

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**TESIS:**

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO  $F'C = 210$   
KG/CM<sup>2</sup> ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS DE VÍAS, EN LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA, 2021**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Presentada por:

**M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**

Asesor:

**Dr. VALENTÍN VÍCTOR PAREDES OLIVA**

Cajamarca, Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by  
**MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



### **UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

### **PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

### **TESIS APROBADA:**

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO  $F'C = 210$   
KG/CM<sup>2</sup> ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS DE VÍAS, EN LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA, 2021**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Presentada por:

**M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**

### **JURADO EVALUADOR**

Dr. Valentin Víctor Paredes Oliva  
Asesor

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez  
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgard Alva Plasencia  
Jurado Evaluador

Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique  
Jurado Evaluador

**Cajamarca, Perú**

**2022**



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 030-2018-SUNEDUCD

**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Siendo las 08:00 horas del día 21 de diciembre del año dos mil veintidós, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. EDÍN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE** y en calidad de Asesor, el **Dr. VALENTIN VICTOR PAREDES OLIVA**; Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS DE VÍAS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, 2021**; Presentado por el Maestro en Ciencias Mención Ingeniería **MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBADO con la calificación de DIECISIETE (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, el Maestro en Ciencias Mención Ingeniería, **MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención: **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las 9:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....  
**Dr. Valentin Victor Paredes Oliva**  
Asesor

.....  
**Dr. Marcial Hidelo Mendo Velásquez**  
Presidente-Jurado Evaluador

.....  
**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**  
Jurado Evaluador

.....  
**Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi hermano Juan Alberto y demás familiares.

A mi madre Gaudencia, esposa Elizabeth, mis hijos Mauro Giancarlo, Gerson Augusto y a mi nieta IvvanaValentina.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Asesor el Dr. Valentín Paredes Oliva, por el apoyo brindado para ver cristalizado la culminación de este trabajo.

A los docentes de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes han contribuido en mi formación académica, así como en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería, por el apoyo con el Laboratorio de Ensayo de Materiales.

A todos los familiares y amigos que han estado apoyando constantemente y dándome el ánimo necesario ver realizado este trabajo.

Gracias infinitas a ustedes y, por supuesto, a Dios, por ponerlos en mi camino.

## TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación .....	4
2.1.1. Internacionales.....	4
2.1.2. Nacionales .....	7
2.1.3. Locales .....	8
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Definición de Concreto .....	9
2.2.2. Materiales que conforman el concreto.....	9
2.3. Clasificación de los agregados para concreto.....	10
2.3.1. Por su tamaño .....	10
2.3.2. Según su procedencia.....	10
2.3.3. Según la densidad de los agregados.....	11
2.3.4. Según su forma y textura.....	11
2.4. Propiedades de los agregados .....	12
2.4.1. Granulometría.....	12
2.4.2. Textura .....	14
2.4.3. Peso específico del agregado grueso.....	14

2.4.4.	Absorción del agregado grueso .....	15
2.4.5.	Peso unitario de los agregados.....	15
2.4.6.	Contenido de humedad.....	15
2.4.7.	Material que pasa el Tamiz N° 200.....	15
2.4.8.	Resistencia a la Abrasión .....	16
2.5.	Propiedades del Concreto Fresco .....	16
2.5.1.	Manejabilidad .....	16
2.5.2.	Consistencia.....	16
2.5.3.	Segregación .....	17
2.5.4.	Exudación o sangrado .....	17
2.5.5.	Durabilidad.....	17
2.5.6.	Impermeabilidad .....	17
2.5.7.	Contenido de aire .....	18
2.5.8.	Peso unitario .....	18
2.6.	Propiedades del Concreto Endurecido .....	19
2.6.1.	Resistencia a Compresión .....	19
2.7.	Diseño de Mezclas .....	21
2.7.1.	Método de combinación de agregados.....	21
2.8.	Concreto Reciclado .....	27
2.8.1.	Agregados reciclados .....	28
2.8.2.	Beneficios del concreto reciclado .....	29
 CAPITULO III		
 MATERIALES Y MÉTODOS.....		
MATERIALES Y MÉTODOS.....		30
3.1.	Metodología de la investigación .....	30
3.1.1.	Ubicación y descripción general de la zona de estudio .....	30
3.1.2.	Tipos de Mezclas .....	33
3.1.3.	Métodos y técnicas.....	34
3.2.	Materiales y equipos.....	35

3.2.1. Materiales .....	35
3.2.2. Equipos.....	36
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. Resultados y análisis de la consistencia del concreto .....	37
4.2. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión .....	40
4.3. Prueba de hipótesis.....	43
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
CONCLUSIONES .....	47
RECOMENDACIONES .....	48
CAPITULO VI	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
CAPITULO VII	
APÉNDICE .....	53
PANEL FOTOGRÁFICO .....	89

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 <i>Tipos de los agregados segun su densidad</i> .....	11
Tabla 2 <i>Uso granulométrico del agregado fino</i> .....	13
Tabla 3 <i>Resistencia requerida promedio</i> .....	22
Tabla 4 <i>Relación: Consistencia – Asentamiento</i> .....	22
Tabla 5 <i>Asentamiento según el tipo de construcción</i> .....	23
Tabla 6 <i>Contenido de aire atrapado</i> .....	23
Tabla 7 <i>Relación agua - cemento por resistencia</i> .....	24
Tabla 8 <i>Módulo de finura de la combinación de agregados</i> .....	26
Tabla 9 <i>Número de probetas de acuerdo con la dosificación de mezclas</i> .....	33
Tabla 10 <i>Asentamiento del concreto, en cada grupo experimental</i> .....	37
Tabla 11 <i>Resultados de resistencia promedio a la compresión del concreto según el tipo de diseño, a diferentes edades y con el porcentaje obtenido</i> .....	40
Tabla 12 <i>Prueba de hipótesis: 7 días</i> .....	45
Tabla 13 <i>Prueba de hipótesis: 14 días</i> .....	45
Tabla 14 <i>Prueba de hipótesis: 28 días</i> .....	46
Tabla 15 <i>Peso específico del agua</i> .....	53
Tabla 16 <i>Determinación del factor “f” para cálculo del peso unitario del agregado grueso</i> 53	
Tabla 17 <i>Peso Unitario Suelto del agregado grueso (NTP 400.017, NTP 400.037/ASTM C-29/MTC E 205)</i> .....	53
Tabla 18 <i>Peso Unitario Compactado del agregado grueso (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)</i> .....	54
Tabla 19 <i>Peso Específico del agregado grueso, (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021)</i> .....	54
Tabla 20 <i>Absorción (%) del agregado grueso (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021).</i> 54	
Tabla 21 <i>Contenido de Humedad (%) del agregado grueso (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)</i> .....	55
Tabla 22 <i>Ensayo Partículas N° 200 para el Agregado Grueso</i> .....	55
Tabla 23 <i>Desgaste a la abrasión del agregado grueso</i> .....	55
Tabla 24 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 01</i> .....	56
Tabla 25 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 02</i> .....	57

Tabla 26 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 03</i> .....	58
Tabla 27 <i>Determinación del factor “f” del molde, para calcular el peso unitario del agregado fino</i> .....	60
Tabla 28 <i>Peso Unitario Suelto del agregado fino (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 /MTC E 205)</i> .....	60
Tabla 29 <i>Peso Unitario Compactado del agregado fino (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 /MTC E 205)</i> .....	60
Tabla 30 <i>Contenido de Humedad (%) del agregado fino (A.S.T.M.C -566 /MTC E 118 /NTP 339.185)</i> .....	61
Tabla 31 <i>Peso Específico del agregado fino (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 /MTC E 203)</i> .....	61
Tabla 32 <i>Absorción (%) del agregado fino (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 /MTC E 203)</i> .....	61
Tabla 33 <i>Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 01</i> .....	62
Tabla 34 <i>Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 02</i> .....	63
Tabla 35 <i>Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 03</i> .....	64
Tabla 36 <i>Ensayo Partículas menores al Tamiz N° 200, del Agregado Fino</i> .....	65
Tabla 37 <i>Peso Unitario Suelto del agregado grueso reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 /MTC E 205)</i> .....	66
Tabla 38 <i>Peso Unitario Compactado del agregado grueso reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 /MTC E 205)</i> .....	66
Tabla 39 <i>Peso Específico del agregado grueso reciclado (ASTM C -127 /MTC E 204 /NTP 400.021)</i> .....	67
Tabla 40 <i>Absorción (%) del agregado grueso reciclado (ASTM C -127 /MTC E 204 /NTP 400.021)</i> .....	67
Tabla 41 <i>Contenido de Humedad (%) del agregado grueso Reciclado (A.S.T.M.C -566 /MTC E 118 /NTP 339.185)</i> .....	67
Tabla 42 <i>Ensayo Partículas N° 200 para el agregado grueso reciclado</i> .....	68
Tabla 43 <i>Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado</i> .....	68
Tabla 44 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 01</i> .....	69
Tabla 45 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 02</i> .....	70
Tabla 46 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 03</i> .....	71
Tabla 47 <i>Peso Unitario Suelto del agregado fino reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037/ASTM C-29/MTC- E 205)</i> .....	72

Tabla 48 <i>Peso Unitario Compactado del agregado fino Reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)</i> .....	73
Tabla 49 <i>Contenido de Humedad (%) del agregado fino reciclado (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)</i> .....	73
Tabla 50 <i>Peso Específico del agregado fino reciclado (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)</i> .....	74
Tabla 51 <i>Absorción (%) del agregado fino reciclado (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)</i> .....	74
Tabla 52 <i>Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 01</i> .....	75
Tabla 53 <i>Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 02</i> .....	76
Tabla 54 <i>Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 03</i> .....	77
Tabla 55 <i>Ensayo Partículas menores al Tamiz N° 200, del Agregado Fino Reciclado</i> .....	78
Tabla 56 <i>Diseño de mezcla patrón</i> .....	79
Tabla 57 <i>Diseño de mezcla con 15% de agregado reciclado</i> .....	80
Tabla 58 <i>Diseño de mezcla con 20% de agregado reciclado</i> .....	81
Tabla 59 <i>Diseño de mezcla con 25% de agregado reciclado</i> .....	82
Tabla 60 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 7 d</i> .....	83
Tabla 61 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 7 d</i> .....	83
Tabla 62 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 7 d</i> .....	84
Tabla 63 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a 7 d</i> .....	84
Tabla 64 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 14 d</i> .....	85
Tabla 65 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 14 d</i> .....	85
Tabla 66 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 14 d</i> .....	86
Tabla 67 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a 14 d</i> .....	86
Tabla 68 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 28 d</i> .....	87
Tabla 69 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 28 d</i> .....	87

Tabla 70 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 28 d</i> .....	88
Tabla 71 <i>Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a los 28 d</i> .....	88

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 <i>Incremento de la resistencia en relación a la edad</i> .....	20
Figura 2 <i>Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura en cilindros de concreto</i> .....	20
Figura 3 <i>Ubicación del centro de investigación</i> .....	30
Figura 4 <i>Ubicación geográfica de la cantera “Roca fuerte”</i> .....	31
Figura 5 <i>Demolición calzada Jr. Progreso cdra. 2 – Barrio, San Sebastián – Cajamarca</i> ....	32
Figura 6 <i>Ubicación geográfica de la chancadora “Aguilar”</i> .....	32
Figura 7 <i>Tipos de mezclas</i> .....	33
Figura 8 <i>Asentamiento de la mezcla de concreto Vs. Grupo experimental</i> .....	37
Figura 9 <i>Peso unitario del concreto en su estado endurecido, a los 7 d, 14 d y 28 d</i> .....	38
Figura 10 <i>Peso unitario del concreto en su estado seco, a la edad de 28 días</i> .....	39
Figura 11 <i>Resistencia promedio del concreto por cada tipo de diseño; a 7 d, 14 d y 28 d</i> ....	42
Figura 12 <i>Desarrollo de la resistencia promedio del concreto por cada tipo de diseño, 7, 14 y 28 d</i> .....	43
Figura 13 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 01</i> .....	56
Figura 14 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 02</i> .....	57
Figura 15 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 03</i> .....	58
Figura 16 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N°s 01, 02 y 03</i> .....	59
Figura 17 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 01</i> .....	62
Figura 18 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 02</i> .....	63
Figura 19 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 03</i> .....	64
Figura 20 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 01, 02 y 03</i> 65	
Figura 21 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 01</i> .....	69
Figura 22 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 02</i> .....	70
Figura 23 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 03</i> .....	71

Figura 24 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestras N° 01, 02 y 03</i> .....	72
Figura 25 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 01</i> .....	75
Figura 26 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 02</i> .....	76
Figura 27 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 03</i> .....	77
Figura 28 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestras N° 01, 02 y 03.</i> .....	78
Figura 29 <i>Agregados naturales</i> .....	89
Figura 30 <i>Chancadora "Aguilar"</i> .....	89
Figura 31 <i>Agregados reciclados</i> .....	89
Figura 32 <i>Elaboración de probetas de concreto</i> .....	89
Figura 33 <i>Medición de diámetro de probetas</i> .....	90
Figura 34 <i>Pesado de probetas</i> .....	90
Figura 35 <i>Probetas de muestra patrón a los 14 d.</i> .....	90
Figura 36 <i>Ensayo a compresión axial de probeta</i> .....	91
Figura 37 <i>Falla de probeta de muestra patrón, ensayada a 7 d.</i> .....	91
Figura 38 <i>Fallo de probeta ensayada con 25% de agregados reciclados a 28 d</i> .....	91
Figura 39 <i>Falla de probeta ensayada con</i> .....	92
Figura 40 <i>Falla de probeta ensayada con</i> .....	92
Figura 41 <i>Muestra patrón ensayada</i> .....	92
Figura 42 <i>Falla de probeta con 20% de agregados reciclados ensayada a 28 d</i> .....	92
Figura 43 <i>Falla de muestra patrón ensayada</i> .....	93
Figura 44 <i>Falla de probeta con 25% de agregados reciclados a 14 d</i> .....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

7 d	: edad de 7 días del concreto
14 d	: edad de 14 días del concreto
28 d	: edad de 28 días del concreto
A/C	: relación agua – cemento
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)
AN	: agregados naturales
A.S.T.M.C	: American Society for Testing and Materials (Sociedad estadounidense para pruebas y materiales)
AR	: agregados reciclados
cm <sup>2</sup>	: centímetro cuadrado
CO <sub>2</sub>	: dióxido de carbono
f'c	: resistencia a la compresión del concreto
g	: gramos
kg	: kilogramos
mm	: milímetro
m <sup>3</sup>	: metro cúbico
MTC E	: manuales de ensayos de materiales
NTP	: norma técnica peruana
No.	: número

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la resistencia del concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados provenientes de reemplazar las losas deterioradas de las vías de la ciudad de Cajamarca; estos materiales en condición de reemplazantes del agregado natural en la producción de concreto para pavimentos. Con tal motivo se realizaron varias tareas: trituración del concreto reciclado usando una chancadora, luego se precisó las propiedades físico-mecánicas de los agregados, a continuación, se elaboró el diseño de mezclas utilizando el método de combinación de agregados; seguido, se elaboró 72 probetas con dosificaciones de 15%, 20% y 25% de agregado reciclado. En la fase de elaboración del concreto se determinó la trabajabilidad del concreto fresco. A continuación, se halló la resistencia a la compresión de las probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días de curado. Con respecto a la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregados reciclados al 15%, 20% y 25% se realizaron pruebas a los 7, 14 y 28 días, el resultado fue favorable, superando el 3% la resistencia de probetas elaboradas con agregados naturales, a excepción de las probetas ensayadas a los 14 días con el 20% de agregados reciclados, no superaron el 3% de la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregados naturales.

**Palabras clave:** método de combinación de agregados, agregados naturales, agregados reciclados, resistencia a la compresión.

## ABSTRACT

The objective of this research is to determine the resistance of concrete  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> made with recycled aggregates from replacing the deteriorated slabs of the roads of the city of Cajamarca, these materials as substitutes for natural aggregate in the production of concrete for pavements. For this reason, several tasks were carried out: crushing of the recycled concrete using a crusher, then the physical-mechanical properties of the aggregates were specified, then the mix design was elaborated using the aggregate combination method; followed, 72 specimens were made with dosages of 15%, 20% and 25% recycled aggregate. In the concrete manufacturing phase, the workability of fresh concrete was determined. Next, the compressive found of the concrete specimens was established at 7, 14 and 28 days of curing. Regarding the compressive strength of specimens made with recycled aggregates at 15%, 20% and 25%, tests were carried out at 7, 14 and 28 days, the result was favorable, exceeding 3% the resistance of specimens made with natural aggregates. except for the specimens tested at 14 days with 20% recycled aggregates, they did not exceed 3% of the compressive strength of specimens made with natural aggregates

Keywords: aggregate combination method, natural aggregates, recycled aggregates, compressive strength

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En cualquier parte del mundo las infraestructuras que realiza el hombre, necesarias para favorecer a unos o a la población en general, provocan daño en el medio ambiente, incrementa el deterioro de la huella ecológica a nivel global, impacta al ambiente, es la resultante del proceso constructivo de cualquiera de las obras de infraestructura, debido a que cualquiera de estas utilizan diversos materiales para su elaboración, están compuestos con agentes tóxicos que deterioran la capa de ozono y contaminan el aire. Así mismo, su elaboración demanda de materias primas, su extracción produce el agotamiento de los recursos renovables, y no renovables; por lo tanto, para prevenir o mitigar el impacto ambiental es indispensable realizar el control del consumo de recursos, reducir las emisiones contaminantes, y realizar la correcta gestión de los residuos que se generan en el proceso constructivo (Monroy, 2018); el mismo investigador añade, que la industria de la construcción y las demoliciones generan más volumen de residuos, estima en más de una tonelada por habitante cada año.

Según el INEI (2009), la provincia de Cajamarca experimentó durante el período de los años 1993 y 2007, el mayor incremento poblacional (37,4%), creciendo a un ritmo promedio anual de 2,3%, equivalente a 6 150 habitantes por año. Esta tendencia aún se mantiene: en el año 2021 esta ciudad capital del departamento contaba con 245 137 habitantes (INEI, 2022). Este crecimiento poblacional y económico producido en décadas recientes han influido también en el sector de la construcción; empero, al mismo tiempo añadió efecto negativo al medio ambiente por el notable incremento de residuos sólidos que genera por la demolición de las vías públicas que han cumplido con su vida útil y de edificaciones, las que generan impacto negativo al medio ambiente. Hasta la fecha, las instituciones competentes no han determinado

lugares destinados exclusivamente para su disposición, evidenciando falencias las autoridades municipales hasta la fecha no han implementado un sistema de gestión ambiental. Las serias falencias respecto al manejo de estos residuos, impacta al medio ambiente con el consiguiente perjuicio para la salud de la población, no obstante que en nuestro país existe la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos; que fue modificada a través del Decreto Supremo N° 019-2016-VIVIENDA (Decreto Supremo que modifica el Reglamento para la gestión y manejo de los residuos de las actividades de la construcción y demolición), el que fue aprobado por Decreto Supremo N°003-2013-VIVIENDA. Esta norma dice: "...cumplimiento obligatorio para toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro del territorio nacional". (Artículos 3.- Ámbito de aplicación). Es evidente que está siendo desacatada.

Esta investigación se orientó a tratar de responder a la pregunta del problema, ¿Cuál es la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados de vías, en la ciudad de Cajamarca, 2021? En correspondencia, el objetivo general fue determinar la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados de vías, en la ciudad de Cajamarca, 2020; los objetivos específicos fueron: a). Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados convencionales y agregados reciclados; b). Determinar la resistencia a compresión de un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregado convencional; c). Determinar la resistencia a compresión de un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con agregado reciclado en porcentajes de 15 %, 20 % y 25 %; d). Evaluar la resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados respecto al concreto con agregado convencional.

A su vez, la hipótesis planteó que: "La resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados de vías, aumenta más del 3% respecto a la

resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados convencionales”.

En este contexto, la presente investigación se torna importante porque contribuye a enriquecer los conocimientos sobre el tema, así mismo coadyuva a motivar el uso de agregados reciclados, pues la investigación demostró que es posible sustituir los agregados naturales por agregados reciclados producto de la demolición de vías urbanas deterioradas, para producir nuevo concreto hidráulico, para ello los agregados deben ser sometidos al proceso de selección y tratamiento para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

En todo nuestro planeta la contaminación ambiental va en aumento, ante lo cual los países vienen trabajando en la mitigación de tan grave problema que afecta a nuestro planeta a través del agua, suelo y aire, por ende, a la supervivencia de todas las formas de vida de nuestro planeta. A nivel de las ciudades, al margen del tamaño que tengan, existen problemas específicos, como es el caso presente que se refiere a los escombros de concreto de los pavimentos rígidos de vías deterioradas. Estos desechos pueden aprovecharse en nuestro país, con el consiguiente efecto positivo al ambiente, replicando algunos de los métodos exitosos de gestión desarrollados en diversos países de la región.

##### **2.1.1. Internacionales**

Sobre el tema existen varias investigaciones, para el presente estudio se consideró las siguientes: Agreda & Moncada (2015), realizaron la investigación sobre la viabilidad en la elaboración de prefabricados en concreto usando agregados gruesos, reciclados, diseñando tres tipos de mezcla, reemplazando por agregado grueso reciclado en porcentajes del 25%, 50% y 70% por ciento. Obteniendo como resultado que la resistencia a la compresión en los tres tipos de mezcla fue favorable, ya que en cada una de ellas se registraron valores iguales o superiores a los 28 MPa, la mezcla con el 70% de agregado se destaca de las otras, ya que en los periodos de curado evaluados (7,14 y 21 días) se mantuvo constantemente en rangos superiores a los obtenidos al ensayar la muestra testigo, alcanzado hasta un 8% de diferencia.

Bedoya C. y Dzul L. (2015), determinaron la resistencia a la compresión de concreto a los 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días empleando agregados reciclados obtenidos de escombros de concreto.; porosidad, velocidad de pulso ultrasónico y carbonatación; costo económico en comparación con un concreto convencional; y una reseña de las políticas públicas de Construcción Sostenible y aprovechamiento de escombros formuladas en Medellín, Colombia. Llegando a obtener como resultados en la resistencia a la compresión y las medidas de velocidad de pulso ultrasónico en algunas mezclas en el orden del 98 % de la mezcla de referencia; así mismo la mezcla confeccionada con 100 % de agregados reciclados, mostró una diferencia en cuanto a la profundidad de carbonatación de tan solo 0.7 mm con respecto a la mezcla de referencia para una edad simulada de 27 años. Los resultados obtenidos con sustituciones de agregados naturales por agregados reciclados gruesos y finos en porcentajes del 25 %, 50 % y 100 %, y el avance en los lineamientos político-administrativos de la municipalidad en los once años recientes, permiten deducir la posibilidad de confeccionar concretos estructurales y no estructurales para uso masivo en la construcción.

Flores et al., (2019), presentan la investigación sobre las propiedades físicas y mecánicas de un agregado grueso reciclado obtenido de partículas de adoquines, testigos y escombros de concreto triturado mediante una trituradora de impacto. Métodos: Se realizó estudio de casos-controles, con diseño experimental. Resultados: Se diseñó dos mezclas de control y tres mezclas utilizando RCD como agregado grueso siendo sustituidos: el 100% del tamaño máximo nominal, el 35% de agregado grueso y el 100% de agregado grueso. La muestra contó con 36 testigos de concreto, de los cuales 18 eran cilíndricos de 6” de base por 12” de altura puestos a prueba de compresión bajo la normativa ASTM-C39 y 18 prismáticos de 6”x6”x21” evaluados a flexión. Conclusión: La mezcla #3 con 100% de sustitución es óptima, ya que cumple con propiedades físicas y mecánicas. Este tipo de concreto tiene criterio de sostenibilidad con potencial de protección al medio ambiente.

Mendoza, I. y Chávez, S. (2017), su investigación tuvo como objetivo demostrar la factibilidad de reutilización de residuos de construcción y demolición, como agregados de concreto nuevo, con base en la ASTM International y NMX vigentes, para aplicarse en obras civiles con consumos de cementos bajos hasta  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  y disminuir el impacto ambiental generado por su inadecuado manejo. Por lo que se prepararon cilindros de concreto para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del concreto. Los resultados mostraron que los agregados, producto del reciclaje de concreto premezclado, producen concretos reciclados clase dos, los que se pueden utilizar en obras de construcción, tales como: banquetas, guarniciones, plantillas de concreto pobre, pisos de casa habitación, canchas deportivas debido a la baja resistencia obtenida en los ensayos a compresión.

Fonseca, E. (2019), en su trabajo de investigación realizó un comparativo entre mezclas de concreto con Agregados Naturales (AN), y con Agregados Reciclados (AR) de piezas de prefabricados de concreto, obtenidos en la ciudad de Bogotá. Realizando ensayos de compresión de cilindros de Concreto con Agregado Reciclado (CAR), con 25, 50, 75% y 100% de contenido de (AR) y Concretos con Agregados Naturales (CAN). Se usó la misma cantidad de cemento y relación a/c para todos los concretos, encontrando mejores resistencias en los reemplazos del 100% de (AR), que las en las mezclas de control (CAN). Por este motivo, y observando un mejor comportamiento en las mezclas Presaturadas-Sumergidas PS, se optó por tomar este tipo de mezcla y verificar si una mezcla con 16% de cemento cumplía la UF. Finalmente, se analizaron tres mezclas: CAN-PS, 100%-PS y 100%-PS (-16%). El ACV arrojó que las mezclas 100%-PS y 100%PS (-16%), presentan una reducción de los indicadores de impacto considerables, y que el consumo de materias primas naturales es un 40% inferior a la de los CAN-PS.

### 2.1.2. Nacionales

Parillo, E. & Camargo, C. (2015), desarrollaron su investigación respecto a la reutilización de residuos sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el distrito de Juliaca, Puno, empleando en sus ensayos agregado reciclado compuesto por concreto triturado. Las propiedades mecánicas del concreto endurecido para la mezcla de Agregado Natural 50% - Agregado Reciclado 50% - A.F. para un diseño de mezcla de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días un  $f'c = 255 \text{ kg/cm}^2$ , superando la resistencia de diseño. Además, se comprobó que el agregado reciclado absorbe mucha agua, el agregado grueso reciclado es de 6,55% de agua en cambio del agregado grueso natural de 1,78% de agua; ello se debe a que el agregado reciclado tiene una mayor porosidad en su estructura.

Sumari, J. & Carlos, J. (2016), en su investigación evaluaron el concreto de mediana a alta resistencia elaborado con residuos de concreto y cemento Portland tipo I, tuvo por objetivo el estudio de las propiedades físico-mecánicas del agregado reciclado (fino y grueso). Obteniendo como resultados: El concreto reciclado en estado fresco: disminuye su peso unitario un 5%, aumenta su fluidez un 15%, aumenta su contenido de aire un 23%, aumenta la exudación un 4%, disminuye su tiempo de fragua inicial un 6%, disminuye el tiempo de fragua final un 2,5%. Con respecto a las propiedades del concreto en estado endurecido; las variaciones de la resistencia a la compresión axial del concreto reciclado para un contenido de cemento de  $445 \text{ kg/m}^3$  son: a los 7 días disminuye un 8,9%, a los 14 días 5,2%. a los 28 días 2,7%, sin embargo, a los 56 días aumenta un 4%.

Machaca, E. (2018)., a través de su investigación para obtener el grado de Doctor, determinó que la producción de agregado reciclado, es una alternativa para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, se realizó una evaluación

de los focos de depósitos con residuos de construcción, luego se evaluó el impacto ambiental de los residuos sobre las componentes ambientales. Los resultados reportan un alto nivel de impacto ambiental en Cambio del Uso Actual del Suelo y Afectación del Paisaje Visual; el Valor Numérico del Paisaje Visual de los RCD depositados en la Ciudad de Tacna-2017 en promedio es de: 0,75, Valor nominal: Bajo y Adjetivo: Pésimo. Los ensayos de briquetas a compresión mostraron que a los 28 días con agregado grueso reciclado de 20% alcanzó 111,43%, con 50% el 104,43% y con 100% el 97,24%; de la resistencia requerida de 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que se puede concluir que el concreto con agregados reciclados pueden ser usados como concreto estructural en obras civiles y es una razón para mitigar el impacto ambiental.

### **2.1.3. Locales**

Mosqueira, C. (2019), en su trabajo de investigación tuvo como objeto determinar el efecto del tiempo de exposición al CO<sub>2</sub>, del concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en profundidad de carbonatación y resistencia a compresión. Se determinó la resistencia a compresión del concreto y al comparar los resultados obtenidos con testigos patrón, las muestras recubiertas mostraron inicialmente una tendencia creciente hasta en un 13%, con respecto a la resistencia de la muestra patrón (o de diseño), posteriormente las acciones a las que está sometido el concreto por la inducción a CO<sub>2</sub> períodos más prolongados, generan disminución de pH volviéndolo ácido. El concreto en estas condiciones de labilidad alcalina generó que el concreto pierda progresivamente su resistencia, con lo que podemos afirmar que existe una fuerte relación entre la profundidad de carbonatación y la resistencia a la compresión del concreto, existiendo un efecto negativo, pues al aumentar la profundidad de carbonatación disminuye la resistencia a la compresión del concreto en tiempos prolongados por cada 30 días de exposición.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Definición de Concreto**

El concreto es la mezcla de cemento, arena, grava y gravilla (denominados, agregados), que al endurecerse forma un sólido compacto y luego de cierto tiempo está destinado a resistir frente a factores ambientales y esfuerzos. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 19)

### **2.2.2. Materiales que conforman el concreto**

#### **2.2.2.1. Cemento.**

Material aglutinante que tiene propiedades de adhesión y cohesión para conformar el concreto, su comportamiento depende de su composición química, grado de hidratación, velocidad de fraguado, calor de hidratación y la resistencia mecánica. (Niño, 2010, pp. 2-3)

#### **2.2.2.2. Agua.**

El agua es un líquido capaz de desarrollar la hidratación y hacer que se desarrollen sus propiedades aglutinantes del cemento. Al realizar la mezcla con el cemento se produce la pasta. Cuando se endurece la pasta debido al fraguado, una parte del agua permanece en la estructura rígida de la pasta (agua de hidratación), y el resto de agua se evapora. (Niño, 2010, p. 3)

#### **2.2.2.3. Aire.**

El aire es una sustancia que se halla atrapada en el proceso de mezclado, el cual es inevitable y posteriormente liberado por los procesos de compactación después de colocado. (Niño, 2010, p. 3)

#### **2.2.2.4. Agregados.**

Los agregados son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. Que conforman el 70% en un concreto normal. (Abanto, 2009)

### **2.3. Clasificación de los agregados para concreto**

Los agregados para concreto se clasifican de la siguiente manera:

#### **2.3.1. Por su tamaño**

Los agregados por su tamaño se clasifican en:

Agregado fino. Producto de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (N°200). (NTP 400.037, 2014).

Agregado grueso. Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca. (NTP 400.037, 2014).

#### **2.3.2. Según su procedencia**

Agregados naturales

Son los agregados que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o de glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden usar con su tamaño real o triturado. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 69)

Agregados artificiales Se obtienen a partir de procesos industriales. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 70).

### 2.3.3. Según la densidad de los agregados

Se emplea para obtener concreto ligero, concreto normal y concreto pesado.

*Tabla 1*

*Tipos de los agregados según su densidad*

Concreto	PU aprox. del concreto kg/m <sup>3</sup>	PU aprox. Agregado kg/m <sup>3</sup>	Uso	Ejemplo
	500 – 800	60 - 480	Para aislamientos	
Concreto Ligero	950 – 1350	480 - 1040	Para relleno y mampostería no estructural	Piedra pómez
	1450 – 2000		Estructural	Perlita
Concreto Normal	2000 – 2450	1300 - 1600	Estructural y no estructural	Agregados de río o triturado
Concreto Pesado	2450 – 5600	3400 - 7500	Concreto para defensa contra radiación	Piedra barita, magnetita.

*Fuente:* (Sánchez de Guzmán, 2016)

### 2.3.4. Según su forma y textura

De acuerdo a su forma los agregados alargados y aplanados pueden afectar algunas propiedades de la mezcla como la trabajabilidad, resistencia y duración, debido a que estas partículas al momento de mezclado se orientan en un solo plano dificultando la trabajabilidad, esto traería como consecuencia posible

La textura superficial de las partículas de los agregados tiene un gran impacto en la manejabilidad y en la adherencia de la pasta con los agregados afectando principalmente en la resistencia a flexión.

## **2.4. Propiedades de los agregados**

Las propiedades de los agregados nos permiten evaluar su calidad y aporte al concreto, es posible conocer sus propiedades por medio de ensayos normalizados en laboratorio, determinados por las normas, tales como el NTP y ASTM.

### **2.4.1. Granulometría**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen los agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 72). La granulometría se evalúa mediante husos granulométricos (rango de variación de la gradación de los agregados) establecidos en las normas.

#### **2.4.1.1. Análisis granulométrico agregado fino.**

La distribución del tamaño de las partículas se determina por separación de agregado de igual tamaño con una serie de mallas normalizadas. (Abanto, 2009). La NTP 400.037:2014 especifica el huso granulométrico para agregado fino en concordancia con la norma, ASTM C33. Donde el agregado fino no tendrá más del 45% en dos mallas consecutivas, y un módulo de fineza entre 2,3 y 3,1.

Los agregados finos que no cumplan con las gradaciones especificadas, la norma permite el uso, si garantiza que el material producirá concreto de resistencia requerida.

**Tabla 2**

**Uso granulométrico del agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (N° 4)	95 – 100
2,36 mm (N° 8)	80 – 100
1,18 mm (N° 16)	50 – 85
600 µm (N° 30)	25 – 60
300 µm (N° 50)	5 – 30
150 µm (N° 100)	0 – 10

*Fuente:* NTP 400.037-2016

**2.4.1.2. Análisis granulométrico agregado grueso**

Es el procedimiento de distribución de partículas de igual tamaño en las mallas normalizadas para el agregado grueso.

**2.4.1.3. Factores que derivan del análisis granulométrico**

Estos factores influyen en la determinación de cantidad de agregados para diseño de concreto son:

**Módulo de finura**

Es un indicador que diferencia que tan fino o grueso es un agregado. Se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie “estándar” en relación 1:2, desde el tamiz N°100 en adelante, hasta el máximo tamaño que se encuentre dividido por 100. Mientras menor es su valor significa que es más fino el material. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 78)

**Tamaño máximo**

Es la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 78)

### **Tamaño máximo nominal**

Es la abertura del tamiz que produce el primer retenido entre 5% y 10%. (NTP 400.037, 2014)

### **2.4.2. Textura**

Propiedad intrínseca del agregado, es su textura superficial influye en las propiedades del concreto, especialmente en la adherencia entre partículas del agregado y la pasta de cemento. Se clasifica de acuerdo a la textura superficial de los agregados, se pueden presentar de forma lisa (agregados redondeados) o áspera (agregados triturados), ligados a su dureza, forma y estructura. (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 94)

### **2.4.3. Peso específico del agregado grueso**

#### **2.4.3.1. Peso específico de masa**

El peso específico de masa del agregado grueso es la relación de masa seca en el aire por cada el volumen unitario (incluye los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas) (NTP 400.021: 2013).

#### **2.4.3.2. Peso específico de masa saturada superficialmente seca del agregado grueso (SSS)**

Se define como la relación, de la masa en el aire por cada volumen unitario (incluye la masa del agua atrapada en los poros después de haberse sumergido (pero no incluye los poros entre partículas) (NTP 400.021:2013).

#### **2.4.3.3. Peso específico aparente del agregado grueso**

Es la relación, de la masa en el aire por un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua (NTP 400.021:2013).

#### **2.4.4. Absorción del agregado grueso**

Es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua durante un periodo definido (pasa de un estado saturado con superficie seca a seca al horno), se obtiene de la cantidad de agua absorbida (libre el agua de la superficie), en relación al peso seco (NTP 400.021:2013, 2018).

#### **2.4.5. Peso unitario de los agregados**

Peso del material en relación al volumen unitario (incluye espacios vacíos entre partículas), siendo un valor importante en la conversión de pesos a volumen y viceversa (NTP 400.017, 2011). De acuerdo a como se acomoda el material (suelto o compactado) se relaciona su masa por unidad de volumen, útil para conversiones de mediciones en campo; su denominación será Peso Unitario Seco Suelto (PUSS).

#### **2.4.6. Contenido de humedad.**

Definida como la cantidad de agua que contiene de forma natural en los poros o capilares que están interconectados con la superficie, que permiten saturar los mismos y quedar retenida formando una película adherida a las mismas (NTP 339.185:2013).

#### **2.4.7. Material que pasa el Tamiz N° 200**

Se define a la cantidad de materiales más finos que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200), a las partículas como arcillas y otras partículas finas del agregado que son dispersas por el agua, así como los materiales solubles en aguas (NTP 400.018, 2002). Según (ASTM C33/C33M-18, 2018) el máximo material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) será de 5.0% para agregado fino en concretos no sujeto a la abrasión.

#### **2.4.8. Resistencia a la Abrasión**

Oposición ante fuerzas de impacto, desgaste y frotamiento que presenta los agregados, de forma mecánico o hidráulico, es inversamente proporcional a la cantidad de material fino. El desgaste se define al porcentaje de material perdido en relación a la muestra original. Se determina mediante la Prueba de los Ángeles que permite conocer la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para estructuras, según (NTP 400.019, 2002) este ensayo se realiza a agregados gruesos de tamaños menores que 37.5 mm (1 ½ pulg) en la maquina los Ángeles a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones, para realizar la separación en el tamiz 1.70 mm (Nº 12), lavar y secar al horno.

### **2.5. Propiedades del Concreto Fresco**

#### **2.5.1. Manejabilidad**

Se define como la capacidad del concreto en estado fresco para ser mezclado, manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, su evaluación depende de facilidades manuales o mecánicas que se disponga en la etapa de mezclado (Sánchez de Guzmán, 2016).

#### **2.5.2. Consistencia**

Propiedad del concreto en estado fresco referida a la humedad de la mezcla y su grado de fluidez (seca o fluida), la humedad de la mezcla es proporcional a la facilidad de colocación en estructuras.

La consistencia del concreto se mide a través de la prueba de “slump”, mientras más agua tiene la mezcla el asentamiento en la prueba de slump será mayor, según (NTP 339.035, 2009) mientras más fluido es la consistencia del concreto su resistencia disminuye.

### **2.5.3. Segregación**

(Abanto, 2009). La segregación es la separación de sus constituyentes (separación del agregado grueso del mortero), es una propiedad del concreto en estado fresco que depende de factores como la selección de proporciones, trabajabilidad, colocación. La segregación se relaciona directamente con la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más húmeda es, y menor cuanto más seca. La segregación se le puede notar cuando el concreto después de colocado y fraguado presenta bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejas. Etc.

### **2.5.4. Exudación o sangrado**

La exudación o sangrado es el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie producto de la sedimentación del material sólido, ocurre momentos después de la colocación del concreto (Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2009)

### **2.5.5. Durabilidad**

La durabilidad es capacidad del concreto para resistir ante acciones externas (intemperie), acciones químicas, desgaste a lo largo del tiempo. La principal acción a la que está expuesta el concreto es a ciclos de congelación y descongelación (Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2009). La durabilidad del concreto depende de su impermeabilidad, pudiendo aumentarse con el uso de aditivos incorporadores de aire o aplicando un revestimiento protector en la superficie del concreto expuesto.

### **2.5.6. Impermeabilidad**

Es la oposición a que un fluido atraviese y alterar sus propiedades, la impermeabilidad en el concreto se puede mejorar reduciendo la cantidad de agua en la mezcla, que durante el proceso de fraguado el agua se evapora dejando vacíos y cavidades interconectadas, también

se puede mejorar con la inclusión de aire (burbujas diminutas) y un curado adecuado. La impermeabilidad del concreto tiene una relación directa con su resistencia (Abanto Castillo, Tecnología del Concreto, 2009).

### **2.5.7. Contenido de aire**

Es la cantidad de aire atrapado de los agregados formando burbujas dentro del concreto, se origina en el proceso de mezclado o puede ser intencionalmente incorporado en aditivos. Según (Niño, 2010) la cantidad de aire atrapado de un concreto sin agentes inclusores varía de 1% al 2% del volumen de la mezcla, y aditivos varía de 4% al 8%. La cantidad de aire depende de dos factores: la cantidad de material que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N°200) y la materia orgánica. El material que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N°200), en forma de arcilla, reduce el contenido de aire en el concreto y cuando existe materia orgánica contenida en los agregados ayuda a atrapar burbujas de aire que son indeseadas y aumentar la capilaridad del concreto (Niño, 2010).

### **2.5.8. Peso unitario**

Peso del material en relación al volumen unitario (incluye espacios vacíos entre partículas), siendo un valor importante en la conversión de pesos a volumen y viceversa (NTP 400.017, 2011). De acuerdo a como se acomoda el material (suelto o compactado) se relaciona su masa por unidad de volumen, útil para conversiones de mediciones en campo; su denominación será Peso Unitario Seco Suelto (PUSS) y Peso Unitario Seco Compacto (PUSC).

$$M = (G - T) / V \dots (1)$$

Dónde:  $M$  = Densidad de masa del agregado,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$G$  = Masa del agregado más recipiente,  $\text{kg}$ .

$T$  = Masa del recipiente,  $\text{kg}$ .

$V$  = Volumen del recipiente,  $\text{m}^3$ .

La densidad de masa determinada por este método es para un agregado en condición secada en estufa.

## **2.6. Propiedades del Concreto Endurecido**

### **2.6.1. Resistencia a Compresión**

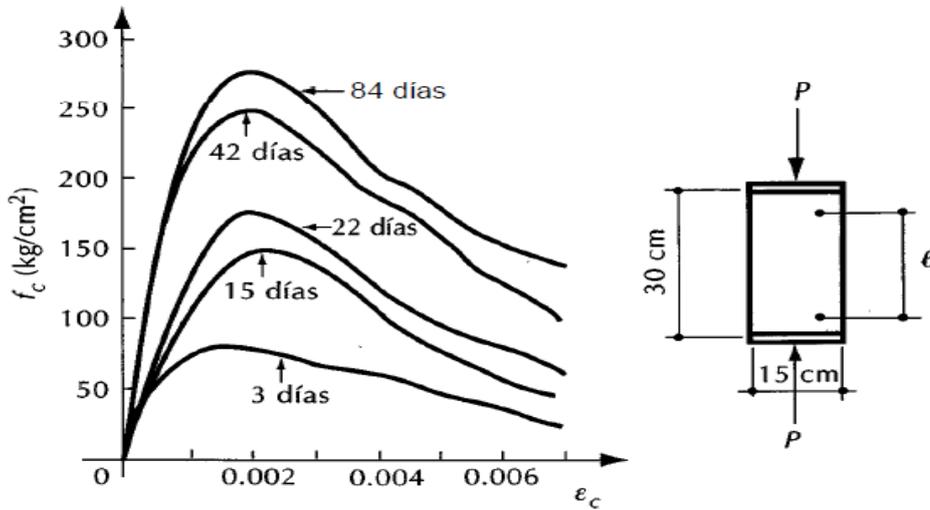
Se define como la capacidad que tiene el concreto de soportar cargas y esfuerzos, la resistencia del concreto no puede obtener en condición plástica, por lo que la normativa recomienda realizar muestra durante el mezclado las cuales después de curadas en un tiempo determinado, generalmente 28 días se someten a pruebas de compresión. (Abanto, 2009) define a la resistencia a compresión como el máximo esfuerzo que puede soportar un material sin romperse (agrietamiento, rotura).

La resistencia a la compresión se determina mediante el ensayo de compresión de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C39/NTP 339.034)

Las probetas cilíndricas normalizadas deben tener un tamaño de 6 x 12 o 4 x 8 pulgadas, o una relación mayor a 1.75 de su longitud con el diámetro, además que el diámetro del cilindro debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

**Figura 1**

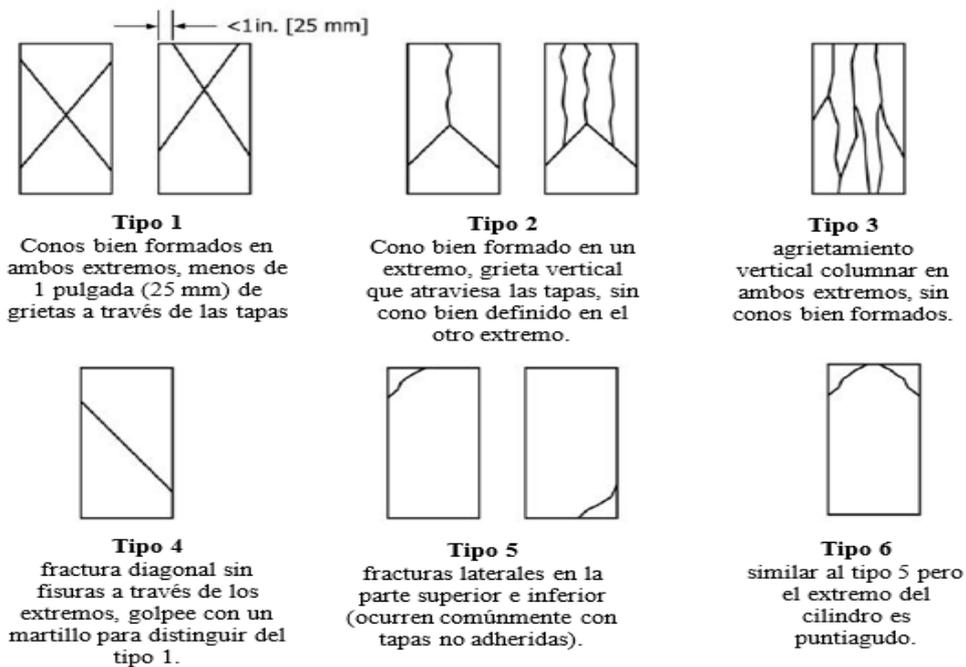
**Incremento de la resistencia en relación a la edad**



Fuente: (Gonzales Cuevas & Robles Fernández-Villegas, 2005)

**Figura 2**

**Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura en cilindros de concreto**



Fuente: (Abanto, 2009)

## **2.7. Diseño de Mezclas**

El diseño de mezclas de concreto es la selección y determinación de proporciones de sus componentes; cemento, agua, agregados y alguna cantidad de aire atrapado o incluido intencionalmente, determinando sus cantidades relativas para producir económicamente un concreto con las propiedades deseadas.

Las proporciones dependen de las propiedades y características de los componentes, de las propiedades particulares del concreto requerido y de las condiciones que se produce y coloca (Sánchez de Guzmán, 2016, p. 221). Existen diversos métodos para las proporciones de los componentes del concreto, para este estudio se utilizará el método de combinación de agregados.

### **2.7.1. Método de combinación de agregados.**

El procedimiento que se utilizó para el diseño de mezclas es el siguiente:

#### **2.7.1.1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los de los agregados.**

#### **2.7.1.2. Cálculo del TMN (Tamaño máximo nominal).**

El Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma E.060 menciona que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:

- $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado.
- $1/3$  de la altura de la losa, de ser el caso.
- $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales, paquetes de tendones o ductos.

### 2.7.1.3. Determinación de la resistencia promedio: $f'_{cr}$ .

Es determinada en función al grado de control de la uniformidad y de la calidad del concreto. En la tabla 3, para la determinación de la resistencia requerida promedio se considera las relaciones siguientes:

**Tabla 3**

**Resistencia requerida promedio**

Condiciones de la Ejecución de la obra	Relación aproximada $f'_{cr}/f'_c$
Excelentes	1.15
Intermedias	1.20 a 1.25
Corriente	1.35 a 1.60

Fuente: *Comité 318 ACI (2019)*

### 2.7.1.4. Cálculo del Asentamiento – Revenimiento – Slump (seca, plástica o fluida).

La relación Consistencia – Asentamiento se determina según la tabla 4.

**Tabla 4**

**Relación: Consistencia – Asentamiento**

Consistencia	Asentamiento
Seca	0 – 2”
Plástica	3” – 4”
Fluídica	5” a más

Fuente: *Comité 318 ACI (2019)*

**Tabla 5**

**Asentamiento según el tipo de construcción**

Tipos de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	3"	1"
Columnas de edificios	3"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	3"	1"

Fuente: *Comité 318 ACI. (2019)*

**2.7.1.5. Cálculo del contenido de aire**

En el concreto siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación, granulometría y tamaño máximo del agregado. La tabla 6 da el porcentaje de aire atrapado en mezclas sin aire incorporado.

**Tabla 6**

**Contenido de aire atrapado**

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Fuente: *Comité 211 ACI (1991)*

### 2.7.1.6. Cálculo de la relación a/c.

La relación agua - cemento, se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco. La selección de la relación agua – cemento por resistencia se hace partiendo del criterio de que esta propiedad es la más fácil de medir y que, dentro de ciertas limitaciones, está regulada por la relación de la cantidad de agua a la cantidad de cemento en la unidad cúbica de mezcla. En la tabla 7 se indica la relación agua – cemento teniendo en cuenta la incorporación o no incorporación del aire, de acuerdo a la resistencia del concreto.

**Tabla 7**

**Relación agua - cemento por resistencia**

f'cr (28 días)	Relación agua – cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	....
450	0.38	....

Fuente: *Comité 211 del ACI (1991)*

\*La resistencia corresponde a ensayos en probetas cilíndricas de estándar de 15 cm × 30 cm, preparadas y curadas de acuerdo a la norma ASTM C31.

\*La relación a/c se basa en TMN comprendidos entre 3/4” y 1” . La resistencia producida por una relación a/c dada deberá incrementarse conforme el TMN disminuye.

**2.7.1.7. Factor cemento = Agua / (6).**

**2.7.1.8. Cantidad de cemento (bls.) = (7)/ 42.5 Kg.**

**2.7.1.9.  $\Sigma$  Vol. Abs. = Vol. Cemento + Vol. Aire + Vol. Agua.**

**2.7.1.10. Volumen de Agregados = 1 – (9).**

**2.7.1.11. Cálculo del Módulo de fineza de la combinación de agregados ( $m_c$ ).**

**2.7.1.12. Cálculo del porcentaje de Agregado fino, mediante la fórmula.**

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$$

$m_c$  : Módulo de fineza de la combinación de agregados.

$m_f$  : Módulo de fineza del agregado fino

$m_g$  : Módulo de fineza del agregado grueso

$r_f$  : Porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

$r_g$  : Porcentaje del agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Cumpléndose que:  $r_f + r_g = 1$

**Tabla 8**

**Módulo de finura de la combinación de agregados**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/metro cubico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: *Comité 211ACI (1991)*

\* Los valores de la tabla están referidos a agregado angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

\*Los valores de la tabla corresponden a concretos sin aire incorporado.

**2.7.1.13. Cálculo del porcentaje del agregado grueso, mediante la fórmula:**

$$r_g = (1 - r_f) \times 100$$

**2.7.1.14. Cálculo de los Pesos Secos de los Agregados.**

$$\text{Peso Seco}_{A.F.} = \text{Vol. A.F.} \times \text{P.E.} \times 1000$$

$$\text{Peso Seco}_{A.G.} = \text{Vol. A.G.} \times \text{P.E.} \times 1000$$

Dónde: P.E.: Peso Específico de masa del agregado fino

### **2.7.1.15. Corrección por Humedad de los Agregados.**

$$A.F. = \text{Peso Seco} (1 + \% \text{ C.H. AF./100})$$

$$A.G. = \text{Peso Seco} (1 + \% \text{ C.H. AG./100})$$

Dónde:

% C.H. AF.: Porcentaje del Contenido de Humedad del agregado fino

% C.H. AG.: Porcentaje del Contenido de Humedad del agregado grueso

### **2.7.1.16. Humedad Superficial.**

$$A.F. = \% \text{ C.H.} - \% \text{ Abs} +$$

$$A.G. = \% \text{ C.H.} - \% \text{ Abs}$$

Aporte de humedad

### **2.7.1.17. Agua Efectiva = Agua Diseño – Aporte de humedad.**

### **2.7.1.18. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> corregida por Humedad.**

## **2.8. Concreto Reciclado**

Según la NTP 400.050-2007, el concreto reciclado es un concreto cuyos agregados provienen parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje.

Por lo tanto, se colige que el reciclaje del concreto logrado mediante la trituración mecánica, la tecnología es accesible y es relativamente económica. Según información pública, esta labor está siendo realizada en diferentes países: tanto en los desarrollados y en países denominado en vías de desarrollo; es posible lograr considerables incrementos en las tasas de

recuperación en algunos países con mayor apoyo del público a los agregados reciclados y una reducción en las ideas equivocadas e ignorancia sobre sus posibles usos. Klee, (2009).

### **2.8.1. Agregados reciclados**

Para Amorós, (2020), el excedente de Obra son todos los materiales de construcción, que resultan sobrantes durante la ejecución de la obra, y los divide en: reutilizables, reciclables y para disposición final. También, indica que la Asociación de Residuos Sólidos de Norteamérica (SWANA) clasifica a los residuos de construcción y demolición en cinco grupos:

- a) Carreteras: materiales bituminosos, concreto asfáltico y relleno de tierra;
- b) Tierra excavada: arena y piedras;
- c) Demolición del edificio: escombros mixta, hormigón, componentes de acero, ladrillos, madera, etc.;
- d) Construcción y renovación: madera, tableros de pared, conductos, tuberías, etc.;
- e) Limpieza del terreno: árboles, tierra, restos de mezclas de concreto, etc.

En relación al tema, la International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures – RILEM (2020), señala que el agregado grueso (> 4 mm), el agregado reciclado se puede dividir en las siguientes tres categorías:

- a) RCAC Tipo I - escombros originalmente provenientes de mampostería,
- b) RCAC Tipo II: escombros originalmente procedentes de hormigón,
- c) RCAC Tipo III - una mezcla de agregados naturales y reciclados.

### **2.8.2. Beneficios del concreto reciclado**

Ventajas principales del reciclaje del concreto:

- Reduce la utilización de nuevos agregados vírgenes y los costos ambientales de explotación y transporte.
- Disminuye el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados.

Además, existen otros beneficios clave del concreto reciclado:

- Reducción de desechos en vertederos de basura y degradación de la tierra.
- Sustitución de recursos vírgenes y reducción de los costos ambientales asociados a la explotación de recursos vírgenes.
- Reducción de los costos de transporte; puesto que a menudo, el concreto puede ser reciclado en los sitios de construcción y demolición.
- Buen desempeño de algunas aplicaciones debido a su buena compactación y propiedades; por ejemplo, como sub base vial. (Klee, 2009).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Metodología de la investigación

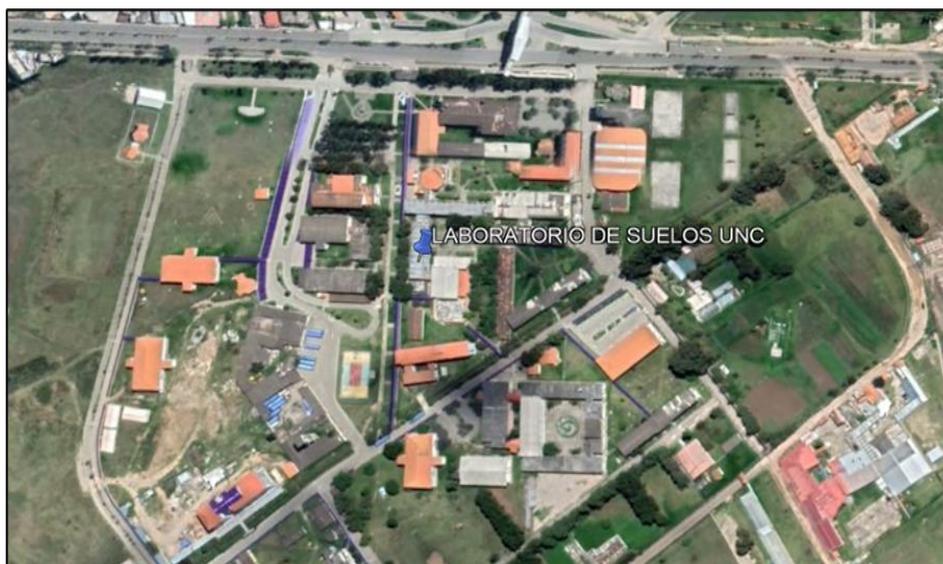
##### 3.1.1. Ubicación y descripción general de la zona de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el Departamento, Provincia y Distrito de Cajamarca, ubicado entre los paralelos  $4^{\circ}33'7''$  y  $8^{\circ}2'12''$  latitud sur, y entre los meridianos  $78^{\circ}42'27''$  y  $77^{\circ}44'20''$  longitud oeste.

Se utilizó el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la ciudad de Cajamarca (coordenadas UTM son 776593.49 E, 9207023.86, N zona 17 de acuerdo al DATUM WGS 84), distrito, provincia y departamento del mismo nombre; esta ciudad se encuentra a 2750 m.s.n.m., posee clima templado, seco, en la noche que varía de  $5^{\circ}\text{C}$  a  $19^{\circ}\text{C}$ .

#### *Figura 3*

##### *Ubicación del centro de investigación*



Fuente: *Google Earth Pro*

## ***Recolección de datos***

En primer lugar, se obtuvo la bibliografía sobre concreto reciclado, asimismo se revisaron las Normas Técnicas para luego obtener las propiedades físicas de los agregados y las propiedades mecánicas del concreto.

En el trabajo de campo se procedió a recolectar los agregados de río, de la cantera denominada “Roca fuerte”, ubicada en el distrito Baños del Inca, en las coordenadas UTM 17S, 779651.11 E, 9207549.18 N de acuerdo al DATUM WGS 84.

### **Figura 4**

#### ***Ubicación geográfica de la cantera “Roca fuerte”***



*Fuente: Google Earth Pro*

Del mismo modo, se recolectaron bloques de concreto demolido de la calzada ubicada en Jr. Progreso cdra. 2 del Barrio San Sebastián, luego se trasladó a la chancadora para proceder a su demolición y obtener los

agregados reciclados. La chancadora se encuentra ubicada en el distrito de Baños del Inca, de nombre “Aguilar”, encontrada en las coordenadas UTM 17S, 779906.16 E, 9208903.84 N de acuerdo al DATUM WGS 84.

**Figura 5**

*Demolición calzada Jr. Progreso cdra. 2 – Barrio, San Sebastián – Cajamarca*



**Figura 6**

*Ubicación geográfica de la chancadora “Aguilar”*



Fuente: *Google Earth Pro*

La muestra consta de 72 probetas de concreto. Se presenta la Tabla 9, en la que se indica en forma detallada el número de probetas elaboradas de acuerdo a cada dosificación de mezcla y los ensayos a realizar a los 7, 14 y 28 d.

**Tabla 9**

**Número de probetas de acuerdo con la dosificación de mezclas**

ESPECÍMENES	CANTIDAD POR EDAD		
	7 días	14 días	28 días
A* (°C patrón elaborado con 100 % de AN)	6	6	6
B* (°C elaborado con 15% de AR)	6	6	6
C* (°C elaborado con 20% de AR)	6	6	6
D* (°C elaborado con 25 % de AR)	6	6	6

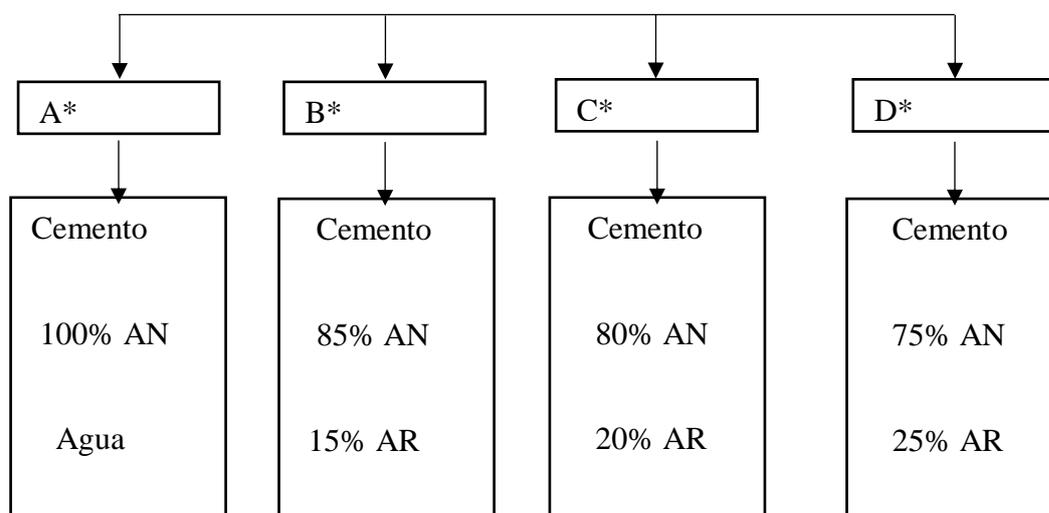
AN: Agregados naturales  
AR: Agregados reciclados

### 3.1.2. Tipos de Mezclas

**Figura 7**

**Tipos de mezclas**

Se empleó 4 tipos de mezclas



### **3.1.3. Métodos y técnicas.**

Se aplicó el método analítico sintético, en la parte experimental se usó el método hipotético deductivo y finalmente se aplicó las técnicas anotadas en las normas.

#### **3.1.3.1. Procedimiento experimental.**

- a.** En primer lugar, se determinó las propiedades físicas y mecánicas de los agregados (peso específico y análisis granulométrico) de acuerdo a lo especificado en las normas ASTM C33M-11 y NPT 400.037.
  - a.1** Luego se determinó el Peso específico y absorción, según lo especificado en la norma NTP 400.021 (basada en la ASTM C 127) para el agregado grueso y la NTP 400.022 (basada en la ASTM C 128) para el agregado fino.
  - a.2** A continuación, se determinó el Peso unitario, de acuerdo a la norma NTP 400.017, basada en las normas ASTM C-29/ C-29M.
  - a.3** Se determinó el Contenido de humedad, empleando la norma NTP 339.185
  - a.4** El Análisis granulométrico se determinó de acuerdo a lo requerido por la norma NTP 400.012, basada en las normas ASTM C-136, AASHTO T-27.
- b.** El diseño de mezclas se realizó con el Método de Combinación de agregados.
- c.** Se le realizó el ensayo de trabajabilidad mediante el cono de Abrams. Para medir el revenimiento se procedió de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 339.035 basada en la ASTM C-143.

- d. *Se elaboraron las muestras patrón, siguiendo los procedimientos indicados en las normas NTP 339.033 basada en la ASTM C-31.*
- e. *Luego se elaboraron probetas con agregados reciclados en 15%, 20% y 25%.*
- f. *Finalmente se ensayaron las probetas a compresión axial, según la edad. Las edades seleccionadas fueron de: 7, 14 y 28 de acuerdo a la NTP 339.034 basada en la ASTM C-39.*

**3.1.3.2.** Análisis de datos Se realizó el análisis estadístico de los datos experimentales obtenidos, mediante la prueba de hipótesis con el fin de contrastar de la hipótesis formulada. Se empleó el software Excel y con los resultados se procedió al análisis y evaluación respectiva.

**3.1.3.3.** Los ensayos de compresión axial se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, utilizando la maquina universal cuya capacidad de carga es de 200 Tn.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

- Agregado fino.
- Agregado grueso.
- Agregado grueso reciclado.
- Cemento Pacasmayo Tipo I.
- Agua potable.
- Fotografías satelitales.

- Computador.
- Materiales de escritorio.
- Programas computacionales (Microsoft Office).

### **3.2.2. Equipos**

- Juego de tamices (1",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{1}{4}$ ", No 4, N° 10, N° 40, N° 60, N° 100, N° 200).
- Estufa.
- Trompo mezclador eléctrico de 180 lts.
- Cono de Abrams.
- Maquina Universal.
- Pobretas cilíndricas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados y análisis de la consistencia del concreto

Se realizaron ensayos para determinar la consistencia de la mezcla del concreto de los cuatro grupos experimentales, uno por cada grupo. Los resultados fueron:

*Tabla 10*

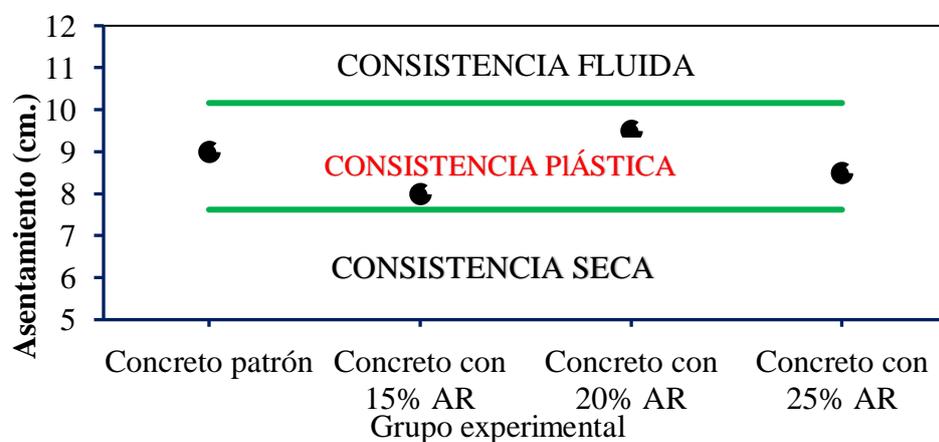
*Asentamiento del concreto, en cada grupo experimental*

Especímenes cilíndricos con	Concreto patrón	Concreto con 15% AR	Concreto con 20% AR	Concreto con 25% AR
Asentamiento (cm)	9	8.0	9.5	8.5

Con los datos de la tabla 10, se construye a figura 8, mostrando que no existen variaciones abismales en el asentamiento y la consistencia en cada grupo experimental al momento de realizar los especímenes cilíndricos de prueba.

*Figura 8*

*Asentamiento de la mezcla de concreto Vs. Grupo experimental*

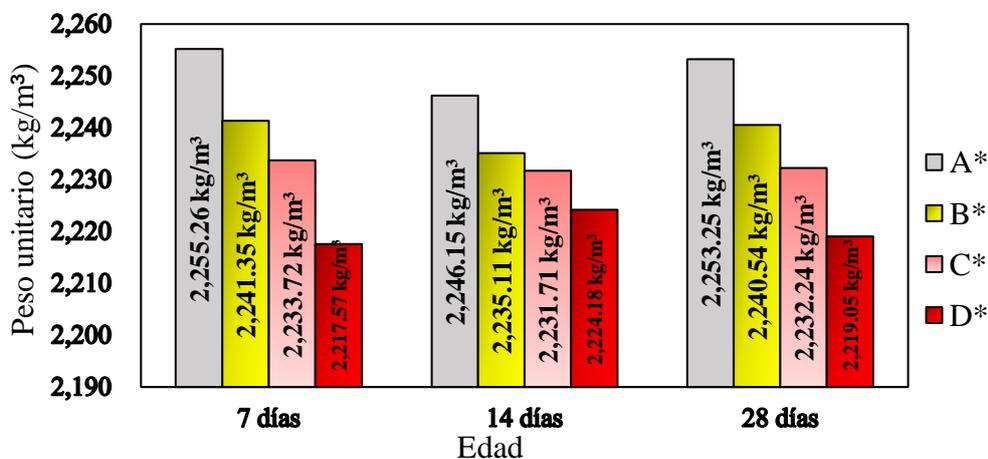


Como se observa en la Tabla 10 y la figura 8, las 4 tandas de concreto fresco presentan asentamientos similares; esto debido a que el diseño de mezcla no se está variando la cantidad de agua de amasado. Determinando de esta manera, que la mezcla para elaborar los especímenes cilíndricos de prueba de los 4 grupos experimentales fue plástica.

Según fuentes bibliográficas se considera que el agua no tendrá efecto secundario en la resistencia a compresión del concreto; siempre y cuando se mantenga y/o no exista variaciones considerables en la consistencia y la relación agua/cemento de diseño, al momento de elaborar la mezcla. Según los datos anteriores se puede verificar que ninguna de las tandas de concreto se ubicó fuera del rango plástico elegido al momento del diseño; por tal razón se considera aceptable y se garantiza que no existirán variaciones considerables en la resistencia a compresión del concreto por el exceso o defecto de agua en la mezcla al momento de elaborar los especímenes cilíndricos de los diferentes grupos experimentales. Densidad de masa del concreto en estado endurecido: se realizó para los diferentes grupos experimentales, de acuerdo a la NTP 400.037. Los resultados promedio por grupo experimental se muestran a continuación:

**Figura 9**

**Peso unitario del concreto en su estado endurecido, a los 7 d, 14 d y 28 d**



A\*: Concreto Patrón, elaborado con Agregados Naturales

B\*: Concreto elaborado con 15 % Agregados Reciclad

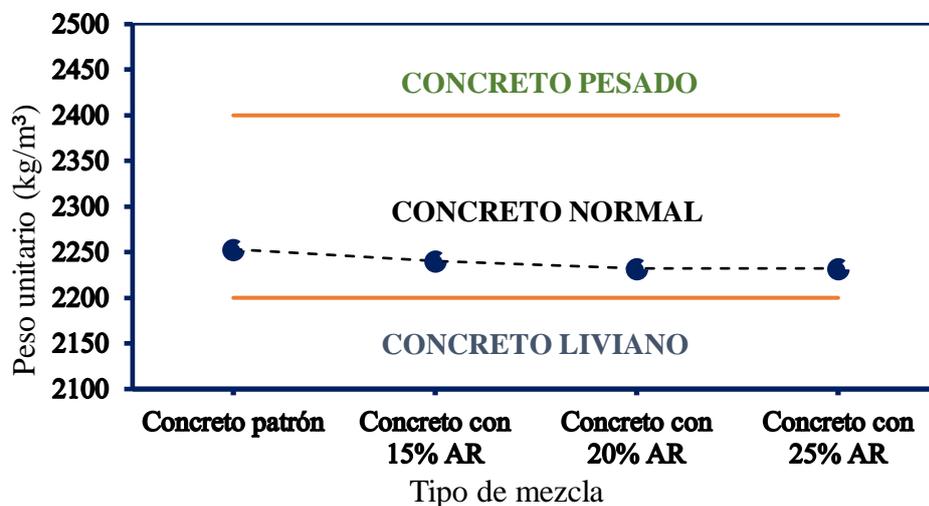
C\*: Concreto elaborado con 20 % Agregados Reciclad

D\*: Concreto elaborado con 25% Agregados Reciclad

Según la figura 9, se observa que el concreto patrón presenta un peso unitario de 2,255 kg/m<sup>3</sup> siendo mayor a los pesos unitarios de las mezclas de concreto elaborado con 15 %, 20 % y 25% de Agregados Reciclad. Disminuyendo progresivamente el peso unitario en estado seco a medida que aumenta el porcentaje de agregado reciclado <sup>1</sup>.

**Figura 10**

**Peso unitario del concreto en su estado seco, a la edad de 28 días**



<sup>1</sup> Los pesos específicos de masa del agregado grueso natural y agregado grueso reciclado son de 2.62 g/cm<sup>3</sup> y 2.55 g/cm<sup>3</sup>; en tal efecto a medida que se aumenta el porcentaje de incidencia del agregado grueso reciclado en la mezcla; se produce una disminución leve en el peso unitario del concreto en su estado endurecido; esto se debe a que el agregado grueso reciclado presenta un menor peso específico de masa en comparación al agregado grueso natural.

Según la figura 10, no existen variaciones considerables en los diferentes ensayos realizados para determinar el peso unitario del concreto en su estado seco. Además, se puede clasificar al concreto obtenido en la presente investigación como un “*concreto normal*”, por encontrarse dicho valor promedio de peso unitario entre 2200 kg/m<sup>3</sup> y 2400 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión

**Tabla 11**

**Resultados de resistencia promedio a la compresión del concreto según el tipo de diseño, a diferentes edades y con el porcentaje obtenido**

Diseño	7 días		14 días		28 días	
	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
A*	161.29	76.81	193.12	91.96	223.50	106.43
B*	177.93	84.73	203.82	97.06	231.84	110.40
C*	186.71	88.91	211.69	100.81	243.17	115.79
D*	155.14	73.88	174.33	83.02	217.57	103.60

A\*: Concreto Patrón, elaborado con Agregados Naturales

B\*: Concreto elaborado con 15 % Agregados Reciclados

C\*: Concreto elaborado con 20 % Agregados Reciclados

D\*: Concreto elaborado con 25% Agregados Reciclados

La tabla 11, muestra los valores promedio de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para cada diseño a los 7 d., 14 d. y 28 d. con su respectivo porcentaje de resistencia obtenido, referido a la resistencia de diseño que es de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Las resistencias promedio obtenidas de las tandas de prueba a los 7 d, se observó que el concreto patrón alcanzó una resistencia de 161.29 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 15 % por Agregados Reciclados alcanzó una resistencia de 177.93 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 20 % por Agregados Reciclados alcanzó una

resistencia de 186.71 kg/cm<sup>2</sup> y el concreto elaborado con una sustitución de 25 % por Agregados Reciclados alcanzó una resistencia de 155.14 kg/cm<sup>2</sup>, superando la resistencia de 147 kg/cm<sup>2</sup> (70%) que especifica la norma, como la resistencia mínima. Concluyendo que, las muestras elaboradas con 15%, 20% y 25% de agregados reciclados alcanzaron el 14.73%, 18.91% y 3.88% respectivamente, superando el 3% planteada en la hipótesis.

Las resistencias promedio obtenidas de las tandas de prueba a los 14 d, se tiene que el concreto patrón alcanzó una resistencia de 193.12 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 15 % por Agregados Reciclados alcanzó una resistencia de 203.82 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 20 % por Agregados Reciclados alcanzo una resistencia de 211.69 kg/cm<sup>2</sup> y el concreto elaborado con una sustitución de 25 % por Agregados Reciclados alcanzó una resistencia de 174.33 kg/cm<sup>2</sup>. De los cuales la muestra patrón y las muestras con 15% y 20% con agregados reciclados, superan los 189.00 kg/cm<sup>2</sup> (90%) especificado en la norma, sin embargo, las muestras con 25% de agregados reciclados, su resistencia promedio a la compresión (174.33 kg/cm<sup>2</sup>) está por debajo del 90%. Por lo que podemos mencionar que a mayor cantidad de agregado reciclado disminuye la resistencia a la compresión, debido a la mayor cantidad de absorción que presentan los agregados reciclados. Por tanto, se concluye que las muestras elaboradas con 15%, 20% y 25% de agregados reciclados alcanzaron el 7.06 %, 10.81 % y **-6.98%** respectivamente, por lo que se indica que las probetas con 25% de agregado reciclado no superaron el 3% planteado en la hipótesis.

En las resistencias promedio obtenidas de las tandas de prueba a los 28 d, el concreto patrón alcanzó una resistencia de 223.50 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 15 % por Agregados Reciclados alcanzó una resistencia de 231.84 kg/cm<sup>2</sup>, el concreto elaborado con una sustitución de 20 % por Agregados Reciclados alcanzo una resistencia de 243.17 kg/cm<sup>2</sup> y el concreto elaborado con una sustitución de 25 % por Agregados Reciclados

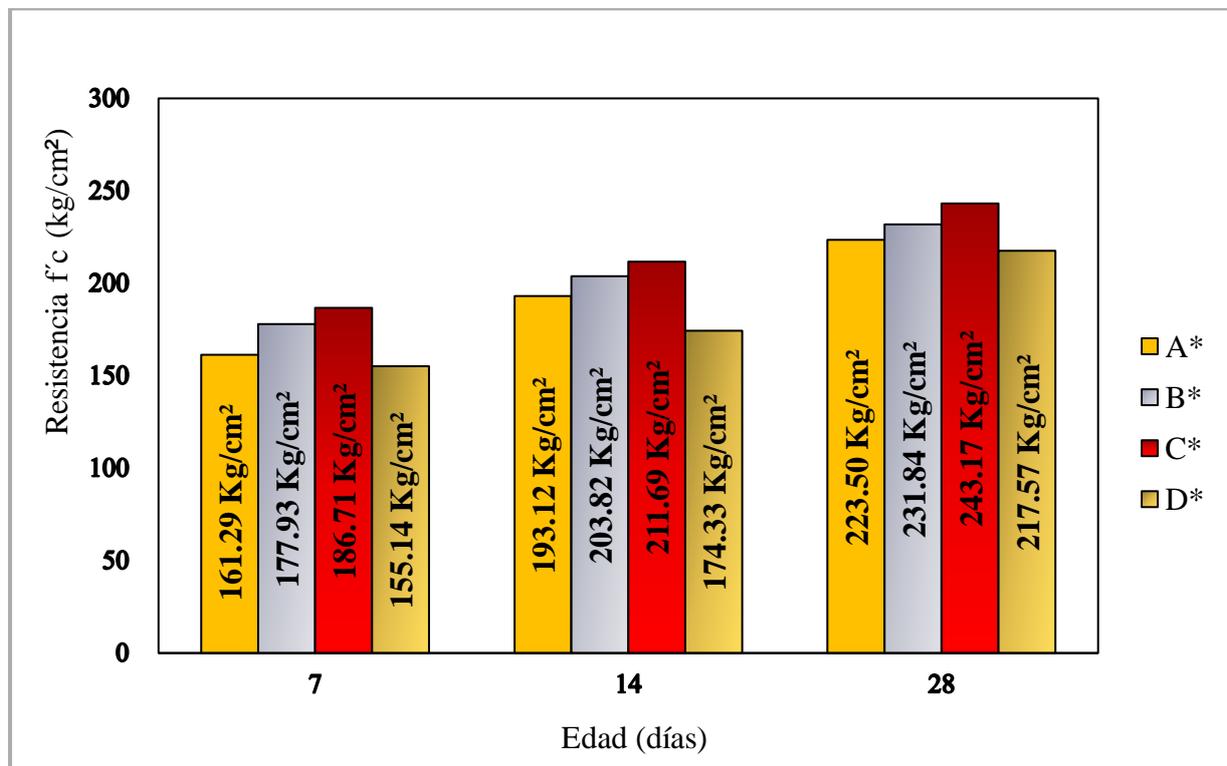
alcanzo una resistencia de 217.57 kg/cm<sup>2</sup>, superando la resistencia de los 210.00 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que podemos concluir que las muestras elaboradas con 15%, 20% y 25% de agregados reciclados alcanzan el 10.40 %, 15.79% y 3.60% respectivamente, superando el 3% planteada en la hipótesis.

Según Agreda & Moncada, en los resultados de los ensayos de compresión con las dosificaciones de 25%, 50% y 70% obtuvo una resistencia mayor a de la muestra patrón, alcanzando hasta un 8% de diferencia.

Con los datos de la tabla 11, se construyó la figura 11, para visualizar la variación de la resistencia a compresión del concreto de los diferentes tipos de diseños.

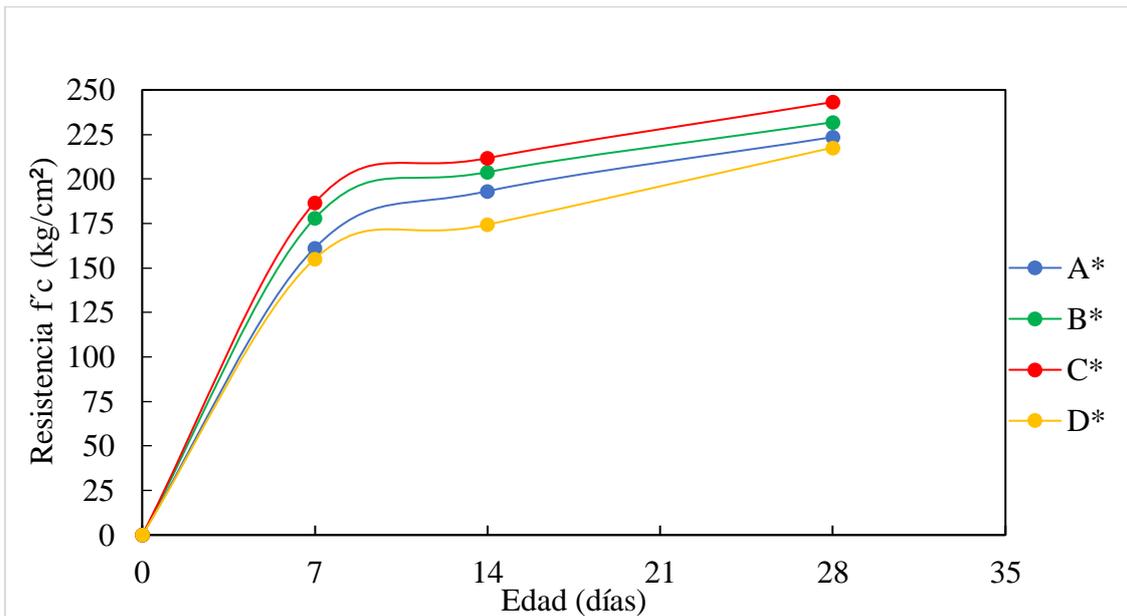
**Figura 11**

**Resistencia promedio del concreto por cada tipo de diseño; a 7 d, 14 d y 28 d**



**Figura 12**

**Desarrollo de la resistencia promedio del concreto por cada tipo de diseño, 7, 14 y 28 d**



La figura 12 indica el comportamiento de la resistencia a compresión simple del concreto, a los 7 d, 14 d y 28 d, de los diferentes tipos de diseño; el concreto con una sustitución del 20 % por Agregados Reciclados tiene las resistencias más altas respecto al concreto patrón. Determinando de esta manera que el concreto elaborado con una sustitución del 20 % por Agregados Reciclados se obtendría mejores resistencias a la compresión simple.

### **4.3. Prueba de hipótesis**

La prueba se aplicó comparando el concreto patrón con las dosificaciones del 15, 20 y 25%, a los 7, 14 y 28 días. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

**H<sub>0</sub>** = La resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados es igual a las fuerzas de compresión del concreto agregado convencional.

**H<sub>1</sub>** = La resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados es diferente a las fuerzas de compresión del concreto agregado convencional.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ . Estadístico de prueba: Distribuciones normales e independientes  $\sigma_1 = \sigma_2$  desconocidas. Valor p, se determinó para cada caso, tal como se muestran en las tablas 21, 22 y 23

**Decisión.** Si el valor de “p” es  $< \alpha$  ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta el resultado porque existe suficiente resistencia a la compresión del concreto de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados son diferentes las fuerzas de compresión al concreto agregado convencional.

Si el valor de “p” es  $> \alpha$ , ( $\alpha = 0.05$ ), se rechaza el resultado porque no existe suficiente resistencia a la compresión del concreto de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados son diferentes las fuerzas de compresión al concreto agregado convencional.

La tabla 12 contiene los resultados de probetas ensayadas a compresión a los 7 días, se comparó la resistencia de las muestras patrón con las probetas de tipo B\*, C\* y D\*, observándose que en las muestras del tipo D\*, la probabilidad ( $p = 0.149$ ) es mayor la significancia ( $\alpha = 0.050$ ), por lo que se rechaza el resultado.

En la tabla 13 encontramos los resultados de probetas ensayadas a compresión a 14 d, se realizó la comparación de la resistencia de las muestras patrón con las probetas de tipo B\*, C\* y D\*. Como la probabilidad ( $p$ ) es menor que la significancia ( $\alpha = 0.050$ ), se acepta el resultado.

La tabla 14 presenta los resultados de probetas ensayadas a compresión a 28 d, se realizó la comparación de la resistencia de las muestras patrón con las probetas de tipo B\*, C\* y D\*, Como en las muestras del tipo C\*, la probabilidad ( $p = 0.005$ ) es menor a la significancia ( $\alpha = 0.050$ ), por lo que se acepta el resultado.

La prueba de la hipótesis, evidencia que la resistencia óptima se obtiene a los 28 días para probetas con 20% de agregados reciclados, se aceptan los resultados.

**Tabla 12****Prueba de hipótesis: 7 días**

N° Muestra	A* Muestra Patrón F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	B* 15 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	C* 20 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	D* 25 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )
1	162.69	178.40	177.99	162.62
2	160.67	188.00	193.99	154.52
3	169.02	168.77	197.84	152.34
4	166.74	183.66	176.53	143.74
5	158.36	182.51	190.87	161.99
6	150.28	166.26	183.06	155.65
		P = 0.004	P = 0.000	P = 0.149
		$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$
		p < $\alpha$	p < $\alpha$	p > $\alpha$
		SE ACEPTA EL RESULTADO	SE ACEPTA EL RESULTADO	SE RECHAZA EL RESULTADO

**Tabla 13****Prueba de hipótesis: 14 días**

N° Muestra	Muestra Patrón F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	15 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	20 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	20 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )
1	185.29	211.52	222.59	169.13
2	199.24	199.22	225.12	181.96
3	200.08	208.17	202.35	172.35
4	199.15	188.02	195.17	160.60
5	188.21	199.92	207.58	182.62
6	193.73	216.09	217.32	179.32
		P = 0.049	P = 0.006	P = 0.001
		$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$
		p < $\alpha$	p < $\alpha$	p < $\alpha$
		SE ACEPTA EL RESULTADO	SE ACEPTA EL RESULTADO	SE ACEPTA EL RESULTADO

**Tabla 14****Prueba de hipótesis: 28 días**

N° Muestra	Muestra Patrón F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	15 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	20 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )	25 % Agr. Rec. F'c(kg/cm <sup>2</sup> )
1	229.76	226.21	246.78	215.89
2	217.40	245.39	234.59	231.59
3	217.66	242.33	230.33	210.96
4	225.39	234.71	257.80	220.14
5	236.78	223.01	248.15	201.99
6	214.02	219.38	239.88	224.84
		P = 0.169	P = 0.005	P = 0.311
		$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$	$\alpha = 0.050$
		p > $\alpha$	p < $\alpha$	p > $\alpha$
		SE RECHAZA EL RESULTADO	SE ACEPTA EL RESULTADO	SE RECHAZA EL RESULTADO

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas del agregado fino y grueso convencional, agregado fino y grueso reciclado, cumplen con los valores establecidos en las NTP respectivas, sin embargo, el agregado grueso reciclado tiene valores más altos del porcentaje de absorción, porcentaje de finos que pasa la malla N° 200 y abrasión, comparados con un agregado grueso natural.
- La resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados convencionales, es de 223.50 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.
- La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, elaborado con una sustitución de 15% de agregados reciclados, tiene una resistencia de 231,84 kg/cm<sup>2</sup> aumentando en 10.40% la resistencia a compresión de un concreto elaborado con agregados naturales que alcanza 223,50 kg/cm<sup>2</sup>.
- La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, elaborado con una sustitución de 20% de agregados reciclados, tiene una resistencia de 243,17 kg/cm<sup>2</sup> aumentando en 15.79 % la resistencia a la compresión de un concreto elaborado con agregados naturales que alcanza 223,50 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, la sustitución con un 20% de agregados reciclados es la mejor para aumentar la fortaleza a la compresión.
- La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, elaborado con una sustitución de 25% de agregados reciclados, tiene una resistencia de 217,57 kg/cm<sup>2</sup> aumentando en 3.60% la resistencia a compresión de un concreto elaborado con agregados naturales que alcanza 223,50 kg/cm<sup>2</sup>.

## **RECOMENDACIONES**

1. Evaluar el comportamiento del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 15%, 20% y 25% de agregados reciclados usando cemento tipo IP o adiciones de puzolana o cenizas volantes.
2. Determinar la resistencia del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 60%, 70% y 80% de agregados reciclados.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*.

Lima, Lima, Perú: Editorial San Marcos EIRL

American Concrete Institute-ACI (2019). ACI 318R-19 *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.

American Concrete Institute-ACI (2019). ACI 211.1-91 *Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y en masa*.

Amorós, J. (2020). *Resistencia a la compresión y trabajabilidad del concreto con agregado de residuos de construcción utilizando aditivo plastificante*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

ASTM C33/C33M-18. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*.

ASTM C39/NTP 339.034 (2015). *Método ensayo de compresión de probetas cilíndricas de concreto*.

ASTM C469M. (2014). *Método de prueba estándar para el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del hormigón*.

Bedoya C. y Dzul L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30(2), 99- 108. Concreto en 360. (s.f.). 360 en concreto. Obtenido de 360 en concreto: <https://www.360enconcreto.com/>

Fonseca, E. (2019). *Evaluación comparativa de concreto con agregado natural y concreto a partir de agregado reciclado de prefabricados de concreto, bajo un análisis de ciclo de vida*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia.

- Flores, A.M., Villafranca, A.J. y Reconco J.A. (2019). *El concreto con árido reciclado: una opción de material para construcción con criterio de sostenibilidad*. INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología, 8, 120-124
- Gonzales Cuevas & Robles Fernández-Villegas (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. 4 Edición.
- INEI (2009). *Perfil sociodemográfico del Departamento de Cajamarca*.
- INEI (2022). *Estimaciones y proyecciones de población*.
- International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems Structures – RILEM (2020). *Materials and Structures*. Vol 53 (p. 29)  
<https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-020-01584-8>
- Klee, H. (2009). *Reciclando concreto*. Washington. EE.UU. Cement Sustainability Initiative.
- Machaca, E. (2018). *Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann del Perú. Archivo Digital.  
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3571>
- Mendoza, I. y Chávez, S. (2017). *Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo*. *Revista de Ingeniería Civil*, 1(2), 9- 14.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). *Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016). *Decreto Supremo N° 019-2016-VIVIENDA*.
- Mosqueira, C. (2019). *Efecto del tiempo de exposición al CO<sub>2</sub> del concreto de F'c=210 kg/Cm<sup>2</sup>, en la profundidad de carbonatación y en la resistencia a la compresión* - Universidad Nacional de Cajamarca.
- Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología del concreto*. (Vol. I). Colombia.

- NTP 339.033 (2009). *HORMIGÓN - CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. Tercera edición.
- NTP 339.034-2015: *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*.
- NTP 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*.
- NTP 339.046-2008: *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. INDECOPI.
- NTP 339.185:2013, (. e. (2018). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. 2ª Edición Reemplaza a la NTP 339.185:2013. Perú.
- NTP 400.012-2013 Rev. 2018: *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*.
- NTP 400.017. (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*.
- NTP 400.018, N. (2002). *Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan el tamiz normalizado 75 um (Nº200) por lavado en agregados*.
- NTP 400.019. (2002). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles*. Perú.
- NTP 400.021:2013 (. e. (2018). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. 3a Edición Reemplaza a la NTP 400.021:2013.

NTP 400.022:2013, (s.f.). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición Reemplaza a la NTP 400.022:2013.NTP 400.037. (2014). Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.*

NTP 400.037 (2014). *Huso granulométrico para agregado fino.*

NTP 400.050-2007: *Manejo de Residuos en la Construcción.*

N.T.E E.060. Concreto Armado.

Parillo, E. & Camargo, C. (2015). *Reutilización de residuos sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el Distrito de Juliaca, Puno.* Revista científica “Investigación Andina”, Perú. p 46-57.

Sánchez de Guzmán, D. (2016). *Tecnología del concreto y del mortero.* Colombia: Shandra Editores.

## CAPÍTULO VII

### APÉNDICE

#### A. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

##### A.1 Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso

**Tabla 15**

***Peso específico del agua***

Descripción	M – 1
Peso de la fiola en (g):	192.7
Peso de la fiola +agua (g):	690.3
Volumen de la fiola (cm <sup>3</sup> ):	500.00
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ):	0.99520
P.e en (Kg/m <sup>3</sup> ):	995.20

**Tabla 16**

***Determinación del factor “f” para cálculo del peso unitario del agregado grueso***

Peso del Molde (g):	4221.00
Peso del Molde +Agua (g):	13768.00
Peso Agua (Kg):	9.5470
f (1/m <sup>3</sup> ):	104.242

**Tabla 17**

***Peso Unitario Suelto del agregado grueso (NTP 400.017, NTP 400.037/ASTM C-29/MTC E 205)***

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	4221.00	4221.00	4221.00	
1.02	Peso de muestra suelta + recipiente	g	17855.00	17956.00	17911.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	13634.00	13735.00	13690.00	
1.04	Factor (f)	1/m <sup>3</sup>	104.242	104.242	104.242	
1.05	Peso Unitario Suelto	g/cm <sup>3</sup>	1.421	1.432	1.427	1.427
	Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1421	1432	1427	1427

**Tabla 18**

**Peso Unitario Compactado del agregado grueso (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C - 29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	4221.00	4221.00	4221.00	
1.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	18955.00	18911.00	19055.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	14734.00	14690.00	14834.00	
1.04	Factor (f)		104.242	104.242	104.242	
1.05	Peso Unitario Compactado	g/cm <sup>3</sup>	1.536	1.531	1.546	1.538
	Peso Unitario Compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1536	1531	1546	1538

**Tabla 19**

**Peso Específico del agregado grueso, (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2744.60	2744.10	2743.70	
1.02	Peso de canastilla sumergida	g	875.00	875.00	875.00	
1.03	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.04	Peso de la muestra secada al horno	g	2966.30	2966.40	2966.10	
1.05	Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1869.60	1869.10	1868.70	
	Peso Específico de Masa	g/cm <sup>3</sup>	2.624	2.623	2.622	2.620
	Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm <sup>3</sup>	2.654	2.653	2.652	2.650
	Peso Específico de Aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.705	2.703	2.703	2.700

**Tabla 20**

**Absorción (%) del agregado grueso (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.02	Peso de la muestra secada al horno	g	2966.30	2966.40	2966.10	
	Absorción (%)	%	1.136	1.133	1.143	1.10

**Tabla 21**

**Contenido de Humedad (%) del agregado grueso (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del Recipiente	g	358.00	359.00	360.00	
1.02	Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1578.00	1444.00	1657.00	
1.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	1574.00	1441.00	1652.00	
Contenido de Humedad		W %	0.33	0.28	0.39	0.33

**Tabla 22**

**Ensayo Partículas N° 200 para el Agregado Grueso**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.02	Peso de la muestra Lavada	g	2987.30	2987.20	2986.80	
1.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	12.70	12.80	13.20	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200		%	0.423%	0.427%	0.440%	0.40%

**Tabla 23 Desgaste a la abrasión del agregado grueso**

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3621	3612	3615
% Desg. =(( Pi -Pf ) / Pi ) x 100				27.58	27.76	27.70
Abrasión % Desgaste Promedio				28.00		

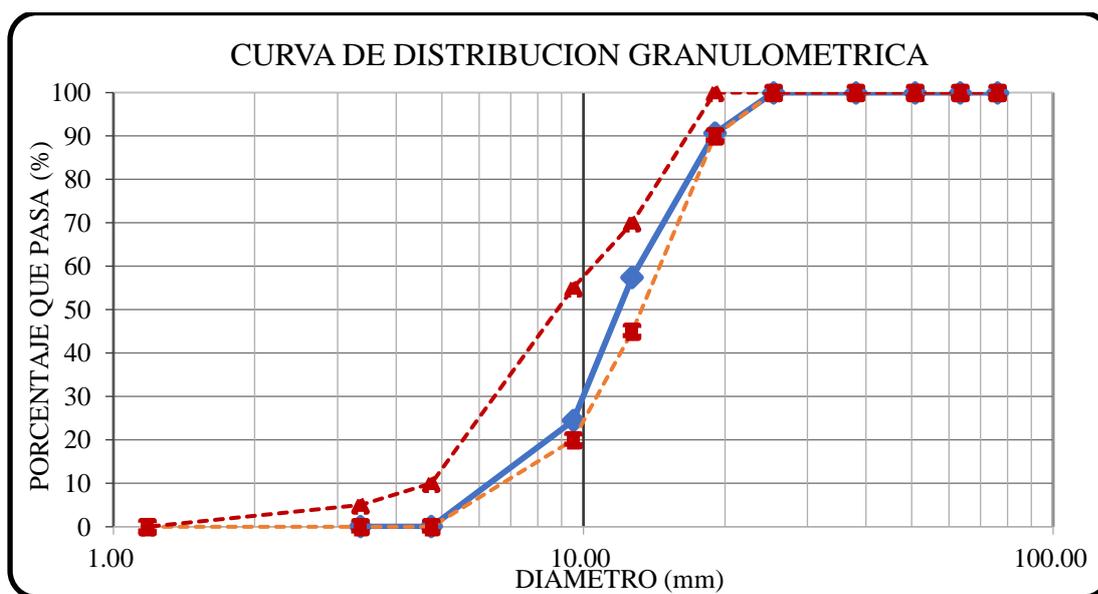
**Tabla 24**

**Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 01**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa	Granulométrico
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
¾"	19.05	744.00	9.30	9.30	90.70	90 – 100
½"	12.70	2655.00	33.19	42.49	57.51	45 – 70
⅜"	9.53	2643.00	33.04	75.53	24.48	20 – 55
N°4	4.75	1955.00	24.44	99.96	0.04	0 – 10
N°8	3.36	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 5
N 16	1.18	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
Cazoleta	--	3	0.04	100.00	0.00	0 – 0
TOTAL		8000.00				
MÓDULO DE FINURA =					6.846	

**Figura 13**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 01**



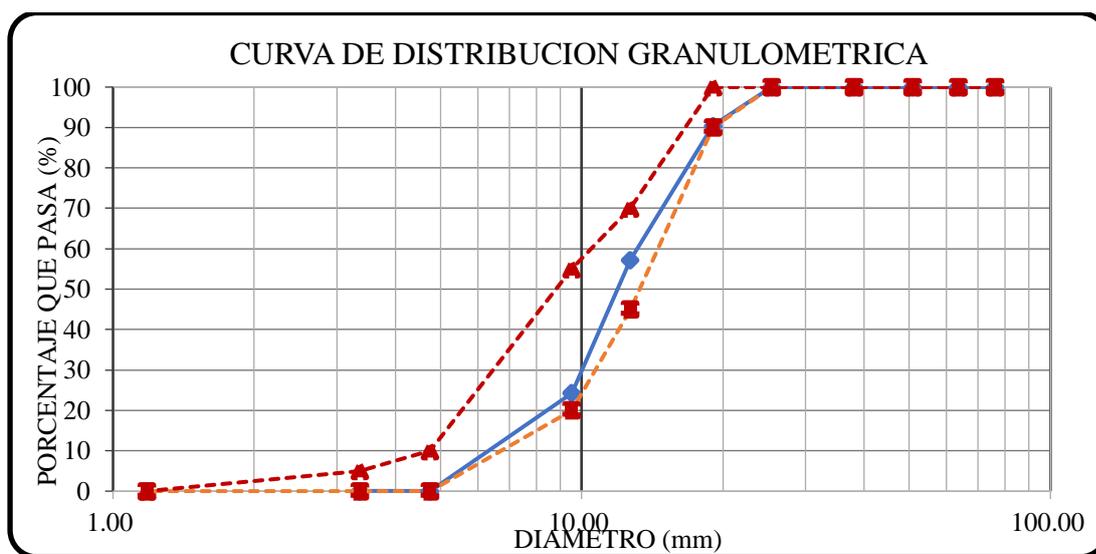
**Tabla 25**

**Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 02**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa	Granulométrico
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
¾"	19.05	766.00	9.58	9.58	90.43	90 – 100
½"	12.70	2658.00	33.23	42.80	57.20	45 – 70
⅜"	9.53	2631.00	32.89	75.69	24.31	20 – 55
N°4	4.75	1942.00	24.28	99.96	0.04	0 – 10
N°8	3.36	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 5
N 16	1.18	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
Cazoleta	--	3	0.04	100.00	0.00	0 – 0
TOTAL		8000.00				
MÓDULO DE FINURA =					6.850	

**Figura 14**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 02**



**Tabla 26**

**Análisis granulométrico del agregado grueso, muestra N° 03**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa	Granulométrico
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
¾"	19.05	779.00	9.74	9.74	90.26	90 – 100
½"	12.70	2651.00	33.14	42.88	57.13	45 – 70
⅜"	9.53	2611.00	32.64	75.51	24.49	20 – 55
N°4	4.75	1955.00	24.44	99.95	0.05	0 – 10
N°8	3.36	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 5
N 16	1.18	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.95	0.05	0 – 0
Cazoleta	--	4	0.05	100.00	0.00	0 – 0
TOTAL		8000.00				
MÓDULO DE FINURA =				6.850		

**Figura 15**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N° 03**

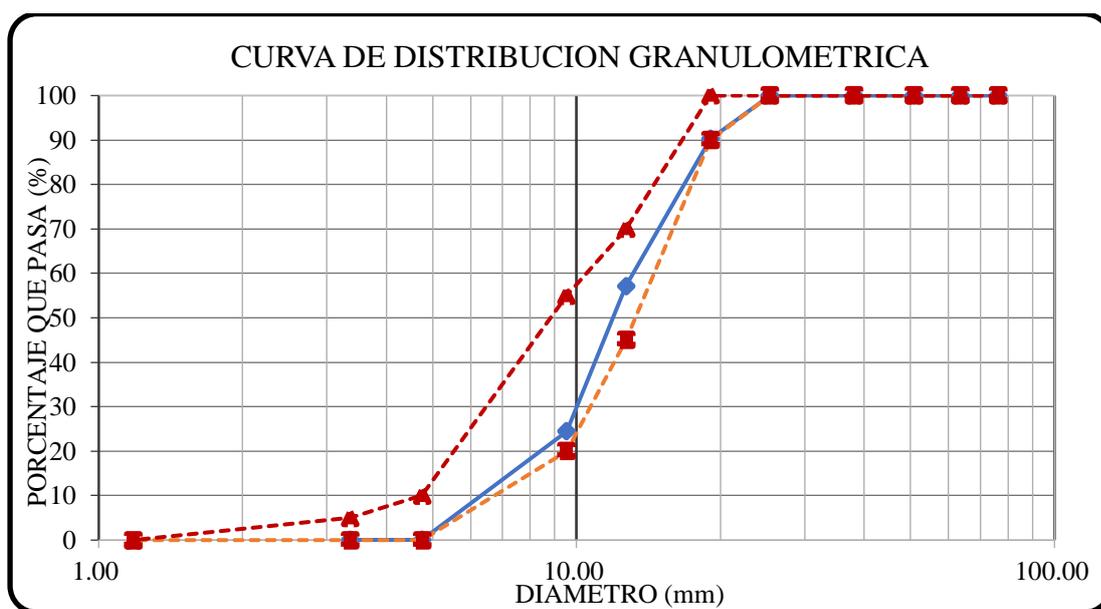
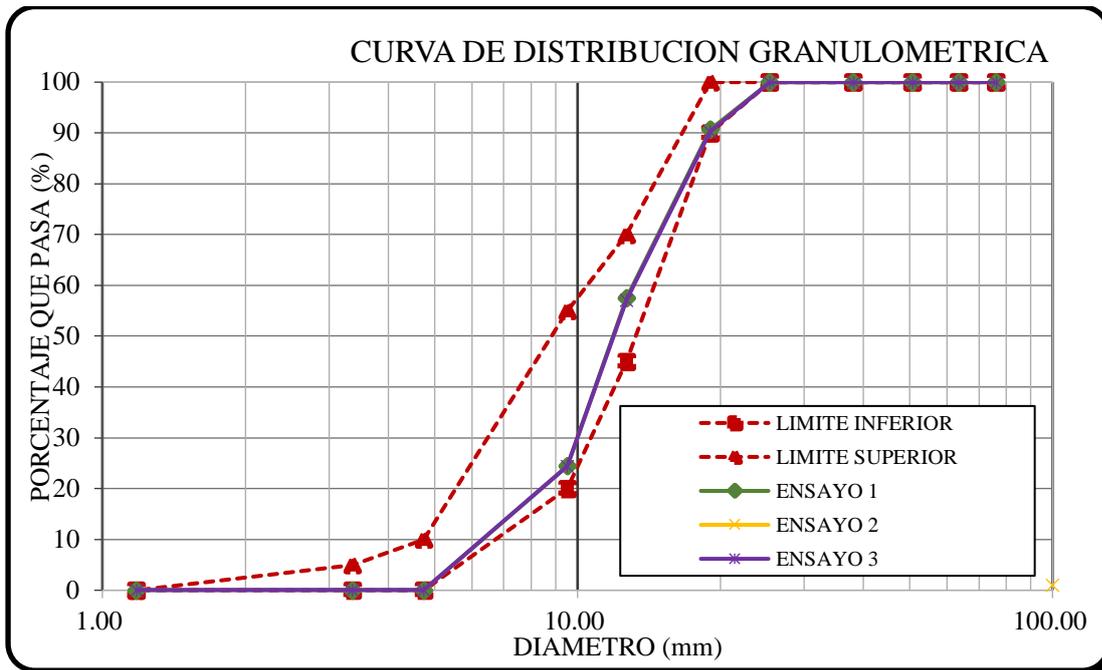


Figura 16

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, muestra N°s 01, 02 y 03



## A.2 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino

**Tabla 27**

**Determinación del factor “f” del molde, para calcular el peso unitario del agregado fino**

Peso del Molde (g):	1995
Peso del Molde +Agua (g):	4869
Peso Agua (Kg):	2.874
f (1/m <sup>3</sup> ):	346.28

**Tabla 28**

**Peso Unitario Suelto del agregado fino (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.00	1995.00	1995.00	
1.02	Peso de muestra suelta + recipiente	g	6598.00	6624.00	6637.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	4603.00	4629.00	4642.00	
1.04	Factor (f)	g	346.277	346.277	346.277	
1.05	Peso Unitario Suelto	g/cm <sup>3</sup>	1.594	1.603	1.607	1.601
	Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1593.91	1602.92	1607.42	1601

**Tabla 29**

**Peso Unitario Compactado del agregado fino (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.00	1995.00	1995.00	
1.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	6993.00	6984.00	6971.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	4998.00	4989.00	4976.00	
1.04	Factor (f)	1/m <sup>3</sup>	346.277	346.277	346.277	
1.05	Peso Unitario Compactado	g/cm <sup>3</sup>	1.731	1.728	1.723	1.727
	Peso Unitario Compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1730.69	1727.58	1723.07	1727

**Tabla 30****Contenido de Humedad (%) del agregado fino (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del Recipiente	g	358.00	359.00	360.00	
1.02	Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1855.00	1685.00	1784.00	
1.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	1775.00	1613.00	1709.00	
Contenido de Humedad		W %	5.65	5.74	5.56	5.65

**Tabla 31****Peso Específico del agregado fino (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de fiola	g	192.7	192.7	192.7	
1.02	Peso de la fiola +agua hasta menizco	g	690.3	690.3	690.3	
1.03	peso de la fiola +agua + muestra	g	1003.9	1004.1	1004.2	
1.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
1.05	Peso de la muestra secada al horno	g	494.12	493.98	493.87	
1.06	volumen de agua añadida al frasco (g)	g	311.20	311.40	311.50	
Peso Específico de Masa		g/m <sup>3</sup>	2.617	2.619	2.620	2.620
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco		g/m <sup>3</sup>	2.648	2.651	2.653	2.650
Peso Específico de Aparente		g/m <sup>3</sup>	2.701	2.706	2.708	2.700

**Tabla 32****Absorción (%) del agregado fino (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
1.02	Peso de la muestra secada al horno	g	494.12	493.98	493.87	
Absorción (%)		%	1.190	1.219	1.241	1.200

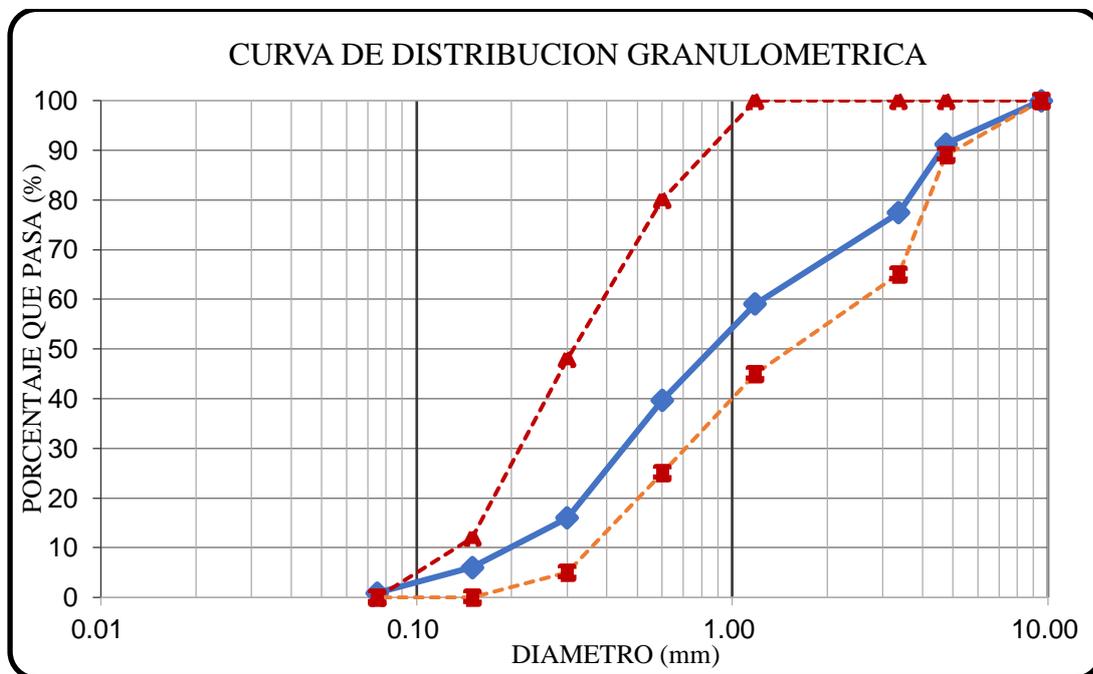
**Tabla 33**

**Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 01**

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Gradación M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
N°4	4.75	131.00	8.73	8.73	91.27	89 – 100
N°8	3.36	208.00	13.87	22.60	77.40	65 – 100
N 16	1.18	275.00	18.33	40.93	59.07	45 – 100
N 30	0.60	291.00	19.40	60.33	39.67	25 – 80
N 50	0.30	355.00	23.67	84.00	16.00	5 – 48
N 100	0.15	149.00	9.93	93.93	6.07	0 – 12
N 200	0.075	77.00	5.13	99.07	0.93	0 – 0
Cazoleta	--	14	0.93	100.00	0.00	--
TOTAL		1500.00				
MÓDULO DE FINURA:					3.105	

**Figura 17**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 01**



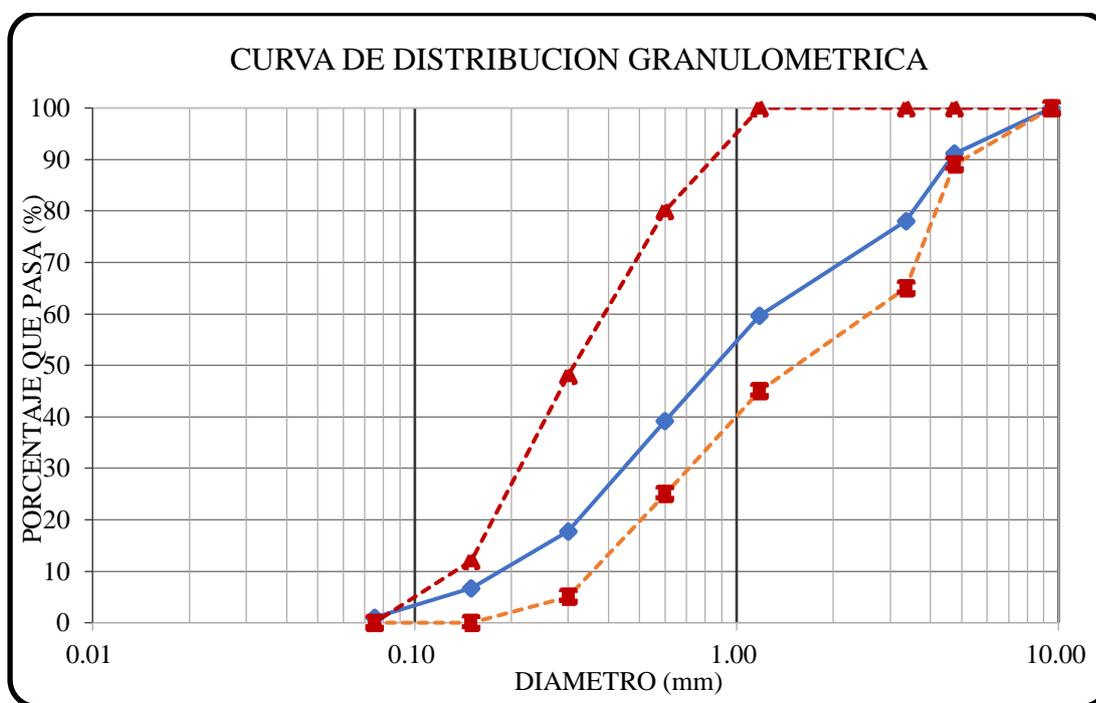
**Tabla 34**

**Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 02**

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Gradación M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
N° 4	4.75	133.00	8.87	8.87	91.13	89 – 100
N° 8	3.36	197.00	13.13	22.00	78.00	65 – 100
N° 16	1.18	275.00	18.33	40.33	59.67	45 – 100
N° 30	0.60	307.00	20.47	60.80	39.20	25 – 80
N° 50	0.30	322.00	21.47	82.27	17.73	5 – 48
N° 100	0.15	166.00	11.07	93.33	6.67	0 – 12
N° 200	0.075	85.00	5.67	99.00	1.00	0 – 0
Cazoleta	--	15	1.00	100.00	0.00	--
TOTAL		1500.00				
MÓDULO DE FINURA:					3.076	

**Figura 18**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 02**



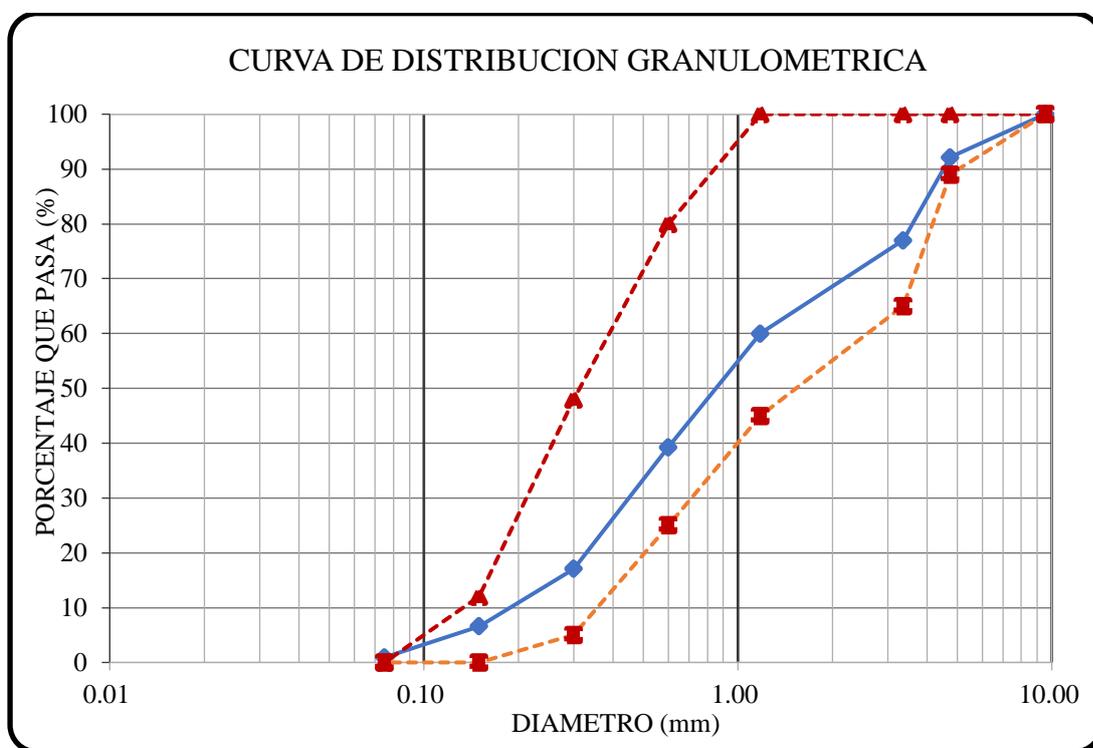
**Tabla 35**

**Análisis granulométrico del agregado fino, muestra N° 03**

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Gradación M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
N° 4	4.75	118.00	7.87	7.87	92.13	89 – 100
N° 8	3.36	227.00	15.13	23.00	77.00	65 – 100
N° 16	1.18	255.00	17.00	40.00	60.00	45 – 100
N° 30	0.60	311.00	20.73	60.73	39.27	25 – 80
N° 50	0.30	333.00	22.20	82.93	17.07	5 – 48
N° 100	0.15	157.00	10.47	93.40	6.60	0 – 12
N° 200	0.075	85.00	5.67	99.07	0.93	0 – 0
Cazoleta	.-	14	0.93	100.00	0.00	.-
TOTAL		1500.00				
MÓDULO DE FINURA:					3.079	

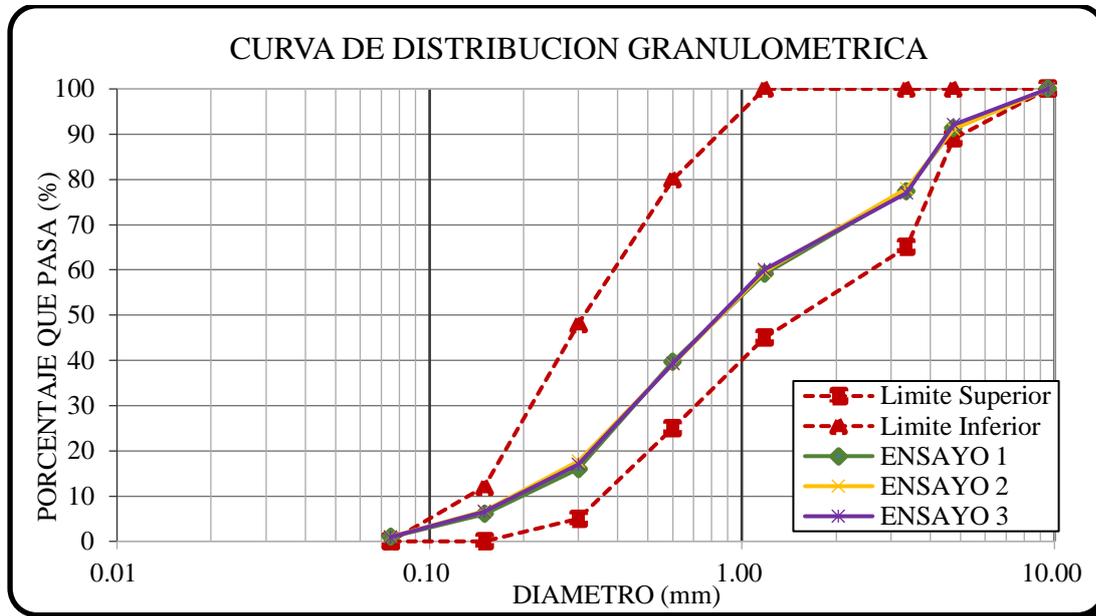
**Figura 19**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 03**



**Figura 20**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino, muestra N° 01, 02 y 03**



**Tabla 36**

**Ensayo Partículas menores al Tamiz N° 200, del Agregado Fino**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
1.02	Peso de la muestra Lavada	g	483.32	483.44	483.97	
1.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	16.68	16.56	16.03	
	Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	3.34%	3.31%	3.21%	3.30%

### A.3 Propiedades físico-mecánicas del agregado grueso reciclado

**Tabla 37**

**Peso Unitario Suelto del agregado grueso reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	4221.00	4221.00	4221.00	
1.02	Peso de muestra suelta + recipiente	g	17244.00	17155.00	17044.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	13023.00	12934.00	12823.00	
1.04	Factor (f)	1/m <sup>3</sup>	104.242	104.242	104.242	
1.05	Peso Unitario Suelto	g/cm <sup>3</sup>	1.358	1.348	1.337	1.348
	Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1358	1348	1337	1348

**Tabla 38**

**Peso Unitario Compactado del agregado grueso reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	4221.00	4221.00	4221.00	
1.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	18544.00	18477.00	18411.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	14323.00	14256.00	14190.00	
1.04	Factor (f)	1/m <sup>3</sup>	104.242	104.242	104.242	
1.05	Peso Unitario Compactado	g/cm <sup>3</sup>	1.493	1.486	1.479	1.486
	Peso Unitario Compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1493	1486	1479	1486

**Tabla 39*****Peso Específico del agregado grueso reciclado (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021)***

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2727.10	2724.10	2723.70	
1.02	Peso de canastilla sumergida	g	875.00	875.00	875.00	
1.03	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.04	Peso de la muestra secada al horno	g	2934.40	2934.30	2932.20	
1.05	Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1852.10	1849.10	1848.70	
	Peso Específico de Masa	g/cm3	2.556	2.550	2.547	2.550
	Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm3	2.613	2.607	2.606	2.610
	Peso Específico de Aparente	g/cm3	2.711	2.704	2.706	2.710

**Tabla 40*****Absorción (%) del agregado grueso reciclado (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021)***

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.02	Peso de la muestra secada al horno	g	2934.40	2934.30	2932.20	
	Absorción (%)	%	2.236	2.239	2.312	2.300

**Tabla 41*****Contenido de Humedad (%) del agregado grueso Reciclado (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)***

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del Recipiente	g	358.00	359.00	357.00	
1.02	Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1654.00	1688.00	1788.00	
1.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	1649.00	1682.00	1781.00	
	Contenido de Humedad	W %	0.39	0.45	0.49	0.44

**Tabla 42*****Ensayo Partículas N° 200 para el agregado grueso reciclado***

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
1.02	Peso de la muestra Lavada	g	2971.10	2972.20	2972.40	
1.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	28.90	27.80	27.60	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200		%	0.963%	0.927%	0.920%	0.90%

**Tabla 43*****Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado***

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3322	3311	3302
% Desg. = ((Pi -Pf) / Pi) x 100				33.56	33.78	33.96
Abrasión % Desgaste Promedio				34.00		

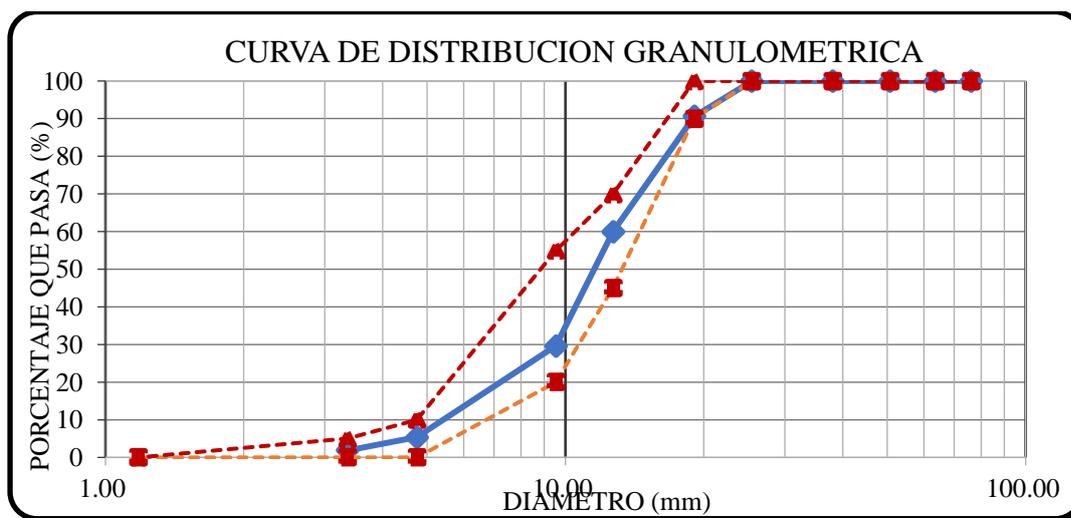
**Tabla 44**

**Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 01**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa	Granulométrico
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
¾"	19.05	755.00	9.44	9.44	90.56	90 – 100
½"	12.70	2444.00	30.55	39.99	60.01	45 – 70
3/8"	9.53	2433.00	30.41	70.40	29.60	20 – 55
N°4	4.75	1944.00	24.30	94.70	5.30	0 – 10
N°8	3.36	277.00	3.46	98.16	1.84	0 – 5
N 16	1.18	144.00	1.80	99.96	0.04	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.96	0.04	0 – 0
Cazoleta	--	3	0.04	100.00	0.00	0 – 0
TOTAL		8000.00				
MÓDULO DE FINURA =					6.726	

**Figura 21**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 01**



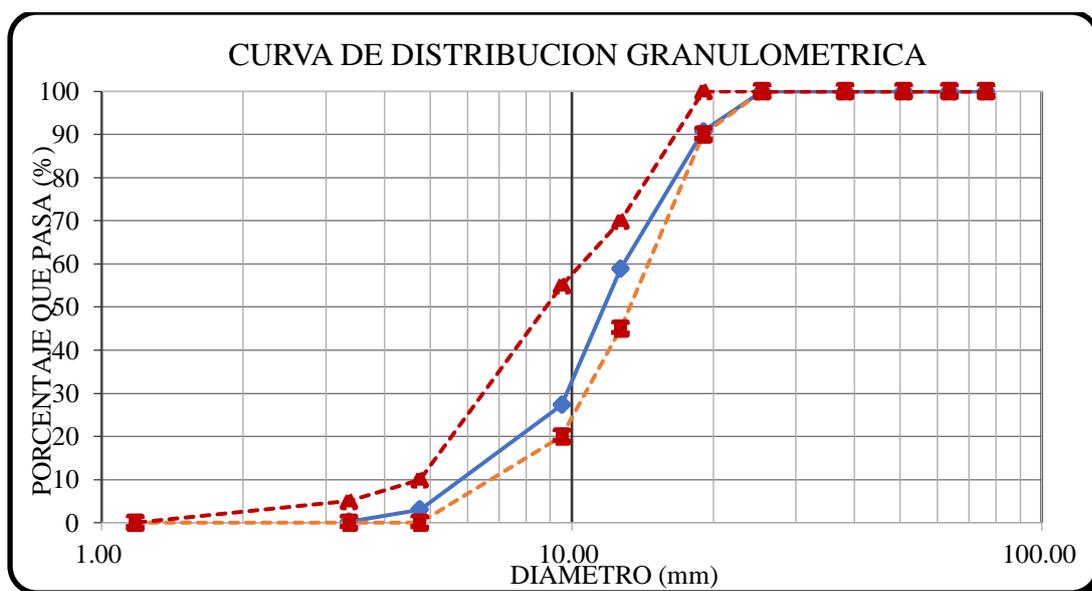
**Tabla 45**

*Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 02*

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Granulométrico
				Que Pasa	
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100 – 100
¾"	19.05	741.00	9.26	9.26	90 – 100
½"	12.70	2544.00	31.80	41.06	45 – 70
⅜"	9.53	2533.00	31.66	72.73	20 – 55
N°4	4.75	1941.00	24.26	96.99	0 – 10
N°8	3.36	222.00	2.78	99.76	0 – 5
N 16	1.18	14.00	0.18	99.94	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.94	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.94	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.94	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.94	0 – 0
Cazoleta	--	5	0.06	100.00	0 – 0
TOTAL		8000.00			
MÓDULO DE FINURA =				6.785	

**Figura 22**

*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 02*



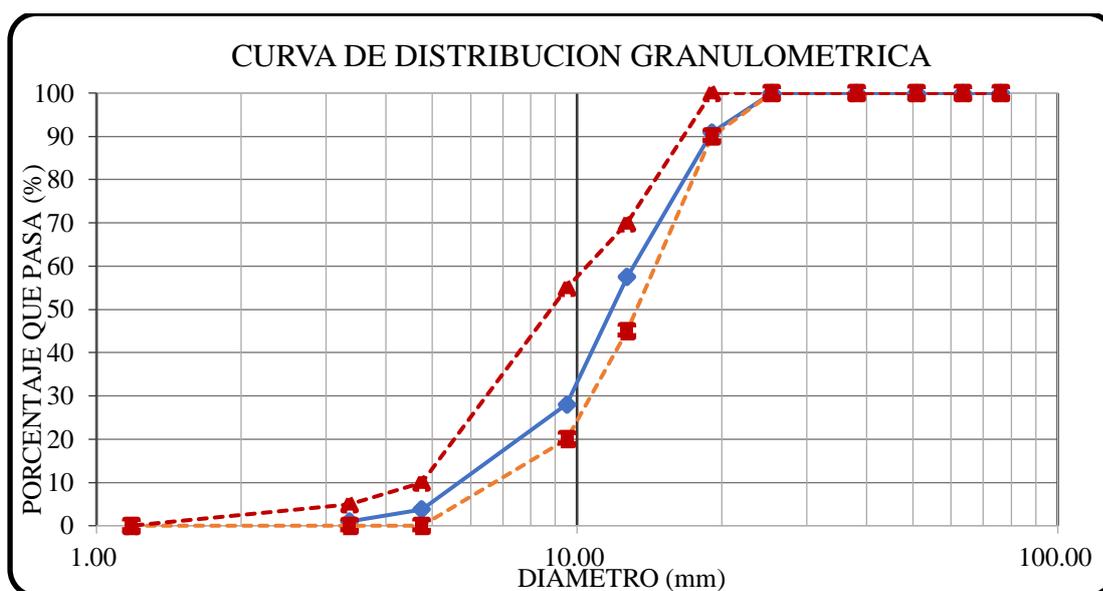
**Tabla 46**

**Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, muestra N° 03**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Uso	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa	Granulométrico
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
¾"	19.05	733.00	9.16	9.16	90.84	90 – 100
½"	12.70	2667.00	33.34	42.50	57.50	45 – 70
⅜"	9.53	2354.00	29.43	71.93	28.08	20 – 55
N°4	4.75	1945.00	24.31	96.24	3.76	0 – 10
N°8	3.36	222.00	2.78	99.01	0.99	0 – 5
N 16	1.18	74.00	0.93	99.94	0.06	0 – 0
N 30	0.60	0.00	0.00	99.94	0.06	0 – 0
N 50	0.30	0.00	0.00	99.94	0.06	0 – 0
N 100	0.15	0.00	0.00	99.94	0.06	0 – 0
N 200	0.075	0.00	0.00	99.94	0.06	0 – 0
Cazoleta	--	5	0.06	100.00	0.00	0 – 0
TOTAL		8000.00				
MÓDULO DE FINURA =				6.76.1		

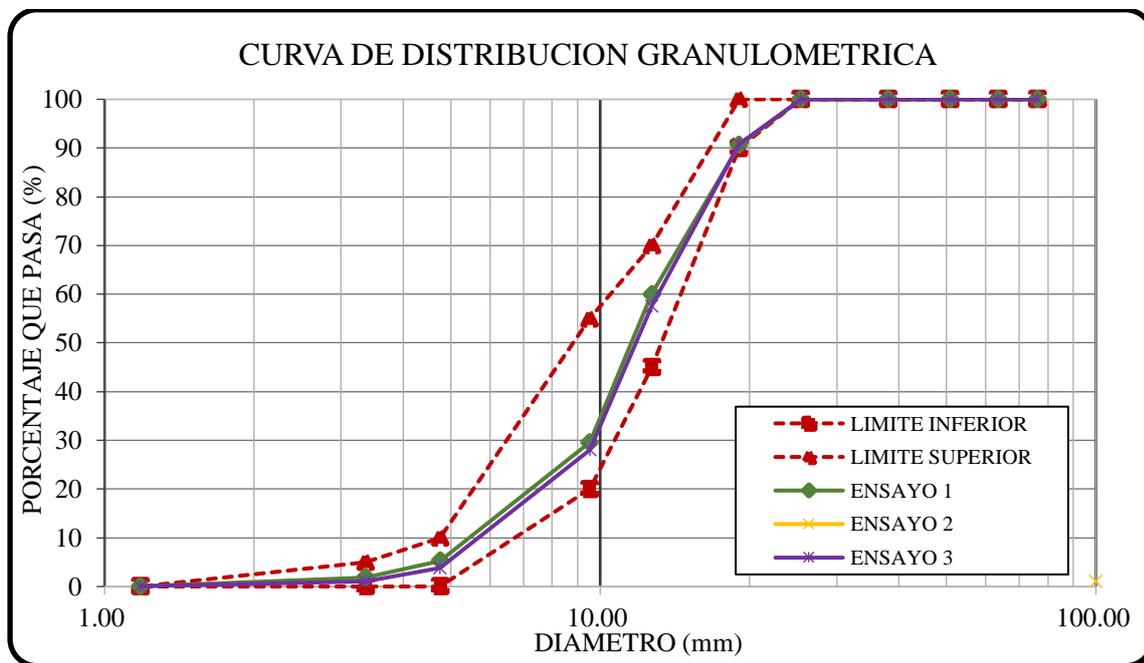
**Figura 23**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestra N° 03**



**Figura 24**

**Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, muestras N° 01, 02 y 03**



**A.4 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino reciclado**

**Tabla 47**

**Peso Unitario Suelto del agregado fino reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037/ASTM C-29/MTC- E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.00	1995.00	1995.00	
1.02	Peso de muestra suelta + recipiente	g	6511.00	6522.00	6537.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	4516.00	4527.00	4542.00	
1.04	Factor (f)	g	346.277	346.277	346.277	
1.05	Peso Unitario Suelto	g/cm <sup>3</sup>	1.564	1.568	1.573	1.568
	Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1563.79	1567.60	1572.79	1568

**Tabla 48**

**Peso Unitario Compactado del agregado fino Reciclado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.00	1995.00	1995.00	
1.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	6911.00	6925.00	6942.00	
1.03	Peso de la muestra suelta	g	4916.00	4930.00	4947.00	
1.04	Factor (f)	1/m <sup>3</sup>	346.277	346.277	346.277	
1.05	Peso Unitario Compactado	g/cm <sup>3</sup>	1.702	1.707	1.713	1.707

**Tabla 49**

**Contenido de Humedad (%) del agregado fino reciclado (A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del Recipiente	g	357.00	358.00	359.00	
1.02	Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1744.00	1542.00	1667.00	
1.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	1675.00	1484.00	1602.00	
Contenido de Humedad		W %	5.65	5.24	5.15	5.21

**Tabla 50**

**Peso Específico del agregado fino reciclado (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de fiola	g	192.7	192.7	192.7	
1.02	Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	690.3	690.3	690.3	
1.03	peso de la fiola +agua + muestra	g	1002.7	1002.3	1002.4	
1.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
1.05	Peso de la muestra secada al horno	g	488.20	488.30	488.60	
1.06	volumen de agua añadida al frasco (g)	g	310.00	309.60	309.70	
	Peso Específico de Masa	g/m <sup>3</sup>	2.569	2.565	2.568	2.567
	Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m <sup>3</sup>	2.632	2.626	2.627	2.628
	Peso Específico de Aparente	g/m <sup>3</sup>	2.740	2.733	2.731	2.734

**Tabla 51**

**Absorción (%) del agregado fino reciclado (NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203)**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
1.02	Peso de la muestra secada al horno	g	488.20	488.30	488.60	
	Absorción (%)	%	2.417	2.396	2.333	2.40

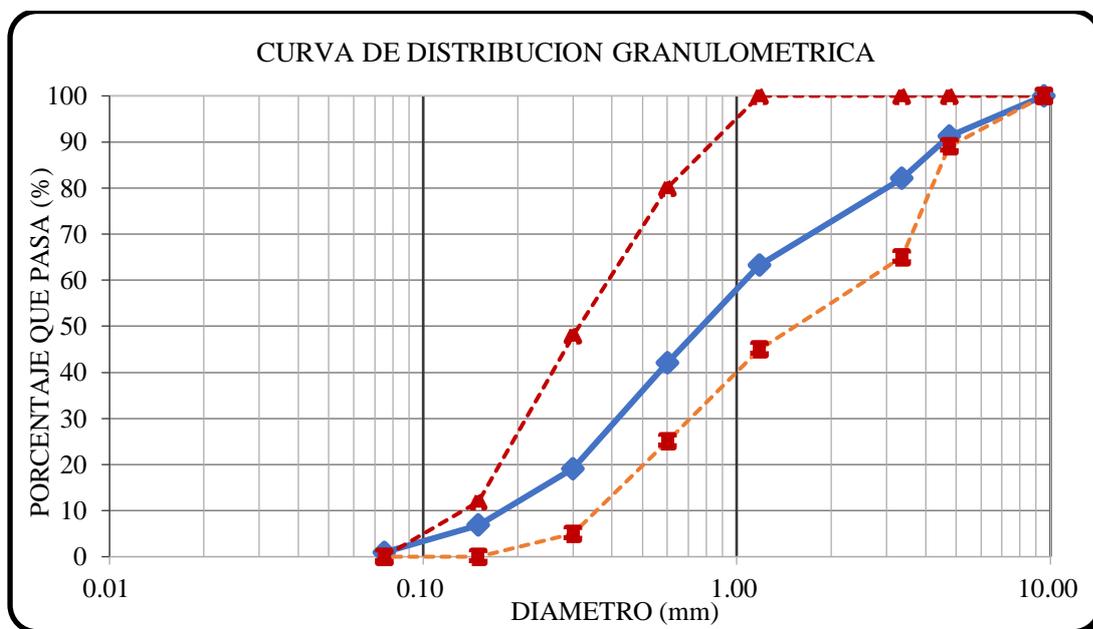
**Tabla 52**

**Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 01**

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Gradación
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00 100 – 100
N° 4	4.75	131.00	8.73	8.73	91.27 89 – 100
N° 8	3.36	137.00	9.13	17.87	82.13 65 – 100
N° 16	1.18	283.00	18.87	36.73	63.27 45 – 100
N° 30	0.60	318.00	21.20	57.93	42.07 25 – 80
N° 50	0.30	344.00	22.93	80.87	19.13 5 – 48
N° 100	0.15	184.00	12.27	93.13	6.87 0 – 12
N° 200	0.075	89.00	5.93	99.07	0.93 0 – 0
Cazoleta	--	14	0.93	100.00	0.00 --
TOTAL		1500.00			
MÓDULO DE FINURA:				2.953	

**Figura 25**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 01**



**Tabla 53**

**Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 02**

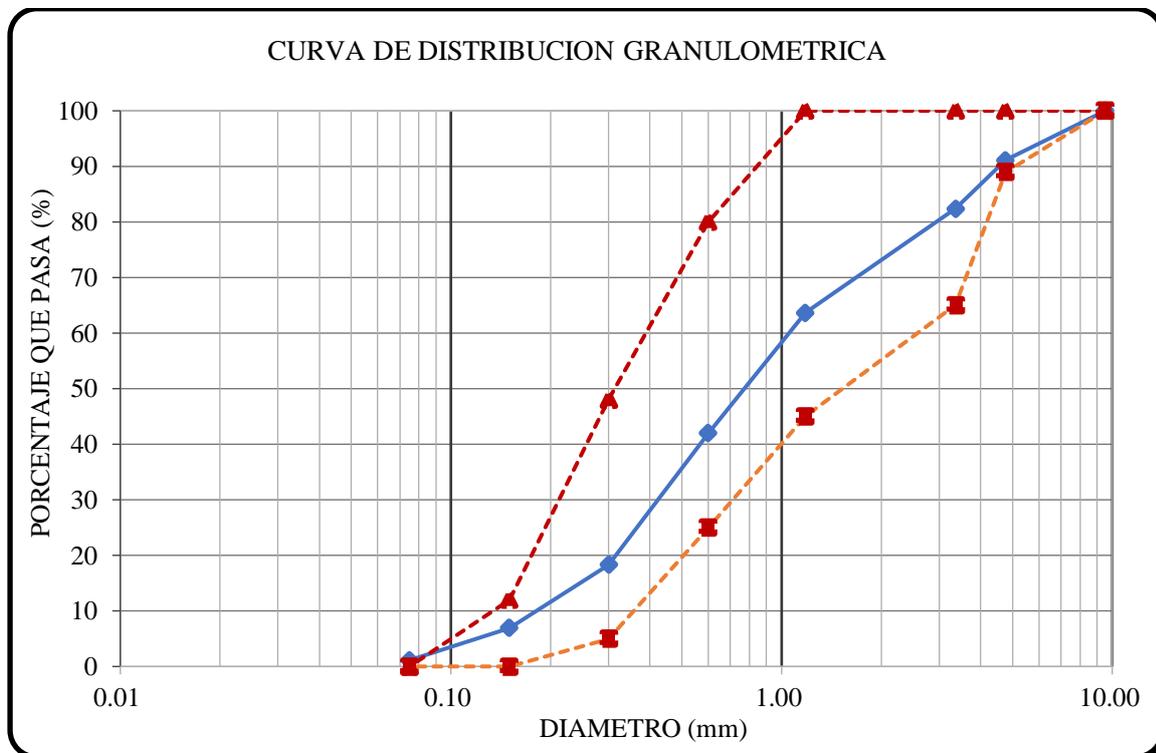
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Gradación M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
N°4	4.75	133.00	8.87	8.87	91.13	89 – 100
N°8	3.36	131.00	8.73	17.60	82.40	65 – 100
N 16	1.18	281.00	18.73	36.33	63.67	45 – 100
N 30	0.60	325.00	21.67	58.00	42.00	25 – 80
N 50	0.30	355.00	23.67	81.67	18.33	5 – 48
N 100	0.15	171.00	11.40	93.07	6.93	0 – 12
N 200	0.075	87.00	5.80	98.87	1.13	0 – 0
Cazoleta	--	17	1.13	100.00	0.00	--
TOTAL		1500.00				

---

MÓDULO DE FINURA: 2.955

**Figura 26**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 02**



**Tabla 54**

**Análisis granulométrico del agregado fino reciclado, muestra N° 03**

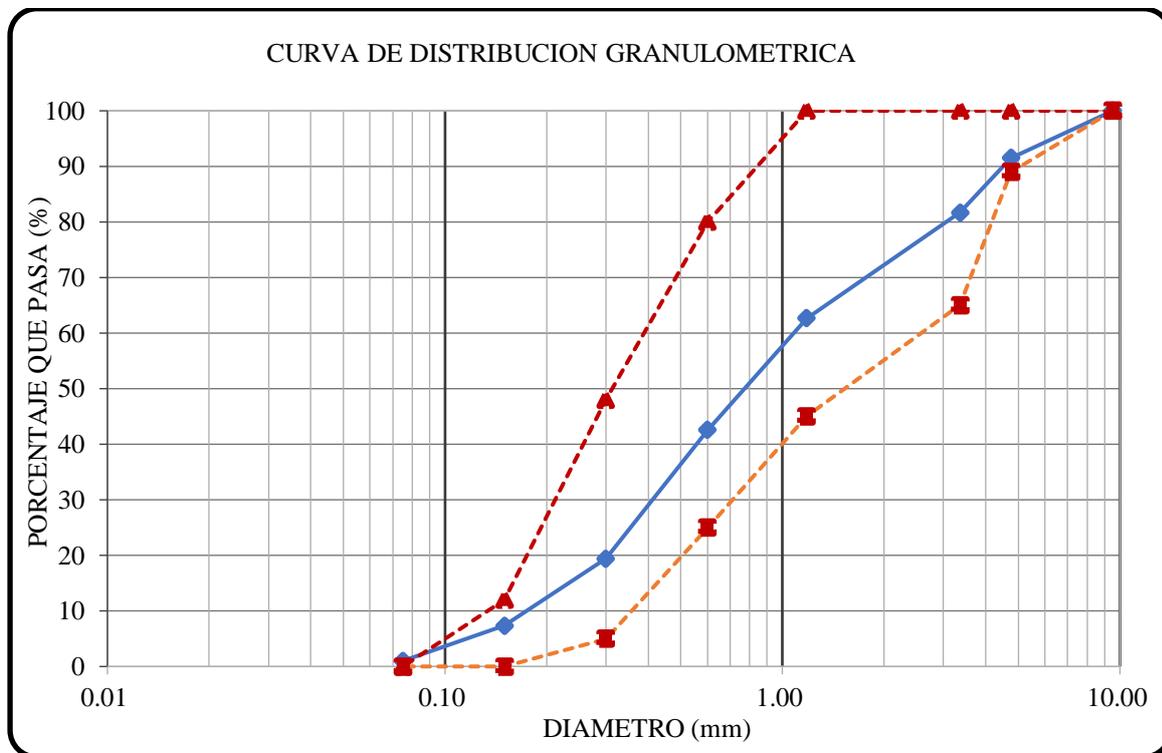
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Gradación M
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
N° 4	4.75	127.00	8.47	8.47	91.53	89 – 100
N° 8	3.36	148.00	9.87	18.33	81.67	65 – 100
N° 16	1.18	285.00	19.00	37.33	62.67	45 – 100
N° 30	0.60	302.00	20.13	57.47	42.53	25 – 80
N° 50	0.30	347.00	23.13	80.60	19.40	5 – 48
N° 100	0.15	181.00	12.07	92.67	7.33	0 – 12
N° 200	0.075	95.00	6.33	99.00	1.00	0 – 0
Cazoleta	-.-	15	1.00	100.00	0.00	-.-
<b>TOTAL</b>		1500.00				

---

MÓDULO DE FINURA: 2.949

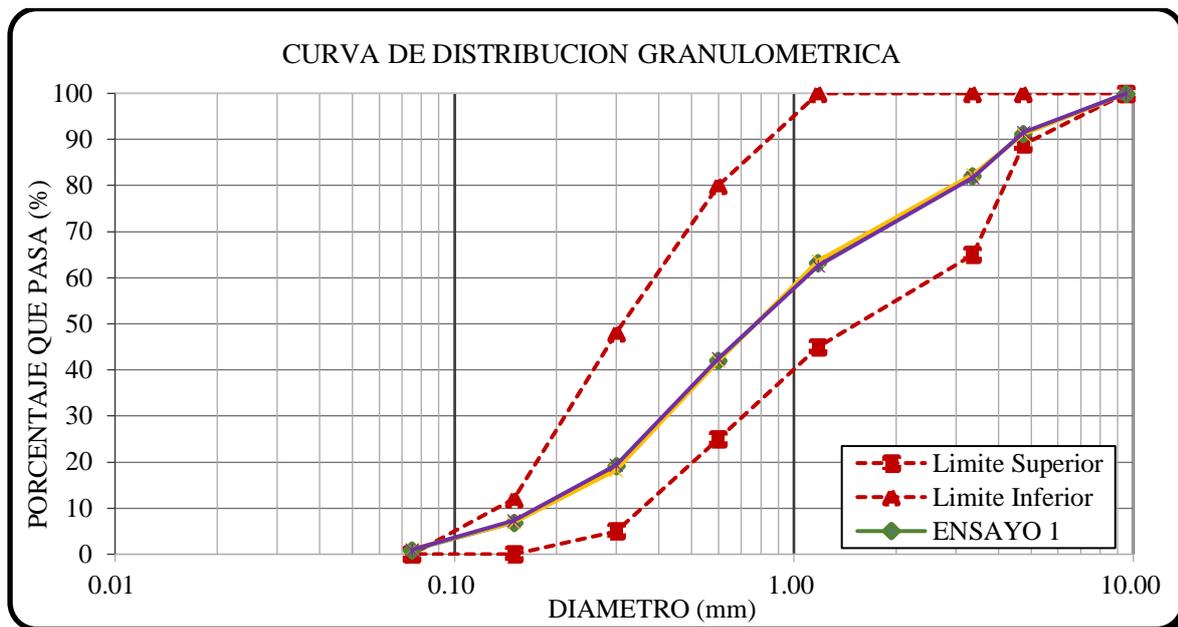
**Figura 27**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestra N° 03**



**Figura 28**

**Curva de distribución granulométrica del agregado fino reciclado, muestras N° 01, 02 y 03.**



**Tabla 55**

**Ensayo Partículas menores al Tamiz N° 200, del Agregado Fino Reciclado**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
1.02	Peso de la muestra Lavada	g	478.80	478.20	478.50	
1.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	21.20	21.80	21.50	
	Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	4.24%	4.36%	4.30%	4.30%

## DISEÑO DE MEZCLAS

**Tabla 56**

***Diseño de mezcla patrón.***

CEMENTO:	Pacasmayo Tipo I	Peso Específico:	3.09 g/cm <sup>3</sup>
AGREGADOS: : Río chonta.			
Propiedades físicas		Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño máximo nominal:		3/4"	
Peso específico de masa:		2.620 g/cm <sup>3</sup>	2.620 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico saturado superficialmente seco:		2.650 g/cm <sup>3</sup>	2.650 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente:		2.700 g/cm <sup>3</sup>	2.700 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto:		1601 kg/m <sup>3</sup>	1427 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado:		1727 kg/m <sup>3</sup>	1538 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad (%):		5.65	0.33
Absorción (%):		1.20	1.10
Módulo de Finura:		3.087	6.849
Abrasión:		....	28.00
Porcentaje que pasa la Malla N° 200:		3.30%	0.40%
<b>PROCEDIMIENTO</b>			
f'c =	210	kg/cm <sup>2</sup>	
f'cr =	252	kg/cm <sup>2</sup>	
Asentamiento:	3" - 4"	Vacíos:	41.303
Volumen de agua:	204	Vacíos por corregir:	6.303
Aire total (%):	2.00	Factor Corrección:	0.126
Relación a/c:	0.6172		
Factor Cemento:	330.52	7.78	bls/m <sup>3</sup>
Volúmenes absolutos:		Método de módulo de Finura de la combinación:	
Cemento =	0.106966	Módulo de combinación:	5.095
Agua de diseño =	0.204	Módulo de combinación corregido:	4.969
Aire =	0.02	% Agregado fino =	49.98
Suma:	0.330966	% Agregado Grueso =	50.02
Volumen de Agregados:	0.669034	Aporte de Humedad Agregados:	
Agregado fino seco =	876.00	Aporte AF =	38.97
Agregado grueso seco =	877.00	Aporte AG =	-6.74
		Total =	32.23
Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos	
Cemento =	330.52	Cemento =	330.52
Agua de diseño =	204.00	Agua de diseño =	171.77
Agregado fino seco =	876.00	Agregado fino seco =	925.00
Agregado grueso seco =	877.00	Agregado grueso seco =	880.00
Aire total =	2.00	Aire total =	2.00
Proporcionamiento en Peso	1	: 2.80: 2.66 / 22.09 lt/bls	
Proporcionamiento en Volumen	1	: 2.48: 2.79 / 22.09 lt/bls	

**Tabla 57**

**Diseño de mezcla con 15% de agregado reciclado**

MATERIALES				
CEMENTO:	Pacasmayo Tipo I	Peso Específico:	3.09 g/cm3	
AGREGADOS:				
		Cantera: Río Chonta		Agregados Reciclados
Propiedades físicas		Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino Ag. Grueso
Tamaño máximo nominal:			3/4 "	3/4 "
Peso específico de masa (g/cm³):		2.620	2.620	2.570 2.550
Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm3):		2.650	2.650	2.630 2.610
Peso específico aparente (g/cm³):		2.700	2.700	2.730 2.710
Peso unitario suelto (kg/m3):		1601	1427	1568 1347.5
Peso unitario compactado (kg/m³) :		1727	1538	1707 1486.1
Contenido de humedad (%):		5.649	0.331	5.205 0.444
Absorción (%):		1.20	1.10	2.40 2.30
Módulo de Finura:		3.087	6.849	2.952 6.757
Abrasión:		....	28	.... 34
Porcentaje que pasa la Malla N° 200:		3.30%	0.40%	4.30% 0.90%
PROCEDIMIENTO				
f <sub>c</sub> =	210	kg/cm <sup>2</sup>		
f <sub>cr</sub> =	252	kg/cm <sup>2</sup>		
Asentamiento:	3" - 4"	Vacíos:		
Volumen de agua:	204	lt/m <sup>3</sup>		
Aire total (%):	2.00	Vacíos por corregir:		
Relación a/c:	0.6172	Factor Corrección:		
		0.126		
Factor Cemento:	330.52	kg/m <sup>3</sup>	7.78	bls/m3
Volúmenes absolutos:				
Cemento =	0.106966	m <sup>3</sup>		
Agua de diseño =	0.204	m <sup>3</sup>		
Aire =	0.02	m <sup>3</sup>		
Suma:	0.331	m <sup>3</sup>		
Volumen de Agregados:	0.669034	m <sup>3</sup>		
Método de módulo de Finura de la combinación:				
Módulo de combinación:	5.095			
Módulo de combinación corregido:	4.969			
% Agregado fino =	49.98			
% Agregado Grueso =	50.02			
Aporte de Humedad Agregados:				
Aporte AF =	33.13			
Aporte AG =	-5.73			
Aporte AFr =	3.62			
Aporte AGr =	-2.38			
Total =	28.64			
Materiales de Diseño				
Cemento =	330.52	kg		
Agua de diseño =	204.00	lt		
Agregado fino seco =	744.60	kg		
Agregado fino reciclado seco =	128.89	kg		
Agregado grueso seco =	745.45	kg		
Agregado grueso reciclado seco =	128.04	kg		
Aire total =	2.00	%		
Materiales de Diseño Corregidos				
Cemento =	330.52	Kg		
Agua de diseño =	175.36	Lt		
Agregado fino seco =	787.00	Kg		
Agregado fino reciclado seco =	136.00	Kg		
Agregado grueso seco =	748.00	Kg		
Agregado grueso reciclado seco =	129.00	Kg		
Aire total =	2.00	%		
Proporciónamiento en Peso	1	:2.38	:2.26	:0.41 :0.39 / 22.55 lt/bls
Proporciónamiento en Volumen	1	:2.11	:2.37	:0.37 :0.43 / 22.55 lt/bls

**Tabla 58**

**Diseño de mezcla con 20% de agregado reciclado**

MATERIALES					
CEMENTO:	Pacasmayo Tipo I		Peso Específico:		3.09 g/cm <sup>3</sup>
AGREGADOS:			Cantera: Río Chonta		Agregados Reciclados
Propiedades físicas			Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino Ag. Grueso
Tamaño máximo nominal:			3/4 "		3/4 "
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> ):			2.620	2.620	2.570 2.550
Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm <sup>3</sup> ):			2.650	2.650	2.630 2.610
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> ):			2.700	2.700	2.730 2.710
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> ):			1601	1427	1568 1347.5
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> ):			1727	1538	1707 1486.1
Contenido de humedad (%):			5.649	0.331	5.205 0.444
Absorción (%):			1.20	1.10	2.40 2.30
Módulo de Finura:			3.087	6.849	2.952 6.757
Abrasión:			....	28	.... 34
Porcentaje que pasa la Malla N° 200:			3.30%	0.40%	4.30% 0.90%
PROCEDIMIENTO					
f <sub>c</sub> =	210	kg/cm <sup>2</sup>			
f <sub>cr</sub> =	252	kg/cm <sup>2</sup>			
Asentamiento:	3" - 4"		Vacíos:		41.303
Volumen de agua:	204	lt/m <sup>3</sup>	Vacíos por corregir:		6.303
Aire total (%):	2.00		Factor Corrección:		0.126
Relación a/c:	0.6172				
Factor Cemento:	330.52	kg/m <sup>3</sup>	7.78		bls/m <sup>3</sup>
Volúmenes absolutos:					
Cemento =	0.106966	m <sup>3</sup>	Método de módulo de Finura de la combinación:		
Agua de diseño =	0.204	m <sup>3</sup>	Módulo de combinación:		
Aire =	0.02	m <sup>3</sup>	Módulo de combinación corregido:		
Suma:	0.331	m <sup>3</sup>	% Agregado fino =		
			% Agregado Grueso =		
Volumen de Agregados:	0.669034	m <sup>3</sup>	Aporte de Humedad Agregados:		
			Aporte AF =		
Agregado fino seco =	876.00	kg/m <sup>3</sup>	Aporte AG =		
			Aporte AFR =		
Agregado grueso seco =	877.00	kg/m <sup>3</sup>	Aporte AGR =		
			Total =		
Materiales de Diseño					
Cemento =	330.52	kg	Materiales de Diseño Corregidos		
Agua de diseño =	204.00	lt	Cemento =		
Agregado fino seco =	700.80	kg	Agua de diseño =		
Agregado fino reciclado seco =	171.86	kg	Agregado fino seco =		
Agregado grueso seco =	701.60	kg	Agregado fino reciclado seco =		
Agregado grueso reciclado seco =	170.71	kg	Agregado grueso seco =		
			Agregado grueso reciclado seco =		
Aire total =	2.00	%	Aire total =		
Proporcionamiento en Peso	1	:2.24	:2.13	:0.55	:0.52 / 22.70 lt/bls
Proporcionamiento en Volumen	1	:1.99	:2.23	:0.50	:0.58 / 22.70 lt/bls

**Tabla 59**

**Diseño de mezcla con 25% de agregado reciclado**

MATERIALES				
CEMENTO:	Pacasmayo Tipo I		Peso Específico:	3.09 g/cm <sup>3</sup>
AGREGADOS:			Cantera: Río Chonta	Agregados Recicladados
Propiedades físicas			Ag. Fino	Ag. Grueso
Tamaño máximo nominal:			3/4 "	3/4 "
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> ):	2.620		2.620	2.570
Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm <sup>3</sup> ):	2.650		2.650	2.630
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> ):	2.700		2.700	2.730
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> ):	1601		1427	1568
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> ):	1727		1538	1707
Contenido de humedad (%):	5.649		0.331	5.205
Absorción (%):	1.20		1.10	2.40
Módulo de Finura:	3.087		6.849	2.952
Abrasión:	....		28	....
Porcentaje que pasa la Malla N° 200:	3.30%		0.40%	4.30%
PROCEDIMIENTO				
f'c =	210	kg/cm <sup>2</sup>		
f'cr =	252	kg/cm <sup>2</sup>		
Asentamiento:	3" - 4"		Vacíos:	41.303
Volumen de agua:	204	lt/m <sup>3</sup>	Vacíos por corregir:	6.303
Aire total (%):	2.00		Factor Corrección:	0.126
Relación a/c:	0.6172			
Factor Cemento:	330.52	kg/m <sup>3</sup>	7.78	bls/m <sup>3</sup>
Volúmenes absolutos:			Método de módulo de Finura de la combinación:	
Cemento =	0.106966	m <sup>3</sup>	Módulo de combinación:	5.095
Agua de diseño =	0.204	m <sup>3</sup>	Módulo de combinación corregido:	4.969
Aire =	0.02	m <sup>3</sup>	% Agregado fino =	49.98
Suma:	0.331	m <sup>3</sup>	% Agregado Grueso =	50.02
Volumen de Agregados:	0.669034	m <sup>3</sup>	Aporte de Humedad Agregados:	
Agregado fino seco =	876.00	kg/m <sup>3</sup>	Aporte AF =	29.23
Agregado grueso seco =	877.00	kg/m <sup>3</sup>	Aporte AG =	-5.06
			Aporte AFR =	6.03
			Aporte AGR =	-3.96
			Total =	26.24
Materiales de Diseño			Materiales de Diseño Corregidos	
Cemento =	330.52	kg	Cemento =	330.52 Kg
Agua de diseño =	204.00	lt	Agua de diseño =	177.76 Lt
Agregado fino seco =	657.00	kg	Agregado fino seco =	694.00 Kg
Agregado fino reciclado seco =	214.82	kg	Agregado fino reciclado seco =	227.00 Kg
Agregado grueso seco =	657.75	kg	Agregado grueso seco =	660.00 Kg
Agregado grueso reciclado seco =	213.39	kg	Agregado grueso reciclado seco =	214.00 Kg
Aire total =	2.00	%	Aire total =	2.00 %
Proporcionamiento en Peso	1	:2.10	:2.00	:0.69
Proporcionamiento en Volumen	1	:1.86	:0.65 / 22.86 lt/bls	:0.72 / 22.86 lt/bls

## Peso unitario en estado endurecido

**Tabla 60**

***Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 7 d***

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (Kg)	Peso Específico Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO-MP-01	15.195	30.267	181.331	12.443	2267.19
TESTIGO-MP-02	15.160	30.100	180.497	12.340	2271.33
TESTIGO-MP-03	15.095	30.200	178.968	12.384	2291.28
TESTIGO-MP-04	15.136	30.167	179.926	12.310	2267.97
TESTIGO-MP-05	15.204	30.300	181.554	12.283	2232.83
TESTIGO-MP-06	15.402	30.100	186.313	12.343	2200.95

**Tabla 61**

***Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 7 d***

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (Kg)	Peso Específico Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-15% - 01	15.171	30.300	180.775	12.296	2244.83
TESTIGO MP-15% - 02	15.175	30.200	180.854	12.212	2235.90
TESTIGO MP-15% - 03	15.231	30.133	182.199	12.201	2222.29
TESTIGO MP-15% - 04	15.183	30.033	181.045	12.223	2247.96
TESTIGO MP-15% - 05	15.173	30.233	180.814	12.202	2231.91
TESTIGO MP-15% - 06	15.157	30.000	180.441	12.262	2265.19

**Tabla 62**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 7 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (Kg)	Peso Específico Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-20% - 01	15.189	30.300	181.188	12.196	2221.50
TESTIGO MP-20% - 02	15.157	30.200	180.425	12.193	2237.72
TESTIGO MP-20% - 03	15.221	30.000	181.968	12.207	2236.11
TESTIGO MP-20% - 04	15.192	30.300	181.267	12.184	2218.34
TESTIGO MP-20% - 05	15.170	30.200	180.751	12.216	2237.91
TESTIGO MP-20% - 06	15.150	30.000	180.267	12.172	2250.74

**Tabla 63**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a 7 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-25% - 01	15.198	30.200	181.403	12.117	2211.79
TESTIGO MP-25% - 02	15.189	30.133	181.204	12.082	2212.71
TESTIGO MP-25% - 03	15.160	30.000	180.513	12.067	2228.28
TESTIGO MP-25% - 04	15.176	30.300	180.886	12.027	2194.37
TESTIGO MP-25% - 05	15.163	30.000	180.568	12.057	2225.75
TESTIGO MP-25% - 06	15.134	30.133	179.894	12.102	2232.51

**Tabla 64****Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 14 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Específico
TESTIGO-MP-01	15.172	30.150	180.798	12.251	2247.45	
TESTIGO-MP-02	15.115	30.100	179.435	12.153	2250.15	
TESTIGO-MP-03	15.136	30.000	179.926	12.224	2264.64	
TESTIGO-MP-04	15.174	30.200	180.846	12.172	2228.67	
TESTIGO-MP-05	15.166	30.000	180.648	12.174	2246.36	
TESTIGO-MP-06	15.167	30.100	180.663	12.179	2239.62	

**Tabla 65****Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 14 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-15% - 01	15.124	30.100	179.656	12.092	2236.09
TESTIGO MP-15% - 02	15.116	30.100	179.450	12.026	2226.44
TESTIGO MP-15% - 03	15.094	30.000	178.936	12.064	2247.35
TESTIGO MP-15% - 04	15.118	30.033	179.498	12.042	2233.76
TESTIGO MP-15% - 05	15.142	30.133	180.076	12.096	2229.14
TESTIGO MP-15% - 06	15.110	30.000	179.324	12.039	2237.85

**Tabla 66**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 14 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-20% - 01	15.173	30.200	180.822	12.187	2231.71
TESTIGO MP-20% - 02	15.135	30.100	179.902	12.146	2243.01
TESTIGO MP-20% - 03	15.155	30.000	180.378	12.134	2242.33
TESTIGO MP-20% - 04	15.164	30.167	180.608	12.094	2219.76
TESTIGO MP-20% - 05	15.166	30.000	180.655	11.999	2213.98
TESTIGO MP-20% - 06	15.164	30.067	180.608	12.161	2239.48

**Tabla 67**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a 14 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-25% - 01	15.215	30.300	181.809	12.184	2211.73
TESTIGO MP-25% - 02	15.196	30.233	181.355	12.146	2215.23
TESTIGO MP-25% - 03	15.194	30.000	181.315	12.153	2234.23
TESTIGO MP-25% - 04	15.163	30.100	180.568	12.083	2223.14
TESTIGO MP-25% - 05	15.168	30.000	180.703	12.147	2240.69
TESTIGO MP-25% - 06	15.191	30.233	181.244	12.165	2220.05

**Tabla 68*****Peso unitario en estado endurecido del concreto patrón, a 28 d***

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO-MP-01	15.211	30.300	181.713	12.246	2224.16
TESTIGO-MP-02	15.210	30.200	181.689	12.303	2242.20
TESTIGO-MP-03	15.153	30.000	180.330	12.250	2264.37
TESTIGO-MP-04	15.126	30.100	179.688	12.311	2276.19
TESTIGO-MP-05	15.117	30.000	179.490	12.253	2275.52
TESTIGO-MP-06	15.183	30.167	181.061	12.219	2237.09

**Tabla 69*****Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 15% de agregado reciclado, a 28 d***

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-15% - 01	15.191	30.300	181.244	12.283	2236.66
TESTIGO MP-15% - 02	15.195	30.200	181.347	12.215	2230.37
TESTIGO MP-15% - 03	15.161	30.000	180.536	12.185	2249.78
TESTIGO MP-15% - 04	15.184	30.133	181.077	12.207	2237.17
TESTIGO MP-15% - 05	15.206	30.300	181.610	12.273	2230.33
TESTIGO MP-15% - 06	15.141	30.200	180.052	12.283	2258.91

**Tabla 70**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 20% de agregado reciclado, a 28 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-20% - 01	15.175	30.167	180.870	12.205	2236.89
TESTIGO MP-20% - 02	15.188	30.100	181.164	12.198	2236.92
TESTIGO MP-20% - 03	15.146	30.200	180.179	12.212	2244.27
TESTIGO MP-20% - 04	15.180	30.200	180.973	12.202	2232.59
TESTIGO MP-20% - 05	15.197	30.367	181.387	12.200	2214.92
TESTIGO MP-20% - 06	15.183	30.267	181.061	12.209	2227.88

**Tabla 71**

**Peso unitario en estado endurecido del concreto, con reemplazo de 25% de agregado reciclado, a los 28 d**

Identificador	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Peso Específico Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
TESTIGO MP-25% - 01	15.215	30.300	181.809	12.156	2206.65
TESTIGO MP-25% - 02	15.196	30.233	181.355	12.118	2210.12
TESTIGO MP-25% - 03	15.194	30.000	181.315	12.125	2229.08
TESTIGO MP-25% - 04	15.163	30.100	180.568	12.055	2217.99
TESTIGO MP-25% - 05	15.168	30.000	180.703	12.119	2235.53
TESTIGO MP-25% - 06	15.191	30.233	181.244	12.137	2214.94

## PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 29**  
*Agregados naturales*



**Figura 30**  
*Chancadora "Aguilar"*



**Figura 31**  
*Agregados reciclados*



**Figura 32**  
*Elaboración de probetas de concreto*



**Figura 33**  
**Medición de diámetro de probetas**



**Figura 34**  
**Pesado de probetas**



**Figura 35**  
**Probetas de muestra patrón a los 14 d**



**Figura 36**

**Ensayo a compresión axial de probeta**



**Figura 37**

**Falla de probeta de muestra patrón, ensayada a 7 d**



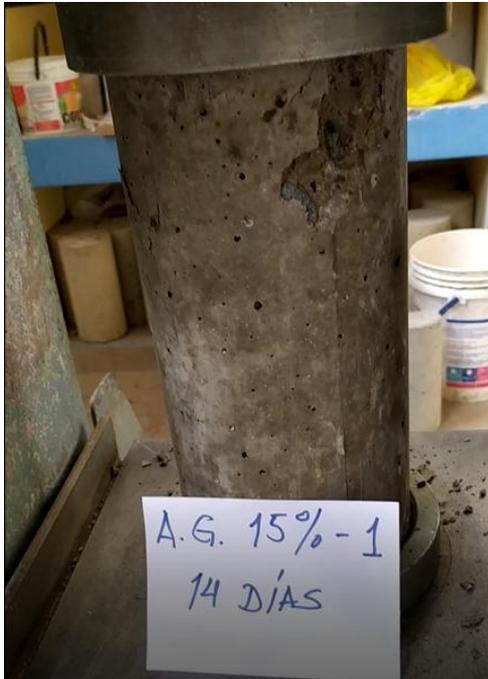
**Figura 38**

**Fallo de probeta ensayada con 25% de agregados reciclados a 28 d**



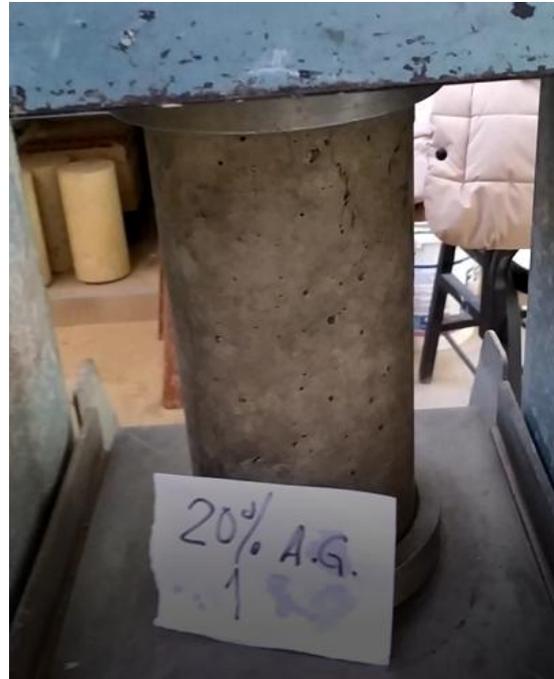
**Figura 39**

**Falla de probeta ensayada con  
15% de agregados reciclados a 14 d**



**Figura 40**

**Falla de probeta ensayada con  
20% de agregados reciclados**



**Figura 41**

**Muestra patrón ensayada  
a 28 d**



**Figura 42**

**Falla de probeta con 20% de agregados  
reciclados ensayada a 28 d**



**Figura 43**

**Falla de muestra patrón ensayada a 28 d.**



**Figura 44**

**Falla de probeta con 25% de agregados reciclados a 14 d.**

