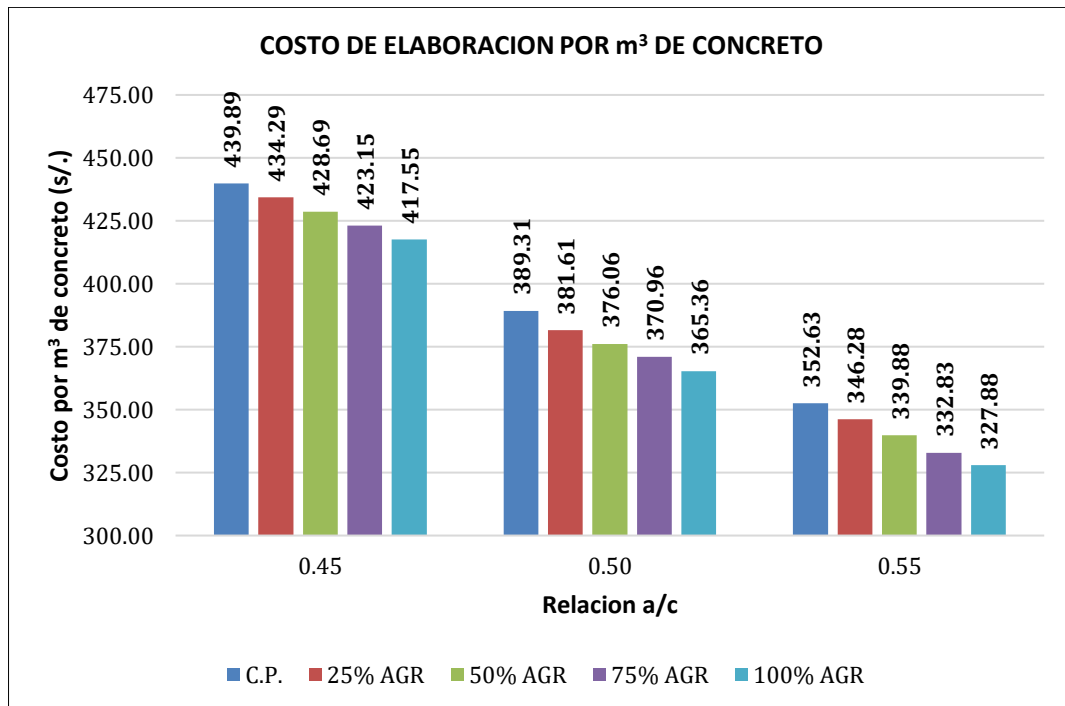


Figura N° 36 Comparación de los costos de elaboración por m³ de cada diseño de concreto

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 38 se presenta la variación de los costos de cada uno de los diseños con sustitución de agregado grueso reciclado, respecto del valor obtenido del concreto patrón; para cada una de las tres relaciones a/c que se han considerado en la investigación.

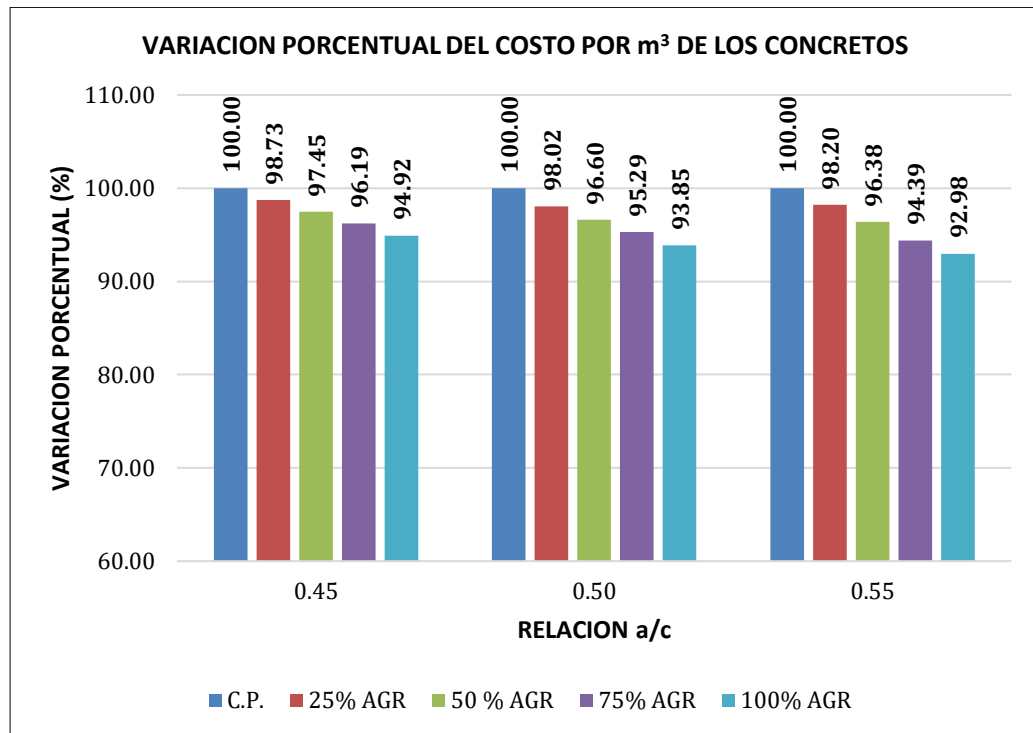


Figura N° 37 Variación porcentual de costos

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- El agregado grueso reciclado comercial utilizado en esta investigación ha mostrado una disminución desfavorable de sus propiedades físicas frente al agregado natural, esto debido a una mayor porosidad y a la presencia de un recubrimiento de mortero en las partículas de AGR, así mismo presento menores tamaños y distinta granulometría, lo cual tiene influencia en la resistencia a la compresión del concreto; debido a la diferencia de los tamaños y distinto acomodo de las partículas dentro de la mezcla, lo cual es acorde a lo encontrado en los antecedentes.
- La influencia del uso del agregado reciclado no es significativa en la trabajabilidad del concreto, puesto que todos valores de asentamiento obtenidos para los diseños de mezcla de esta investigación se encontraron dentro del fluido, inicialmente planteado.
- La influencia del uso del agregado reciclado es significativa en los valores de peso unitario del concreto, ya que estos valores disminuyeron al aumentar el porcentaje de sustitución para todas las relaciones a/c estudiadas, esto debido a que el agregado grueso reciclado es más liviano que el agregado grueso natural, lo cual es acorde a lo encontrado en los antecedentes.
- La influencia del uso del agregado reciclado es significativa en el contenido de aire del concreto puesto los valores encontrados para esta propiedad se incrementaron al aumentar el porcentaje de sustitución, para todas las relaciones a/c estudiados; esto debido a que el agregado grueso reciclado presenta un T.M.N menor que el agregado grueso natural.
- La influencia del agregado reciclado en la exudación del concreto es significativa puesto que, esta propiedad disminuyó al aumentar el porcentaje de sustitución; esto debido a que el agregado grueso reciclado presenta una mayor absorción de agua que el agregado grueso natural, generando una menor cantidad de agua evaporable.
- De manera general, la influencia del agregado grueso natural en los tiempos de

fraguado del concreto es significativa puesto que, los tiempos de fragua inicial y final para todos los diseños con agregado grueso reciclado, disminuyeron respecto a los de los concretos de tipo patrón.

- Los concretos con agregado reciclado tienen valores de resistencia a la compresión, muy similares a las de los concretos del tipo patrón, con variaciones de un máximo del 10 %, para todos los diseños de mezcla estudiados, lo cual difiere de los resultados encontrados en los antecedentes, puesto que allí se encontraron disminuciones de hasta un 25 %
- Al comparar los resultados de resistencia a la tracción para los diseños de mezcla con agregado grueso reciclado con los de los diseños de concretos de tipo patrón, se obtuvieron valores muy similares.
- Al comparar los resultados de resistencia a la flexión para los diseños de mezcla con agregado grueso reciclado con los de los diseños de concretos de tipo patrón, se obtuvieron valores muy similares.
- Al comparar los costos por m³ de concreto para los diseños de mezcla con agregado grueso reciclado con los de los diseños de concretos de tipo patrón, se obtuvieron valores menores a medida que el porcentaje de sustitución aumenta.
- De todos los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede concluir que, de manera general, el uso de agregado grueso reciclado comercial aquí estudiado, en sus diferentes porcentajes de sustitución, permite obtener concretos con propiedades en estado fresco y endurecido muy similares a las de los concretos elaborados con agregado grueso natural; por lo que su uso se considera adecuado para la fabricación concretos de mediana a alta resistencia, cumpliéndose con ello la hipótesis planteada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta los resultados de la presente investigación, con el fin de poder utilizar el agregado reciclado que se ha analizado, como un material alternativo al uso de materiales convencionales.
- Se recomienda que, al realizar los diseños de mezcla con agregado reciclado, se tenga presente que sus propiedades son distintas a las del agregado natural, por lo que existirá una variación en las dosificaciones que se obtengan.
- Se recomienda realizar investigaciones utilizando el agregado grueso reciclado de la empresa CONSTRUCCIONES ECOLÓGICAS, para concretos con relaciones a/c mayores a las consideradas en esta investigación y para concretos elaborados con cementos diferentes al utilizado en esta investigación, por ejemplo, cementos adicionados.
- Se recomienda realizar investigaciones para determinar la influencia del uso del agregado grueso reciclado comercial, en las propiedades de durabilidad del concreto.
- Se recomienda realizar investigaciones de las propiedades de concretos elaborados con agregado fino reciclado comercial, así como con la combinación de este con agregado grueso reciclado comercial

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alape, C., Santos, A., Lozano, E., Solarte, A., & Chicangana, G. (2021). Estudio comparativo entre un concreto convencional de 3000 psi y un concreto con agregado grueso a partir de 50 %, 75 % y 100 % de residuos de construcción y demolición (RCD). CIISOL, 32-41.
- American Society for testing and Materials C39 / C39M - 21. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken (PA), United States of America: The American Society for Testing Materials
- Cachay, R. (1995). *Diseño de mezclas - Método de agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana a alta resistencia* [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/6222>
- Cruz, N., & Ramírez, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso provenientes de residuos de concreto para producir nuevos concretos. Métodos y materiales, 1-12.
- Flores, J. (2020). *Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición en la Municipalidad Provincial del Cusco* [Trabajo de fin de Master, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons.
<http://hdl.handle.net/2117/335990>
- Instituto Nacional de Calidad (2022a). CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos (NTP 339.078, 2022).
- Instituto Nacional de Calidad (2022b). CONCRETO. Método del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo (NTP 339.035, 2022).
- Instituto Nacional de Calidad (2021a). AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones (NTP 400.037, 2021).
- Instituto Nacional de Calidad (2021b). CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034, 2021).
- Instituto Nacional de Calidad (2021c). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo (NTP 400.012, 2021).
- Instituto Nacional de Calidad (2021d). AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de

- ensayo (NTP 339.185, 2021).
- Instituto Nacional de Calidad (2021e). AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo (NTP 400.022, 2021).
- Instituto Nacional de Calidad (2020a). AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos (NTP 400.011, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2020b). AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2020c). CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos (NTP 334.090, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2020d). CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos (NTP 334.009, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2020e). AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo (NTP 400.021, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2020f). CONCRETO. Determinación de la exudación del concreto. Métodos de ensayo (NTP 339.077, 2020).
- Instituto Nacional de Calidad (2019a). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto (NTP 339.046, 2019).
- Instituto Nacional de Calidad (2019b). MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. Reciclaje de concreto de demolición (NTP 400.053, 2019).
- Instituto Nacional de Calidad (2017a). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica (NTP 339.084, 2017).
- Instituto Nacional de Calidad (2017b). CONCRETO. Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco (NTP 339.081, 2017).
- Instituto Nacional de Calidad (2017c). CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración (NTP 339.082, 2017).
- Laverde, J. (2014). *Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de*

concretos con agregados reciclados [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/111>

Meza, F. (2019). *Estudio de las características del concreto reciclado fresco y endurecido, con sustitución parcial y total del agregado grueso* [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/18706>

Mayhuay, H. (2021). *Estudio del concreto con cemento Portland tipo I de mediana a alta resistencia utilizando aditivo superplastificante reductor de agua* [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/22214>

Ponce, C. (2014). *Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I* [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/3643>

Ramos, M. (2021). *Aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y residuos de hojas de maíz en la fabricación de Eco-concretos* [Monografía de grado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Antonio Nariño <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6233>

Rivva, E. (2007), *Tecnología del concreto, diseño de mezclas*, Instituto de Construcción y Gerencia.

Sumari, J. (2016). *Estudio del concreto de mediana a alta resistencia elaborado con residuos de concreto y cemento portland tipo I* [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/5379>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENSAYOS DE AGREGADOS.....	2
ANEXO B: ENSAYO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	11
ANEXO C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	39
ANEXO D: ANÁLISIS DE COSTOS.....	55
ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO.....	61

ANEXO A: ENSAYOS DE AGREGADOS

	Pag.
A. ENSAYOS DE AGREGADOS	4
A.1. GRANULOMETRÍA	4
A.1.1. Granulometría del Agregado fino	4
A.1.2. Granulometría del agregado grueso natural	4
A.1.3. Granulometría del agregado grueso reciclado	4
A.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	5
A.2.1. Análisis granulométrico del agregado global	5
A.3. MÓDULO DE FINEZA	5
A.3.1. Agregado fino	5
A.3.2. Agregado grueso natural	5
A.3.3. Agregado grueso reciclado	6
A.4. PESO UNITARIO	6
A.4.1. P.U.S. y P.U.C. del agregado fino	6
A.4.2. P.U.S. y P.U.C. del agregado grueso natural	6
A.4.3. P.U.S. y P.U.C. del agregado grueso reciclado	7
A.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	7
A.5.1. Peso específico y absorción del agregado fino	7
A.5.2. Peso específico y absorción del agregado grueso natural	8
A.5.3. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado	8
A.6. CONTENIDO DE HUMEDAD	9
A.6.1. Contenido de humedad del agregado fino	9
A.6.2. Contenido de humedad del agregado grueso natural	9
A.6.3. Contenido de humedad del agregado grueso reciclado	9
A.7 ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	10
A.7.1 Agregado grueso natural	10
A.7.2 Agregado grueso reciclado	10

A.8 MATERIALES QUE PASAN LA MALLA N° 200 10

A. ENSAYOS DE AGREGADOS

A.1. GRANULOMETRÍA

A.1.1. Granulometría del Agregado fino

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO							
Malla	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)	Promedio (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	0	0	0	0	0.00	0.00	100.00
N°4	12	11	15	13	2.53	2.53	97.47
N°8	60	65	62	62	12.47	15.00	85.00
N°16	150	145	147	147	29.47	44.47	55.53
N°30	118	126	116	120	24.00	68.47	31.53
N°50	77	71	75	74	14.85	83.31	16.69
N°100	44	45	46	45	8.97	92.28	7.72
Fondo	39	37	40	39	7.72	100.00	0.00
TOTAL	500	500	500	500	100.00		

A.1.2. Granulometría del agregado grueso natural

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO NATURAL							
Malla	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)	Promedio (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1 1/2"	0	0	0	0	0.00	0.00	100.00
1"	148	218	240	202	2.02	2.02	97.98
3/4"	4902	4417	5427	4915	49.15	51.17	48.83
1/2"	4706	5026	4153	4628	46.28	97.45	2.55
3/8"	199	254	122	191	1.91	99.37	0.63
N°4	29	64	43	45	0.45	99.82	0.18
Fondo	16	21	17	18	0.18	100.00	0.00
TOTAL	10000	10000	10000	10000	100.00		

A.1.3. Granulometría del agregado grueso reciclado

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO							
Malla	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)	Promedio (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa

1"	0	0	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	29	43	22	31	0.31	0.31	99.69
1/2"	4229	4427	4556	4404	44.04	44.35	55.65
3/8"	2097	2041	2067	2068	20.68	65.04	34.96
N°4	3386	3179	3060	3208	32.08	97.12	2.88
Fondo	259	310	296	288	2.88	100.00	0.00
TOTAL	10000	10000	10000	10000	100.		

A.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

A.2.1. Análisis granulométrico del agregado global

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL							
Malla	% ret. arena	%ret. piedra	%ret. Arena (51.5 %)	%ret. Piedra (48.5 %)	% Ret. Total	% Retenido acumulado	% Acumulado que Pasa
1 1/2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"		2.02	0.00	0.98	0.98	0.98	99.02
3/4"		49.15	0.00	23.84	23.84	24.82	75.18
1/2"		46.28	0.00	22.45	22.45	47.27	52.73
3/8"		1.91	0.00	0.93	0.93	48.19	51.81
N°4	7.03	0.45	3.62	0.22	3.84	52.03	47.97
N°8	16.27	0.18	8.38	0.09	8.47	60.50	39.50
N°16	23.21		11.95		11.95	72.45	27.55
N°30	22.35		11.51		11.51	83.97	16.03
N°50	15.21		7.83		7.83	91.80	8.20
N°100	8.57		4.42		4.42	96.21	3.79
Fondo	7.35		3.79		3.79	100.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	51.50	48.50		100.00	

A.3. MÓDULO DE FINEZA

A.3.1. Agregado fino

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	
$M_f =$	$\frac{\sum \% \text{retenido acumulado (6" + 3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$
$M_f =$	3.22

A.3.2. Agregado grueso natural

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO GRUESO NATURAL	
$M_f =$	$\frac{\sum \% \text{retenido acumulado (6" + 3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$

$Mf=$	7.49
-------	------

A.3.3. Agregado grueso reciclado

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO GRUESO REICLADO	
$Mf=$	$\frac{\sum \% \text{retenido acumulado } (6''+3''+1\frac{1}{2}''+3\frac{3}{4}''+3\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$
$Mf=$	6.48

A.4. PESO UNITARIO

A.4.1. P.U.S. y P.U.C. del agregado fino

P.U.S DEL AGREGADO FINO				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg) = A	6.4800	6.4800	6.4700	1750
Peso de molde (kg) = B	1.5700	1.5700	1.5700	
Volumen de molde (m³) = C	0.0028	0.0028	0.0028	
Peso del agregado (kg) = A-B	4.9000	4.9000	4.9000	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1751	1750	1748	

P.U.C DEL AGREGADO FINO				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg)= A	6.8600	6.8700	6.9000	1892
Peso de molde (kg) = B	1.5800	1.5700	1.5700	
Volumen de molde (m³) = C	0.0028	0.0028	0.0028	
Peso del agregado (kg) = A-B	5.2800	5.3000	5.3200	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1885	1891	1900	

A.4.2. P.U.S. y P.U.C. del agregado grueso natural

P.U.S DEL AGREGADO GRUESO NATURAL				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg) = A	18.2600	18.1000	18.1500	1471

Peso de molde (kg) = B	4.3400	4.3400	4.3400	
Volumen de molde (m³) = C	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso del agregado (kg) = A-B	13.9200	13.7600	13.8100	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1481	1464	1469	

P.U.C DEL AGREGADO GRUESO NATURAL				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg) = A	19.1400	19.2100	19.2000	1579
Peso de molde (kg) = B	4.3400	4.3400	4.3400	
Volumen de molde (m³) = C	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso del agregado (kg) = A-B	14.8000	14.8700	14.8600	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1574	1582	1581	

A.4.3. P.U.S. y P.U.C. del agregado grueso reciclado

P.U.S DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg) = A	16.3700	16.3200	16.3900	1279
Peso de molde (kg) = B	4.3400	4.3400	4.3400	
Volumen de molde (m³) = C	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso del agregado (kg) = A-B	12.0300	11.9800	12.0500	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1280	1274	1282	

P.U.C DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO				
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	M3	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de Agregado (kg) = A	17.1900	17.3900	17.2100	1375
Peso de molde (kg) = B	4.3400	4.3400	4.3400	
Volumen de molde (m³) = C	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso del agregado (kg) = A-B	12.8500	13.0500	12.8700	
Peso unitario Suelto (kg/m³) = (A-B)/C	1367	1388	1369	

A.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

A.5.1. Peso específico y absorción del agregado fino

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO NTP. 400.022				PROMEDIO (g/cm ³)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de fiola (calibrada con agua) = A	693.1	693.1	693.1	
Peso de fiola (calibrada con agua) + Peso material = B	1193.1	1193.1	1193.1	
Peso fiola + agua + material s.s.s. (extraído el aire) = C	1007.7	1005.7	1006.1	
Volumen de la masa + volumen de vacíos = D = (B-C)	185.4	187.4	187.0	
Peso de material seco = E	495.8	492.3	494.4	
Volumen de la masa = F= D - (PESO MATERIAL SSS-E)	181.2	179.7	181.4	
Peso específico bulk (base seca) = E/D	2.67	2.63	2.64	2.65
Peso específico bulk (base saturada) = A/D	2.70	2.67	2.67	PROMEDIO (%)
Peso aparente (base seca) = E/F	2.74	2.74	2.73	
ABSORCIÓN = (MAT. S.S.S. - E)/E	0.85	1.56	1.13	1.18

A.5.2. Peso específico y absorción del agregado grueso natural

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NATURAL NTP. 400.021				PROMEDIO (g/cm ³)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de material S.S.S. = A	4000.1	4000.2	4000.0	
Peso de material S.S.S (sumergido) = B	2530.6	2521.6	2522.2	
Volumen de la masa + volumen de vacíos = C = (A-B)	1469.5	1478.6	1477.8	
Peso de material seco = D	3967.4	3965.8	3967.1	
Volumen de la masa = E= C - (A-D)	1436.8	1444.2	1444.9	
Peso específico bulk (base seca) = D/C	2.70	2.68	2.68	2.69
Peso específico bulk (base saturada) = A/C	2.72	2.71	2.71	PROMEDIO (%)
Peso aparente (base seca) = D/E	2.76	2.75	2.75	
ABSORCIÓN = (A-D)/D	0.82	0.87	0.83	0.84

A.5.3. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO NTP. 400.021				PROMEDIO (g/cm ³)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de material S.S.S. = A	4000.1	4000.2	4000.1	
Peso de material S.S.S (sumergido) = B	2376.6	2382.3	2366.3	
Volumen de la masa + volumen de vacíos = C = (A-B)	1623.5	1617.9	1633.8	

Peso de material seco = D	3803.5	3791.4	3803.5	
Volumen de la masa = $E = C - (A-D)$	1426.9	1409.1	1437.2	
Peso específico bulk (base seca) = D/C	2.34	2.34	2.33	2.34
Peso específico bulk (base saturada) = A/C	2.46	2.47	2.45	PROMEDIO (%)
Peso aparente (base seca) = D/E	2.67	2.69	2.65	
ABSORCIÓN = $(A-D)/D$	5.17	5.51	5.17	5.28

A.6. CONTENIDO DE HUMEDAD

A.6.1. Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO NTP 400.022				
CÓDIGO DE MUESTRAS				PROMEDIO (%)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de la muestra húmeda (g) = A	1000.0	1000.0	1000.0	
Peso material seco (g) = B	985.9	985.6	985.5	
Contenido de humedad = $(A-B)/B * 100$ (%)	1.43	1.46	1.47	1.45

A.6.2. Contenido de humedad del agregado grueso natural

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO NATURAL NTP 400.021				
CÓDIGO DE MUESTRAS				PROMEDIO (%)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de la muestra húmeda (g) = A	4000.1	4000.2	4000.2	
Peso material seco (g) = B	3985.5	3985.0	3986.0	
Contenido de humedad = $(A-B)/B * 100$ (%)	0.37	0.38	0.36	0.37

A.6.3. Contenido de humedad del agregado grueso reciclado

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO NTP 400.021				
CÓDIGO DE MUESTRAS				PROMEDIO (%)
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	
Peso de la muestra húmeda (g) = A	4000.0	4000.0	4000.0	
Peso material seco (g) = B	3879.4	3883.7	3885.5	

Contenido de humedad = $(A-B)/B \cdot 100$ (%)	3.11	2.99	2.95	3.02
--	------	------	------	-------------

A.7 ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

A.7.1 Agregado grueso natural

ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO NATURAL				
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	PROMEDIO (%)
Peso de la muestra al inicio del ensayo (g) = A	5001.30	5000.40	5000.20	
Peso de la muestra posterior a 100 rev. (g) = B	4892.50	4878.80	4884.60	
Peso de la muestra posterior a 500 rev. (g) = C	4431.40	4392.80	4412.70	
Pérdida de peso de la muestra (g) = A-C	569.90	607.60	587.50	
Pérdida por abrasión e impacto = $(A-C)/A$ (%)	11.40	12.15	11.75	11.77
Coeficiente de uniformidad = $(A-B)/(A-C)$	0.19	0.20	0.20	

A.7.2 Agregado grueso reciclado

ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO				
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	PROMEDIO (%)
Peso de la muestra al inicio del ensayo (g) = A	5000.30	5000.00	5000.20	
Peso de la muestra posterior a 100 rev. (g) = B	4654.20	4652.60	4638.70	
Peso de la muestra posterior a 500 rev. (g) = C	3497.80	3509.70	3477.20	
Pérdida de peso de la muestra (g) = A-C	1502.50	1490.30	1523.00	
Pérdida por abrasión e impacto = $(A-C)/A$ (%)	30.05	29.81	30.46	30.10
Coeficiente de uniformidad = $(A-B)/(A-C)$	0.23	0.23	0.24	

A.8 MATERIALES QUE PASAN LA MALLA N° 200

MATERIALES QUE PASAN LA MALLA N° 200				
CÓDIGO DE MUESTRAS	M1	M2	M3	PROMEDIO (%)
Peso recipiente (A)	192.2	119.0	190.8	
Peso muestra inicial (B)	500.0	500.0	500.0	
Peso recipiente + muestra final (C)	671.2	594.9	665.6	4.7
Peso muestra final D=(C-B)	479.0	475.9	474.8	
% Pasa malla 200 (B-D)/B	4.20	4.82	5.04	

ANEXO B: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

	Pág.
B: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	15
B.1. ASENTAMIENTO	15
B.1.1. Para la relación $a/c = 0.45$	15
B.1.2. Para la relación $a/c = 0.50$	15
B.1.3. Para la relación $a/c = 0.55$	15
B.2. PESO UNITARIO DEL CONCRETO	15
B.2.1. Para la relación $a/c = 0.45$	15
B.2.1.1. Para el concreto patrón	15
B.2.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR	16
B.2.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR	16
B.2.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR	16
B.2.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR	16
B.2.2. Para la relación $a/c = 0.50$	17
B.2.2.1. Para el concreto patrón	17
B.2.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR	17
B.2.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR	17
B.2.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR	17
B.2.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR	18
B.2.3. Para la relación $a/c = 0.55$	18
B.2.3.1. Para el concreto patrón	18
B.2.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR	18
B.2.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR	18
B.2.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR	19
B.2.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR	19
B.3. EXUDACIÓN DEL CONCRETO	19
B.3.1. Para la relación $a/c = 0.45$	19
B.3.1.1. Para el concreto patrón	19

B.3.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR	19
B.3.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR	20
B.3.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR	20
B.3.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR	20
B.3.2. Para la relación $a/c = 0.50$	20
B.3.2.1. Para el concreto patrón	20
B.3.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR	21
B.3.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR	21
B.3.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR	21
B.3.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR	22
B.3.3. Para la relación $a/c = 0.55$	22
B.3.3.1. Para el concreto patrón	22
B.3.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR	22
B.3.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR	22
B.3.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR	23
B.3.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR	23
B.4. Tiempo de fraguado	23
B.4.1. Para la relación $a/c = 0.45$	23
B.4.1.1. Para el concreto patrón	23
B.4.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR	24
B.4.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR	25
B.4.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR	26
B.4.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR	27
B.4.2. Para la relación $a/c = 0.50$	28
B.4.2.1. Para el concreto patrón	28
B.4.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR	29
B.4.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR	30
B.4.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR	31

B.4.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR	32
B.4.3. Para la relación $a/c = 0.55$	33
B.4.3.1. Para el concreto patrón	33
B.4.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR	34
B.4.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR	35
B.4.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR	36
B.4.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR	37

B: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

B.1. ASENTAMIENTO

B.1.1. Para la relación $a/c = 0.45$

MEZCLA		ASENTAMIENTO
Relación a/c	Diseño	Medida (")
0.45	C.P.	6.10
	25 % AGR	6.80
	50 % AGR	6.50
	75 % AGR	6.70
	100 % AGR	6.60

B.1.2. Para la relación $a/c = 0.50$

MEZCLA		ASENTAMIENTO
Relación a/c	Diseño	Medida (")
0.50	C.P.	6.75
	25 % AGR	7.00
	50 % AGR	6.80
	75 % AGR	6.45
	100 % AGR	6.60

B.1.3. Para la relación $a/c = 0.55$

MEZCLA		ASENTAMIENTO
Relación a/c	Diseño	Medida (")
0.55	C.P.	7.00
	25 % AGR	6.90
	50 % AGR	6.20
	75 % AGR	6.30
	100 % AGR	6.60

B.2. PESO UNITARIO DEL CONCRETO

B.2.1. Para la relación $a/c = 0.45$

B.2.1.1. Para el concreto patrón

$a/c = 0.45 - CP$			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m ³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.35	19.42	2391
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m ³) = C	0.0070	0.0070	

Peso del concreto (kg) = A-B	16.89	16.96	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2385.86	2395.75	

B.2.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR

a/c = 0.45 – 25% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.21	19.25	23689
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.75	16.79	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2366.08	2371.73	

B.2.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR

a/c = 0.45 – 50% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.90	19.00	2329
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.44	16.54	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2322.29	2336.42	

B.2.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR

a/c = 0.45 – 75% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.75	18.79	2304
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.29	16.33	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2301.10	2306.75	

B.2.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR

a/c = 0.45 – 100% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.68	18.65	2289
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.22	16.19	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2291.22	2286.98	

B.2.2. Para la relación $a/c = 0.50$

B.2.2.1. Para el concreto patrón

$a/c = 0.50 - CP$			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m ³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.39	19.41	2393
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m ³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.93	16.95	
Peso unitario (kg/m ³) = (A-B)/C	2392	2394	

B.2.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR

$a/c = 0.50 - 25\% AGR$			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m ³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.20	19.24	2368
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m ³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.74	16.78	
Peso unitario (kg/m ³) = (A-B)/C	2365	2370	

B.2.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR

$a/c = 0.50 - 50\% AGR$			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m ³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.00	19.02	2338
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m ³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.54	16.56	
Peso unitario (kg/m ³) = (A-B)/C	2337	2339	

B.2.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR

$a/c = 0.50 - 75\% AGR$			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m ³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.80	18.81	2308.87
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m ³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.34	16.35	
Peso unitario (kg/m ³) = (A-B)/C	2308.17	2309.58	

B.2.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR

a/c = 0.50 – 100% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.68	18.71	2293
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.22	16.25	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2291	2295	

B.2.3. Para la relación a/c = 0.55**B.2.3.1. Para el concreto patrón**

a/c = 0.55 - CP			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.41	19.43	2396
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.95	16.97	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2394	2397	

B.2.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR

a/c = 0.55 – 25% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.34	19.32	2383
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.88	16.86	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2384	2382	

B.2.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR

a/c = 0.55 – 50% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.20	19.23	2367
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.74	16.77	
Peso unitario (kg/m³) = (A-B)/C	2365	2369	

B.2.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR

a/c = 0.55 – 75% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	19.04	19.00	2339
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.58	16.54	
Peso unitario Compactado (kg/m³) = (A-B)/C	2342	2336	

B.2.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR

a/c = 0.55 – 100% AGR			
CÓDIGO DE MUESTRA	M1	M2	PROMEDIO (kg/m³)
Peso molde + Peso de concreto (kg) = A	18.64	18.70	2290
Peso de molde (kg) = B	2.46	2.46	
Volumen de molde (m³) = C	0.0070	0.0070	
Peso del concreto (kg) = A-B	16.18	16.24	
Peso unitario Compactado (kg/m³) = (A-B)/C	2285	2294	

B.3. EXUDACIÓN DEL CONCRETO

B.3.1. Para la relación a/c = 0.45

B.3.1.1. Para el concreto patrón

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm³)	54.50
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.67
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27780.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.26
F	Peso de agua en el balde (g) = $E \cdot (B-C)/D$	2868.29
%	EXUDACIÓN = $A \cdot 100/F$	1.90

B.3.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm³)	41.60
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	37.95
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	26060.00

D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.97
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2921.98
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.42

B.3.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	32.00
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	38.98
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27090.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.75
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2962.97
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.08

B.3.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	26.50
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.94
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	28050.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (g)	8420.00
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2952.26
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	0.90

B.3.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	23.00
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	40.02
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	28130.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.59
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	3020.46
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	0.76

B.3.2. Para la relación a/c = 0.50

B.3.2.1. Para el concreto patrón

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	48.44
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	40.86
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	28970.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	7.90
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2860.79
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.69

B.3.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	44.30
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.87
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27980.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.07
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2822.48
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.57

B.3.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	37.40
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.15
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27260.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.24
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2807.78
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.33

B.3.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	32.40
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.22
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27330.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.41
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2873.07

%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.13
---	---	-------------

B.3.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	30.00
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	38.62
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	26730.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.63
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2883.50
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.04

B.3.3. Para la relación a/c = 0.55

B.3.3.1. Para el concreto patrón

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	48.80
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.09
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27200.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	7.89
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2682.60
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.82

B.3.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	42.50
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	41.27
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	29380.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	7.72
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2835.17
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.50

B.3.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	28.00
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	39.34

C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	27450.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.07
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2769.02
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	1.01

B.3.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	27.20
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	38.44
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	26550.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.43
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2797.71
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	0.97

B.3.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	22.00
B	Peso balde (kg) + Peso mezcla (kg)	37.86
C	Peso balde (kg)	11.89
B-C	Peso Mezcla (g)	25970.00
D	Peso total de mezcla (kg)	80.00
E	Peso total de agua (kg)	8.25
F	Peso de agua en el balde (g) = $E*(B-C)/D$	2678.16
%	EXUDACIÓN = $A*100/F$	0.82

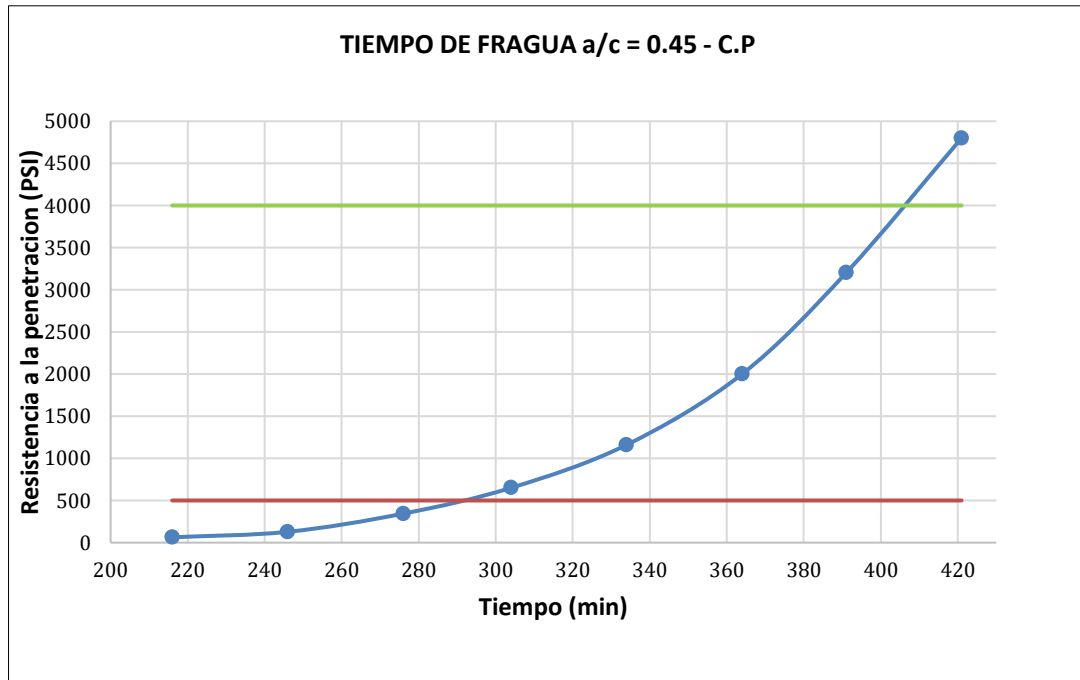
B.4. Tiempo de fraguado

B.4.1. Para la relación a/c = 0.45

B.4.1.1. Para el concreto patrón

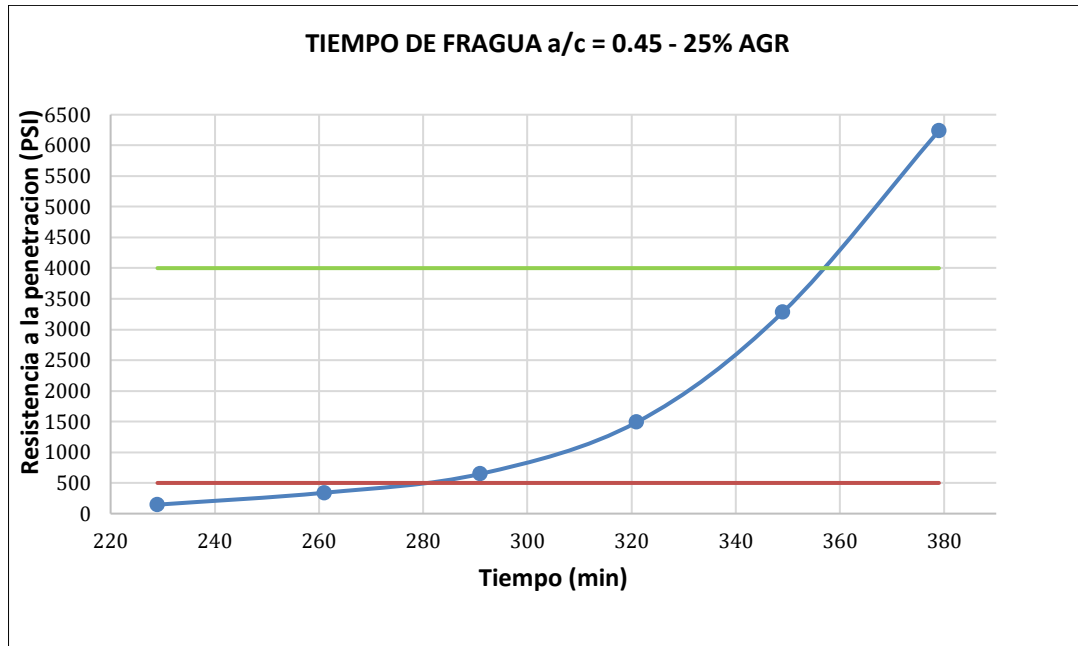
Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg ²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:49	inicio					
12:25	03:36	216	63	1	1.000	63
12:55	04:06	246	64	2	0.500	128
13:25	04:36	276	86	3	0.250	344

13:53	05:04	304	65	4	0.100	650
14:23	05:34	334	58	5	0.050	1160
14:53	06:04	364	50	6	0.025	2000
15:20	06:31	391	80	6	0.025	3200
15:50	07:01	421	120	6	0.025	4800



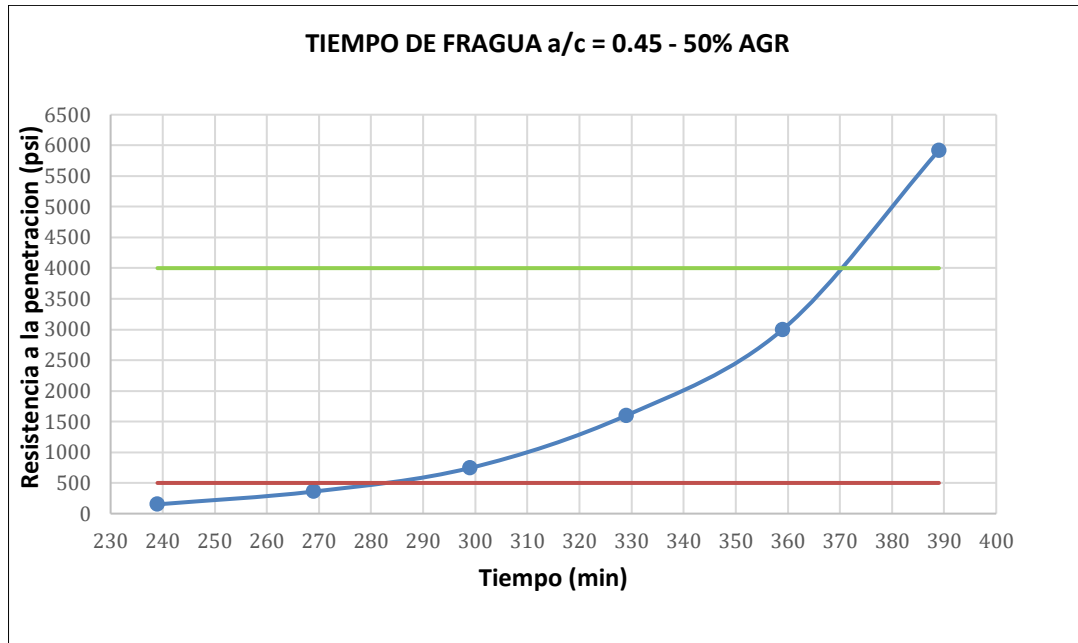
B.4.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:11	inicio					
12:00	03:49	229	146	1	1.000	146
12:32	04:21	261	170	2	0.500	340
13:02	04:51	291	162	3	0.250	648
13:32	05:21	321	149	4	0.100	1490
14:00	05:49	349	164	5	0.050	3280
14:30	06:19	379	156	6	0.025	6240



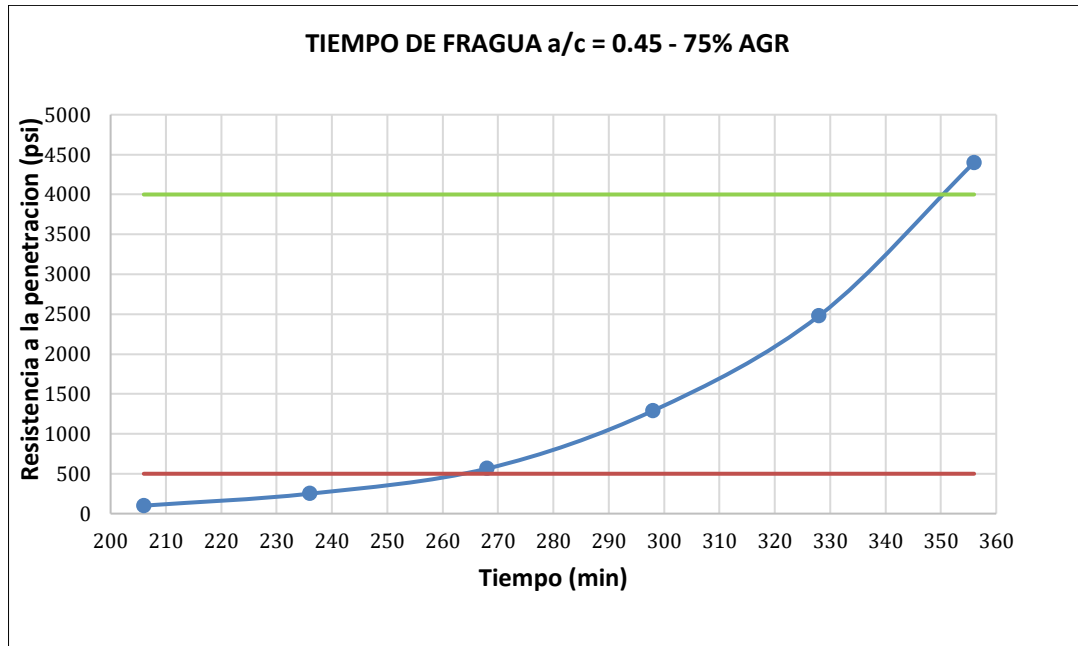
B.4.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:06	inicio					
12:05	03:59	239	151	1	1.000	151
12:35	04:29	269	180	2	0.500	360
13:05	04:59	299	186	3	0.250	744
13:35	05:29	329	160	4	0.100	1600
14:05	05:59	359	150	5	0.050	3000
14:35	06:29	389	148	6	0.025	5920



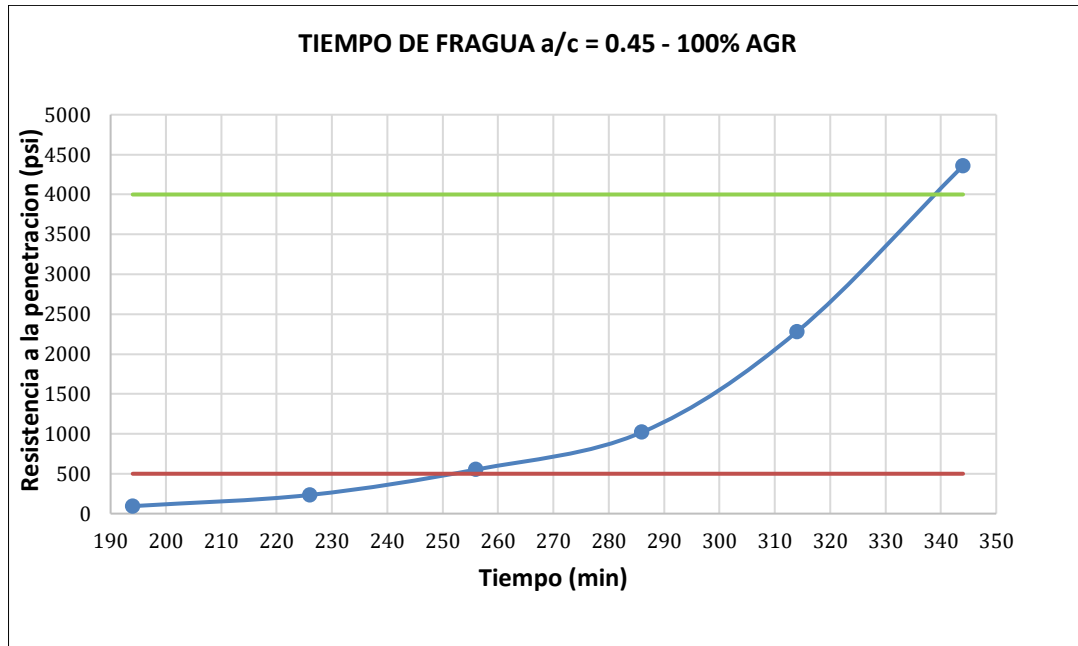
B.4.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:04	inicio					
11:30	03:26	206	100	1	1.000	100
12:00	03:56	236	125	2	0.500	250
12:32	04:28	268	141	3	0.250	564
13:02	04:58	298	129	4	0.100	1290
13:32	05:28	328	124	5	0.050	2480
14:00	05:56	356	110	6	0.025	4400



B.4.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR

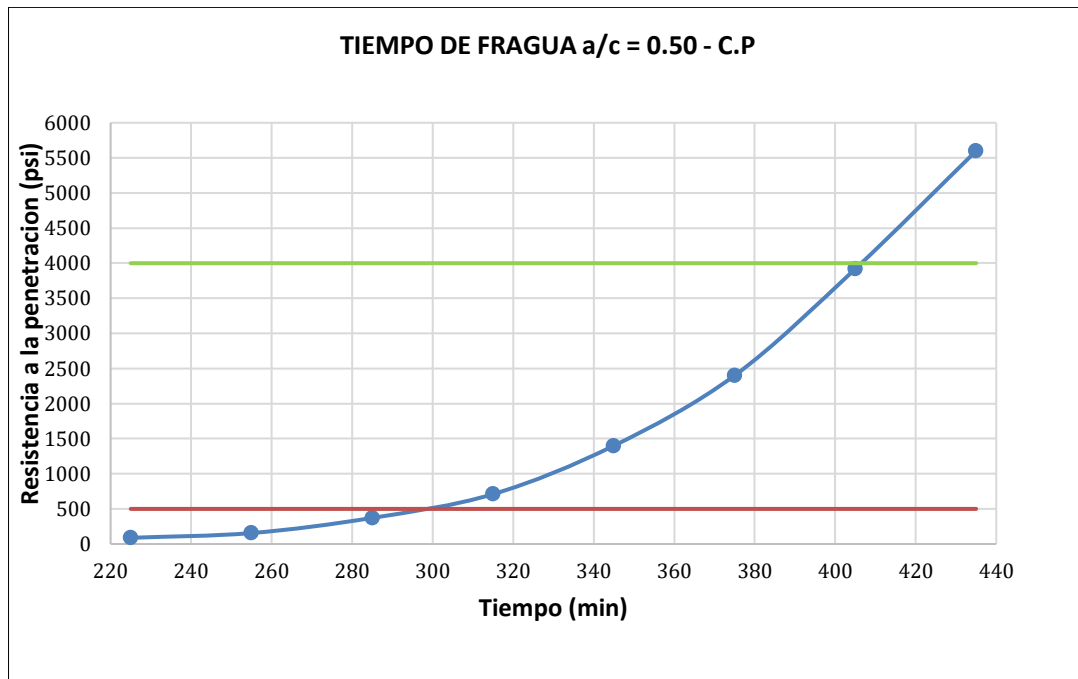
Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:46	inicio					
12:00	03:14	194	94	1	1.000	94
12:32	03:46	226	117	2	0.500	234
13:02	04:16	256	138	3	0.250	552
13:32	04:46	286	102	4	0.100	1020
14:00	05:14	314	114	5	0.050	2280
14:30	05:44	344	109	6	0.025	4360



B.4.2. Para la relación a/c = 0.50

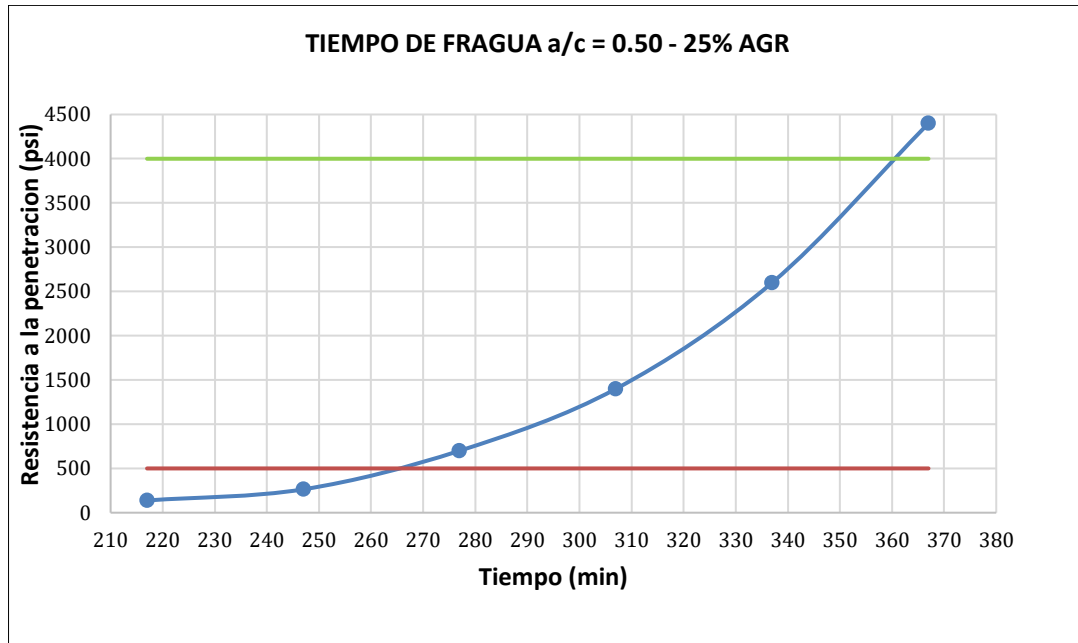
B.4.2.1. Para el concreto patrón

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg ²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
07:48	inicio					
11:33	03:45	225	88	1	1.000	88
12:03	04:15	255	78	2	0.500	156
12:33	04:45	285	93	3	0.250	372
13:03	05:15	315	71	4	0.100	710
13:33	05:45	345	70	5	0.050	1400
14:03	06:15	375	60	6	0.025	2400
14:33	06:45	405	98	6	0.025	3920
15:03	07:15	435	140	6	0.025	5600



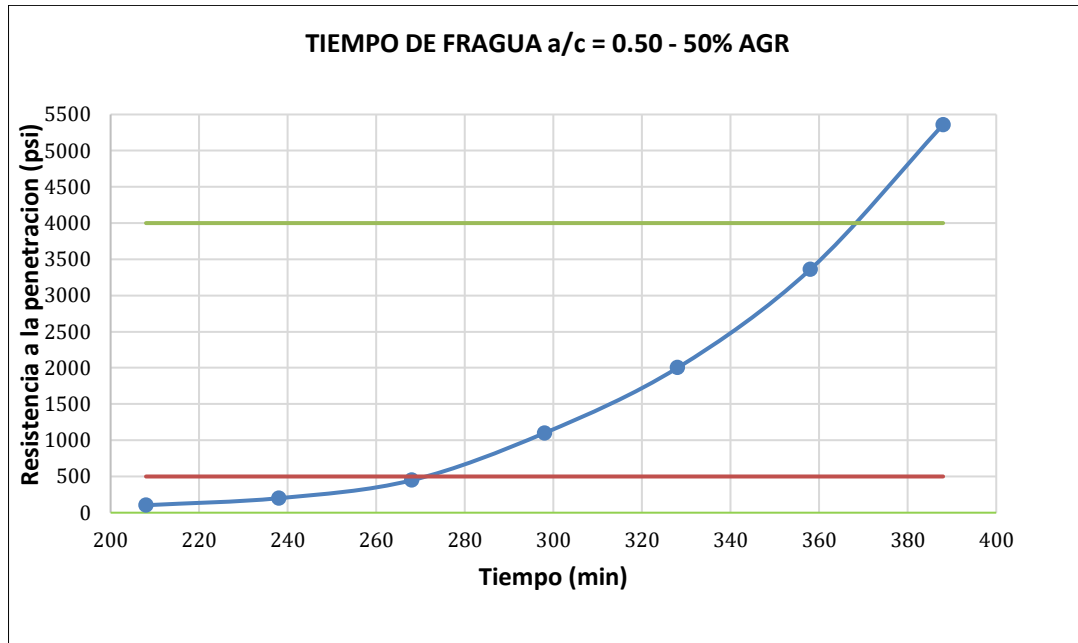
B.4.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg ²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
07:56	inicio					
11:33	03:37	217	138	1	1.000	138
12:03	04:07	247	132	2	0.500	264
12:33	04:37	277	175	3	0.250	700
13:03	05:07	307	140	4	0.100	1400
13:33	05:37	337	130	5	0.050	2600
14:03	06:07	367	110	6	0.025	4400



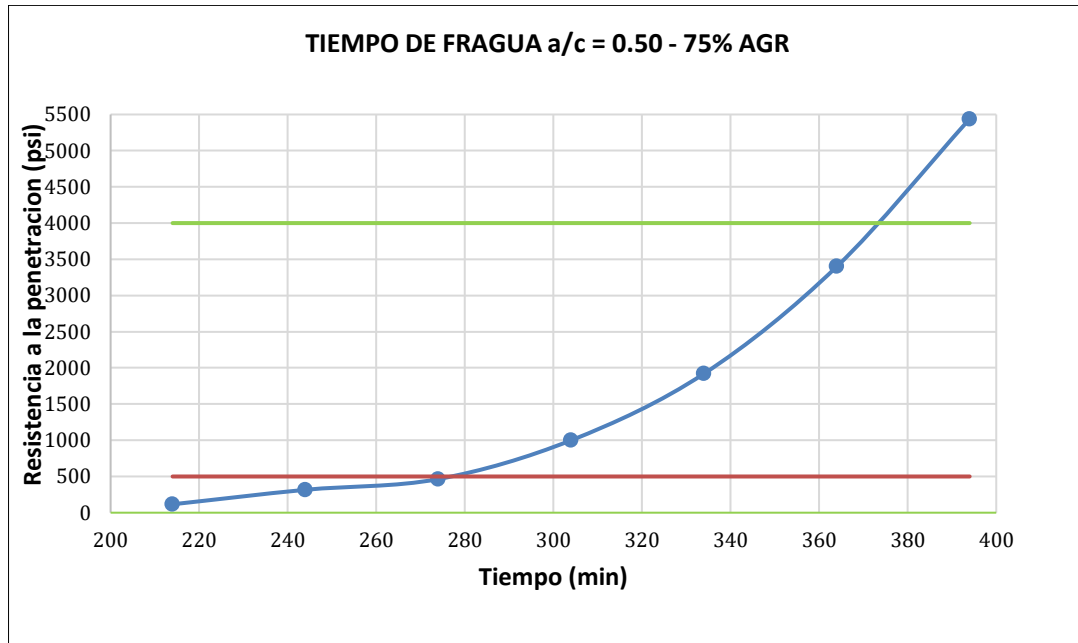
B.4.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:37	inicio					
12:05	03:28	208	103	1	1.000	103
12:35	03:58	238	100	2	0.500	200
13:05	04:28	268	112	3	0.250	448
13:35	04:58	298	110	4	0.100	1100
14:05	05:28	328	100	5	0.050	2000
14:35	05:58	358	84	6	0.025	3360
15:05	06:28	388	134	6	0.025	5360



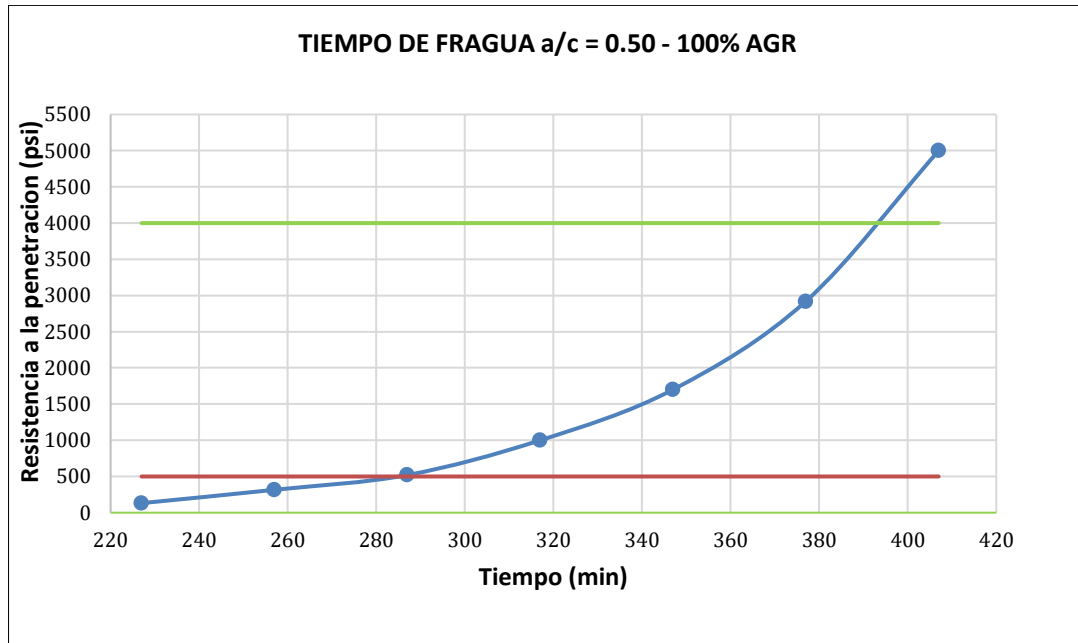
B.4.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:26	inicio					
12:00	03:34	214	116	1	1.000	116
12:30	04:04	244	158	2	0.500	316
13:00	04:34	274	116	3	0.250	464
13:30	05:04	304	100	4	0.100	1000
14:00	05:34	334	96	5	0.050	1920
14:30	06:04	364	85	6	0.025	3400
15:00	06:34	394	136	6	0.025	5440



B.4.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR

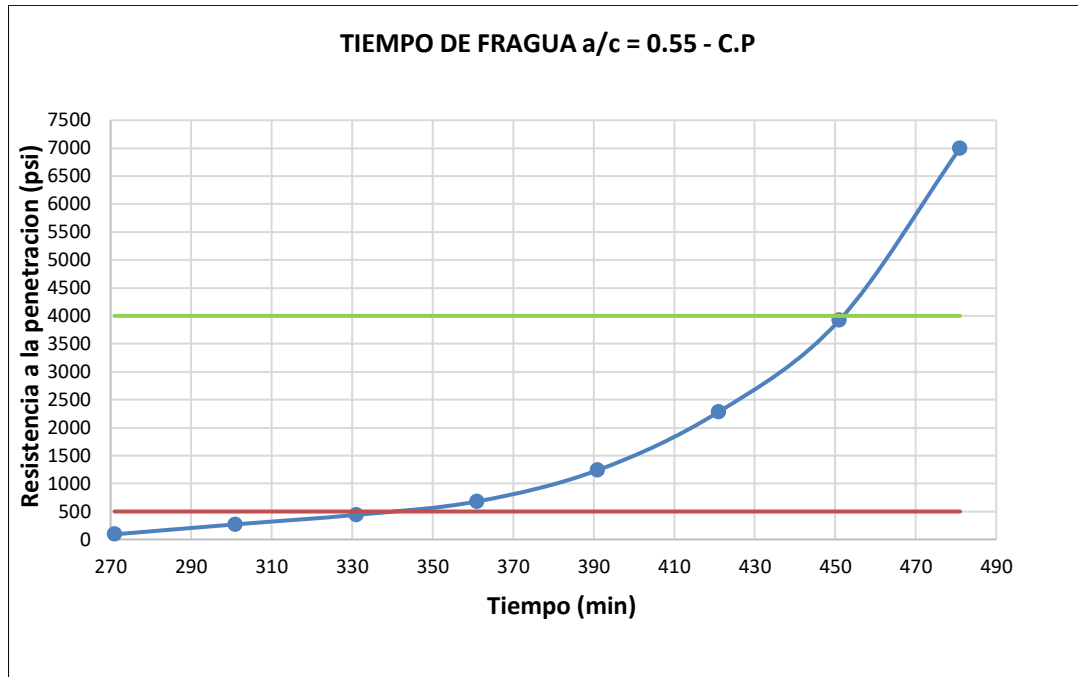
Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:03	inicio					
11:50	03:47	227	132	1	1.000	132
12:20	04:17	257	158	2	0.500	316
12:50	04:47	287	130	3	0.250	520
13:20	05:17	317	100	4	0.100	1000
13:50	05:47	347	85	5	0.050	1700
14:20	06:17	377	73	6	0.025	2920
14:50	06:47	407	125	6	0.025	5000



B.4.3. Para la relación $a/c = 0.55$

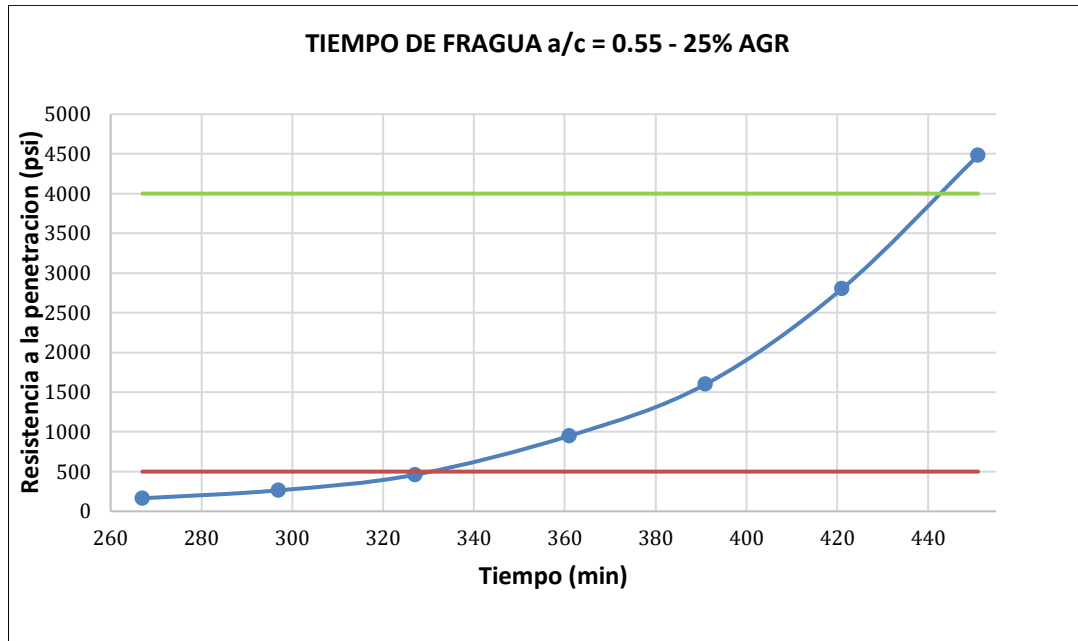
B.4.3.1. Para el concreto patrón

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg ²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
07:53	inicio					
12:24	04:31	271	92	1	1.000	92
12:54	05:01	301	135	2	0.500	270
13:24	05:31	331	110	3	0.250	440
13:54	06:01	361	68	4	0.100	680
14:24	06:31	391	62	5	0.050	1240
14:54	07:01	421	57	6	0.025	2280
15:24	07:31	451	98	6	0.025	3920
15:54	08:01	481	175	6	0.025	7000



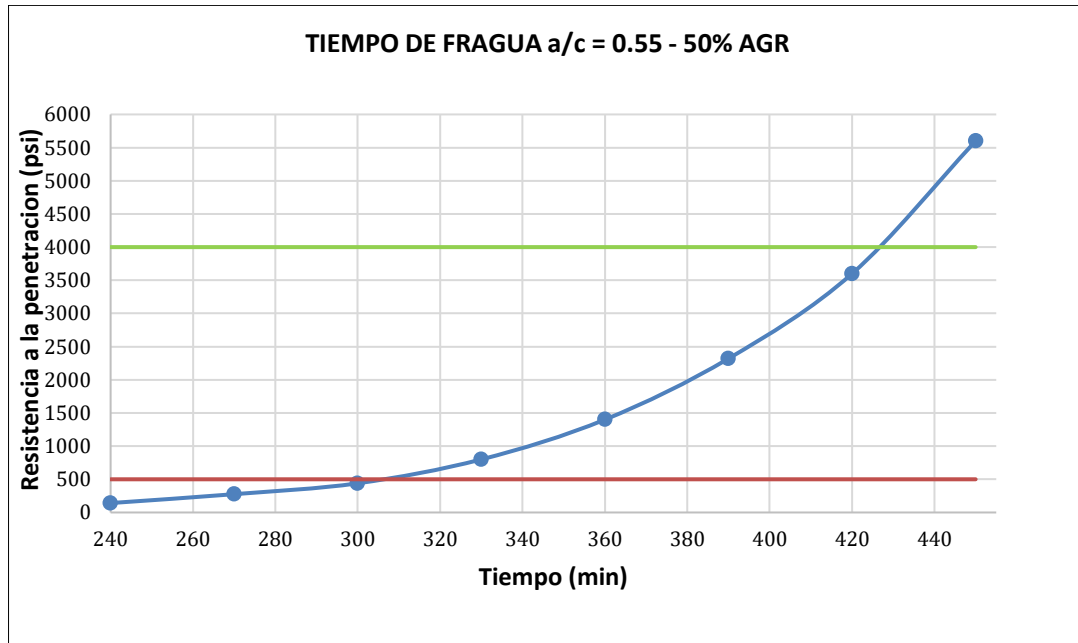
B.4.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg ²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
07:53	inicio					
12:20	04:27	267	164	1	1.000	164
12:50	04:57	297	132	2	0.500	264
13:20	05:27	327	115	3	0.250	460
13:54	06:01	361	95	4	0.100	950
14:24	06:31	391	80	5	0.050	1600
14:54	07:01	421	70	6	0.025	2800
15:24	07:31	451	112	6	0.025	4480



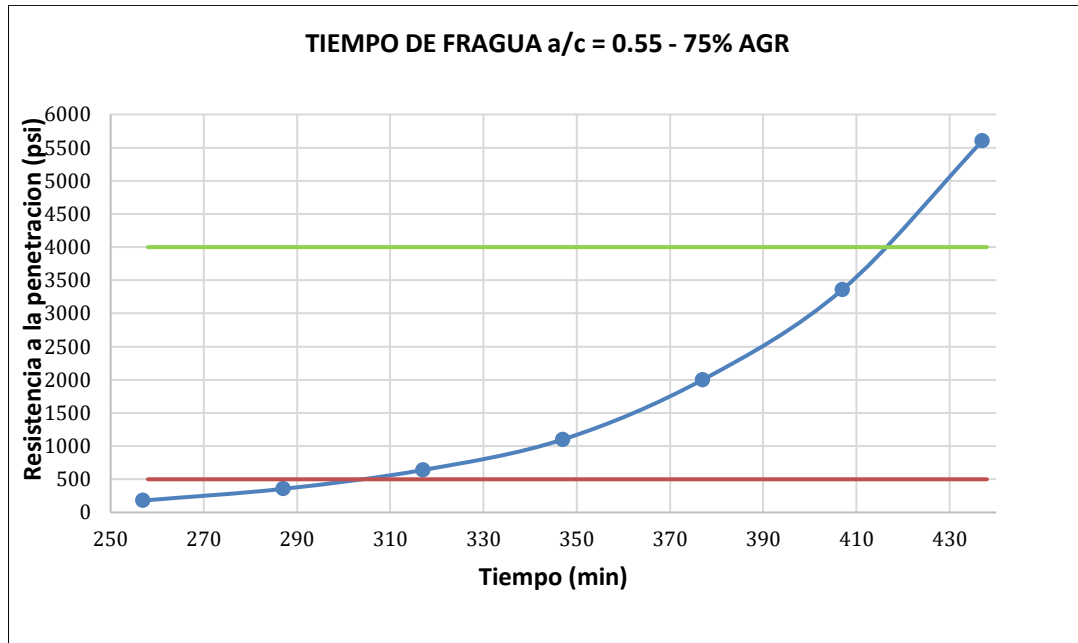
B.4.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:00	inicio					
12:00	04:00	240	142	1	1.000	142
12:30	04:30	270	138	2	0.500	276
13:00	05:00	300	110	3	0.250	440
13:30	05:30	330	80	4	0.100	800
14:00	06:00	360	70	5	0.050	1400
14:30	06:30	390	58	6	0.025	2320
15:00	07:00	420	90	6	0.025	3600
15:30	07:30	450	140	6	0.025	5600



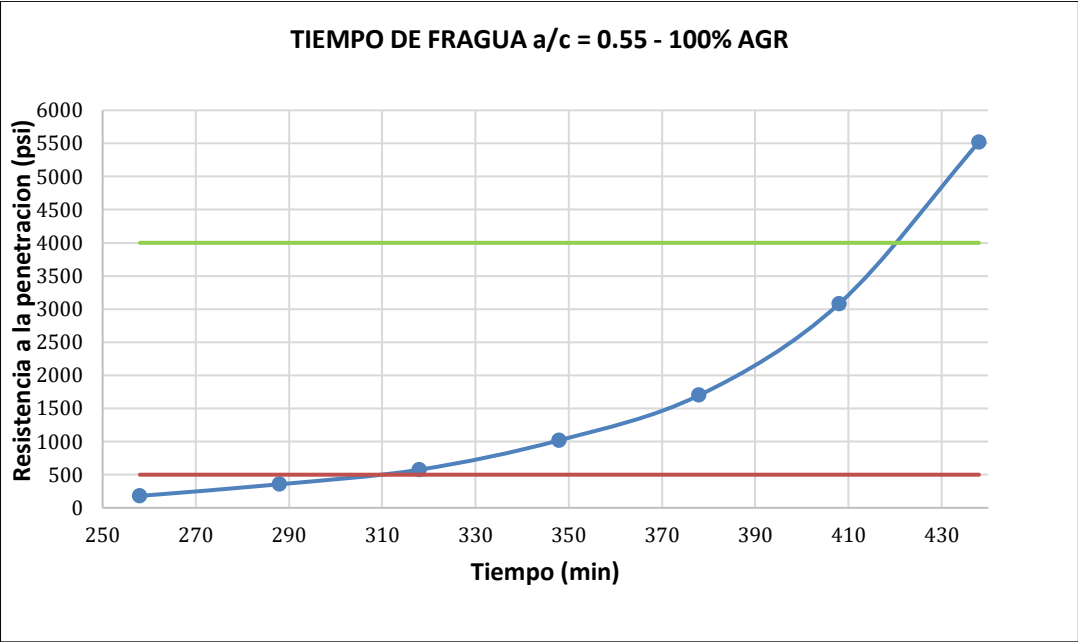
B.4.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
08:00	inicio					
12:00	04:00	240	142	1	1.000	142
12:30	04:30	270	138	2	0.500	276
13:00	05:00	300	110	3	0.250	440
13:30	05:30	330	80	4	0.100	800
14:00	06:00	360	70	5	0.050	1400
14:30	06:30	390	58	6	0.025	2320
15:00	07:00	420	90	6	0.025	3600
15:30	07:30	450	140	6	0.025	5600



B.4.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR

Hora (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (libras) = A	Aguja N°	Área de la aguja (pulg²) = B	Resistencia a la penetración (PSI) = A/B
07:47	inicio					
12:05	04:18	258	180	1	1.000	180
12:35	04:48	288	178	2	0.500	356
13:05	05:18	318	144	3	0.250	576
13:35	05:48	348	102	4	0.100	1020
14:05	06:18	378	85	5	0.050	1700
14:35	06:48	408	77	6	0.025	3080
15:05	07:18	438	138	6	0.025	5520



ANEXO C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

	Pág.
C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO.....	42
C.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	42
C.1.1. Para la relación $a/c = 0.45$	42
C.1.1.1. Para el concreto patrón.....	42
C.1.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	42
C.1.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	43
C.1.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	44
C.1.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	44
C.1.2. Para la relación $a/c = 0.50$	45
C.1.2.1. Para el concreto patrón.....	45
C.1.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	45
C.1.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	46
C.1.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	47
C.1.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	47
C.1.3. Para la relación $a/c = 0.55$	48
C.1.3.1. Para el concreto patrón.....	48
C.1.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	49
C.1.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	49
C.1.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	50
C.1.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	51
C.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	51
C.2.1. Resistencias a la tracción para la relación $a/c = 0.45$	51
C.2.2. Resistencias a la tracción para la relación $a/c = 0.50$	52
C.2.3. Resistencias a la tracción para la relación $a/c = 0.55$	52
C.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	53
C.3.1. Resistencias a la flexión para la relación $a/c = 0.45$	53
C.3.2. Resistencias a la flexión para la relación $a/c = 0.50$	54

C.3.3. Resistencias a la flexión para la relación $a/c = 0.55$	54
--	----

C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

C.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

C.1.1. Para la relación $a/c = 0.45$

C.1.1.1. Para el concreto patrón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.45$ – C.P						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.00	20.56	78.46	24430	311.36	313.7
	10.04	20.53	79.17	25200	318.30	
	10.05	20.48	79.33	24706	311.44	
14	10.04	20.52	79.09	31762	401.59	397.7
	10.04	20.36	79.17	30614	386.69	
	10.05	20.58	79.33	32110	404.78	
28	9.99	20.42	78.30	37006	472.59	472.6
	10.02	20.52	78.85	37822	479.64	
	10.04	20.56	79.09	37506	474.21	
	10.19	20.34	81.55	37682	462.06	
	10.01	20.54	78.70	37280	473.71	
	10.03	20.49	78.93	38047	482.02	
	10.01	20.56	78.70	36966	469.72	
	10.01	20.53	78.62	38231	486.28	
	9.99	20.43	78.30	37631	480.57	
	10.05	20.47	79.25	36294	457.98	
	10.01	20.42	78.70	37278	473.69	
	10.00	20.48	78.54	36965	470.65	
	10.01	20.53	78.70	37125	471.75	
	10.04	20.54	79.17	36895	466.02	
	10.03	20.52	78.93	36975	468.43	

C.1.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.45$ – 25% de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.03	20.58	78.93	27444	347.69	337.2
	10.03	20.52	79.01	26323	333.15	
	10.06	20.51	79.41	26282	330.98	
14	10.06	20.52	79.41	31064	391.21	397.2
	10.06	20.63	79.49	32669	411.02	
	10.04	20.55	79.17	30834	389.47	

28	10.03	20.56	78.93	36010	456.22	463.0
	10.03	20.52	79.01	36160	457.66	
	10.03	20.52	78.93	39743	503.51	
	10.01	20.53	78.62	36693	466.73	
	10.03	20.57	79.01	36459	461.44	
	10.02	20.50	78.85	35659	452.21	
	10.02	20.52	78.78	35605	451.99	
	10.01	20.53	78.70	32194	409.09	
	10.02	20.39	78.85	35746	453.32	
	10.01	20.51	78.70	37235	473.14	
	10.02	20.50	78.85	34620	439.04	
	10.02	20.56	78.78	38384	487.27	
	10.00	20.51	78.54	36067	459.22	
	10.01	20.52	78.70	37520	476.77	
	10.04	20.53	79.17	39419	497.91	

C.1.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.45 - 50\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.05	20.58	79.25	28863	364.21	354.9
	10.02	20.59	78.78	27858	353.64	
	10.04	20.55	79.17	27467	346.94	
14	10.05	20.42	79.25	31466	397.06	404.5
	10.03	20.52	78.93	32457	411.20	
	10.03	20.46	78.93	31993	405.32	
28	10.06	20.51	79.49	37479	471.52	462.8
	10.04	20.53	79.09	34635	437.91	
	10.10	20.63	80.12	36260	452.58	
	10.07	20.56	79.56	37352	469.46	
	10.05	20.63	79.33	37405	471.53	
	10.08	20.50	79.80	35373	443.26	
	10.07	20.63	79.64	35126	441.04	
	10.03	20.62	78.93	37340	473.06	
	10.09	20.61	79.96	38394	480.16	
	10.05	20.63	79.25	37587	474.29	
	10.04	20.67	79.09	35553	449.52	
	10.06	20.52	79.49	36519	459.44	
	10.04	20.57	79.09	37325	471.93	
	10.03	20.50	79.01	36998	468.26	
	10.03	20.55	78.93	37684	477.42	

C.1.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.45 - 75\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.04	20.53	79.09	25702	324.97	335.8
	10.03	20.64	79.01	26540	335.90	
	10.05	20.61	79.25	27450	346.38	
14	10.01	20.48	78.70	31764	403.62	404.8
	10.02	20.42	78.85	31361	397.71	
	10.03	20.53	78.93	32608	413.11	
28	10.12	20.63	80.36	32597	405.65	448.0
	10.05	20.56	79.33	36205	456.40	
	10.03	20.57	79.01	36239	458.65	
	10.05	20.52	79.33	37350	470.83	
	10.05	20.52	79.33	36407	458.95	
	10.01	20.55	78.62	35895	456.57	
	10.02	20.51	78.78	36401	462.08	
	10.04	20.55	79.09	34035	430.33	
	10.10	20.47	80.12	34377	429.08	
	10.05	20.57	79.25	35275	445.12	
	10.01	20.60	78.62	33611	427.52	
	9.99	20.45	78.38	35623	454.47	
	10.04	20.54	79.17	33935	428.64	
	10.04	20.57	79.17	36485	460.85	
	10.01	20.54	78.62	37285	474.25	

C.1.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.45 - 100\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.03	20.64	79.01	28091	355.53	348.9
	10.05	20.62	79.25	27402	345.77	
	10.02	20.56	78.85	27238	345.42	
14	10.00	20.49	78.54	31379	399.53	393.3
	10.04	20.51	79.17	28863	364.57	
	10.02	20.56	78.78	32763	415.90	
28	10.05	20.52	79.25	35612	449.37	445.6
	10.15	20.55	80.91	37181	459.51	
	10.05	20.40	79.33	34752	438.08	
	10.04	20.48	79.09	33768	426.95	
	10.05	20.50	79.33	33106	417.33	

	10.06	20.53	79.41	35532	447.47	
	10.05	20.55	79.25	35086	442.73	
	10.04	20.49	79.09	32825	415.03	
	10.03	20.46	78.93	34248	433.89	
	10.06	20.52	79.49	35924	451.96	
	10.04	20.55	79.09	35905	453.97	
	10.04	20.54	79.09	36615	462.95	
	10.03	20.59	78.93	36737	465.42	
	10.05	20.47	79.33	35780	451.04	
	10.03	20.47	79.01	36985	468.09	

C.1.2. Para la relación $a/c = 0.50$

C.1.2.1. Para el concreto patrón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.50$ – C.P						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.05	20.61	79.25	22541	284.43	302.6
	10.02	20.53	78.78	25169	319.50	
	10.02	20.59	78.78	23944	303.95	
14	10.08	20.63	79.80	29346	367.74	372.6
	10.14	20.37	80.75	30232	374.37	
	10.05	20.61	79.25	29771	375.67	
28	10.01	20.43	78.70	31251	397.10	419.2
	10.01	20.45	78.70	33295	423.08	
	10.04	20.48	79.17	32218	406.95	
	10.05	20.62	79.25	33855	427.20	
	10.00	20.62	78.54	32073	408.37	
	10.06	20.62	79.41	35176	442.99	
	10.05	20.64	79.25	33096	417.62	
	10.05	20.64	79.33	34340	432.89	
	10.04	20.52	79.17	32900	415.56	
	10.05	20.48	79.25	33684	425.04	
	10.23	20.55	82.19	34014	413.82	
	10.06	20.54	79.41	32271	406.40	
	10.01	20.52	78.70	33183	421.65	
	10.02	20.52	78.78	33254	422.13	
	10.02	20.54	78.78	33684	427.59	

C.1.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.50 - 25\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.03	20.52	79.01	24638	311.83	301.9
	10.04	20.54	79.17	23838	301.10	
	10.04	20.57	79.17	23180	292.79	
14	10.04	20.58	79.09	28850	364.77	374.0
	10.05	20.53	79.25	28981	365.70	
	10.03	20.62	79.01	30937	391.55	
28	10.05	20.54	79.33	33331	420.17	423.6
	10.00	20.62	78.54	34728	442.17	
	10.05	20.69	79.33	33743	425.36	
	10.04	20.62	79.09	34077	430.86	
	10.04	20.55	79.09	34835	440.44	
	10.05	20.62	79.33	35568	448.37	
	10.03	20.62	79.01	33741	427.04	
	10.05	20.53	79.25	31233	394.11	
	10.04	20.52	79.17	31956	403.64	
	10.06	20.53	79.41	34548	435.08	
	10.02	20.55	78.78	33148	420.79	
	10.05	20.65	79.33	32761	412.98	
	10.06	20.52	79.41	32262	406.29	
	10.04	20.53	79.09	32932	416.38	
	10.01	20.52	78.70	33845	430.07	

C.1.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.50 - 50\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.05	20.55	79.33	23710	298.89	299.1
	10.04	20.54	79.09	23381	295.62	
	10.02	20.53	78.78	23870	303.01	
14	10.00	20.34	78.54	28676	365.11	355.1
	10.02	20.53	78.85	28245	358.19	
	10.02	20.49	78.85	26971	342.04	
28	10.05	20.62	79.25	33497	422.68	412.2
	10.01	20.42	78.70	30594	388.76	
	10.04	20.54	79.09	32623	412.48	
	10.04	20.53	79.09	32662	412.97	
	10.04	20.55	79.17	32350	408.62	
	10.02	20.58	78.78	32758	415.84	
	10.06	20.62	79.41	32270	406.39	

	10.04	20.63	79.09	32290	408.27	
	10.04	20.55	79.09	33719	426.33	
	10.07	20.61	79.64	32745	411.15	
	10.13	20.56	80.52	33750	419.17	
	10.07	20.62	79.56	32766	411.82	
	10.03	20.55	79.01	31649	400.56	
	10.05	20.53	79.33	32413	408.60	
	10.04	20.52	79.09	33985	429.70	

C.1.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.50 - 75\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.05	20.65	79.25	24398	307.87	306.2
	10.14	20.64	80.67	25939	321.53	
	10.03	20.62	78.93	22850	289.49	
14	10.08	20.66	79.80	28247	353.97	358.0
	10.02	20.50	78.78	27665	351.19	
	10.06	20.67	79.49	29313	368.79	
28	10.00	20.49	78.46	33085	421.67	408.9
	10.06	20.55	79.41	32598	410.52	
	10.03	20.50	78.93	32243	408.48	
	10.06	20.56	79.49	31633	397.97	
	10.06	20.55	79.41	32611	410.69	
	10.05	20.51	79.25	33641	424.50	
	10.06	20.55	79.41	32380	407.78	
	10.05	20.57	79.25	33678	424.97	
	10.03	20.56	78.93	32655	413.70	
	10.04	20.49	79.09	29990	379.18	
	10.05	20.55	79.25	31018	391.40	
	10.05	20.55	79.33	31745	400.18	
	10.05	20.59	79.25	32600	411.36	
	10.00	20.48	78.54	32244	410.54	
	10.02	20.52	78.78	33145	420.75	

C.1.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.50 - 100\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.06	20.63	79.49	22561	283.84	281.9
	10.06	20.64	79.49	22198	279.27	

	10.06	20.56	79.41	22456	282.80	
14	10.02	20.60	78.78	28290	359.12	354.3
	10.04	20.57	79.17	28316	357.66	
	10.04	20.52	79.17	27401	346.11	
28	10.05	20.52	79.33	32161	405.42	411.1
	10.04	20.45	79.17	32854	414.98	
	10.01	20.55	78.70	33728	428.58	
	10.04	20.47	79.09	32846	415.30	
	10.01	20.42	78.70	30726	390.43	
	10.03	20.45	78.93	29091	368.55	
	10.01	20.52	78.70	31581	401.30	
	10.05	20.47	79.25	33447	422.05	
	9.99	20.54	78.38	33595	428.60	
	10.00	20.52	78.54	33564	427.35	
	10.02	20.46	78.85	32086	406.90	
	10.03	20.52	79.01	33648	425.86	
	10.03	20.56	78.93	31012	392.89	
	10.02	20.62	78.85	32416	411.09	
	10.02	20.59	78.78	33684	427.59	

C.1.3. Para la relación $a/c = 0.55$

C.1.3.1. Para el concreto patrón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.55 - C.P$						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	9.98	20.62	78.15	20818	266.39	260.6
	10.01	20.56	78.62	20473	260.41	
	10.01	20.47	78.70	20076	255.10	
14	10.04	20.59	79.17	25810	326.01	331.7
	10.03	20.63	79.01	26727	338.27	
	10.03	20.59	79.01	26139	330.82	
28	10.03	20.64	79.01	28358	358.91	373.4
	10.03	20.62	79.01	28885	365.58	
	10.05	20.63	79.25	28510	359.75	
	10.03	20.59	78.93	28434	360.23	
	10.04	20.58	79.09	28330	358.20	
	10.03	20.62	79.01	31817	402.69	
	10.03	20.56	78.93	31194	395.19	
	10.04	20.65	79.09	30218	382.07	
	10.05	20.57	79.25	29669	374.38	
	10.05	20.52	79.25	30114	379.99	
	10.02	20.53	78.78	29854	378.97	

	10.02	20.51	78.78	29447	373.81	
	10.04	20.54	79.17	30114	380.37	
	10.06	20.56	79.41	28998	365.19	
	10.04	20.56	79.17	28985	366.11	

C.1.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.55 - 25\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.01	20.62	78.70	19702	250.35	267.5
	9.99	20.58	78.38	21424	273.32	
	10.02	20.59	78.85	21993	278.91	
14	9.99	20.58	78.38	25462	324.84	327.1
	9.98	20.59	78.15	25897	331.38	
	9.98	20.55	78.23	25439	325.20	
28	10.04	20.63	79.09	30083	380.36	368.8
	10.03	20.47	78.93	28119	356.24	
	10.03	20.67	79.01	28701	363.25	
	10.03	20.65	79.01	28891	365.65	
	10.04	20.63	79.17	29948	378.28	
	10.04	20.67	79.17	29011	366.44	
	10.05	20.63	79.25	30717	387.60	
	10.05	20.64	79.33	28250	356.12	
	10.08	20.62	79.80	28464	356.68	
	10.05	20.52	79.25	28944	365.23	
	10.04	20.53	79.09	30874	390.36	
	10.02	20.68	78.78	28613	363.22	
	10.03	20.68	79.01	27568	348.91	
	10.03	20.62	79.01	30224	382.52	
	10.04	20.56	79.09	29296	370.41	

C.1.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.55 - 50\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	10.03	20.65	78.93	20230	256.29	257.6
	10.07	20.57	79.56	20371	256.03	
	10.04	20.52	79.09	20619	260.70	
14	10.03	20.55	78.93	24347	308.45	312.0
	10.03	20.61	79.01	25124	317.98	
	10.12	20.59	80.44	24896	309.51	

28	10.05	20.68	79.33	27172	342.53	363.3
	10.03	20.63	78.93	28320	358.78	
	10.04	20.55	79.09	28730	363.25	
	10.02	20.65	78.78	28192	357.88	
	10.05	20.53	79.25	27494	346.93	
	10.02	20.61	78.78	29650	376.38	
	10.03	20.52	79.01	29234	369.99	
	10.04	20.62	79.09	28128	355.64	
	10.02	20.57	78.85	28114	356.53	
	10.03	20.75	79.01	29241	370.08	
	10.13	20.47	80.52	29540	366.88	
	10.04	20.63	79.09	29654	374.94	
	10.02	20.62	78.85	28076	356.05	
	10.13	20.46	80.52	29852	370.76	
	10.06	20.68	79.41	30342	382.11	

C.1.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.55 - 75\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	9.95	20.58	77.76	19193	246.83	247.5
	9.96	20.46	77.91	19247	247.03	
	10.08	20.39	79.80	19842	248.64	
14	10.01	20.60	78.62	23765	302.28	296.1
	10.02	20.61	78.78	23449	297.67	
	10.04	20.58	79.09	22802	288.30	
28	10.13	20.59	80.52	27801	345.29	350.3
	10.03	20.54	78.93	27259	345.34	
	10.04	20.64	79.09	27121	342.91	
	10.13	20.68	80.60	29141	361.57	
	10.04	20.62	79.17	27874	352.08	
	10.02	20.54	78.78	26089	331.18	
	10.05	20.56	79.33	26862	338.62	
	10.05	20.58	79.25	28419	358.61	
	10.05	20.63	79.25	27574	347.94	
	10.00	20.62	78.54	27945	355.81	
	10.02	20.66	78.78	28802	365.62	
	10.06	20.68	79.49	28755	361.76	
	10.04	20.62	79.09	27739	350.72	
	10.01	20.67	78.62	28365	360.79	
	10.07	20.65	79.64	26775	336.19	

C.1.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/c = 0.55 - 100\%$ de AGR						
Edad (días)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	9.98	20.60	78.23	22074	282.18	280.1
	10.01	20.63	78.70	21925	278.60	
	10.02	20.63	78.78	22022	279.55	
14	10.04	20.57	79.17	24662	311.51	314.1
	10.03	20.52	78.93	24975	316.41	
	10.07	20.65	79.64	25029	314.26	
28	10.07	20.73	79.57	29029	364.81	370.1
	10.04	20.74	79.09	29002	366.69	
	10.05	20.68	79.25	28926	365.00	
	10.06	20.77	79.41	28915	364.14	
	10.05	20.72	79.25	28828	363.77	
	10.04	20.71	79.09	28989	366.53	
	10.07	20.54	79.64	29330	368.27	
	10.03	20.54	78.93	28855	365.56	
	10.06	20.57	79.49	29911	376.31	
	10.05	20.59	79.33	30524	384.79	
	10.08	20.63	79.72	29933	375.46	
	10.04	20.57	79.17	29168	368.42	
	10.04	20.54	79.17	30204	381.51	
	10.04	20.66	79.09	29638	374.73	
	10.03	20.60	78.93	28848	365.47	

C.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

C.2.1. Resistencias a la tracción para la relación $a/c = 0.45$

RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (28 días) PARA LA RELACIÓN $a/c = 0.45$						
relación a/c	Diseño	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Carga (kg)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
0.45	C.P.	10.08	20.57	13635	41.86	36.8
		10.08	20.50	12161	37.49	
		10.07	20.57	13235	40.67	
		9.99	20.54	8727	27.07	
	25% AGR	10.06	20.55	12848	39.57	33.8
		10.08	20.49	11321	34.91	
		10.05	20.50	8642	26.70	
		10.05	20.54	10978	33.86	

	50% AGR	9.96	20.48	11478	35.84	36.6
		10.00	20.52	13536	42.02	
		10.01	20.48	11368	35.30	
		9.97	20.47	10686	33.33	
	75% AGR	10.00	20.45	10440	35.47	34.3
		10.03	20.52	9420	38.28	
		10.09	20.29	10026	31.17	
		10.02	20.53	10488	32.45	
	100% AGR	10.05	20.51	13195	40.74	36.7
		9.98	20.47	11733	36.58	
		10.04	20.41	10086	31.35	
		10.05	20.64	12476	38.30	

C.2.2. Resistencias a la tracción para la relación a/c = 0.50

RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (28 días) PARA LA RELACIÓN a/c = 0.50						
relación a/c	Diseño	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Carga (kg)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
0.50	C.P.	10.05	20.56	10390	32.00	36.3
		10.07	20.53	11734	36.14	
		10.08	20.57	11814	36.27	
		10.06	20.59	13236	40.70	
	25% AGR	10.06	20.51	14126	43.57	38.1
		10.04	20.54	12908	39.83	
		10.03	20.67	10513	32.29	
		9.98	20.69	11868	36.59	
	50% AGR	10.06	20.55	8622	26.57	38.6
		10.05	20.51	14415	44.51	
		10.02	20.55	13988	43.27	
		10.00	20.48	12864	39.97	
	75% AGR	10.06	20.50	10733	33.12	33.5
		10.07	20.46	11217	34.66	
		10.05	20.56	11445	35.28	
		10.01	20.56	9999	30.95	
	100% AGR	10.00	20.48	9629	29.92	36.8
		9.96	20.35	11244	35.33	
		9.97	20.38	13800	43.26	
		9.99	20.35	12330	38.63	

C.2.3. Resistencias a la tracción para la relación a/c = 0.55

RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (28 días) PARA LA RELACIÓN a/c = 0.55						
relación a/c	Diseño	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Carga (kg)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
0.55	C.P.	10.03	21.40	12758	37.84	30.3
		10.04	20.40	8957	27.84	
		10.08	20.62	9235	28.30	
		10.09	20.77	9135	27.77	
	25% AGR	10.03	20.59	11908	36.72	35.9
		10.03	20.65	12866	39.53	
		10.04	20.63	10061	30.94	
		10.04	20.63	11845	36.43	
	50% AGR	10.00	20.57	8520	26.37	29.4
		10.00	20.53	12560	38.97	
		10.03	20.60	8298	25.58	
		10.08	20.47	8628	26.63	
	75% AGR	10.05	20.52	10752	33.18	31.0
		10.05	20.67	12349	37.85	
		10.03	20.59	9229	28.45	
		10.04	20.56	7948	24.52	
	100% AGR	10.03	20.67	10325	31.70	28.1
		10.04	20.66	9824	30.15	
		9.99	20.72	8322	25.59	
		9.99	20.67	8152	25.13	

C.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

C.3.1. Resistencias a la flexión para la relación a/c = 0.45

RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS (28 días) PARA LA RELACIÓN a/c = 0.45								
relación a/c	Diseño	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud (cm)	luz (cm)	Carga (kg)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
0.45	C.P.	15.23	15.27	49.90	44.90	2840	35.92	37.2
		15.37	15.30	50.00	45.00	3070	38.41	
	25 % AGR	15.23	15.90	50.30	45.30	3140	36.94	36.5
		15.07	15.23	50.20	45.20	2790	36.07	
	50% AGR	15.57	15.33	50.20	45.20	2860	35.32	36.8
		15.37	15.27	50.00	45.00	3040	38.20	
	75% AGR	15.47	15.37	50.00	45.00	2760	34.01	35.0
		15.33	15.23	50.00	45.00	2840	35.92	
	100% AGR	15.40	15.23	50.00	45.00	3200	40.30	37.9
		15.37	15.50	50.10	45.10	2900	35.43	

C.3.2. Resistencias a la flexión para la relación $a/c = 0.50$

RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS (28 días) PARA LA RELACIÓN $a/c = 0.50$								
relación a/c	Diseño	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud (cm)	luz (cm)	Carga (kg)	Módulo de rotura (Kg/cm^2)	Promedio (Kg/cm^2)
0.50	C.P.	15.43	15.67	50.20	45.20	3250	38.78	39.2
		15.27	15.63	50.10	45.10	3280	39.65	
	25 % AGR	15.30	15.73	50.00	45.00	3260	38.73	39.5
		15.23	15.47	50.10	45.10	3250	40.22	
	50% AGR	15.50	15.13	50.00	45.00	3380	42.85	42.0
		15.40	15.30	50.00	45.00	3300	41.19	
	75% AGR	14.93	15.50	50.20	45.20	2980	37.54	39.6
		14.97	14.83	49.90	44.90	3060	41.72	
	100% AGR	15.30	15.40	50.20	45.20	3200	39.86	38.2
		15.30	15.53	50.10	45.10	2990	36.53	

C.3.3. Resistencias a la flexión para la relación $a/c = 0.55$

RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS (28 días) PARA LA RELACIÓN $a/c = 0.55$								
relación a/c	Diseño	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud (cm)	luz (cm)	Carga (kg)	Módulo de rotura (Kg/cm^2)	Promedio (Kg/cm^2)
0.55	C.P.	15.43	15.87	50.20	45.20	3380	39.32	38.1
		15.70	15.90	50.10	45.10	3250	36.93	
	25 % AGR	15.20	15.70	50.30	45.30	2890	34.94	34.9
		15.23	15.80	50.30	45.30	2920	34.78	
	50% AGR	15.37	15.83	50.20	45.20	3110	36.49	36.2
		15.37	15.77	50.20	45.20	3030	35.85	
	75% AGR	15.27	15.50	50.20	45.20	3170	39.07	39.1
		15.13	15.47	50.10	45.10	3140	39.12	
	100% AGR	15.30	15.40	50.30	45.30	3260	40.70	40.9
		15.37	15.60	50.30	45.30	3390	41.06	

ANEXO D: ANÁLISIS DE COSTOS

	Pág.
D: ANÁLISIS DE COSTOS	57
D.1. COSTO POR M3 DE CONCRETO.....	57
D.1.1. Para la relación $a/c = 0.45$	57
D.1.1.1. Para el concreto patrón.....	57
D.1.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	57
D.1.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	57
D.1.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	57
D.1.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	58
D.1.2. Para la relación $a/c = 0.50$	58
D.1.2.1. Para el concreto patrón.....	58
D.1.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	58
D.1.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	58
D.1.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	58
D.1.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	59
D.1.3. Para la relación $a/c = 0.55$	59
D.1.3.1. Para el concreto patrón.....	59
D.1.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR.....	59
D.1.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR.....	59
D.1.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR.....	60
D.1.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR.....	60

D: ANÁLISIS DE COSTOS

D.1. COSTO POR M³ DE CONCRETO

D.1.1. Para la relación a/c = 0.45

D.1.1.1. Para el concreto patrón

COSTO DEL CONCRETO PATRÓN					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	12.40	bolsa	32.00	396.80	S/ 439.89
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.19	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.28	m ³	80.00	22.40	

D.1.1.2. Para el concreto con 25 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 25% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	12.40	bolsa	32.00	396.80	S/ 434.29
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.19	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.21	m ³	80.00	16.80	
PIEDRA RECICLADA	0.07	m ³	8.00	0.56	

D.1.1.3. Para el concreto con 50 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 50% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	12.40	bolsa	32.00	396.80	S/ 428.69
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.19	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.14	m ³	80.00	11.20	
PIEDRA RECICLADA	0.14	m ³	8.00	1.12	

D.1.1.4. Para el concreto con 75 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 75% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	12.40	bolsa	32.00	396.80	S/ 423.15
AGUA	0.25	m ³	5.00	1.25	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.07	m ³	80.00	5.60	
PIEDRA RECICLADA	0.21	m ³	8.00	1.68	

D.1.1.5. Para el concreto con 100 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 100% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	12.40	bolsa	32.00	396.80	S/ 417.55
AGUA	0.25	m ³	5.00	1.25	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.00	m ³	80.00	0.00	
PIEDRA RECICLADA	0.28	m ³	8.00	2.24	

*D.1.2. Para la relación a/c = 0.50**D.1.2.1. Para el concreto patrón*

COSTO DEL CONCRETO PATRÓN					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	10.73	bolsa	32.00	343.36	S/ 389.31
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.32	m ³	65.00	20.80	
PIEDRA NATURAL	0.30	m ³	80.00	24.00	

D.1.2.2. Para el concreto con 25 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 25% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	10.73	bolsa	32.00	343.36	S/ 381.61
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.22	m ³	80.00	17.60	
PIEDRA RECICLADA	0.08	m ³	8.00	0.64	

D.1.2.3. Para el concreto con 50 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 50% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	10.73	bolsa	32.00	343.36	S/ 376.06
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.20	
ARENA	0.30	m ³	65.00	19.50	
PIEDRA NATURAL	0.15	m ³	80.00	12.00	
PIEDRA RECICLADA	0.15	m ³	8.00	1.20	

D.1.2.4. Para el concreto con 75 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 75% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	10.73	bolsa	32.00	343.36	S/ 370.96
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.20	
ARENA	0.32	m ³	65.00	20.80	
PIEDRA NATURAL	0.07	m ³	80.00	5.60	
PIEDRA RECICLADA	0.23	m ³	8.00	1.84	

D.1.2.5. Para el concreto con 100 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 100% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	10.73	bolsa	32.00	343.36	S/ 365.36
AGUA	0.24	m ³	5.00	1.20	
ARENA	0.32	m ³	65.00	20.80	
PIEDRA NATURAL	0.00	m ³	80.00	0.00	
PIEDRA RECICLADA	0.30	m ³	8.00	2.40	

D.1.3. Para la relación a/c = 0.55

D.1.3.1. Para el concreto patrón

COSTO DEL CONCRETO PATRÓN					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	9.54	bolsa	32.00	305.28	S/ 352.63
AGUA	0.22	m ³	5.00	1.10	
ARENA	0.33	m ³	65.00	21.45	
PIEDRA NATURAL	0.31	m ³	80.00	24.80	

D.1.3.2. Para el concreto con 25 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 25% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	9.54	bolsa	32.00	305.28	S/ 346.28
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.33	m ³	65.00	21.45	
PIEDRA NATURAL	0.23	m ³	80.00	18.40	
PIEDRA RECICLADA	0.08	m ³	8.00	0.64	

D.1.3.3. Para el concreto con 50 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 50% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	9.54	bolsa	32.00	305.28	S/ 339.88
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.33	m ³	65.00	21.45	
PIEDRA NATURAL	0.15	m ³	80.00	12.00	
PIEDRA RECICLADA	0.16	m ³	8.00	1.28	

D.1.3.4. Para el concreto con 75 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 75% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	9.54	bolsa	32.00	305.28	S/ 332.83
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.32	m ³	65.00	20.80	
PIEDRA NATURAL	0.07	m ³	80.00	5.60	
PIEDRA RECICLADA	0.23	m ³	8.00	1.84	

D.1.3.5. Para el concreto con 100 % de AGR

COSTO DEL CONCRETO CON 100% DE AGR					
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	PARCIAL	TOTAL
CEMENTO	9.54	bolsa	32.00	305.28	S/ 327.88
AGUA	0.23	m ³	5.00	1.15	
ARENA	0.33	m ³	65.00	21.45	
PIEDRA NATURAL	0.00	m ³	80.00	0.00	
PIEDRA RECICLADA	0.31	m ³	8.00	2.48	

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO

	Pág.
E: PANEL FOTOGRÁFICO.....	64
Figura E1 Agregado grueso reciclado comercial utilizado en esta tesis	64
Figura E2 Cemento TIPO V utilizado en esta tesis	64
Figura E3 Cuarteo del agregado fino	65
Figura E4 Cuarteo del agregado grueso natural	65
Figura E5 Cuarteo del agregado grueso reciclado	66
Figura E6 Tamizado del agregado grueso	66
Figura E7 Tamizado del agregado fino	67
Figura E8 Secado de muestras en el horno	67
Figura E9 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino	68
Figura E10 Equipo para el ensayo de peso específico del agregado grueso	68
Figura E11 Ensayo de materiales más finos que pasan la malla N° 200	69
Figura E12 Tamizado del agregado grueso natural para el ensayo de abrasión.	69
Figura E13 Tamizado del AGR para el ensayo de abrasión.....	70
Figura E14 Equipo utilizado para la elaboración de concreto en laboratorio	70
Figura E15 Ensayo de asentamiento o slump.....	71
Figura E16 Procedimiento de ensayo de contenido de aire	71
Figura E17 Ensayo de exudación.....	72
Figura E18 Lectura de datos en el ensayo de tiempo de fraguado	72
Figura E19 Moldes de probetas y vigas	73
Figura E20 Probetas y vigas luego de ser desencofradas	73
Figura E21 Probetas y vigas durante el proceso de curado	74
Figura E22 Probetas de concreto de 4" x 8"	74
Figura E23 Ensayo de resistencia a la compresión	75
Figura E24 Probetas ensayadas a compresión	75
Figura E25 Ensayo de resistencia a la tracción	76
Figura E26 Probetas ensayadas a tracción	76

Figura E27 Ensayo de resistencia a la flexión	77
Figura E28 Vigas luego del ensayo de resistencia a la flexión.....	77

E: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura E1 Agregado grueso reciclado comercial utilizado en esta tesis



Figura E2 Cemento TIPO V utilizado en esta tesis



Figura E3 Cuarteo del agregado fino



Figura E4 Cuarteo del agregado grueso natural



Figura E5 Cuarteo del agregado grueso reciclado



Figura E6 Tamizado del agregado grueso



Figura E7 Tamizado del agregado fino



Figura E8 Secado de muestras en el horno



Figura E9 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Figura E10 Equipo para el ensayo de peso específico del agregado grueso



Figura E11 Ensayo de materiales más finos que pasan la malla N° 200



Figura E12 Tamizado del agregado grueso natural para el ensayo de abrasión



Figura E13 Tamizado del AGR para el ensayo de abrasión



Figura E14 Equipo utilizado para la elaboración de concreto en laboratorio



Figura E15 Ensayo de asentamiento o slump



Figura E16 Procedimiento de ensayo de contenido de aire



Figura E17 Ensayo de exudación



Figura E18 Lectura de datos en el ensayo de tiempo de fraguado



Figura E19 Moldes de probetas y vigas



Figura E20 Probetas y vigas luego de ser desencofradas

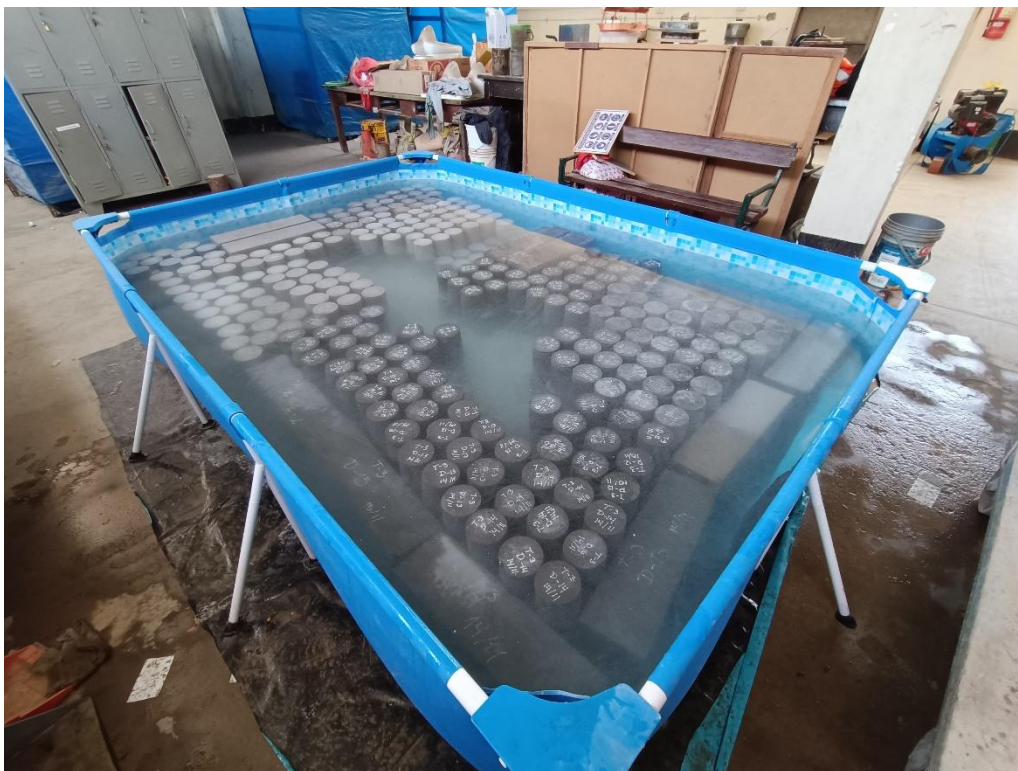


Figura E21 Probetas y vigas durante el proceso de curado



Figura E22 Probetas de concreto de 4" x 8"



Figura E23 Ensayo de resistencia a la compresión



Figura E24 Probetas ensayadas a compresión



Figura E25 Ensayo de resistencia a la tracción



Figura E26 Probetas ensayadas a tracción



Figura E27 Ensayo de resistencia a la flexión



Figura E28 Vigas luego del ensayo de resistencia a la flexión