



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

### IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

PRESENTADA POR:

**JORGE LUIS AROSTE VILLA**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2021**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

#### TESIS

#### IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO



PRESENTADA POR:

JORGE LUIS AROSTE VILLA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....  
Dr. GERMAN BELIZARIO QUISPE

PRIMER MIEMBRO

.....  
Dr. RUBÉN TICONA HUAYHUA

SEGUNDO MIEMBRO

.....  
Dr. VÍCTOR ANDRÉS GONZALES GONZALES

ASESOR DE TESIS

.....  
Dr. NÉSTOR QUISPE CONDORI

Puno, 01 de diciembre de 2021

**ÁREA:** Ciencias de la ingeniería.

**TEMA:** Agregados reciclados Impregnados.

**LÍNEA:** Infraestructura y construcción.



## DEDICATORIA

*A mi esposa Jhaneth, compañera y eterna amada.*

*A mis queridos hijos: Jonathan y Fabián, parte de mi ser y fuentes de motivación e inspiración de logros y metas profesionales.*

*A mis padres Agustín y Valentina por darme la vida y el apoyo, que ahora cuidan a mi familia y a mí desde el cielo.*



## AGRADECIMIENTOS

- A mis docentes de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano por brindarme una formación óptima.
- A los docentes del programa de doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente por compartir sus conocimientos, experiencias y orientaciones en la formación profesional.
- Al honorable jurado, compuesto por el Dr. Germán Belizario Quispe, Dr. Rubén Ticona Huayhua y Dr. Víctor Andrés Gonzales Gonzales por el veredicto sapiente y justiciero.
- Al señor asesor Dr. Néstor Quispe Condori por el apoyo desinteresado a la realización de la investigación.
- A los docentes y personal administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica por el apoyo demostrado.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Concreto	3
1.1.2 Cemento	4
1.1.3 Agua	5
1.1.4 Agregados	5
1.1.5 Agregados reciclados	13
1.1.6 Técnicas de tratamientos a los agregados reciclados	21
1.1.7 Impregnación del AR con materiales puzolánicos	22
1.1.8 Relación a/c en los concretos	22
1.2 Antecedentes	23

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	31
2.2 Enunciados del problema	32
	iii



2.2.1	Pregunta general	32
2.2.2	Preguntas específicas	32
2.3	Justificación	33
2.4	Objetivos	34
2.4.1	Objetivo general	34
2.4.2	Objetivos específicos	34
2.5	Hipótesis	34
2.5.1	Hipótesis general	34
2.5.2	Hipótesis específicas	34

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Lugar de estudio	35
3.2	Población	35
3.3	Muestra	36
3.3.1	Muestras de agregados	36
3.3.2	Muestras de consistencia en el concreto fresco	36
3.3.3	Muestra para la determinación de resistencia a la compresión	36
3.3.4	Muestra para la determinación del peso unitario de los concreto	37
3.4	Método de investigación	37
3.4.1	Diseño de investigación	37
3.4.2	Tipo de estudio	37
3.4.3	Nivel de estudio	38
3.4.4	Variables	38
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	39
3.5.1	Característica físico – mecánica que se modifican con la impregnación de los AR con cemento IP	39
3.5.2	Resistencia mecánica del concreto, con la tecnología de impregnación de los agregados reciclados con cemento IP	43
3.5.3	Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos	48



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Característica física que se modifican con la impregnación de los agregados reciclados con cemento IP	55
4.1.1	Agregado grueso reciclado impregnado	55
4.1.2	Forma y textura	56
4.1.3	Análisis granulométrico	59
4.1.4	Tamaño máximo nominal	66
4.1.5	Módulo de fineza	66
4.1.6	Peso específico	68
4.1.7	Absorción	72
4.1.8	Peso volumétrico	77
4.2	Variación de la resistencia mecánica del concreto, con la tecnología de impregnación de los agregados reciclados con cemento IP	82
4.2.1	Diseño de mezcla	82
4.2.2	Asentamiento del concreto fresco	84
4.2.3	Peso unitario del concreto	86
4.2.4	Resistencia a la compresión	93
4.3	Variación de la resistencia mecánica del concreto elaborado con diferentes relaciones a/c, con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP	100
4.3.1	Prueba de normalidad	101
4.3.2	Prueba de homogeneidad	103
4.3.3	Prueba de hipótesis de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR	104
4.4	Aporte teórico	107
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES	110
	BIBLIOGRAFÍA	111
	ANEXOS	122



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Requisito granulométrico del agregado fino	9
2. Requisito granulométrico del agregado grueso	10
3. Resistencia a compresión en función de la calidad del agregado reciclado	21
4. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto	23
5. Cantidad de muestras para consistencia en el concreto fresco	36
6. Cantidad de probetas para ensayo a la compresión	37
7. Numero de diseño de mezclas con AGRI, AGR, AGN	43
8. Numero de diseño de mezclas con sustitución parcial de AGN	44
9. Análisis de varianza para 2 factores con n réplicas	47
10. Materiales para la elaboración de concretos	48
11. Características técnicas del cemento Rumi IP	49
12. Características físicas del agregado fino y grueso	50
13. Instrumentos y equipos utilizados	54
14. Granulometría del agregado grueso reciclado impregnado	59
15. Granulometría del agregado grueso reciclado	61
16. Granulometría del agregado grueso natural	62
17. Granulometría del agregado fino reciclado	63
18. Granulometría del agregado fino natural	64
19. Módulo de fineza de los agregados	67
20. Pesos específicos de los agregados gruesos	68
21. Pruebas de W de Shapiro-Wilk para peso específico	69
22. Error absoluto peso específico por agregado	70
23. ANOVA error absoluto peso específico por agregado	70
24. Resumen estadístico prueba t para comparar medias peso específico	71
25. Porcentaje de absorción de los agregados gruesos	72
26. Pruebas de W de Shapiro-Wilk para porcentaje de absorción	74
27. Error absoluto del porcentaje de absorción	74
28. ANOVA error absoluto porcentaje de absorción por agregado	75
29. Resumen estadístico prueba t para comparar medias de absorción	76
30. Peso volumétrico seco suelto de los agregados gruesos	77





31. Peso volumétrico seco compactado de los agregados gruesos	78
32. Pruebas Shapiro-Wilk del peso volumétrico suelto y compactado	78
33. Error absoluto de los PVSS y PVSC	79
34. ANOVA error absoluto del peso volumétrico seco suelto	79
35. ANOVA error absoluto del peso volumétrico seco compactado	80
36. Resumen estadístico prueba t para comparar medias del PVSS	81
37. Peso volumétrico seco compactado de los agregados gruesos	81
38. Parámetros físicos de los agregados	83
39. Resumen de dosificación de diseño de mezcla con AGRI y AGR	83
40. Resultados de asentamiento en el concreto fresco	85
41. Peso unitario del concreto por diseño de mezcla	87
42. Pruebas Shapiro-Wilk para peso unitario del concreto	88
43. Error absoluto peso unitario del concreto	89
44. ANOVA error absoluto P.U. del concreto con AGRI	89
45. ANOVA error absoluto P.U. del concreto con AGR	89
46. Análisis de ANOVA para peso unitario del concreto	90
47. Pruebas de múltiple rangos Tukey para peso unitario del concreto	91
48. Resistencia a la compresión del concreto por diseño de mezcla	93
49. Pruebas Shapiro-Wilk para resistencia del concreto	94
50. Error absoluto de resistencia del concreto	95
51. ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con AGRI	95
52. ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con AGR	95
53. Análisis de ANOVA para resistencia del concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	96
54. Pruebas de Tukey para resistencia por agregados	98
55. Resistencia a la compresión de concretos con AGRI y AGR sustituido con AGN	101
56. Pruebas Shapiro-Wilk para resistencia del concreto % de reemplazo	102
57. Error absoluto de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR	103
58. ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR	103
59. Análisis ANOVA para resistencia con % de reemplazo de AGRI y AGR	104
60. Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia por %reemplazo	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Agregados de concreto reciclado (ACR)	15
2. Agregado reciclado de albañilería (ARA)	16
3. Agregado reciclado mixtos	17
4. Prueba de asentamiento del concreto	45
5. Elaboración de probetas de concreto	45
6. Prueba de resistencia a la compresión	46
7. Agregado reciclado grueso natural.	50
8. Recolección de probetas de la obra	51
9. Colocado de probetas en la trituradora tipo mandíbula	52
10. Agregado reciclado grueso	53
11. Agregado reciclado grueso impregnado	56
12. Agregado reciclado impregnado con cemento IP	57
13. Agregado grueso reciclado	57
14. Agregado grueso natural	58
15. Curva granulométrica del agregado grueso reciclado impregnado	60
16. Curva granulométrica del agregado grueso reciclado	61
17. Curva granulométrica del agregado grueso natural	62
18. Curva granulométrica del agregado fino reciclado	63
19. Curva granulométrica del agregado fino natural	64
20. Comparación de la granulometría del AFR y AFN	65
21. Comparación de la granulometría del AGRI, AGR, AGN	66
22. Promedio de los pesos específicos de los agregados gruesos	68
23. $t$ Student para $Gl = 2$ con probabilidad = 0.05, $t_c = -1.32094$	72
24. Promedio de porcentaje de absorción según agregado	73
25. $t$ Student para $Gl = 2$ , probabilidad = 0.05, $t_c = -24.4909$	76
26. Proporciones de materiales en seco para diferentes relaciones a/c en concreto con AGRI	84
27. Asentamientos registrados en los concretos con AGRI y AGR	85
28. Comparación del peso unitario de diferentes agregados gruesos	92



<b>29.</b> Resistencia del concreto con diferentes AG y relaciones a/c	98
<b>30.</b> Proyección de la resistencia de los concretos con AGRI y AGR	100
<b>31.</b> Resistencia del concreto con sustitución del agregado grueso natural	106
<b>32.</b> Proceso de impregnación del agregado grueso reciclado con cemento IP	128
<b>33.</b> Eliminación de excedente del proceso de impregnación	128
<b>34.</b> Primer día de curado de AGRI	129
<b>35.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso	129
<b>36.</b> Ensayo de material fino por debajo de la malla 200	130
<b>37.</b> Secado de agregado grueso impregnado	130



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Diseño de mezclas, relación a/c = 0.70, método ACI 211.1	122
2. Evidencias fotográficas	128
3. Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado impregnado	131
4. Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado	132
5. Análisis granulométrico del agregado grueso natural	133
6. Análisis granulométrico del agregado fino reciclado	134
7. Análisis granulométrico del agregado fino natural	135
8. Peso unitario del agregado grueso reciclado impregnado	136
9. Peso unitario del agregado grueso reciclado	137
10. Peso unitario del agregado grueso natural	138
11. Peso unitario del agregado fino reciclado	139
12. Peso unitario del agregado fino natural	140
13. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado impregnado	141
14. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado	142
15. Peso específico y absorción del agregado grueso natural	143
16. Peso específico y absorción del agregado fino reciclado	144
17. Peso específico y absorción del agregado fino natural	145
18. Resistencia a la compresión y peso volumétrico de los concretos	146



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

a/c	: agua/cemento
ACI	: American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)
ACR	: Agregado de Concreto Reciclado
AFN	: Agregado Fino Natural
AFR	: Agregado Fino Reciclado
AGN	: Agregado Grueso Natural
AGR	: Agregado Grueso reciclado
AGRI	: Agregado Grueso Reciclado Impregnado
AN	: Agregado Natural
ANOVA	: Análisis de Varianza
AR	: Agregado reciclado
ARA	: Agregado Reciclado de Albañilería
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales)
DCD	: Desperdicio de Construcción y Demolición
DIRESA	: Dirección Regional de Salud
E.060	: Norma Técnica Peruana de Estructura, Concreto Armado
IP	: Cemento Tipo I, Puzolánico
MF	: Módulo de Fineza
MVCS	: Ministerio de vivienda, Construcciones y Saneamiento
NTP	: Norma Técnica Peruana
PRONIED	: Programa Nacional de infraestructura Educativa
PU	: Peso Unitario
PVSC	: Peso Volumétrico Seco Compactado
PVSS	: Peso Volumétrico Seco Suelto
TMN	: Tamaño Máximo Nominal



## RESUMEN

La industria de la construcción realiza actividades que generan botaderos de escombros clandestinos perjudicando el medio ambiente. En investigaciones se han utilizado estos escombros transformándolos en agregados reciclados utilizados en nuevos concreto con resultados de resistencias menores a las normales debido a su mayor absorción. Para abordar la problemática se realizó un estudio experimental del efecto de impregnación en los agregados reciclados con cemento IP con fines de mejorar las características físico-mecánicas de resistencia del concreto, realizado en la ciudad de Puno. Se obtuvo agregado reciclado de la trituración de probetas de concreto, impregnándolos con cemento IP de relación a/c de 0.50. Se realizaron pruebas de análisis granulométrico, pesos unitarios, peso específico y absorción, según las NTP y ASTM. Se elaboraron concretos por el método ACI con diferentes relaciones de a/c con AGRI, AGR y reemplazos de agregado grueso natural. Se evaluó la trabajabilidad, peso unitario y resistencia a la compresión de los concreto. Se utilizó la distribución t de Student y el ANOVA multivariable para la comparación de muestras con nivel de confianza al 95%. El proceso de impregnación redujo en 46.65% la absorción, aumentó del MF en 8.24% e incrementó el PVSC en un 1.9%, no alteró el PVSS y peso específico, mejoró la trabajabilidad en 33% del concreto fresco, incrementó el peso unitario del concreto seco en un 2.75%, y produjo concreto con resistencia superior a los concretos con AGN, pero con menor resistencia a los concretos con AGR, concluyéndose que los AGRI son de menor calidad que los AGR.

**Palabras clave:** Agregados alternativos, diseño de mezcla, impregnación, resistencia en los concretos.



## ABSTRACT

The construction industry carries out activities that generate clandestine rubble dumps, damaging the environment. In research, these rubble have been used, transforming them into recycled aggregates used in new concrete with results of lower resistance than normal due to its greater absorption. To address an problem, an experimental study of the impregnation effect on recycled aggregates with IP cement was carried out in order to improve the physical-mechanical characteristics of concrete resistance, carried out in the City of Puno. Recycled aggregate was obtained from the crushing of concrete specimens, impregnating them with IP cement with a/c ratio of 0.50. Granulometric analysis tests, unit weights, specific weight and absorption were carried out, according to the NTP and ASTM. Concretes were made by the ACI method with different a/c ratios with AGRI, AGR and natural coarse aggregate replacements. The workability, unit weight and compressive strength of the concrete were evaluated. Student's t distribution and multivariate ANOVA were used to compare samples with a confidence level of 95%. The impregnation process reduced absorption by 46.65%, increased MF by 8.24% and increased PVSC by 1.9%, did not alter PVSS and specific weight, improved workability in 33% of fresh concrete, increased the unit weight of dry concrete by 2.75%, and produced concrete with greater resistance than concrete with AGN, but with less resistance than concrete with AGR, concluding that AGRI are of lower quality than AGR.

**Keywords:** Alternative aggregates, concrete strength, impregnation, mix design.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, está tomando mayor fuerza el concepto de ecología y medio ambiente a nivel mundial y local, involucrando directamente a la industria de la construcción por el tipo de actividades que se realizan en las obras civiles (Barboza, 2015), actividad considerada la mayor contaminante debido a la extracción, transformación y fabricación de materiales y otros elementos de construcción que producen grandes cantidades de residuos y desechos generando problemas ambientales por su disposición final, no sólo afectando los recursos suelos y agua, sino también el medio paisajístico (Mendoza y Chévez, 2017), residuos que representan más del 70-90% del total de los residuos (Cha *et al.*, 2020) generando en todo el mundo uno de los tipos de residuos más voluminosos, de los cuales la mayoría termina en botaderos (Berg *et al.*, 2020).

El Perú promueve actividades de construcción y demolición como el Programa Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED), teniendo como “objetivo la ampliación, mejoramiento, sustitución de infraestructura educativa, contemplando la demolición según la evaluación y verificación estructural, aplicando el DS 003-2013 MVCS (2019) reglamento de aplicación a las acciones o procesos relacionados a la gestión y manejo de residuos de la construcción y demolición, y de Seguridad y Salud en el Trabajo, proponiendo la comercialización y reciclaje de desechos de demolición del concreto, a través de una planta de reciclaje especializada, registradas por la DIRESA y con autorización municipal” (DS 005-2012 MINEM, 2012).

Sin embargo, el Perú continúa enfrentando serios desafíos en el manejo de desechos sólidos, donde la legislación y los instrumentos actuales carecen de integración y se centran principalmente en la gestión de los residuos sólidos urbanos, lo que dificulta la gestión de los residuos de construcción y demolición. Un resultado de esto es una falta de información sobre la generación, reciclaje y disposición final de RCD, entre otros temas, y la falta de la aplicación de estas normas genera que se ubican grandes volúmenes de RCD en lugares inadecuados, y en diferentes puntos no autorizados del territorio peruano, con fuertes impactos ambientales, según lo menciona la Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (Flores, 2020).

Con fines de minimizar estos impactos se está proponiendo la utilización de materiales alternativos en las obras civiles y en la elaboración de concretos, motivo de estudio de varios organismos con el objetivo de disminuir el empleo de las materias primas no



renovables y disposición final de residuos (Sorouschian, 2012), uno de ellos es “el agregado reciclado, y pese a su aceptación en otros países sigue siendo necesaria la investigación de su uso en relación a sus componentes separados y a él en su conjunto” (Liu *et al.*, 2011), mencionándose que los agregados reciclados pueden usarse como un reemplazo parcial de agregados naturales debido a la baja resistencia que presentan” (Rao *et al.*, 2018), ocasionado por “la zona de interfaz formada entre la pasta cementícea y el agregado reciclado, que se diferencia del agregado natural en que el primero es más poroso debido al mortero original adherido a la superficie de las partículas. Si se mejoran las propiedades superficiales y de estructura de los poros es de esperar que las propiedades mecánicas del concreto reciclado mejoren” (Poon *et al.*, 2004).

Con fines de disminuir la porosidad de los agregados reciclado e incrementar la resistencia del concreto con agregado reciclado se realizó la investigación titulada “Impregnación de agregado reciclado con cemento IP y el mejoramiento de sus características físicos-mecánicas, en la resistencia del concreto” lográndose determinar la calidad de los concretos con el uso de Agregado Grueso Reciclado Impregnado (AGRI). La investigación genera información para uso alternativo de los desechos de residuos de construcción, la minimización de los botaderos clandestinos y disminución de los volúmenes de desechos.

Este documento se divide en cuatro partes: En el Capítulo I presentamos la revisión de literatura, Marco teórico y antecedentes de la investigación. En el Capítulo II planteamos el problema de la investigación, la justificación, los objetivos y la hipótesis. En el capítulo III detallamos los materiales y la metodología del trabajo para cada objetivo específico. En el capítulo IV presentamos los resultados más relevantes y las discusiones. Finalmente en los capítulos siguientes presentamos las conclusiones, recomendaciones, bibliografía utilizada y los anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Concreto

El concreto “es una mezcla del cemento Portland hidráulico con el agregado fino, agregado grueso y agua, y si se desea cualidades especiales se le añade aditivos” (E.060, 2009).

Otros mencionan que el concreto “es la mezcla de material aglomerante (conglomerado) y agregados fino y grueso” (NTP 339.047, 2006).

En definitiva, el concreto es básicamente “una mezcla de dos componentes: pasta de cemento y agregados. La pasta de cemento es la mezcla de cemento Portland y agua, cuya labor es de unir a los agregados (agregado fino y agregado grueso), y constituir una masa monolítica parecida a una roca, debido a la reacción química entre el agua y el cemento” (Polanco, 2012).

La mezcla de los componentes del concreto “produce una masa plástica que se puede moldear y compactar con relativa facilidad. Sin embargo, después de algunas horas, se vuelve rígido y comienza a tomar la apariencia, el comportamiento y las propiedades de un cuerpo sólido, transformándose finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto seco endurecido” (Quichca, 2016).

### 1.1.2 Cemento

El cemento hidráulico “es obtenido mediante la molienda y pulverización del Clinker, que contiene elementos de silicatos de calcio hidráulicos y sulfato de calcio en una o más de su forma natural y que son adicionados durante el proceso de la molienda” (NTP 339.047, 2006).

El Clinker “es producido por la mezcla de cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones previamente establecidas, y sometidos a cocción a elevadas temperaturas, para lograr la combinación de sus elementos y se consiga las propiedades deseadas” (Abanto, 2009).

El cemento Portland es hidráulico, que “se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como sumergidos en agua, en ambos casos el producto final es estable en diferentes medios. El fraguado es el tiempo de inicio de la consistencia de un conglomerante, pasado este tiempo el material endurece y puede seguir endureciéndose” (Sanjuán y Chinchón, 2006).

La adición del 5% de yeso al Clinker durante la molienda controla la velocidad de fraguado, sin esto, el concreto se secaría rápidamente, teniendo dificultades para su transporte y colocado, y si fuera muy lenta, la demora en adquirir resistencia sería objetable (Abanto, 2009).

#### 1.1.2.1 Clasificación de los cementos

Las características que deben de cumplir los tipos de cementos portland en el Perú, que se mencionan a continuación (NTP, 2016):

- Tipo I: Cemento de uso frecuente, que no adquiere propiedades especiales desarrolladas por otro tipo de cemento;
- Tipo II: Cemento de uso frecuente, presentando moderada resistencia al ataque de sulfatos;
- Tipo II (MH): Cemento de uso frecuente, presenta una moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación;
- Tipo III: Se obtiene concretos con resistencias iniciales altas;
- Tipo IV: Se obtiene concreto con calor de hidratación bajo;
- Tipo V: Se obtiene concreto altamente resistente a los sulfatos;

Igualmente establecen los cementos portland adicionados (NTP, 2016):

- Cemento Puzolánico (IP) de contenido de Puzolana de 15% - 40%.
- Cemento Puzolánico Modificado (IPM), de contenido de Puzolana en menos de 15%.
- Cemento de Escoria (IS), de contenido entre 25% - 70%.
- Cemento Compuesto (ICo) de contenido de hasta 30%.
- Cemento Calizo (IL).
- Cemento Ternario (IT).

### **1.1.3 Agua**

Es un componente necesario en la fabricación del concreto porque tiene dos aplicaciones bien diferenciadas: como ingrediente en la preparación de mezclas aportando trabajabilidad al concreto fresco, y como medio de curado del concreto recién colocados, acción que se basa en asegurar que el concreto tenga el agua que requiere para hidratarse y mantenerse en situaciones de temperatura moderadas. El agua “representa el 10% a 25% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo de agregado utilizado y el grado de resistencia requerido” (NTP 339.88, 2006).

El agua para concreto debe de cumplir exigencias regulados por la NTP 339.088 (2006), donde menciona que solo está permitido utilizar el agua potable sin necesidad de comprobar su calidad. Sin embargo, se usan otro tipo de agua, debe de realizar los análisis respectivos. Es importante señalar que no se debe utilizar agua de mar en la producción de concreto.

### **1.1.4 Agregados**

Estos ocupan el 75% del volumen del concreto, y que están constituidas por las arenas, las piedras trituradas y las gravas naturales, las mismas que se utilizan también para preparar morteros y concretos especiales como los concretos ligeros y de rendimiento alto (González, 2008).

La NTP 400.037 (2001), menciona que el agregado para concreto “se puede clasificar como un conjunto de partículas, de origen artificial o natural, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites de la NTP”.

#### 1.1.4.1 Requisitos de los agregados

Los requerimientos a cumplir por los agregados para ser usados en el concreto según la NTP 400.037 (2001) y la ASTM C-33.

Para evitar expansiones del concreto, “los agregados que serán sometidos a humedecimiento, exposición prolongada a ambientes húmedos o contacto con suelos húmedos no deben contener ningún material que sea potencialmente reactivo con los álcalis del cemento”.

Se recomienda “la prueba de estabilidad de volumen para agregados que se utilizarán en aplicaciones específicas que estarán sujetas a procesos de congelación y descongelación. Aquellos que no pasen esta prueba pueden ser utilizados para demostrar que un concreto con características similares en la zona tiene un registro de servicio satisfactorio bajo estas condiciones de intemperismo”.

De igual forma, la norma recomienda “utilizar aditivos con contenido total de sales solubles en porcentajes no mayores a 0.015 por ciento en referencia al peso del cemento” (NTP 400.012, 2001).

Los materiales a utilizar en el proyecto “deben cumplir con especificaciones técnicas que aseguren la calidad del producto final. Aquellos agregados que no cumplan algunos requisitos podrán ser empleados siempre que se demuestre con pruebas de laboratorio o experiencia en obra que se pueden producir concretos con la calidad solicitada” (NTP 400.012, 2001).

##### a. Requisitos del agregado fino

El agregado fino es aquel proveniente de la desagregación natural o artificial, que debe de pasar el tamiz de 9.5 mm (3/8”), y que cumple con los siguientes límites” (NTP 400.037, 2001):

- Partículas deleznable, máx. porcentaje 3%
- Material más fino que el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200), máx. porcentaje:
  - Concreto expuestos a abrasión 3%

- Otros concretos 5%
- Carbón y lignito, máx. porcentaje 0.5%
- Debe estar conformado por partículas limpias de perfil preferentemente angular, duro y compacto, sin presencia de materia orgánica, ni otras sustancias dañinas para el concreto.
- Debe estar distribuido granulométricamente dentro de los límites dados en los requisitos obligatorios.
- Debe estar libre de materia orgánica, según la prueba ASTM C-40; si no cumple con este criterio, se podrá utilizar siempre y cuando se realice la prueba de compresión a los 7 días con resistencia mayor al 95%, comparada con concretos preparada con agregado limpia y otros.

#### **b. Requisitos del agregado grueso**

El agregado grueso es “el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente norma” (NTP 400.037, 2001):

- Partículas deleznable, máx porcentaje 3%
- Material más fino que el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N° 200), máx. porcentaje:
  - Concreto sujeto a abrasión 1%
  - Otros concretos 1%
  - Carbón y lignito, máx. porcentaje 0.5%
- Estará compuesto por fragmentos con perfiles preferentemente angulares o semiangulares, limpios, duros, compactos y resistentes, y con texturas preferentemente rugosas y libres de material escamoso o partículas blandas.
- El agregado no tendrá resistencia a la compresión menor de 600  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .
- Su graduación del agregado estará dentro de los límites especificados en la tabla 2 de requisito granulométrico del agregado grueso.
- El tamaño máximo del agregado será:

- Entre caras del encofrado no mayor a 1/5 de dimensión ó
- Del peralte de las losas no mayor a 1/3 de dimensión ó
- Entre varillas de acero, el 3/4 del espacio libre.
- Si se requiere la eliminación de materiales más fino que la malla 200 se debe hacerse con agua de limpia no orgánica, libre de sales o sólidos en suspensión.

#### 1.1.4.2 Propiedades físicas del agregado

En cuanto a las consideraciones físicas, dependiendo de uso de los agregados (en concreto o pavimento), se realizan los ensayos siguientes:

##### a. Humedad

La NTP 339.185 (2011), indica que “la humedad es la cantidad de agua retenida en la superficial y en interior de la partícula. Su influencia está en la menor o mayor cantidad de agua calculada para la mezcla”. Se determina siguiendo el procedimiento establecido en la norma y se expresa de la siguiente forma:

$$\%H = 100 * \frac{(W - D)}{D}$$

Donde:

$\%H$  = Porcentaje de contenido de humedad de la muestra

$W$  = Peso de la muestra húmeda en gramos

$D$  = Peso de la muestra seca en gramos

##### b. Análisis granulométrico

la NTP 400.037 (2001), indica los procedimientos para la realización del “análisis granulométrico, cuya finalidad es buscar y determinar la distribución de los agregados, y clasificándolos en agregado grueso y fino. Se debe de considerar que las variaciones de la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra”.

Los requisitos granulométricos del agregado fino se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

*Requisito granulométrico del agregado fino*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9.5 mm (3.8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 $\mu$ m (N° 30)	25 a 60
300 $\mu$ m (N° 50)	05 a 30
150 $\mu$ m (N° 100)	0 a 10

Fuente: Análisis granulométrico del agregado fino, NTP 400.037 (2001)

- Las proporciones relativas de los agregados son afectados por su granulometría y el tamaño de ellos, que afectan al agua y cantidad de cemento en el diseño de mezcla del concreto, posteriormente afectan la trabajabilidad, economía, porosidad, contracción, dureza y capacidad de bombeo.
- Los requisitos granulométricos del agregado grueso se especifican en la Tabla 2.



Tabla 2

*Requisito granulométrico del agregado grueso*

N° ASTM	TAMAÑO NOMINAL	% Que pasa por los tamices normalizados												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
		4"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°8	N°16
1	31/2"	100	90		25		0		0					
	a		a	a		a		a						
2	11/2"		100		60		15		5					
	a			100	90	35	0		0					
3	2"				100	90	35	0		0				
	a				a	a	a	a		a				
357	1"				100	70	15		5					
	a				a	a	a	a		10		0		
4	N°4				100	70			30		5			
	a						90	20	0		0			
467	11/2"					100	a	a	a		a			
	a					a	100	55	15		5			
5	N°4						95		35		10	0		
	a						a	a	a		a	a		
56	1"						100	90	20	0	0			
	a						a	a	a	a	a	a		
57	3/8"						100	100	55	10	5			
	a						a	a	a	a	a	a		
6	N°4							95		25		0	0	
	a						a	a	a	a	a	a		
67	¾"							100	90		20	0	0	
	a							a	a	a	a	a		
7	N°4							100	100		55	10	5	
	a							a	a	a	a	a		
9	3/8"								90	40	0	0		
	a							a	a	a	a	a		
	N°8								100	85	10	0	0	
									a	a	a	a		
									100	30	10	5		

Fuente: Análisis granulométrico del agregado grueso, NTP 400.037 (2001)

**c. Tamaño máximo y tamaño máximo nominal (TM y TMN)**

La NTP 400.012 (2001), define al Tamaño Máximo (TM) como “el máximo del agregado, aquel que pasa toda la muestra de agregado grueso por el mayor tamiz de la serie; y el tamaño máximo nominal (TMN), aquel agregado que produce el primer retenido del material por el mayor tamiz de la serie”.

#### d. Módulo de fineza

La NTP 400.037 (2001), menciona procedimientos para determinar el módulo de fineza del agregado, con fines de intuir la fineza promedio del agregado, utilizándose la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \%RA(1", 1/2", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Donde

$MF$  = Módulo de fineza del agregado

$\%RA$  = Porcentaje Retenido Acumulado

El módulo de fineza recomendable del agregado fino se encuentre entre 2.3 y 3.1, con variaciones de  $\pm 0.20$ .

Se estima que el agregado fino con módulos de fineza 2.2 y 2.8 producen concretos con buena trabajabilidad, con mínimas segregaciones, y las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son más optimistas para los concretos de alta resistencia.

Cabe mencionar que cuando más alto sea el valor del MF, más gruesas serán las partículas del agregado.

#### e. Peso específico y absorción de los áridos grueso y fino

La NTP.400.021 (2002), “estipula los procedimientos para realizar este ensayo, teniendo por objeto la determinación del peso específico a “granel”, el peso específico aparente y porcentaje de absorción del agregado fino y grueso, donde el agregado debe de estar en condiciones de saturado seco superficialmente, cuyas características para el diseño son las siguientes”:

- Permite estimar la porosidad y la densidad del agregado.
- Su valor se utiliza en el diseño de mezcla, y su modelo de deterioro en campo.
- Su valor es importante para el cálculo de mezclas homogéneas de largos plazos de desempeño.

- Valores altos de absorción no es para desechar al agregado, pero puede mostrar un desempeño inadecuado dentro de la mezcla del concreto.
- Así mismo, una excesiva porosidad puede ser un indicativo de una reducida calidad mecánica del agregado, y tener efectos indeseables en el concreto, presentando una limitada resistencia mecánica, alta deformabilidad y elevada capacidad de absorber agua.

Para calcular el peso específico y absorción de los agregados se utiliza las siguientes expresiones:

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

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

Dónde:

$Pe$  = Peso específico del agregado, (g/cm<sup>3</sup>)

$A$  = Peso de la muestra sacada al horno en aire, (g)

$B$  = Peso de la muestra saturada seca superficialmente al aire, (g)

$C$  = Peso aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, (g)

#### **f. Pesos unitarios de los agregados**

La NTP 400.017 (2011), establece los procedimientos para la determinación del peso unitario del agregado fino y grueso en condiciones sueltos y compactados, considerándose que este procedimiento no es aplicable a los agregados con tamaño máximo nominal mayores a 125 mm.

El peso unitario es la relación del peso por unidad de volumen (mas correctamente, masa por unidad de volumen o densidad).

Se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde.

$M$  = Peso unitario del agregado,  $\text{kg/m}^3$

$G$  = Peso del agregado sumado la masa del recipiente, kg

$T$  = Peso del recipiente, kg

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

### 1.1.5 Agregados reciclados

Como resultado del significativo impacto ambiental causado por el proceso de fabricación del concreto, y como contribución a la viabilidad a largo plazo de la industria, actualmente se están implementando mejoras en su durabilidad, así como la sustitución de sus componentes por materiales alternativos reciclados. “El reciclaje de residuos de demolición y construcción ha sido un tema de estudio desde la década de 1950 incrementándose significativamente en los últimos diez años. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en el comportamiento de las propiedades físico - mecánicas del agregado de concreto reciclado (ACR) y el concreto hecho con ellos” (Corral *et al.*, 2013).

Como definición general, un “agregado reciclado es aquel agregado que resulta del procesamiento de materiales inorgánicos previamente utilizados en la construcción” (Arriaga, 2013).

Los agregados gruesos reciclados (AGR) se obtienen a partir de la desintegración de desecho de concretos de diferentes orígenes y aplicaciones tecnológicas. Se emplea una trituradora del tipo mandíbula para su trituración, obteniéndose un agregado de 25 mm como tamaño máximo. Se recomienda que todos los concretos a ser triturados hayan sido elaborados con agregados naturales, ya que ello tiene influencia sobre las propiedades de los agregados reciclados (Zega, 2015).

Los escombros de concreto de actividades de demolición, después de su separación de otros residuos, pueden utilizarse como reemplazo del agregado natural grueso y/o fino, o como tratamiento para base o sub base de pistas y veredas. Este tipo de material reciclado se denomina agregado reciclado (Mauricio *et al.*, 2003).

Los agregados reciclados pueden definirse como “los agregados gruesos y finos que se obtienen mediante el proceso de triturado, tamizado y la separación de otros componentes de los residuos de construcción y demolición, y se clasifican de acuerdo con la disponibilidad y la necesidad” (Major y Sudhirkumar, 2016).

Las propiedades del concreto original a reciclar influyen en las propiedades mecánicas del concreto reciclado y es posible obtener concreto reciclado con mayor  $f'c$  que el original. El diseño de mezcla de concreto reciclado es similar a los procedimientos para producir concreto con agregados naturales. Es necesario hacer correcciones en el contenido de agua para obtener la plasticidad adecuada, sin embargo, los cambios en la relación agua/cemento pueden ser relativamente menores (Major y Sudhirkumar, 2002).

#### **1.1.5.1 Aspectos generales de los AR**

El desarrollo económico y social de los países a escala global ha tenido un impacto significativo en el daño ambiental y así como poner en peligro su sostenibilidad. Cada año, la explotación de los recursos naturales, en particular los recursos no renovables, con fines de construcción genera millones de toneladas de RCD. Además, al no tener la mayoría de países un plan específico de disposición final para estos residuos acaban destinándolos a vertedero, en lugar de reutilizarlos o reciclarlos en nuevas construcciones (San Martín, 2019).

Aunque “las propiedades y los tipos de AR que se desarrollarán están relacionados principalmente con la producción de concreto, existen muchos estudios y análisis que han arrojado resultados positivos sobre el uso de AR en aplicaciones de carreteras y autopistas” (San Martín, 2019).

Debido a esto, “existe un alto potencial para el reciclaje de RCD porque la mayoría de sus componentes tienen un alto valor monetario como recurso. Existe una reutilización del AR en el campo de la construcción de carreteras y en sus componentes como bases, sub-bases, capas asfálticas bituminosas, etc., así como en morteros de cemento y concreto” (Hansen, 1992).

### 1.1.5.2 Clasificación de los agregados reciclados

Según Silva (2014), se clasifica a los agregados reciclados en tres tipos, según la procedencia de los materiales de escombros de construcción y demolición como son; de concretos, albañilería y los procedentes de escombros mixtos. Luego de triturarlos y pasar por un proceso de clasificación, los agregados serán designados a las siguientes categorías:

#### a. Agregados de concreto reciclado (ACR)

El concreto es el material más común que se encuentra en el AR porque “es el más utilizado en la construcción estructurales, que triturados y procesados en plantas adecuadas logran ACR (Figura 1). Este material que tiene como materia prima al concreto tiene composición heterogénea pues contiene cemento, agua, agregados, y en ocasiones aditivos, por tanto, no puede considerarse como un material uniforme. Para ser considerado como agregado de concreto reciclado, las normas recomiendan que debe de tener como mínimo 90% de masa de concreto elaborado con cemento portland y agregados naturales” (Silva, 2014).



*Figura 1.* Agregados de concreto reciclado (ACR)

Fuente: ALAMY. <https://www.alamy.es/agregado-de-concreto-reciclado-rca-que-se-produce-por-trituracion-de-hormigon-recuperado-de-edificios-de-hormigon-losas-cubiertas-de-puente-carreteras-demolidas-image381565709.html>.



### **b. AR de albañilería (ARA)**

El término *escombros de mampostería* se refiere a un grupo de “materiales de construcción que resultan de la construcción y demolición de edificios y estructuras de ingeniería civil. Esta familia de materiales puede incluir bloques de concreto ligero, ladrillos, ladrillos de cal, cerámicos, ladrillos y bloques generados por cocción a alta temperatura. Los escombros de mampostería a menudo contienen mortero y materiales de arcilla quemados tales como tejas” (Hansen, 1992).

Los AR “con un alto contenido de ladrillos son mejores y solo los producen empresas con las mejores prácticas de reciclaje, que pueden separar con gran esfuerzo otros materiales como el asfalto y el concreto de los ladrillos” (Silva, 2014), porción de ARA constituido en su mayoría por ladrillos de arcilla (Figura 2).



*Figura 2.* Agregado reciclado de albañilería (ARA)

Fuente: DESPÓSITO CASTRO S.A.

<https://www.martinrodriguez.org/images/stories/virtuemart/product/ladrillotriturado.jpg>

### **c. AR mixtos (ARM)**

Este material es la “mezcla del concreto triturado y escombros de mampostería. Está compuesto por los menos del 90% en masa del concreto hecho con agregado natural y cemento, tal como lo menciona las normas BS 8500 y NBR 15116 (británica y brasilera, respectivamente). Este agregado contiene otros tipos de residuos de construcción más comunes

como cerámica, desechos de concreto liviano, etc.” (Silva, 2014), como se muestra en la Figura 3.



*Figura 3. Agregado reciclado mixtos*

Fuente: CORPUS Ltda, <https://corpus.com.br/servicos/servicos-privados/agregado-reciclado/>

### 1.1.5.3 Clasificación de los agregados reciclados en Perú

De acuerdo con la norma peruana de manejo de residuos de concreto de demolición, se define como concreto reciclado aquel cuyos agregados están compuestos parcial o totalmente por agregados de concreto, y arenas de demolición (NTP 400.053, 2019). La norma E.060 (2020), menciona que se puede utilizar agregado reciclado procedente de la demolición de elementos y estructuras de concreto, siempre y cuando cumpla con las recomendaciones de la NTP 400.053 (2019) presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3

*Clasificación de los agregados gruesos que provienen del concreto triturado según NTP 400.053, (2019) y norma E.060, Perú*

Tipo de agregado	Características del concreto triturado	Usos permitidos
Concreto triturado	<p>Contenido mínimo de cemento en concretos con <math>AGR = 255 \text{ kg/m}^3</math></p> <p>Libre polvo, terrones, partículas blandas o escamosas</p> <p>Libre de sales, alcalís, materia organica</p> <p>Solo para elaborar concretos con <math>f'c</math> menores a 10 Mpa.</p>	<p>Elementos no Estructurales tales como ciclovías, cimientos, concreto simple masivo y rellenos no portantes</p>

Fuente: NTP 400.053 (2019) y RNE E-060 (2020)



#### 1.1.5.4 Características físicas del agregado reciclado

##### a. Forma y textura

El “coeficiente de forma del agregado de concreto reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural. No obstante, la textura del agregado reciclado es rugosa y porosa, debido a la presencia del mortero que queda adherido a los agregados del concreto original como consecuencia del proceso de trituración. Influye la calidad del concreto original sobre la forma y textura, ya que los agregados reciclados tienden a ser más redondeados cuando mayor es la relación a/c del concreto original, por lo tanto, menor la resistencia del mortero” (Cueva, 2016).

##### b. Absorción

Debido a la cantidad de mortero adherido presente en estos áridos, la absorción en los áridos reciclados alcanza valores muy superiores en comparación con los agregados naturales, en función a la relación a/c del concreto original. El tamaño del agregado también tiene una influencia significativa, alcanzando valores de absorción muy superiores a los obtenidos en agregados naturales, debido a la mayor superficie que presenta. Los valores que oscila la absorción van desde 3.3% hasta un 13% aunque, por lo general, la mayoría sobrepasa el valor límite de un 7% mencionados en diferentes estudios (Beltrán, 2017).

##### c. Granulometría

La granulometría del agregado reciclado es independiente del resistente del concreto original, y que los mismos se pueden obtener de una primera triturada mediante la trituradora del tipo mandíbula, y que su granulometría se encuentra dentro de los límites establecidos para los agregados naturales, y que la edad del espécimen triturado no influye en la granulometría del agregado grueso (Zega, 2008).

El agregado grueso reciclado posee una curva granulométrica apropiada, la cual puede incorporarse a los usos granulométricos que recomiendan las normas internacionales, específicamente en el uso de agregado grueso según la norma ASTM. El agregado grueso reciclado “genera finos durante su manipulación debida a la aparición de pequeños partículas de mortero que se desprenden, y que la presencia de estas partículas en la superficie del agregado puede generar problemas de adherencia entre la pasta y el material” (Beltrán, 2017).

La cantidad de agregado fino reciclado de diámetro menores a 4.75 mm aumenta cuando se tritura concreto con resistencia iniciales bajas, ocasionado por el menor contenido de cemento y cantidades mayores de agregado fino, típico en los concreto pobres, ocasionado que los agregados finos reciclados presenten módulos de fineza superior al que presenta un agregado fino natural, e incluso superando al establecido según normas, no cumpliendo con los casos límites establecidos para los agregados finos naturales, o bien cumpliendo en partes (Zega, 2008).

#### **d. Peso específico**

Según su densidad, los agregados reciclados “es menos denso que los agregados naturales, mientras más mortero adherido tenga el agregado más baja será su densidad, y que el número de etapas de triturado u obtención del agregado reciclado determina la cantidad de mortero adherido a la superficie del agregado, y que más etapas se tenga más denso es el agregado, debido a la trituración acumulativa del mortero de pasta de cemento, decreciendo la fracción fina” (San Martín, 2019).

La “densidad de los agregados gruesos reciclados es algo mayor que en los agregados finos, e incluso en las mismas fracciones granulométricas, visualizándose gran disparidad, debido a la distinta naturaleza de los agregados con los que se fabricaron los concretos originales, concluyéndose que la densidad aumenta con el tamaño” (Beltrán, 2017).

### e. Pesos volumétricos

Los pesos volumétricos por unidad de volumen del agregado reciclado “muestran una baja variación, debido a la menor densidad que presentan los agregados reciclados, debido a la mayor porosidad del mortero de cemento presente en la superficie del agregado, hace que el peso volumétrico sea inferior al agregado natural” (Zega, 2008).

#### 1.1.5.5 Resistencia de los concretos con agregados reciclados

Torben (1986), menciona que cuando el agregado reciclado proviene de un concreto del mismo nivel resistente al elaborado con dicho agregado, la resistencia a la compresión de los concretos reciclados sigue el mismo orden que el concreto convencional (Tabla 4), “mientras que cuando la calidad del concreto triturado es inferior a la del concreto nuevo, la resistencia disminuye, en mayor proporción cuanto menor es la razón a/c de este último, indicando que la resistencia a compresión del concreto reciclado está muy controlada por la razón a/c del concreto original que dio origen a los AR, cuando los demás factores permanecen invariables, clasificando la resistencia del concreto reciclado en; A-alta, M-media, B-baja. También informo que se podrían elaborar concretos reciclados de alta resistencia aunque el contenido de cemento se vería incrementado en comparación con un concreto convencional” (Zega, 2008).

Tabla 4

*Resistencia a compresión de concretos reciclados en función de la calidad del agregado grueso reciclado*

Serie	Resistencia a compresión (Mpa)											
	A	A/A	A/M	A/B	M	M/A	M/M	M/B	B	B/H	B/M	B/B
1	56.4	61.2	49.3	34.6	34.4	35.1	33.0	26.9	13.8	14.8	14.5	13.4
2	61.2	60.7	---	---	36.0	---	36.2	---	14.5	---	---	13.6

Fuente: Hansen y Narud (1983)

Torben (1986) menciona que la resistencia de los concretos reciclados resulta inferior a la de los concretos convencionales (Tabla 5), lo cual fue atribuido a las siguientes causas:

- Los concretos con agregado reciclado presentan mayor porosidad que el concreto origen.
- Los agregados reciclados presentan menor resistencia mecánica que los agregados naturales.
- Los agregados reciclados presentan mayor área de unión frágil que el concreto origen.

En el caso particular de “las mezclas de alta calidad, obtuvieron valores de resistencias algo superiores en los concretos reciclados que en los concretos convencionales cuando utilizaron probetas cilíndricas” (Sri Ravindrarajah y Tam, 1985).

Tabla 5

*Resistencia a compresión en función de la calidad del agregado reciclado*

Mezclas	Calidad de la matriz	Calidad del agregado	Resistencia a compresión (MPa)	
			Cúbica	Cilíndrica
A		---	42.5	26.5
A/A	Alta	Alta	40.5	33.0
A/M		Media	39.0	31.0
H/B		Baja	37.5	32.0
M		---	37.5	27.5
M/A	Media	Alta	29.5	22.0
M/M		Media	30.0	25.5
M/B		Baja	28.5	22.5
B		---	28.5	20.0
B/A	Baja	Alta	24.5	18.5
B/M		Media	27.0	20.5
B/B		Baja	24.0	19.5

Fuente: Sri Ravindrarajah y Tam (1985)

### 1.1.6 Técnicas de tratamientos a los agregados reciclados

Debido a los efectos ampliamente variables del mortero adherido sobre la calidad del AR, existen varios enfoques y técnicas que se han considerado para mejorar las características del agregado reciclado. Estos enfoques y técnicas se pueden clasificar principalmente en dos categorías: La primera categoría incluye

principalmente eliminar el mortero adherido de la superficie del agregado reciclado mediante diferentes métodos, mientras que la segunda categoría incluye modificar y mejorar las propiedades del agregado reciclado mejorando la calidad del mortero adherido (Shaban *et al.*, 2019).

#### **a. Eliminar el mortero adherido**

El mortero adherido débil se puede quitar de la superficie del AR usando uno o una combinación de tratamientos térmicos, mecánicos y químicos (Shaban *et al.*, 2019).

#### **b. Mejorar de la calidad del mortero adherido**

En lugar de eliminar el mortero débil, estos métodos retienen el mortero en el agregado original y lo fortalecen antes de que se recicle el agregado. Las técnicas clave de mejora de la calidad son mejorar las características del mortero adherido rellenando y condensando las porciones débiles y logrando que la zona de transición sea más fuertes. Se pueden utilizar varias técnicas, como el tratamiento con polímeros y el uso de materiales puzolánicos (Shaban *et al.*, 2019).

### **1.1.7 Impregnación del AR con materiales puzolánicos**

El uso de materiales puzolánicos se considera una técnica más eficaz para mejorar las propiedades del mortero adherido. Si el agregado reciclado está sumergido en lechada de material puzolánico, o rociados con materiales puzolánicos (revestimiento de superficie), los materiales puzolánicos reaccionan con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que queda en el mortero adherido para formar un gel de silicato de calcio hidratado (CSH). Estos productos hidratados pueden modificar la superficie del agregado reciclado y las propiedades del mortero adherido para mejorar las características de adherencia del agregado reciclado (Shaban *et al.*, 2019).

### **1.1.8 Relación a/c en los concretos**

El “principal factor que influye en la resistencia a la compresión del concreto es la relación agua/cemento con o sin aire incorporado, y en ambos casos, la resistencia disminuye a medida que aumenta el a/c” (Abanto, 2009).

Para obtener el valor de la relación a/c se utilizó la Tabla 6, para concretos con cemento Portland tipo I de Abanto (2009).

Tabla 6

*Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto*

Resistencia a la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorp.	Concreto con aire incorp.
450	0.38	----
400	0.43	----
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Tecnología del concreto(Abanto, 2009).

## 1.2 Antecedentes

Pelissari *et al.* (2020), mencionan que la reducción de la trabajabilidad se puede justificar por la mayor absorción de agua por el agregado de concreto reciclado debido a la presencia de mortero en su composición, la menor densidad, por su mayor contenido de huecos y la reducción de la trabajabilidad debido a la mayor absorción de agua. Si bien no fue suficiente que el concreto alcanzara la reducción especificada, el procedimiento previo de inmersión del agregado grueso en parte del agua cemento ayudó a mejorar la trabajabilidad del concreto producido con agregado reciclado. Los beneficios de utilizar este procedimiento están más relacionados con el estado fresco del concreto, además de mantener la trabajabilidad. Dado que por la inmersión previa del árido reciclado hay menos necesidad de aditivo. La necesidad de agregar agua a la cantidad prevista en la mezcla por la alta tasa de absorción de agua del agregado grueso de concreto reciclado, fue factor determinante en la reducción del valor de resistencia a la compresión del concreto.

Beltrán (2017), menciona que al reciclar RCD tiene numerosas ventajas ecológicas, entre las que se encuentran la disminución de los espacios destinados a vertederos de desechos de construcción, y también la reducción de uso de recursos no renovables que se extraen

del medio ambiente en grandes cantidades. Sin embargo, el uso de RCD para la construcción de estructuras en nuevos concretos puede tener un impacto en las propiedades de durabilidad. La permeabilidad, la carbonatación, la corrosión, la absorción y la migración de cloruros se ven comprometidas en la estructura construida con este concreto. En su estudio, compararon el comportamiento de concretos elaborados con agregados 100% recuperado encapsulado. La consistencia de la mezcla preparada con AR disminuye proporcionalmente a la cantidad de AR, lo que no ocurre con las mezclas tratadas con AGR. Igualmente se observa en todos los casos que el concreto elaborado con árido natural se comporta mejor que el concreto elaborado con árido reciclado encapsulado; sin embargo, no deja de ser una opción.

Priano *et al.* (2016), afirman que el uso de tratamientos de premezcla aumenta el costo de producción del concreto, el cual varía según el material utilizado en el tratamiento, siendo el cemento el producto que brinda mayores beneficios al menor costo. Este tipo de tratamiento requiere mucho tiempo, pero abre la posibilidad de utilizar productos para la impregnación AR y mejorar la calidad del concreto fabricado a partir de materiales de desecho.

Beltrán y Borrego (2014), determinaron el grado de impacto causado por la inclusión de AR tratado y no tratado en las propiedades mecánicas del concreto seco, como el módulo de elasticidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción. El concreto con el tratamiento 3 (CT3) que se elaboró con lechada de cemento Portland y una relación agua/cemento de 1.2 (unidades americanas), produjo el mejor desempeño y el mayor incremento en estas propiedades. Debido a la mayor concentración del material cementante, los tratamientos con cortes de humo de sílice con proporciones bajas produjeron mayor resistencia que aquellos con proporciones altas.

Amianti y Botaro (2008), mencionan que el concreto impregnado con EPS reciclado, a partir de ahora denominado CIP-EPS-r, comparado con el proceso CIP convencional, es más simple, involucra menos recursos tecnológicos y menor consumo de energía, sea eléctrica o térmica. Los resultados de la eficiencia del tratamiento CIP-EPS-r, por el análisis de la cinética de absorción de agua, se mostraron positivos para los cuerpos de prueba tratados, tanto con 5 como con el 10% de EPS. El resultado fue más eficiente utilizando la impregnación con solución al 10% de EPS. La profundidad de penetración de la impregnación fue satisfactoria para ambos tratamientos (5 y 10% de EPS). Sin

embargo, la penetración fue más eficiente utilizando la solución al 5% de EPS. El aumento de la concentración de EPS en la solución aumenta la viscosidad del medio impregnante y disminuye la penetración del polímero en las capas más internas del concreto. Por otro lado, soluciones más viscosas aumentan la impregnación superficial disminuyendo excesivamente la penetración de agua o incluso dificultando la liberación de moléculas de agua más internas del concreto. En situaciones de calentamiento extremo del material, la total impregnación superficial y obstrucción de los poros pueden llevar al astillamiento explosivo del concreto. Por lo tanto, el empleo de soluciones de EPS más o menos concentradas en el tratamiento del concreto debe ir acompañado de un estudio del caso particular, teniendo en cuenta aspectos fundamentales como, por ejemplo, en qué condiciones ambientales el concreto modificado será expuesto.

Perea y Alvarado (2016), mencionan que “los tratamientos consistieron en lechadas de cemento y adiciones minerales aplicadas a agregados gruesos reciclados por 72 horas antes de ser incorporados como porcentaje de sustitución de agregados naturales, en concretos con resistencia a compresión de 35 MPa. Sus resultados muestran mejoras en la resistencia mecánica del AGR a la compresión hasta en un 25%, así como una reducción en la absorción hasta en un 8,7%. Por otro lado, la resistencia a la compresión de 7 días de rotura aumenta a 21 por ciento para un concreto tratado con 30 por ciento de AGR en comparación con un concreto con agregado natural. En conclusión, el pretratamiento del AR y su manejo adecuado en el proceso de fabricación tienen un impacto positivo en el desempeño del nuevo concreto”.

Thomas, *et al.* (2018), indican que los agregados de concreto triturado se pueden usar como una alternativa sostenible a los agregados naturales y hasta el 25% de los agregados gruesos naturales pueden ser reemplazados con AGR. Para valores más altos de relación de reemplazo modifica el diseño de la mezcla de concreto inicialmente propuesto. Los modelos de predicción desarrollados en el estudio pueden utilizarse para estimar los parámetros de resistencia del concreto con AGR para cualquier relación de reemplazo de agregado ( $0 < r \leq 1.0$ ), si las propiedades de resistencia de la mezcla de control correspondiente contienen 100% de agregados naturales de piedra triturada. Los hallazgos del estudio fomentan el uso del concreto que contiene AGR para aplicaciones estructurales.



Šeps *et al.* (2016), mencionan que los resultados presentados no deben implicar la conclusión de que los agregados hechos completamente con ARC no son adecuados para aplicaciones estructurales. Las propiedades del concreto con ARC se ven afectadas por el tipo de agregado de concreto reciclado, cuya calidad varía según la forma de procesamiento (trituration, clasificación, separación de impurezas, etc.) y origen del concreto triturado. Esta información generalmente determina la calidad de los materiales reciclados. La dispersión de las características de los materiales de ARC es, por lo tanto, inevitablemente más alto que las características de los materiales del concreto común hecho de agregado natural. El ARC analizado tenía una resistencia a la compresión de 23.5 MPa, lo que es favorable para el diseño de estructuras hechas de este material, ya que el ARC es más económico y ecológico que el concreto común. El alto potencial de aplicación del ARC es la utilización como lechada de relleno en mampostería con núcleo hueco. Un campo de aplicación considerable es la utilización del ARC en estructuras de tierra, donde la capa de ARC reforzada por fibras sirve como capa de rigidez.

Silva *et al.* (2018), mencionan que la pre saturación y la compensación de agua durante la mezcla han demostrado un mejor historial; no solo permite la producción de mezclas, sino, que también conduce a un rendimiento mecánico ligeramente mejorado. Sin embargo, algunos problemas como el agua, la tasa de absorción del AR que depende de su capacidad de absorción total y tamaño, influye en la cantidad de agua adicional. Como resultado, los AR presentan incapacidad para absorber esa agua extra a una velocidad lo suficientemente rápida, lo que inicia los niveles de asentamiento, presentando estas mezclas mayor trabajabilidad. Algunos AR pueden tener una gran angularidad y rugosidad superficial, que puede resultar en una mayor fricción entre partículas y, en consecuencia, una peor trabajabilidad.

Falek *et al.* (2017), los resultados en las propiedades físicas de los AR muestran claramente una mayor capacidad de absorción. Las pruebas mecánicas confirman la baja resistencia al desgaste. La reducción en la trabajabilidad se basa en la cantidad de reciclado, mientras que la resistencia mecánica es reducida. Un superfluidificador con dosificación de mezcla para la misma trabajabilidad, proporciona una disminución en la fuerza a compresión que alcanza el 13%, es decir, la fricción ( $\tau$ ) aumenta con el aumento del porcentaje de AR y el valor de la constante de viscosidad ( $\eta$ ) para el 100% de AR alcanza el doble que presentan los concreto normales. La variación de la relación a/c causa una disminución en la resistencia a la compresión acercándose al 25%.

Rajprasad y Pannirselvam (2020), mencionan que el agregado reciclado (AR) adquirido a partir de desperdicios de construcción y demolición es una de esas formas de conservar los recursos naturales, donde el agregado reciclado se reemplaza por agregado natural, pero se reemplaza con un tipo particular de proceso de tratamiento para mejorar las propiedades del agregado reciclado. La resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción comparan entre el agregado reciclado tratado y no tratado. El tratamiento del agregado reciclado consiste en mezclarlo con cenizas volantes y cemento en una proporción específica con agua, que se utiliza para tratar el agregado reciclado. Este proceso de tratamiento ayuda a reducir la absorción de agua del agregado reciclado. Mostraron que el 25% del agregado reciclado tratado se puede reemplazar con agregado grueso natural. Las investigaciones encontraron que la sustitución parcial del agregado reciclado procesado satisface los estándares sin ningún cambio en la calidad y resistencia del concreto.

Tafsirojjaman (2017), estudió las propiedades mecánicas del concreto con agregado reciclado, las que se obtuvieron a partir de viejas estructuras de concreto. Se observó que los AR están cubiertos de partículas sueltas, impidiendo una buena unión entre las nuevas matrices de cemento y los agregados ciclados. La vieja pasta de cemento que quedó en el agregado natural era porosa y agrietada, lo que provocó propiedades mecánicas débiles de los agregados reciclados. En el estudio se aplicó un tratamiento por impregnación de solución ordinaria de cemento Portland a los agregados reciclados para mejorar sus propiedades mecánicas. Las pruebas de resistencia a la compresión del concreto de AR se llevaron a cabo a dos edades de curado.

Shaban *et al.* (2019), mencionan que el principal problema en el uso de agregado de concreto reciclado (ACR) como material de construcción se debe al mortero adherido débil que a menudo posee una mayor porosidad y absorción de agua. También tiene menor resistencia en comparación con el agregado natural (AN), y a menudo forma lugares de transición interfacial frágiles en el concreto de agregado reciclado (CAR). Estas zonas débiles provocan efectos negativos sobre las propiedades mecánicas y el rendimiento de durabilidad del ARC. Para utilizar el ACR de manera más efectiva como agregado en el concreto, es necesario mejorar la calidad y mejorar las propiedades del mortero débil adherido.

Rosero (2019), indica que los materiales que componen a los agregados reciclados utilizados en la mayoría de las investigaciones provienen de residuos generados durante la trituración de cilindros de concreto almacenados en laboratorios; estos rara vez contienen impurezas o contaminantes, como ocurre en los procesos de construcción o demolición. Los AGR derivados de la trituración de concretos, que presentan bajas resistencias iniciales, suelen tener resultados desfavorables en cuanto a la resistencia final y durabilidad del concreto.

Gurdián *et al.* (2021), afirman que todos los cambios realizados a los concretos en relación con el patrón (como la sustitución de AN por AR) reducen su comportamiento mecánico. Cuando las sustituciones de AR son bajas. La porosidad depende de la matriz cementante; cuando estas sustituciones son altas, predomina la influencia de la porosidad del agregado sobre la porosidad total del concreto. Los concretos con matriz alternativa exhiben mayor resistencia a agentes externos agresivos, comportándose mejor que el concreto patrón. Si bien existen diferencias en las propiedades de los concretos estudiados según el tipo de sustitución (árido o matriz), todos ellos pueden ser utilizados como concreto porque superan los límites fijados.

Tang *et al.* (2019), mencionan que hay una ligera mejora en las propiedades físicas, como densidad aparente, absorción de agua, pérdida por abrasión y gravedad específica, del ARC tratado con ácido sulfúrico (SA), impregnación de humo de sílice (SF) y la combinación de ambos (SASF), pero que estas mejoras no fueron significativas. El mortero adherido restante en el ARC que falló en penetrar el ácido sulfúrico se debilitó y afectó la resistencia mecánica del concreto con ARC tratado con SA. Por lo tanto, en comparación con el concreto ARC tratado con SF, el concreto ARC tratado con SA tenía menor resistencia mecánica.

Machaca (2018), menciona que los escombros de construcción producen impactos Moderados, excepto en el caso de un cambio en el uso actual del suelo, que es severo, y en el caso de un cambio en el paisaje visual, que también es Severo. El valor promedio del paisaje visual de depósitos de RCD en Tacna-2017 es: 0.75. Valor nominal: Bajo, Categorización: Feo y Adjetivo: Pésimo, concluyéndose que el nivel de impacto ambiental producido por RCD luego de implementar estrategias de mitigación difiere de la evaluación. De igual forma, los resultados con el uso del agregado grueso reciclado: El 20% alcanzó 111,43% a los 28 días, el 50% alcanzó 104,43% y con el 100% alcanzó

97,27%, demostrando que la resistencia obtenida del concreto con material reciclado es superior a 210 kg/cm. Como resultado, es factible emplearlo, concluyéndose que la producción de agregado reciclado es una alternativa viable para minimizar los impactos ambientales de los RCD en la ciudad de Tacna.

Zega (2008), menciona que los agregados gruesos reciclados generados mediante el empleo de una trituradora de mandíbula, presenta una distribución granulométrica ubicándose dentro de los límites establecidos en norma, y que la presencia de mortero adherido produce modificaciones en sus propiedades como menor densidad, mayor absorción, en relación al agregado grueso natural. Los concretos con AR presentaron una similitud con la resistencia con AN, con una disminución del peso unitario y del peso específico. Las resistencia a compresión a cada una de las relaciones a/c evaluadas son semejantes, motivo por el cual la relación a/c resulta prácticamente la misma.

Bravo y Bravo (2019), mencionan que “las mezclas de concreto con un 50 por ciento de reemplazo en peso de agregado fino y grueso natural produjeron resultados satisfactorios en términos de resistencia a la flexión cuando se evaluaron como adoquines nuevos, así como un mejor comportamiento de desgaste cuando se hizo con un reemplazo del 50 por ciento del agregado fino. Estos resultados son muy satisfactorios en comparación con los reemplazos encontrados en la literatura, donde los agregados reciclados se usan típicamente en fracciones menores al 50% en peso de los agregados gruesos o finos naturales de una mezcla de concreto”.

Fonseca (2018), realizó un comparativo entre mezclas de concreto utilizando el análisis ACV (Análisis de Ciclo de Vida) para determinar qué “mezclas de concreto con agregados naturales AN y qué mezclas de concreto con agregados reciclados tienen mayores beneficios ambientales en la ciudad de Bogotá DC. Para esto se realizaron pruebas de resistencia a la compresión del Concreto con Agregado Reciclado (CAR), con 25%, 50%, 75% y 100% de agregado reciclado y Concretos con Agregados Naturales (CAN). Para el manejo de la absorción utilizaron el método de compensación y pre saturación. Se usó la misma relación a/c y cantidad de cemento para todos los diseños del concreto, encontrando mejores resistencias en los reemplazos del 100% de AR, que las en las mezclas de control”.

Cruz y Gómez (2013), mencionan que “la manejabilidad de los concretos con mayor contenido de agregado reciclado disminuyó en valor a medida que esta aumentó entre un



5% y 10%. Igualmente indicaron las propiedades mecánicas y de durabilidad se vieron perjudicadas por el uso de agregados reciclados, lo que resultó en un patrón generalizado de resultados reducidos en comparación con los que muestra el concreto control. Los concretos que presentan menor resistencia a la compresión son los que contienen altos porcentajes de agregados reciclados, pero esto no representa una limitante para el uso de agregados reciclados de RC en la fabricación de concretos. Técnicamente, el uso de áridos reciclados puede limitarse a requerimientos de los concretos con rangos de resistencia moderados y ambientes agresivos; sin embargo, esto se puede mejorar con una mayor dosificación de cemento, el uso de aditivos o una combinación de aditivos. Ambientalmente, representa condiciones favorables para una reducción significativa en el uso de recursos naturales pétreos y producción masiva de escombros”.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

Las ciudades modernas y sus estructuras arquitectónicas sufren importantes cambios funcionales y físicos. En los últimos años, las intervenciones en la construcción han aumentado (Tovarović *et al.*, 2017), y es el sector de la industria de la construcción una de las actividades económicas más importante en el mundo la que ve estos cambios y modernizaciones; sin embargo, presenta impactos ambientales directos que incluyen el uso de energía y recursos minerales no renovable (Ghisellini *et al.*, 2018), que se asocian tanto con la producción, extracción de materia prima, y la ejecución de sus derivados (Fernández *et al.*, 2017). La construcción del edificio a menudo resulta en la producción de residuos innecesarios que puede ser debido a un suministro en exceso ordenados o mal manejo de los materiales de los trabajadores no calificados (Akhtar y Sarmah, 2018), a esto se suman los desechos de materiales generados por las actividades de construcción, demolición y modernización, que se está convirtiendo en un problema desafiante (Ikau *et al.*, 2016), los mismos que constituyen el doble de los residuos sólidos urbanos producidos por los seres humanos al 2014 (Yazdanbakhsh, 2018), y es una preocupación importante para la nación debido a sus huellas negativas y que causarán efectos destructivos sobre el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente (Ikau *et al.*, 2016).

El desempeño ambiental de reciclar la construcción y los residuos de demolición no está bien documentado. Los contratistas son responsables de mantener un ambiente de trabajo limpio y el principal método de deshacerse de los residuos de construcción es transportándolos lejos de los lugares de trabajo, terminando abandonados en el entorno,

sin prestar mucha atención a la repercusión a largo plazo de sus acciones (Sapuay, 2016). Por lo tanto, se necesitan políticas adicionales para estimular el reciclaje de alta calidad.

Las principales barreras para reducir los RCD “incluyen la falta de estándares de diseño de infraestructura para incluir los RCD, el bajo costo para la eliminación de RCD y la planificación urbana inadecuada” (Huang *et al.*, 2018), y el aprovechamiento de las aplicaciones permanentes tales como en el uso de nivelación, cimientos de edificios, o nuevos materiales de construcción. Para estos últimos, las nuevas aplicaciones de materiales pueden entonces ser viables, como los que están estudiando en España. (Moyano, 2016), “reducir el impacto ambiental al reducir la generación de desechos, minimizar los impactos del transporte, maximizar la reutilización y el reciclaje al mejorar la calidad de los materiales secundarios y optimizar el desempeño ambiental de los métodos de tratamiento” (Styles *et al.*, 2018).

La absorción de agua de los AR influye el comportamiento del concreto fresco, es imperativo que esto sea compensados con el objetivo de evitar la absorción excesiva del agua de mezcla y que afecta la relación a/c, y conservar las características requeridas de asentamiento, para simplificar las operaciones de construcción, y asegure una compactación adecuada y también un acabado de calidad (Silva *et al.*, 2018)

Para ello, la presente investigación propone establecer un procedimiento de impregnación del agregado reciclado con cemento IP y poder mejorar su característica físico-mecánica, y ver si incrementa de la resistencia mecánica del concreto elaborado con agregados reciclados.

## **2.2 Enunciados del problema**

### **2.2.1 Pregunta general**

- ¿En qué medida, la impregnación con cemento IP influye en las características físicas del agregado reciclado, y en la resistencia del concreto?

### **2.2.2 Preguntas específicas**

- ¿Qué características físicas se modifican en el agregado reciclado con la impregnación con cemento IP?

- ¿Cuál será la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c, con el uso de agregados reciclados impregnados con cemento IP?
- ¿Cuál será la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c, con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP?

### 2.3 Justificación

En la actualidad se vienen realizando investigaciones sobre el uso de desechos de demolición y construcción en la elaboración de agregados reciclados y su uso en nuevos concretos, resultados que han presentado menor resistencia que los concretos normales, esto debido a las características físicas y mecánicas que presentan los agregados reciclados, que ha generado que en nuestro país todavía no se utilice, a diferencia de otros que se cuenta con normativas y diseños específicos, brindando así una alternativa de disposición final de los desechos de construcción.

La presente investigación tiene por finalidad dar a conocer el proceso de impregnación de los agregados reciclados con cemento IP, modificar las características físicas de los agregados reciclados, y evaluar la incidencia de la impregnación en las propiedades del concreto seco y endurecido; asimismo se pretende sumar información necesaria sobre el mejoramiento del agregado reciclado con fines de uso como agregados alternativos en la elaboración de concretos, y como una opción de disposición final de los residuos de construcción.

Los aportes que se pueden lograr con la siguiente investigación son; como una metodología de manejo y gestión de los residuos sólidos obtenidos de la reposición y demolición de estructuras, y su consecuente minimización de los impactos ambientales productos de la disposición de los residuos de construcción en botaderos clandestinos cercanos al lago Titicaca, y mejoramiento del entorno paisajístico urbano. La reducción de uso de recurso naturales (recursos no renovables), materia prima para la elaboración de concretos nuevos. Antecedente para la creación de políticas de reciclajes y su industrialización municipal cuya tendencia hacia al ahorro de energía, biotecnologías apropiadas, comprometidos a la minimización del calentamiento global.



## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Determinar en qué medida la impregnación de los agregados reciclados con cemento IP influye en las características físicas - mecánicas, en la resistencia del concreto.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Establecer las características físicas se modifican en el agregado reciclado con la impregnación con cemento IP.
- Determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c, con el uso de agregados reciclados impregnados con cemento IP.
- Determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c, con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- La impregnación del agregado reciclado con cemento IP, permite modificar las características físico-mecánicas, y variar significativamente la resistencia mecánica del concreto.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- Las características físicas que se modifican en el agregado reciclado con la impregnación son: granulometría, peso específico, absorción, peso unitario.
- La resistencia mecánica del concreto elaborado con diferentes relaciones a/c, varía con el uso de agregados reciclados impregnados con cemento IP.
- La resistencia mecánica del concreto elaborado con diferentes relaciones a/c, varía con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La investigación fue realizada en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano, en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, que se encuentra localizada a una altitud de 3830 msnm, latitud 15° 49' 29" sur, longitud 70° 00' 58" oeste, ubicándose en el departamento de Puno.

La zona de estudios cuenta con varias obras en construcción, refacción y remodelación de las edificaciones, y que actualmente se vienen realizando, donde se han obtenido las muestras de estudio como los especímenes de concretos endurecidos, agregados finos y gruesos, agua, entre otros, los que han sido analizadas en el laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura de la Universidad Nacional del Altiplano.

#### 3.2 Población

La población de la presente investigación son los especímenes cilíndricos de concreto (probetas) elaborados con agregados reciclados impregnados con cemento IP, probetas elaboradas con agregados reciclados y naturales, todas ellas elaboradas con diferentes relaciones de agua/cemento.

### 3.3 Muestra

#### 3.3.1 Muestras de agregados

Se tomaron muestras de los AGRI, AGR y agregados naturales (agregados finos y gruesos), con el fin de determinar sus características físicas.

#### 3.3.2 Muestras de consistencia en el concreto fresco

Se tomaron 12 muestras del concreto fresco para determinar su consistencia, a través de la toma de medida del asentamiento que presentaron los diseños de mezclas con AGRI, AGR y AGN (Tabla 7).

Tabla 7

*Cantidad de muestras para consistencia en el concreto fresco*

Agregado grueso	a/c	cantidad
100% Reciclado impregnado	0.70	1
	0.62	1
	0.55	1
	0.43	1
100% Reciclado	0.70	1
	0.62	1
	0.55	1
	0.43	1
100% Natural	0.70	1
	0.62	1
	0.55	1
	0.43	1

#### 3.3.3 Muestra para la determinación de resistencia a la compresión

Se tomaron 100 muestras de resistencia a la compresión, 5 por cada diseño de mezcla (Tabla 8).

Tabla 8

*Cantidad de probetas para ensayo a la compresión*

a/c	Diseño de mezcla con uso de agregado grueso						
	100% Reciclado Impregnado	100 % Reciclado	100 % Natural	33% Impregnado 67% natural	67% Impregnado 33% natural	33% Reciclado 67% natural	67% Reciclado 33% natural
0.70	5	5	5	---	---	---	---
0.62	5	5	5	---	---	---	---
0.55	5	5	5	5	5	5	5
0.43	5	5	5	5	5	5	5

### 3.3.4 Muestra para la determinación del peso unitario de los concreto

Se consideraron las 100 probetas de concreto seco especificados en la Tabla 8, obteniéndose su volumen y peso antes de la realización del ensayo a la compresión.

## 3.4 Método de investigación

### 3.4.1 Diseño de investigación

En la investigación se empleó el diseño experimental.

Según Javier (2011), el enfoque experimental de la investigación se distingue por que “el investigador manipula una o más variables de estudio para controlar el aumento o la disminución de estas variables y su efecto en los comportamientos observados. Los métodos experimentales son los más adecuados para probar las hipótesis de las relaciones causales”.

### 3.4.2 Tipo de estudio

La presente investigación es del tipo aplicada, buscando convertir los conocimientos teóricos previos en un entendimiento práctico y útil, comparando el concreto patrón con el concreto con AGRI y su incidencia en la resistencia del concreto.

### 3.4.3 Nivel de estudio

El nivel de estudio es descriptivo, ya que a través de una representación metodológica se procura utilizar como guía para definir las características más esenciales.

### 3.4.4 Variables

La identificación de las variables está en función de los objetivos planteados.

#### 3.4.4.1 Variables del objetivo específico 1

Para establecer las características físicas que se modifican en el agregado reciclado con la impregnación con cemento IP se tienen las siguientes variables:

##### **Variable independiente**

- Agregado grueso reciclado impregnado con cemento IP.
- Agregado grueso reciclado sin impregnar (variable control).

##### **Variable dependiente**

- Características físicas de los agregados gruesos impregnado y reciclado.

#### 3.4.4.2 Variables del objetivo específico 2

Para determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c, con el uso de agregados reciclados impregnados con cemento IP se tienen las siguientes variables:

##### **Variable independiente**

- Agregado grueso reciclado impregnado.
- Agregado grueso reciclado (Variable control).
- Diseño de mezcla con relaciones de a/c de 0.70, 0.64, 0.55, 0.43 con AGRI y AGR.

### **Variable dependiente**

- Resistencia a la compresión del concreto elaborado con AGRI y AGR.

#### **3.4.4.3 Variables del objetivo específico 3**

Para determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto elaborado con diferentes relaciones a/c, con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP se tienen las siguientes variables:

### **Variable independiente**

- Uso parcial de agregado grueso reciclado impregnado en valores de 33% y 67%.
- Uso parcial de agregado grueso reciclado en valores de 33% y 67% (variable patrón).
- Diseño de mezcla con relaciones de a/c de 0.55 y 0.43.

### **Variable dependiente**

- Resistencia a la compresión del concreto elaborado con AGRI y AGR.

## **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

### **3.5.1 Característica físico – mecánica que se modifican con la impregnación de los AR con cemento IP**

#### **3.5.1.1 Obtención del agregado grueso impregnado**

Antes de la realización de la prueba de caracterización física de los agregados se obtuvo el agregado grueso reciclado impregnado, que consistió en sumergir al agregado grueso reciclado en pasta de cemento de relación agua/cemento de 0.50 por un tiempo de 30 minutos, hasta que absorba agua de cemento, para luego colarlo y extraer el excedente de pasta. El agregado grueso impregnado fresco se colocó sobre mantas de polipropileno tendido en el piso para su curado inicial por un periodo de 3

horas, para ser tapados hasta el día siguiente, recogién dose y ser colocados en baldes y cubiertos al ras con agua para su curado durante 14 días, para luego ser secados nuevamente en mantas por un periodo de 14 días.

### 3.5.1.2 Caracterización física de los agregados

Para establecer las características físicas que se modifican en el agregado reciclado con la impregnación con cemento IP, primeramente se determinó las características físicas de los agregados; impregnados, reciclados y naturales, según los procedimientos estipulados de la Norma Técnica Peruana (NTP) y de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, siglas en inglés), realizándose los ensayos de análisis granulométrico (ASTM C-136, 2009) y la (NTP 400.012), peso unitario (NTP 400.017), peso específico y absorción del agregado grueso (NTP.400.021), peso específico y absorción del agregado fino (NTP.400.022), contenido de humedad (NTP 339.185), en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura de la Universidad Nacional del Altiplano.

### 3.5.1.3 Comparación de los resultados

Antes de realizar la comparación de los datos se ha realizado el estudio de normalidad y homogeneidad de los datos.

#### a. Prueba de normalidad

Entre los numerosos métodos utilizados para “probar la normalidad de un conjunto de datos, la prueba de Shapiro-Wilk se destaca como una de las más simples y poderosas, teniendo como condición que el tamaño de la muestra debe ser menor o igual a 50” (Dicovski, 2012).

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

El valor de  $W$  puede oscilar entre 0 a 1.

Prueba de hipótesis.

H<sub>0</sub>: La variable aleatoria no tiene una distribución normal

H<sub>1</sub>: La variable aleatoria tiene una distribución normal

La zona de aceptación para H<sub>0</sub> está formada por todos los valores del estadístico de prueba  $W_c$  (Shapiro Wilks calculado) menores al valor tabulado  $W_t$  (Shapiro Wilks tabulado,  $W_{(1-\alpha;n)}$ ), o si el Valor- $p$  es mayor a alfa (nivel de significancia).

H<sub>0</sub>: Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal

H<sub>0</sub>: Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta H<sub>1</sub>; tiene una distribución normal

### **b. Prueba de homogeneidad**

Para verificar la homogeneidad de las variancias de los datos, se hizo la prueba de Levene, que consistió en hacer un ANOVA (Análisis de la varianza) de los valores promedios de los errores de los tratamientos en valor absoluto (Dicovski, 2012).

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z} \dots)^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2}$$

Prueba de hipótesis.

H<sub>0</sub>: las varianzas de los distintos grupos son iguales.

H<sub>1</sub>: las varianzas de los distintos grupos son diferentes.

La zona de aceptación para H<sub>0</sub> está formada por todos los valores del estadístico de prueba  $F_c$  (Levene calculado) menores al valor tabulado  $F$  de la distribución ( $F$  de Fisher,  $F_{(1-\alpha;k-1,N-k)}$ ), donde  $F_{(1-\alpha;k-1,N-k)}$  es el valor crítico superior de la distribución  $F$  con  $k - 1$  grados de libertad en el numerador y  $N - k$  grados de libertad en el denominador a un nivel de significancia  $\alpha$ .

H<sub>0</sub>: Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución normal

H<sub>0</sub>: Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta H<sub>1</sub>; No tiene una distribución normal



### c. Prueba $t$ de Student

Se compararon los resultados de cada tipo de agregado utilizando la estadística de prueba  $t$ -Student, en la que el método estadístico utilizado tiene una distribución  $t$ -Student si la hipótesis nula es correcta. Se utiliza cuando la población estudiada tiene una distribución normal pero el tamaño de la muestra es demasiado pequeño (menos de 30 datos) para garantizar que la estadística en la que se basa la inferencia sea normal y se desconozcan la desviación estándar y los medios de comparación se utiliza una estimación de desviación típica en lugar del valor real (Dicovski, 2012). Para la prueba  $t$  de Student se aplicó la siguiente expresión;

$$t = \frac{[\bar{X}_1 - \bar{X}_2]}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde

$\bar{X}$  = las medias de las muestras

$S$  = las varianzas de las muestras

$n$  = número de datos por muestras

Posteriormente se aplicó la regla de hipótesis, donde;

$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2 =$  no hay diferencia significativa entre las medias de las variables

$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 =$  hay diferencia significativa entre las medias de las variables

Se tomó la decisión con un nivel de significancia del 5% con la siguiente consideración;

$t_t < t_c$ : se escoge la hipótesis nula

$t_t > t_c$ : se escoge la hipótesis alterna

El procesamiento de datos y gráfica de los resultados se utilizó el software estadístico Statgraphics.

### 3.5.2 Resistencia mecánica del concreto, con la tecnología de impregnación de los agregados reciclados con cemento IP

#### 3.5.2.1 Diseño de mezcla

Primeramente se realizó el diseño de mezcla con la metodología recomendada por el comité 211.1 del ACI (2010), donde se establecen tablas y figuras para estimar cantidades de agua de amasado en función del tamaño máximo nominal del agregado, asentamiento, relación agua/cemento según la resistencia experimental del concreto, y determinar las proporciones en que deben intervenir el agregado grueso y fino, además se tomó en cuentas las recomendaciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en su norma E.060 de concreto armado.

Los diseños de mezclas se realizaron con relación a/c de 0.70, 0.62, 0.55, 0.43 obtenidos de la tabla 12.2.2 del libro diseño de mezcla de Rivvas (2010) de concretos sin aire incorporados, con el fin de evaluar el comportamiento que tienen los AGRI y AGR en la resistencia del concreto a diferentes solicitudes de a/c.

El asentamiento de diseño es de 3" – 4", pretendiendo que el concreto tenga una trabajabilidad intermedia del tipo plástica (Rivvas, 2010).

Se ha realizado 12 diseños de mezclas con AGRI, AGR y AGN, utilizándose en cada una de ellas agregado fino natural (Tabla 9).

Tabla 9

*Numero de diseño de mezclas con AGRI, AGR, AGN*

Relación a/c	AGRI	AGR	AGN
0.70	1	1	1
0.62	1	1	1
0.55	1	1	1
0.43	1	1	1

Para determinar si varía la resistencia con porcentaje de sustitución del AGRI y AGR por AGN, se ha realizado 08 diseños de mezcla con

sustituciones en porcentajes de 33% y 67% de dichos agregados, con relaciones de a/c de 0.55 y 0.43 (Tabla 10).

Tabla 10

*Numero de diseño de mezclas con sustitución parcial de AGN*

<b>Relación a/c</b>	<b>33% AGRI + 67% AGN</b>	<b>67% AGRI + 33% AGN</b>	<b>33% AGR + 67% AGN</b>	<b>67% GR + 33% AGN</b>
0.55	1	1	1	1
0.43	1	1	1	1

Para el mezclado se utilizó el método de triple mezcla (Perea y Alvarado, 2016), consistiendo en colocar primero en la mezcladora apagada 50% del agua de amasado, después agregar cuidadosamente el AGRI por un tiempo de 5 minutos hasta que el agregado absorba el agua obteniéndose un agregado humedecido, con el fin de que el agregado impregnado absorbiera solo agua, para luego dejar libre solo agua de amasado. Luego se prendió la maquina colocándose el resto del agua seguido del cemento y el agregado fino, mezclándose por un tiempo de 3 minutos, tiempo necesario para obtener una mezcla del tipo plástico.

### **3.5.2.2 Prueba de asentamiento**

Para obtener las propiedades del concreto fresco, se ha realizado los ensayos de asentamiento según la NTP 339.035 (2009), tanto en el laboratorio como en el campo durante su estado plástico.

El asentamiento se ha analizado para cada diseño de mezcla con AGRI, AGR con relaciones de a/c de 0.70, 0.62, 0.55, 0.43, mediante el uso de los siguientes accesorios: cono de Abrams, plancha metálica, varilla de fierro liso de 5/8" con punta redondeada, regla graduada, (Figura 4).



Figura 4. Prueba de asentamiento del concreto

### 3.5.2.3 Elaboración de probetas

Se ha elaborado 100 probetas, 5 probetas por cada diseño de mezcla, de dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura (Figura 5). Las probetas permanecieron en los moldes por un periodo de 24 horas.



Figura 5. Elaboración de probetas de concreto

Nota: a) Compactación, b) desencofrado.

Las probetas fueron sumergidas en agua hasta el momento del ensayo a una temperatura ambiente en promedio de 11°C.

### 3.5.2.4 Prueba de resistencia a la compresión

La prueba de  $f'c$  se realizó según la NTP 339.034 (2015), método de ensayo normalizado para “la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, consistiendo en aplicar una carga de compresión axial a las probetas hasta ocasionar la falla. La resistencia a la compresión de las probetas se calculó dividiendo la carga máxima registrada entre el área de la sección transversal de la probeta”.

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron después de los 28 días (Figura 6). Previamente al ensayo, las probetas se extrajeron del tanque de agua, dejándose secar la superficie y medir sus dimensiones y tomar su peso.



Figura 6. Prueba de resistencia a la compresión

Los resultados se obtuvieron aplicando la siguiente expresión:

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

Donde

$f'c$  = Resistencia a la compresión, kg/cm<sup>2</sup>

$P$  = Carga máxima resistida por la muestra antes del fallo, kg

$D$  = Diámetro de la muestra cilíndrica, cm

Los datos se recolectaron en un formato impreso, procesándose en plantilla de determinación de resistencia a la compresión elaborada en Excel.

### 3.5.2.5 Aplicación de prueba estadística inferencial

Los ensayos de resistencia a la compresión se procesaron utilizando el análisis de varianza (ANOVA) que determina la diferencia e igualdad entre los grupos de muestras para 2 factores con  $n$  réplicas (Walpole *et al.*, 2012), utilizando las fórmulas presentes en la Tabla 11.

Tabla 11

*Análisis de varianza para 2 factores con  $n$  réplicas*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada
Efecto principal				
$A$	$SCA$	$a - 1$	$S_1^2 = \frac{SCA}{a - 1}$	$F_1 = \frac{S_1^2}{S^2}$
$B$	$SCB$	$b - 1$	$S_2^2 = \frac{SCB}{a - 1}$	$F_2 = \frac{S_2^2}{S^2}$
Interacciones de 2 factores				
$AB$	$SC(AB)$	$(a - 1)(b - 1)$	$S_3^2 = \frac{SC(AB)}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_3 = \frac{S_3^2}{S^2}$
<i>Error</i>	<i>SCE</i>	$ab(n - 1)$	$S^2 = \frac{SCE}{ab(n - 1)}$	
<i>Total</i>	<i>STC</i>	$abn - 1$		

Fuente: (Walpole *et al.*, 2012)

Se utilizó la prueba de comparaciones múltiples Tukey para identificar cuáles de los pares de grupos son significativamente diferentes entre sí (Walpole *et al.*, 2012), a un nivel de significancia de 5%. Para el procesamiento de datos y grafica de los resultados se utilizó el software estadístico Statgraphics, utilizándose el siguiente planteamiento de regla de hipótesis;

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ , no hay diferencias entre las medias de las muestras.

$H_1$ : Al menos un par de medias son significativamente distintas la una de la otra.

La regla de decisión utilizada en el valor de  $F$  de Fisher - Snedecor es la siguiente;

$F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabulada}}$ , = Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ )

$F_{\text{calculada}} < F_{\text{tabulada}}$ , = Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ )

### 3.5.3 Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos

#### 3.5.3.1 Materiales

Los materiales usados en la presente investigación son comerciables en la región, los que se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12

*Materiales para la elaboración de concretos*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad
Cemento Portland Puzolánico tipo IP de marca RUMI,	bolsas	5
Agregado fino	m <sup>3</sup>	1
Agregado grueso	m <sup>3</sup>	1
Agregado reciclado	m <sup>3</sup>	1
Agua potable	m <sup>3</sup>	1

#### a. Cemento

El cemento que se utilizó es el Portland Puzolánico tipo IP de marca RUMI, cuyas características técnicas se mencionan en la Tabla 13.



Tabla 13

*Características técnicas del cemento Rumi IP*

Requisitos	Valores en el cemento
Químicos	
% Oxido de Magnesio (MgO)	1.99
% Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	1.75
% Pérdida por ignición	2.14
Físicos	
Peso específico (kg/cm <sup>3</sup> )	2.85
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	170
Fraguado Vicat Final (minutos)	270
Resistencia a los sulfatos	
% Expansión a los 14 días	0.018

Fuente: KONSTRUTECNIA.COM, (2021)

**b. Agregado fino y grueso natural**

El agregado fino y grueso natural fueron recolectados de la ciudad universitaria, del almacén de materiales que se encuentra ubicada al frontis de la piscina universitaria, proveniente de la cantera Cutimbo. Con la finalidad de que los agregados gruesos naturales cumplan con las normas se realizó los procesos de tamizados, pasando por la malla de 1", separando el material retenido y descartando su uso, zarandeado al material pasante por la malla ¼", acopiado al material retenido como grueso natural (Figura 7).





*Figura 7. Agregado reciclado grueso natural.*

Igualmente, el agregado fino ha pasado por proceso de zarandeo en la malla 3/8”, separando al material retenido y acopiando al material pasante como agregado fino natural.

Las características físicas de los agregados gruesos y finos se han obtenido siguiendo los procedimientos la norma ASTM C33 (2016), En la Tabla 14 se presentan los promedios de los resultados encontrados. Los análisis se presentan en anexos.

Tabla 14

*Características físicas del agregado fino y grueso*

Características	Agregados	
	Fino	Grueso
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1602.549	1501.982
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1708.786	1601.940
Absorción (%)	4.651	3.241
Contenido de humedad (%)	5.1	0.85
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2340	2404
Módulo de fineza	3.05	7.65
TMN	---	1”
Perfil del agregado	---	Redondo

### c. Agregado fino y grueso reciclado

El Agregado Reciclado (AR) fino y grueso han sido obtenidos por el proceso de trituración de probetas recolectadas de la construcción del pabellón nuevo de la Facultad de Estadística e Informática de la UNA PUNO, que han pasado por un proceso de; muestreo y recolección, trituración primaria, y separación de los agregados.

#### - **Recolección de muestras**

Las muestras son probetas de concreto seco realizadas en obra, seleccionadas de manera no probabilística por conveniencia (Otzen y Manterola, 2017).

Se acopiaron 210 probetas, verificándose que estén libres de otros materiales perjudiciales adheridos como: maderas, plásticos, cartones, papel, materia orgánica o tierra (Figura 8).



*Figura 8.* Recolección de probetas de la obra

Se cargó las muestras de forma manual y conducida al almacén de la empresa MARPI EIRL, ubicada en el centro poblado de Salcedo, lugar donde se encuentra la chancadora tipo mandíbula.

### - Trituración de las muestras

Las muestras han sido colocadas en la trituradora de tipo mandíbula (figura 5) con capacidad de producción de 10 m<sup>3</sup>/día. Se escogió este equipo ya que el proceso de trituración se asemeja al que se emplea en la producción de agregados triturados.

El triturado de las probetas de concreto consistió en dos procesos:

- proceso primario, donde el material fragmentado pasó por el tamiz de 1". El material pasante fue tamizado en la malla de 1/4" separando el agregado grueso del fino.
- proceso secundario, donde el material retenido en la malla en 1" fue nuevamente depositado en el área de almacén de la trituradora sometiéndola a un nuevo triturado, y el material pasante es AGR (Figura 9).



*Figura 9.* Colocado de probetas en la trituradora tipo mandíbula

Después del proceso se ha obteniendo aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de agregado reciclado que ha sido trasladado a la Universidad Nacional del Altiplano, al laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica para los ensayos correspondientes (Figura 10).



*Figura 10.* Agregado reciclado grueso

#### **d. Agua**

Se utilizó agua potable de la red de servicio de la ciudad universitaria en la elaboración de la pasta de cemento del proceso de impregnado, en el curado del AGRI, en la elaboración de los concretos y curado de las probetas.

#### **3.5.3.2 Equipos e instrumentos**

Los equipos e instrumentos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos en nuestra investigación se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

*Instrumentos y equipos utilizados*

<b>Descripción</b>	<b>N°</b>	<b>Marca y modelo</b>	<b>Rango</b>	<b>Precisión</b>
Prensa digital para ensayos de concreto	1	Marca YF – STYE-200	0 - 2000 KN	0.1 kN
Balanza electrónica para P.e. del AG.	1	AYA, 120607096	30 kg a 0.1 gr	0.1 gr
Horno Eléctrico Digital con termostato	1	PYS EQUIPOS - SKU: STHX-2A	50 a 300 °C	± 1 °C
Termómetro electrónico digital	1	AMARELL - 438	-20 a 200°C.	0.1°C
Cono de Abrams	1	IGNACIO MENDOZA	20cm – 30cm	0.1cm
Briquetas de metal	20	IGNACIO MENDOZA ASTM C-192, ASTM C-470.	Diámetro 15cm x 30 cm de altura	No especifica
Juego de tamices	1	FORNEY-USA	Diámetro 8”	
Cono de absorción de arenas, Picnómetro con molde cónico y golpeador	1	FORNEY - LA-0519	diámetro inferior de 89 m y altura de 74 mm	No especifica
Conjunto para pruebas de gravedad específica y absorción en agregado grueso	1	FORNEY – LA-0520-05	¼” (6 mm)	No especifica
Mezcladora de concreto	1	Dinamic – MR 120C	28 a 30 RPM	¼ bolsa



## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Característica física que se modifican con la impregnación de los agregados reciclados con cemento IP

Antes de la realización de la prueba de caracterización física de los agregados se obtuvo el agregado grueso reciclado impregnado.

#### 4.1.1 Agregado grueso reciclado impregnado

Antes de la realización del proceso de impregnación del AR se realizó su zarandeado por la malla  $\frac{1}{4}$ " retirando el exceso de material fino adherido al agregado, con fines de prevenir posible aumento de la absorción y garantizar que el tamaño del AGR se encuentre dentro de los rangos granulométricos.

Después del zarandeo se obtuvo más o menos 15% de material pasante, concluyéndose que el AGR se fragmenta cuando más se manipule.

El Agregado Grueso Reciclado Impregnado (AGRI) se ha obtenido del proceso de saturación del AGR con cemento IP de marca RUMI, consistiendo en sumergir al AGR seco en pasta de cemento de relación a/c de 0.50 por 30 minutos, con la finalidad de que el AR absorba agua enriquecida con cemento, para luego pasar por proceso colado en la malla  $\frac{1}{4}$ " extrayendo el exceso de pasta, proceso que se realizó manualmente con fines de prevenir la fragmentación del AGR.

La cantidad de cemento para el tratamiento se estimó en  $60 \text{ kg/m}^3$ , rendimiento que se asemeja a los presentado por Perea y Alvarado (2016) y Isaia y Gastaldini (2017).

El agregado impregnado fresco se colocó en sacos de Polipropilenos tendidos sobre el piso del laboratorio, verificando que se encuentre debidamente separados una de las otras. Después de 3 horas se roció con agua y se tapó con otros sacos de Polipropilenos hasta el día siguiente.

Después de 24 horas se removió la mezcla de AGRI con fines de separar los agregados pegados. Se acopio y se depositó cuidadosamente en baldes de plástico de capacidad de 20 litros, recubriéndolo con agua para su proceso de curado durante 14 días. Pasado el tiempo de curado se colocó al AGRI sobre sacos tendidos para su secado natural durante 14 días, para su acopio final (Figura 11).



*Figura 11.* Agregado reciclado grueso impregnado

#### **4.1.2 Forma y textura**

Según Melendez (2016), la forma y textura de la superficie del agregado puede afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de los concretos preparados con ellas, porque tienden a orientarse en un solo plano, lo que dificulta la manejabilidad, además por las formas que pueden presentar huecos de aire donde se pueden acumular agua perjudicando las propiedades de las mezcla endurecida.

El agregado grueso reciclado impregnado presenta bordes y arista ovalados, con superficie más uniforme, con un mínimo de aspereza, menos porosa, con poca o nada de polvo adherido, con presencia de orificios en su superficie (Figura 12).



*Figura 12.* Agregado reciclado impregnado con cemento IP

El agregado grueso reciclado tiene forma angular con puntas y quiebres, con bordes bien definidos en las intersecciones de caras que a la vez son aproximadamente planas, muy irregulares, con algunas superficies ovaladas y lisas dejadas por el desprendimiento del agregado grueso natural, y según su textura lo clasifica como ásperas con presencia de fracturas rugosas (Figura 13).



*Figura 13.* Agregado grueso reciclado

El agregado grueso natural, se clasificada como gravas de rio, tiene una forma redondeada y textura lisa porque son completamente desgastadas por el agua y formadas por fricción (Figura 14).





*Figura 14. Agregado grueso natural*

En la Figura 12, se puede apreciar a simple vista que los AGRI presentan características diferentes a los AGR debido al proceso de impregnación con pasta de cemento, que modifica la textura del agregado reciclado, que al endurecer ha generado una superficie uniforme suavizada con una textura poca rugosa, ocupando los espacios y las deformaciones que presentan los agregados reciclados, presentando una superficie poco áspera debido a la mezcla de la pasta de cemento con los residuos de mortero antiguo que se desprende del AR y que forman un mortero que se adhiere a la superficie del AGR, con una tonalidad blanquecina debido a la carbonatación de la pasta de impregnación.

Los orificios presentes en la superficie del agregado grueso reciclado impregnado es debido al proceso de salida de aire de los espacios vacíos y por la porosidad que presenta el agregado reciclado (Figura 12).

La forma y textura del agregado grueso reciclado impregnado coincide con la descrita por San Martín (2019), mencionando que el agregado grueso reciclado impregnado es redondeadas, y su textura superficial es rugosa pero poco porosa, y a los presentados por Priano *et al.* (2016), donde mencionan que los agregados pre tratados presentan micro orificios, y se ve una mejora de la adherencia entre la pasta de impregnación y el agregado reciclado, y un cambio de la tonalidad del mortero reciclado por el proceso de impregnación.

### 4.1.3 Análisis granulométrico

El objetivo de realizar el análisis granulométrico de los agregados es de verificar que los materiales a utilizar, cumplan con las características requeridas para la mezcla del concreto.

Se realizó el análisis granulométrico determinándose la distribución de los tamaños de los agregados según las recomendaciones de la norma ASTM C-136 (2009) y NTP 400.012 (2001).

Se tomó muestras representativas de los materiales por el método de cuarteo, que fueron pasados por la serie de tamices definidos en la NTP 400.012.

El cálculo de la granulometría se realizó de acuerdo con lo especificado por las normas, consistiendo en dividir el peso retenido en cada tamiz entre el peso total de la muestra. En las Tablas 16, 17, 18, 19 y 20, se presentan las granulometrías de los agregados. Se graficó la curva granulométrica con los datos del porcentaje que pasan por cada uno de los tamices. En las Figuras 15, 16, 17, 18 y 19, se presentan las curvas granulométricas de los agregados analizados.

Tabla 16

*Granulometría del agregado grueso reciclado impregnado*

Tamiz Pulg.	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Límites ASTM 1"
1 1/2"	0.00	0.00	100.00	100
1"	20.00	1.35	98.65	95 a 100
3/4"	357.00	25.52	74.48	---
1/2"	911.00	87.20	12.80	25 a 60
3/8"	184.00	99.66	0.34	---
1/4"	0.00	---	---	---
N° 04	4.00	99.93	0.07	0 a 10
N° 08	1.00	100.00	0.00	0 a 5
<b>Suma</b>	<b>1477.00</b>	<b>513.34</b>	<b>586.66</b>	

El TMN que presenta el agregado grueso reciclado impregnado es de 1", presentando material pasante por el tamiz N° 4 en 0.07%, interpretándose que el material grueso impregnado seco se ha fragmentado en el momento de la manipulación incrementando el material fino (Tabla 16).

En la Figura 15, se observa que la granulometría del agregado grueso impregnado se encuentra fuera de los límites establecidos según norma ASTM C-136.

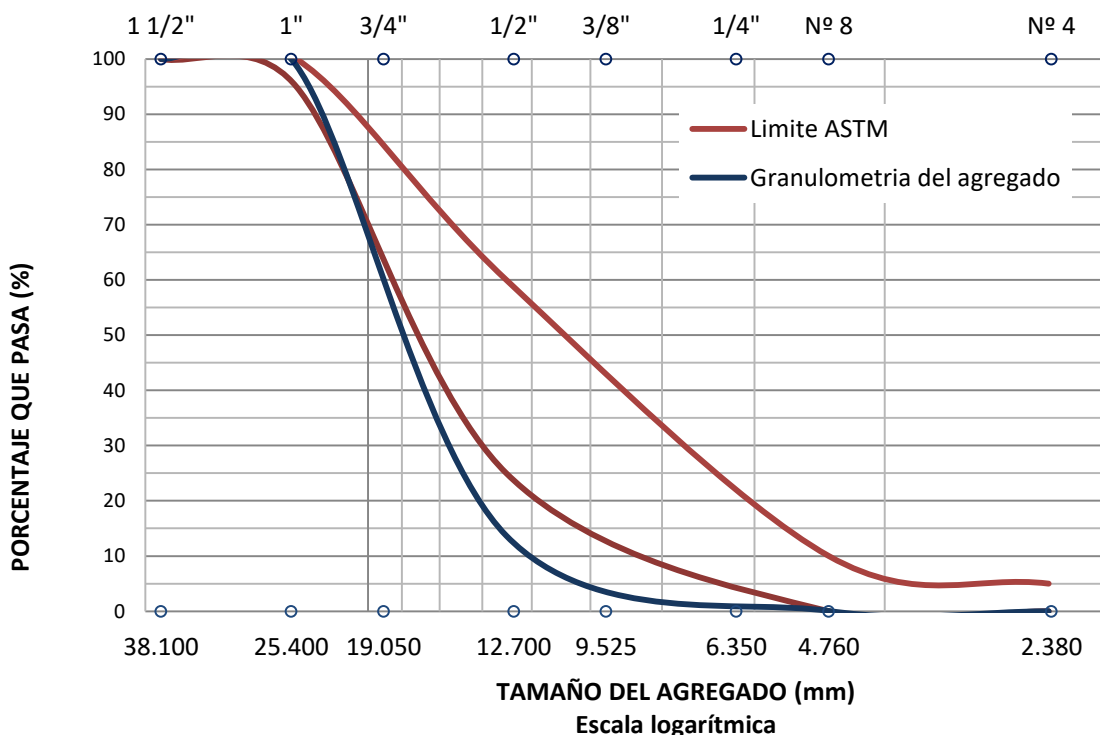


Figura 15. Curva granulométrica del agregado grueso reciclado impregnado

En la Tabla 17, se aprecia que el TMN del agregado grueso reciclado es de 1", con material pasante por el tamiz ¼" en porcentaje de 0.81%, presentándose la fragmentación del agregado reciclado en el momento de la manipulación, mostrando el mismo problema que el agregado impregnado, pero con porcentaje mayores.

Tabla 17

*Granulometría del agregado grueso reciclado*

Tamiz Pulg.	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Límites ASTM 1"
1 1/2"	0.00	0.00	100.00	100
1"	29.00	0.74	99.26	95 a 100
3/4"	405.00	11.00	89.00	---
1/2"	1983.00	61.28	38.72	25 a 60
3/8"	729.00	79.77	20.23	---
1/4"	0.00	---	---	---
N° 04	766.00	99.19	0.81	0 a 10
N° 08	32.00	100.00	0.00	0 a 5
Suma	3944.00	431.74	668.26	

La Figura 16, muestra la curva granulométrica del agregado grueso reciclado que se encuentra dentro de los límites establecidos según normas ASTM C-136.

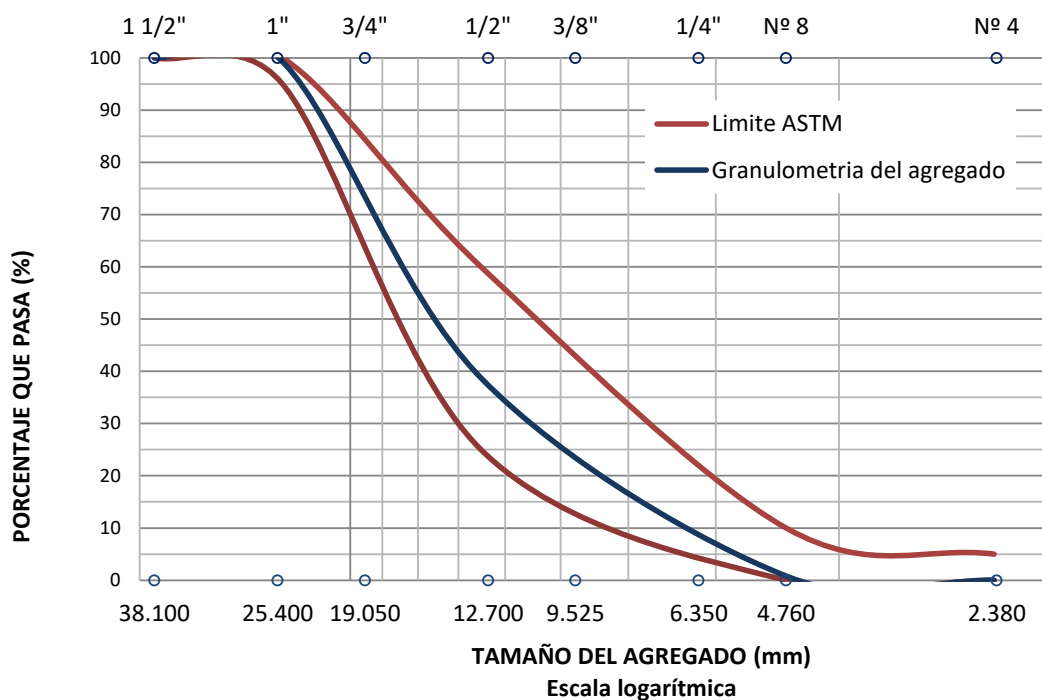


Figura 16. Curva granulométrica del agregado grueso reciclado

En la Tabla 18, del análisis granulométrico del agregado grueso natural, se aprecia que el TMN del agregado es de 1", sin presentar material que pasa el tamiz N° 4.

Tabla 18

*Granulometría del agregado grueso natural*

Tamiz Pulg.	Peso Retenido	% retenido Acumulado	% que Pasa	Limites ASTM 1"
1 1/2"	0.00	0.00	100.00	100 a 100
1"	14.50	1.56	98.44	95 a 100
3/4"	105.80	12.93	87.07	---
1/2"	434.70	59.66	40.34	25 a 60
3/8"	289.80	90.81	9.19	---
1/4"	81.14	99.53	0.47	---
N° 04	4.40	100.00	0.00	0 a 10
N° 08	0.00	100.00	0.00	0 a 5
<b>Suma</b>	<b>930.34</b>	<b>464.48</b>	<b>635.52</b>	

La granulometría del agregado grueso natural se encuentra dentro de los límites establecido según la norma ASTM (Figura 17).

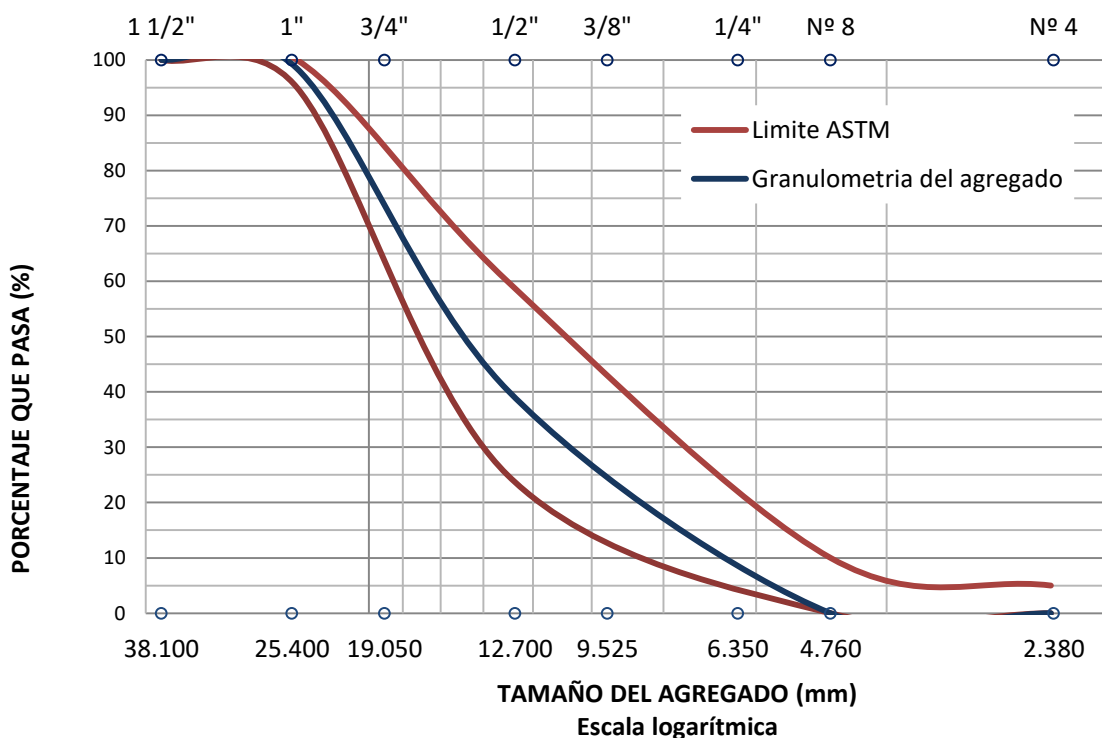


Figura 17. Curva granulométrica del agregado grueso natural

En la Tabla 19 y Figura 18, se observa que la granulometría presentada por el Agregado Fino Reciclado (AFR) se encuentra en su totalidad fuera de los límites según la norma ASTM, presentando porcentajes que pasan la tamiz N° 100 y N° 200 en valores de 3.44% y 0.37%.

Tabla 19

*Granulometría del agregado fino reciclado*

Tamiz Pulg. ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	% retenido Parcial	% retenido	% que Pasa	Especificaciones ASTM
3/8"	9.525	0	0	0	100	100 a 100
N° 04	4.78	192	8.82	8.82	91.18	95 a 100
N° 08	2.38	829	38.06	46.88	53.12	80 a 100
N° 16	1.19	532	24.43	71.3	28.7	50 a 85
N° 30	0.59	260	11.94	83.24	16.76	25 a 60
N° 50	0.3	181	8.31	91.55	8.45	10 a 30
N° 100	0.149	109	5	96.56	3.44	2 a 10
N° 200	0.074	67	3.08	99.63	0.37	---
BASE	0	8	0.37	100	0	---
<b>SUM.T</b>	<b>30.78</b>	<b>2178</b>	<b>100</b>	<b>398.35</b>	<b>302.02</b>	

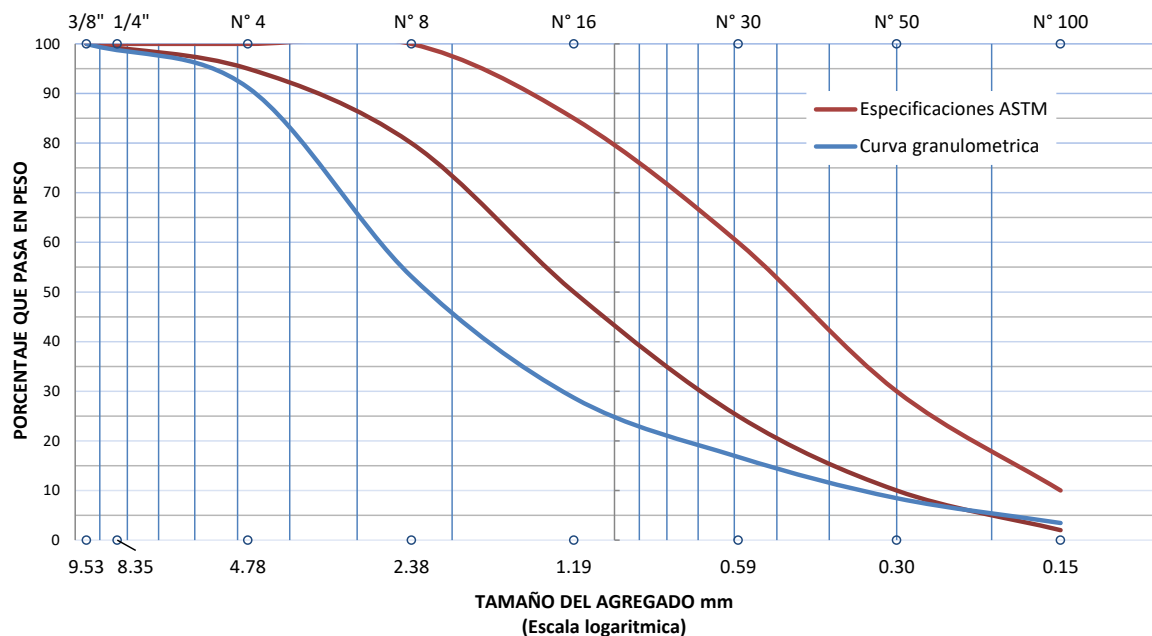


Figura 18. Curva granulométrica del agregado fino reciclado

En la Tabla 20 y Figura 19, se observa que el AFN presenta una buena distribución de su granulometría cumpliendo con las recomendaciones granulométricas de las NTP 400.012 (2001).

Tabla 20

*Granulometría del agregado fino natural*

Tamiz Pulg. ASTM	Abertura mm.	Peso retenido	% retenido parcial	% retenido	% que pasa	Especificaciones ASTM
3/8"	9.525	1	0.1	0.1	99.9	100 a 100
N° 04	4.78	19	1.99	2.1	97.9	95 a 100
N° 08	2.38	163	17.11	19.21	80.79	80 a 100
N° 16	1.19	198	20.79	40	60	50 a 85
N° 30	0.59	222	23.3	63.3	36.7	25 a 60
N° 50	0.3	209	21.94	85.24	14.76	10 a 30
N° 100	0.149	90	9.45	94.69	5.31	2 a 10
N° 200	0.074	29	3.04	97.73	2.27	---
<b>Suma</b>	<b>30.78</b>	<b>952.6</b>	<b>100</b>	<b>304.64</b>	<b>397.63</b>	

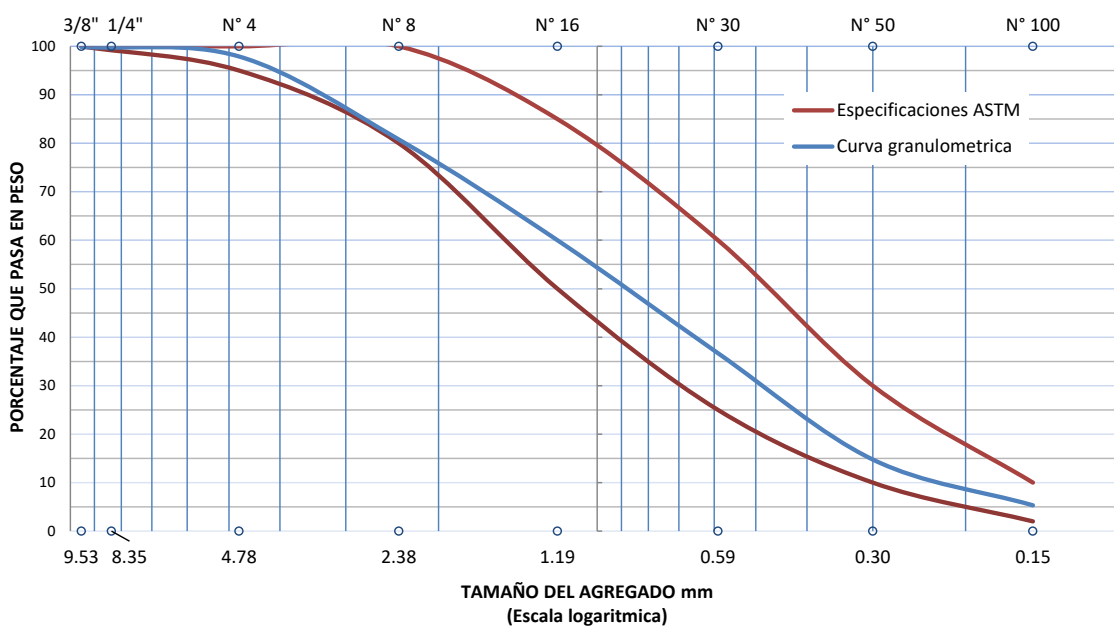


Figura 19. Curva granulométrica del agregado fino natural

La Figura 20, muestra la comparación de curvas granulométricas del AFR y AFN, observándose que el AFR se encuentra fuera de los rangos límites, presentando mayores porcentajes de agregados de mayor grosor.

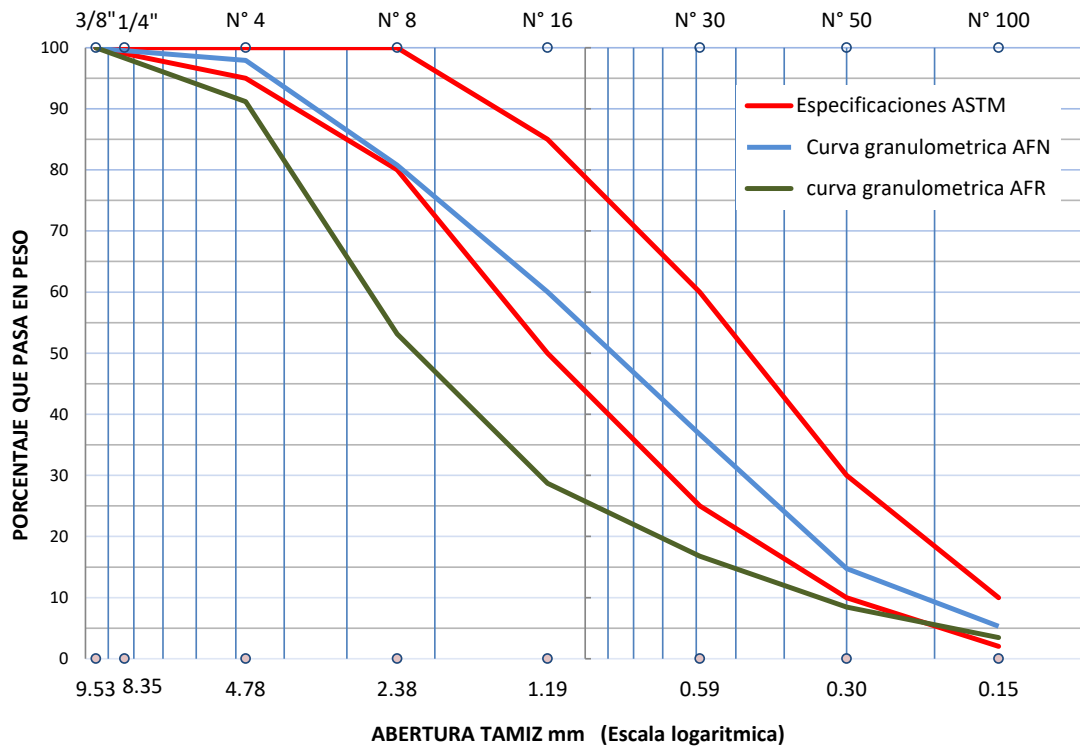


Figura 20. Comparación de la granulometría del AFR y AFN

En la Figura 21, de la comparación de la granulometría del agregado grueso impregnado, reciclado y natural, se observa la similitud del agregado reciclado y natural que se ubica en su totalidad dentro de los límites establecidos según norma, esto debido al proceso de tamizado por la malla 1" realizado previo a los análisis, lo que no ocurre con el AGRI que se encuentra fuera de los límites, notándose un aumento del porcentaje retenido en la malla ½", esto posiblemente debido a que al momento del proceso de impregnación el AR se ha fragmentado.

Se puede mencionar que el proceso de trituración de los concretos antiguos a través de la trituradora de tipo mandíbula produce un agregado fino reciclado que no cumple los requisitos granulométricos según norma, dando un agregado fino mucho más grueso que el agregado natural (Figura 21).

Resultado que coinciden por lo presentado por Zega (2008), mencionando que la granulometría del agregado grueso reciclado se ubica dentro de los límites establecidos para los agregados naturales.



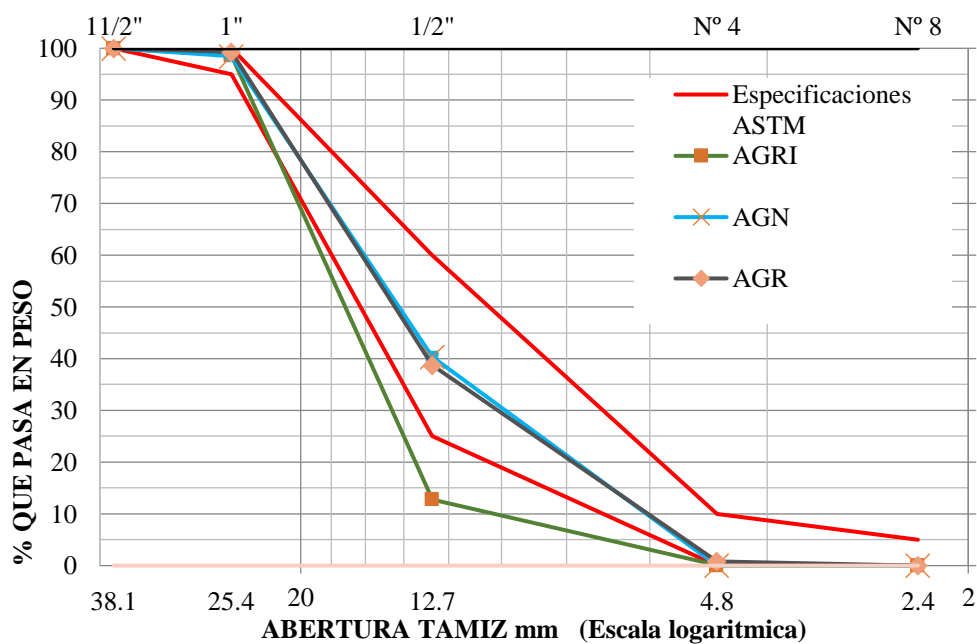


Figura 21. Comparación de la granulometría del AGRI, AGR, AGN

#### 4.1.4 Tamaño máximo nominal

El Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso es la que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido (NTP 400.037, 2001).

Como se puede apreciar en las Tablas 16, 17 y 18, el TMN del agregado grueso reciclado impregnado, grueso reciclado y natural son de 1", resultado obtenido según las recomendaciones de la NTP 400.012 (2001), determinándose que el proceso de impregnación del agregado grueso reciclado no altera el TMN del agregado, debido a que se genera una delgada capa de cemento endurecido sobre la superficie del agregado sin generar una alteración considerable en sus dimensiones y proporciones.

#### 4.1.5 Módulo de fineza

El módulo de finura (MF) es un índice de finura del agregado, entre mayor sea este valor, más grueso será el agregado (San Martín, 2019).

La NTP 400.012 (2001), indica que el módulo de fineza se obtiene de la sumatoria de los porcentajes retenido acumulado desde el tamiz 1 1/2" hasta la N° 100, dividido entre 100.

Los cálculos de la obtención del MF se realizaron con los datos presentados en las Tablas 16 al 20. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

*Módulo de fineza de los agregados*

<b>Material</b>	<b>MF</b>
AGRI	8.14
AGR	7.52
AGN	7.65
AFR	3.98
AFN	3.05

De la Tabla 21, el proceso de impregnación aumenta el grosor del AGR, e incrementa el módulo de fineza en 8.24% en relación al AR, e incluso superando al AGN.

El MF del AFR de 3.98 se encuentra fuera del rango de aceptación (2.35 a 3.15 con valores límite de  $\pm 0.2$ ) presentados en la NTP 400.037 (2001), mostrando que tiene un mayor contenido de partículas gruesas, derivado por el tipo de triturado utilizado para su obtención (Tabla 21).

Resultados coincidente con los presentados por Gámez *et al.* (2017), que considera al AFR más como una arena gruesa, y por lo presentado por Zega (2008), mencionando que los AFR contienen un módulo de finura muy superior al correspondiente a un agregado fino natural, e incluso mucho mayor al establecido en las normas.

Por la característica granulométrica y el MF que presenta el AFR no ha sido considerado en la impregnación de los AR, ni en el diseño, ni en la elaboración del concreto realizado en la investigación. En sustitución al agregado fino reciclado se ha utilizado agregado fino natural cuyo MF de 3.05 se encuentra dentro del rango establecido en las normas.

#### 4.1.6 Peso específico

La NTP 400.012 (2001), presenta el método normalizado para la obtención del peso específico en los agregados gruesos, y define a esta como la relación entre la masa del agregado entre el volumen de esta misma. En la Tabla 22, se muestran los resultados obtenidos del análisis de peso específicos realizados a los agregados.

Tabla 22

*Pesos específicos de los agregados gruesos*

Prueba	Peso específico, gr/cm <sup>3</sup>		
	AGRI	AGR	AGN
M-1	2.097	2.089	2.416
M-2	2.106	2.131	2.376
M-3	2.092	2.137	2.421

El peso específico de los AGRI en promedio es de 2,098 kg/m<sup>3</sup>, levemente inferior al peso específico del AGR que tiene en promedio 2,119 kg/m<sup>3</sup>, con una diferencia del 1%, y ambos presentan pesos específicos menores al 12% en comparación a los de los AGN (Figura 22).

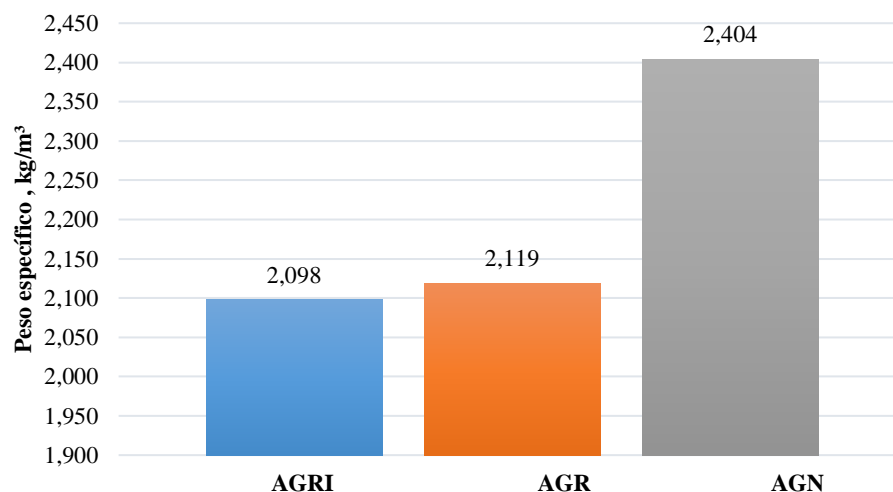


Figura 22. Promedio de los pesos específicos de los agregados gruesos

Esta diferencia posiblemente sea debido a que el AGR presenta mortero adherido y por su porosidad presenta mayor porcentaje de vacíos originando menor peso específico, y el proceso de impregnación ha generado una capa delgada de sello

superficial en los poros del AR, quedando todavía espacios vacíos debajo de ella, originando un incrementando en el volumen del agregado sin aumentar peso (Figura 22).

Al AGRI y AGR los podemos clasificar como agregados ligeros por los resultados de sus pesos específicos que se encuentra muy por debajo de  $2,500 \text{ kg/m}^3$  (Torre, 2004).

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrica.

#### 4.1.6.1 Prueba de normalidad

Para comprobar si los datos de los pesos específicos tienen un comportamiento normal se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 23, utilizándose los resultados de los pesos específicos de la Tabla 22.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{t(0.95, 3)}$  de 0.767, la que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23

*Pruebas de W de Shapiro-Wilk para peso específico*

Agregado	Valor $W_c$	Valor-P	Valor $W_t$
AGRI	0.97351	0.687767	0.767
AGR	0.84211	0.219559	0.767
AGN	0.83219	0.193918	0.767

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable peso específico del AGRI, AGR y AGN se distribuyen normalmente.

#### 4.1.6.2 Prueba de homogeneidad

Para comprobar si los datos de los pesos específicos tienen un comportamiento homogéneo, se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en la Tabla 22.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 25) del error absoluto de los datos (Tabla 24).

Tabla 24

*Error absoluto peso específico por agregado*

AGRI	AGR	AGN
0.0013	0.0300	0.0117
0.0077	0.0120	0.0283
0.0063	0.0180	0.0167

Tabla 25

*ANOVA error absoluto peso específico por agregado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000412741	2	0.00020637	3.68	0.0906
Intra grupos	0.000336593	6	0.0000560988		
Total (Corr.)	0.000749333	8			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_{\alpha(0.95, 2, 6)}$  de 5.14.

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea.

Como  $F_c < F_t$ , es decir  $3.68 < 5.14$ , se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables peso específico del AGRI, AGR y AGN se distribuye homogéneamente.

#### 4.1.6.3 Prueba de hipótesis del peso específico

Para determinar si existe diferencia estadística entre las medias de los pesos específicos del AGRI y AGR se aplicó la prueba de  $t$  Student con los datos presentado en la Tabla 22, datos que tiene una distribución normal y homogénea. En la Tabla 26 se presentan el resumen de los resultados obtenidos de la prueba estadística.

Tabla 26

*Resumen estadístico prueba  $t$  para comparar medias peso específico*

Descripción	AGRI	AGR
Recuento	3	3
Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	2.09833	2.119
Desviación Estándar	0.0070946	0.0261534
Coefficiente de Variación	0.34%	1.23%

Prueba  $t$  para comparar medias

Hipótesis nula:  $media1 = media2$ , no hay diferencia entre las medias

Hipótesis Alt.:  $media1 \neq media2$ , existe diferencia entre las medias

suponiendo varianzas iguales:  $t_c = -1.32094$ ,  $t_t = +- 4.30265$

$valor-P = 0.25702$

No se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

En la Figura 23 se muestra que la  $t_c$  de  $-1.321$  es menor a la  $t_t$  de  $-4.303$ , por lo que no se rechaza la hipótesis nula, determinando que estadísticamente los pesos específicos del AGRI y AGR no presenta diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con

un nivel de confianza del 95.0%, concluyéndose que el proceso de impregnación no genera cambio en el peso específico del AGR.

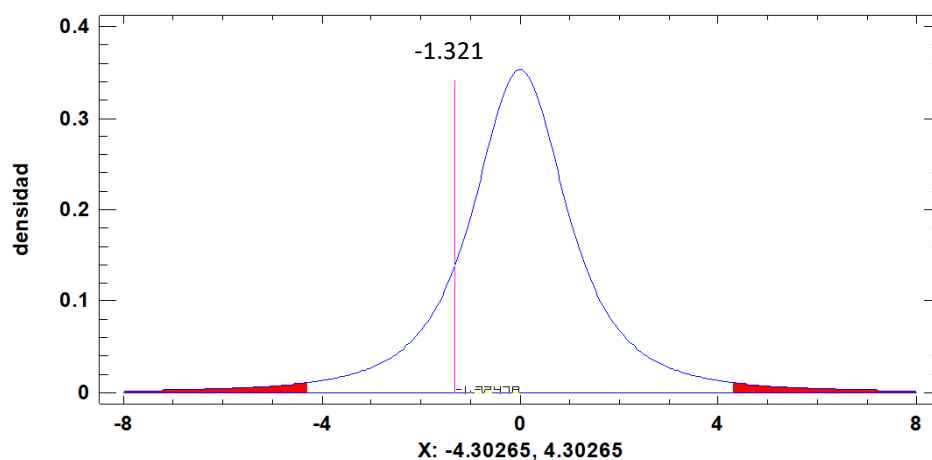


Figura 23. *t* Student para  $Gl = 2$  con probabilidad = 0.05,  $t_c = -1.32094$

El resultado coincide con el presentado por Priano *et al.* (2016), en que no hay diferencia significativa entre los pesos específicos de los agregados reciclados tratados en comparación con el agregado reciclado sin impregnar.

#### 4.1.7 Absorción

La NTP 400.021 (2002), define a la absorción como “el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, se le expresa como porcentaje de la masa seca”.

En la Tabla 27, se muestra los resultados obtenidos del análisis de porcentaje de absorción realizados a los agregados gruesos impregnados, reciclados y naturales.

Tabla 27

*Porcentaje de absorción de los agregados gruesos*

Prueba	% Absorción		
	AGRI	AGR	AGN
M-1	4.881	8.564	3.050
M-2	4.528	8.214	3.397
M-3	4.553	8.445	3.276



El porcentaje de absorción del AGRI presenta un valor promedio de 4.65% inferior al porcentaje de absorción del AGR con valor de 8.41% (Figura 24).

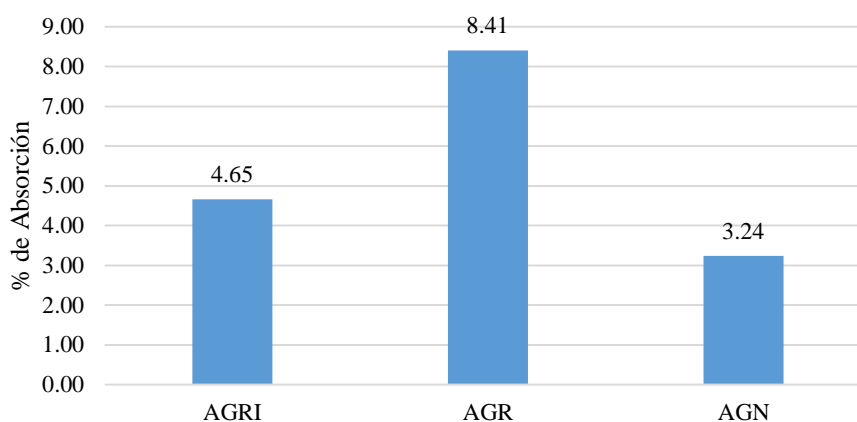


Figura 24. Promedio de porcentaje de absorción según agregado

El porcentaje de absorción se incrementa en los AGR debido al mortero adherido y que por su porosidad presentan mayor porcentaje de huecos originando mayor absorción.

El proceso de impregnación disminuyó en un 44.65% el porcentaje de absorción en los AGR, esto debido a que se ha generado una delgada capa en la superficie del AR impidiendo el paso de las aguas hacia los poros, acercándose a la absorción presentado por el AGN.

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrica.

#### 4.1.7.1 Prueba de normalidad del porcentaje de absorción

Para la prueba de normalidad de los datos estadísticos, se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 28, utilizándose los resultados de los porcentajes de absorción de la Tabla 27.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{(0.95, 3)}$  de 0.767 la que se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

*Pruebas de W de Shapiro-Wilk para porcentaje de absorción*

Agregado	Valor $W_c$	Valor- $p$	Valor $W_t$
AGRI	0.802831	0.121275	0.767
AGR	0.966993	0.651084	0.767
AGN	0.970383	0.669676	0.767

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal.

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable porcentaje de absorción del AGRI, AGR y AGN se distribuyen normalmente.

#### 4.1.7.2 Prueba de homogeneidad

Se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en la Tabla 27.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 30) del error absoluto de los datos (Tabla 29).

Tabla 29

*Error absoluto del porcentaje de absorción*

AGRI	AGR	AGN
0.227	0.156	0.191
0.126	0.194	0.156
0.101	0.037	0.035

Tabla 30

*ANOVA error absoluto porcentaje de absorción por agregado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00107756	2	0.000538778	0.09	0.9147
Intra grupos	0.0357193	6	0.00595322		
Total (Corr.)	0.0367969	8			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 2, 6)}$  de 5.14.

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea

Como  $F_c < F_t$ , es decir  $0.09 < 5.14$ , se acepta la  $H_0$ , por lo tanto se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables porcentaje de absorción del AGRI, AGR y AGN se distribuye homogéneamente.

#### 4.1.7.3 Prueba de hipótesis del porcentaje de absorción

Para determinar si existe diferencia estadística entre las medias de los pesos específicos del AGRI y AGR se aplicó la prueba de  $t$  Student, con los datos presentado en la Tabla 27. En la Tabla 31 se presentan los datos obtenidos de la prueba estadística.

Tabla 31

Resumen estadístico prueba *t* para comparar medias de absorción

Descripción	AGRI	AGR
Recuento	3	3
Promedio	4.654	8.40767
Desviación estándar	0.196985	0.177962
Coefficiente de variación	4.23%	2.12%

**Prueba *t* para comparar medias**

Hipótesis nula:  $media1 = media2$   
 Hipótesis Alt.:  $media1 <> media2$   
 suponiendo varianzas iguales:  $t_c = -24.4909$  ,  $t_t = +- 4.30265$   
 valor-*P* = 0.0000164937  
 Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

En la figura 25, se muestra que la  $t_c$  de -24.491 es mayor a la  $t_t$  de -4.302, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, determinando que estadísticamente el porcentaje de absorción del AGRI presenta diferencia significativa en comparación con el porcentaje de absorción del AGR entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%, determinando que el proceso de impregnación genera cambio en el porcentaje de absorción del AGR.

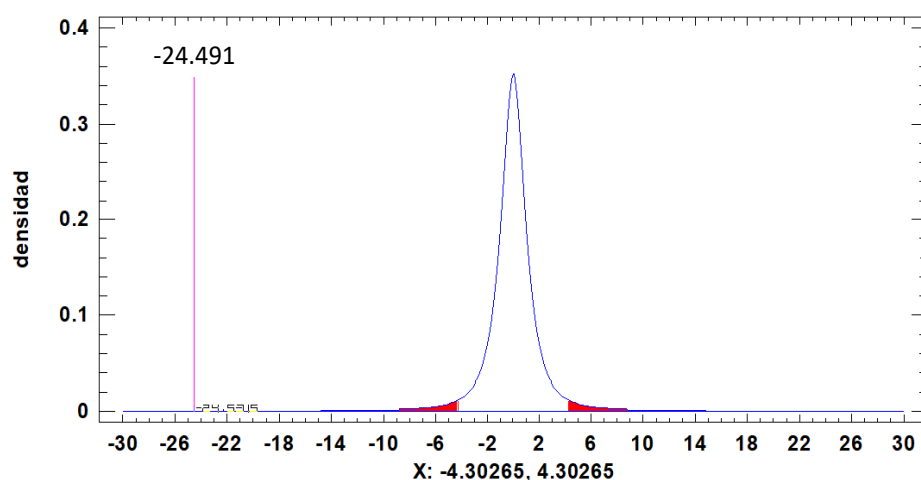


Figura 25. *t* Student para  $Gl = 2$ , probabilidad = 0.05,  $t_c = -24.4909$

Resultados similares son los obtenidos por Perea y Alvarado (2016) y Rajprasad y Pannirselvam (2020), que mencionan que el proceso de

tratamiento con cemento ayuda a reducir la absorción de agua del agregado reciclado.

#### 4.1.8 Peso volumétrico

La NTP 400.017 (2011), lo define como la masa de una unidad de volumen, entre el volumen que ocupa esa masa del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresado en  $\text{kg/m}^3$ . La norma establece los procedimientos para determinar el peso volumétrico en condiciones seco suelto (PVSS) y peso volumétrico en condiciones seco compactado (PVSC).

En la Tabla 32 y 33 se muestran los valores obtenidos del análisis del PVSS y PVSC.

De la Tabla 32, se puede apreciar que el PVSS del AGRI presenta un valor en promedio de  $1197.890 \text{ kg/m}^3$  inferior al PVSS del AGR con valor promedio de  $1199.266 \text{ kg/m}^3$ , con una diferencia del 0.11%.

Tabla 32

*Peso volumétrico seco suelto de los agregados gruesos*

Prueba	Peso volumétrico seco suelto, $\text{kg/m}^3$		
	AGRI	AGR	AGN
M-1	1185.736	1195.657	1502.478
M-2	1212.648	1204.587	1498.881
M-3	1195.285	1197.555	1504.586

Igualmente, de la Tabla 33 se parecía que el PVSC del AGRI presenta un valor promedio de  $1341.668 \text{ kg/m}^3$ , valor superior al PVSC del AGR con valor promedio de  $1315.740 \text{ kg/m}^3$ , con una diferencia de 1.97%.

Tabla 33

*Peso volumétrico seco compactado de los agregados gruesos*

Prueba	Peso volumétrico seco compactado, kg/m <sup>3</sup>		
	AGRI	AGR	AGN
M-1	1328.853	1320.047	1602.064
M-2	1352.540	1312.854	1602.56
M-3	1343.611	1314.318	1601.196

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrica.

#### 4.1.8.1 Prueba de normalidad del peso volumétrico de los agregados

Para la prueba de normalidad de los datos estadísticos, se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 34, utilizándose los resultados de los pesos volumétricos sueltos y compactados de las Tablas 32 y 33.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{t(0.95, 3)}$  de 0.767 la que se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34

*Pruebas Shapiro-Wilk del peso volumétrico suelto y compactado*

Agregado	Valor $W_c$	Valor- $P$	Valor $W_t$
Peso volumétrico seco suelto			
AGRI	0.972666	0.682789	0.767
AGR	0.900758	0.387918	0.767
AGN	0.977797	0.714356	0.767
Peso volumétrico seco compactado			
AGRI	0.980214	0.730457	0.767
AGR	0.895102	0.370075	0.767
AGN	0.975806	0.701724	0.767

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables del peso volumétrico seco suelto y compactado del AGRI, AGR y AGN se distribuyen normalmente.

#### 4.1.8.2 Prueba de homogeneidad de los PVSS y PVSC

Se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en las Tablas 32 y 33.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 36 y 37) del error absoluto de los datos (Tabla 35).

Tabla 35

*Error absoluto de los PVSS y PVSC*

	AGRI	AGR	AGN
Peso volumétrico seco suelto			
	12.154	3.609	0.496
	14.758	5.321	3.101
	2.605	1.711	2.604
Peso volumétrico seco compactado			
	12.815	4.307	0.124
	10.872	2.886	0.620
	1.943	1.422	0.744

Tabla 36

*ANOVA error absoluto del peso volumétrico seco suelto*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	102.177	2	51.0887	3.32	0.1068
Intra grupos	92.2367	6	15.3728		
Total (Corr.)	194.414	8			



Tabla 37

*ANOVA error absoluto del peso volumétrico seco compactado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	102.572	2	51.286	4.30	0.0695
Intra grupos	71.6133	6	11.9356		
Total (Corr.)	174.185	8			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 2, 6)}$  de 5.14,

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea.

Como  $F_c < F_t$ , se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables del peso volumétrico seco suelto y compactado del AGRI, AGR y AGN se distribuyen homogéneamente.

#### 4.1.8.3 Prueba de hipótesis del PVSS y PVSC

Para determinar si existe diferencia estadística entre las medias de los pesos volumétricos secos y compactados del AGRI y AGR se aplicó la prueba de  $t$  Student con los datos presentado en la Tabla 32 y 33, datos que tiene una distribución normal y homogénea. En la Tabla 38 y 39 se presentan los resultados obtenidos de la prueba estadística.

Estadísticamente el PVSS del AGRI no presenta diferencia significativa en comparación con el PVSS del AGR entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%, determinándose que el proceso de impregnación no genera cambio en el PVSS del AGR.

Tabla 38

*Resumen estadístico prueba t para comparar medias del PVSS*

Descripción	AGRI	AGR
Recuento	3	3
Promedio	1197.89	1199.27
Desviación estándar	13.6438	4.70454
Coefficiente de variación	1.14%	0.39%

---

**Prueba t para comparar medias**

Hipótesis nula:  $media1 = media2$   
 Hipótesis Alt.:  $media1 <> media2$   
 suponiendo varianzas iguales:  $t_c = -0.165219$ ,  $t_t = +- 4.30265$   
 valor- $P = 0.876785$   
 No se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

Sin embargo, estadísticamente el PVSC del AGRI presenta diferencia significativa en comparación con el PVSC del AGR entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%, determinándose que el proceso de impregnación genera cambio en el PVSC del AGR (Tabla 39).

Tabla 39

*Peso volumétrico seco compactado de los agregados gruesos*

Descripción	AGRI	AGR
Recuento	3	3
Promedio	1341.67	1315.74
Desviación estándar	11.9624	3.8014
Coefficiente de variación	0.89%	0.29%

---

**Prueba t para comparar medias**

Hipótesis nula:  $media1 = media2$   
 Hipótesis Alt.:  $media1 <> media2$   
 suponiendo varianzas iguales:  $t = 3.57788$  valor- $P = 0.0232114$   
 Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

Podemos mencionar que el proceso de impregnación genera cambios considerables en el PVSC, posiblemente debido a su forma ovalada y curva del AGRI, haciendo que tenga un mejor acomodo al momento del compactado.

Las características físicas que se modifican por el proceso de impregnación de los agregados gruesos reciclados con cemento IP, es la reducción del porcentaje de absorción de hasta un 46.65%, incremento del porcentaje que pasa la malla  $\frac{1}{2}$ ", incrementando del valor del MF en 8.24% e incremento el PVSC en un 1.9%, sin presentar diferencia estadística significativa en el peso volumétrico seco suelto y peso específico. Estos cambios de las características mejoraron la trabajabilidad en un 33% en el concreto fresco e incrementó el peso unitario del concreto seco en un 2.75%.

En general, hay propiedades físicas que se modifican con el proceso de impregnado del agregado reciclado como la absorción, el módulo de fineza, y el peso volumétrico seco compactado, sin presentar diferencia significativa en peso volumétrico seco suelto y peso específico.

Resultado que coinciden por los presentados por Shaban *et al.* (2019) mencionando que el uso de materiales puzolánicos se considera un tratamiento eficaz para mejorar las propiedades y modificar la superficie del AR, ya que estos materiales pueden llenar los poros y huecos, y mejorar la unión entre el AR y la pasta de cemento.

## **4.2 Variación de la resistencia mecánica del concreto, con la tecnología de impregnación de los agregados reciclados con cemento IP**

### **4.2.1 Diseño de mezcla**

El diseño de mezcla se realizó por el método del comité 211.1 del ACI (2010), donde este método presenta tablas, permitiendo obtener cantidades de materiales que integran la dosificación del concreto.

Se elaboraron diseño de mezclas con el uso de AGRI, AGR y AGN, y en todos ellos se utilizó AFN. En la Tabla 40, se presentan los parámetros físicos de los agregados obtenidos en laboratorio que han sido utilizados en los diseños de mezclas.

Tabla 40

*Parámetros físicos de los agregados*

Parámetros	AGRI	AGR	AGN	AFN
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1197.890	1199.266	1501.982	1602.549
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1341.668	1315.740	1601.94	1708.786
Absorción (%)	4.654	8.408	3.241	4.651
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2098	2119	2404	2340
Módulo de fineza	8.14	7.52	7.65	3.05
TMN	1”	1”	1”	---

Se han utilizado las relaciones de agua/cemento (a/c) de 0.70, 0.62, 0.55 y 0.43, con la finalidad de evaluar la resistencia óptima a que se llega con estos agregados, es decir según el diseño en cual se comporta mejor el agregado.

En anexo, se presenta el procedimiento de diseño de mezcla replicándose en los demás diseños. En la Tabla 41, se presenta el resumen de dosificación para un metro cúbico de concreto.

Tabla 41

*Resumen de dosificación de diseño de mezcla con AGRI y AGR*

Materiales	Tipo de agregado grueso							
	Impregnado				Reciclado			
	Relación a/c							
	0.70	0.62	0.55	0.43	0.70	0.62	0.55	0.43
Cemento (kg)	275.71	311.29	350.91	448.84	275.71	311.29	350.91	448.84
Agua de diseño (l)	210.83	210.96	211.11	211.47	248.53	248.66	248.81	249.17
A.F. húmedo (kg)	695.46	664.76	630.57	546.06	724.92	694.22	660.03	575.53
A.G. húmedo (kg)	884.85	884.85	884.85	884.85	861.38	861.38	861.38	861.38

La Figura 26, muestra las proporciones de los materiales en seco calculados, se aprecia que el agregado grueso y el agua de diseño se mantiene constante por más que cambian las diferentes relaciones a/c y, que la variación del peso es debido a la cantidad de agua presente en los agregados. Igualmente, la cantidad de AFN

disminuye al aumentar la cantidad de cemento según disminuye la relación a/c, deduciendo que el volumen de pasta se mantiene constante en todos los diseños. Concluyéndose de las cantidades de materiales no varían con el uso de AGRI en comparación con los AGR y AGN.

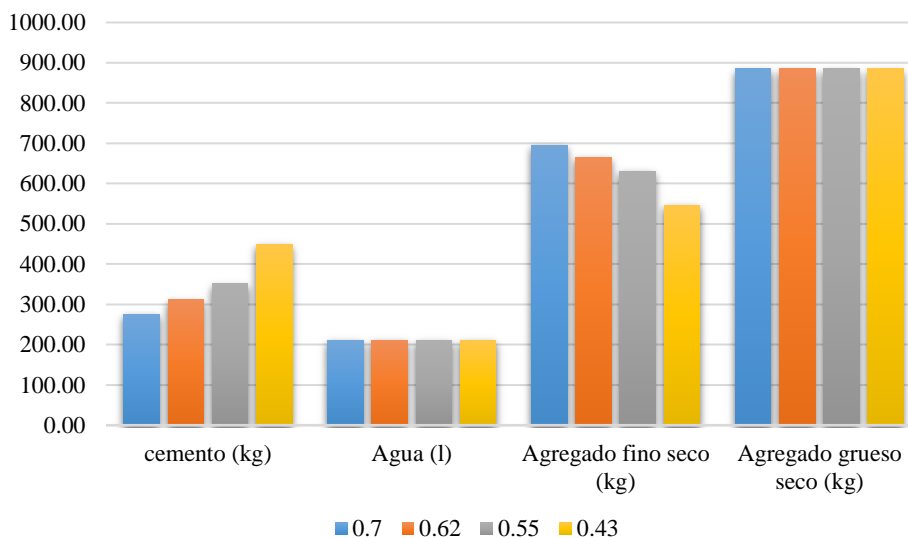


Figura 26. Proporciones de materiales en seco para diferentes relaciones a/c en concreto con AGRI

#### 4.2.2 Asentamiento del concreto fresco

La NTP 339.035 (2009), menciona que “el asentamiento es una técnica para monitorear la consistencia del concreto no endurecido propuesto en el diseño, y que se ha encontrado que el asentamiento del concreto se incrementa proporcionalmente con el contenido de agua, por lo tanto está relacionado inversamente con la resistencia del concreto”.

Según Rivvas (2010), se considera una mezcla de consistencia seca cuando tienen un asentamiento de 0 a 50 mm (0” a 2”), una mezcla de consistencia plástica con asentamiento de 75 a 100 mm (3” a 4”), y una mezcla de consistencia fluida con asentamiento mayores a 125 mm (> 5”).

En la presente investigación se midió el valor del asentamiento realizándose el ensayo con el cono de Abrams según las recomendaciones de la NTP 339.035 (2009), uno por cada diseño de mezcla. En la Tabla 42 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 42

*Resultados de asentamiento en el concreto fresco*

Agregado grueso	a/c	Asentamiento	
		cm	pulg.
Impregnado	0.70	9.2	4
	0.62	10.9	4
	0.55	8.9	4
	0.43	9.5	4
Reciclado	0.70	15.9	6
	0.62	16.0	6
	0.55	14.9	6
	0.43	16.2	6

En la Figura 27 se observa que los concreto elaborados con agregados impregnados presentaron asentamientos que se encuentran dentro de 3” a 4” propuesto en el diseño de mezcla, obteniéndose una mezcla de consistencias Plástica, lo que no ocurre con los concretos elaborados con agregados reciclados que se encuentra fuera del asentamiento propuesto, clasificándolo como una mezcla de consistencia Fluida. El asentamiento de los concreto con agregados impregnados se asemeja a los que presentan los concretos con agregado natural.

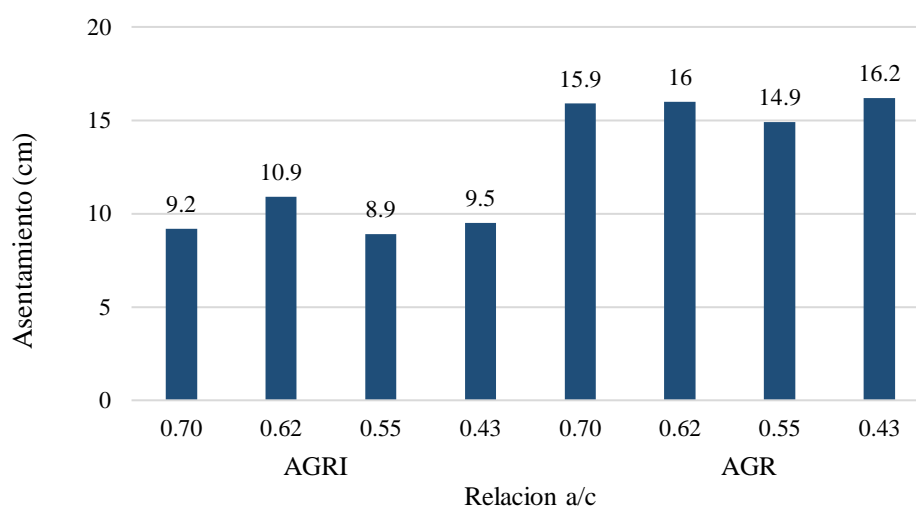


Figura 27. Asentamientos registrados en los concretos con AGRI y AGR

La variación del asentamiento del concreto se debe al agregado grueso utilizado, ya que se ha utilizado el mismo agregado fino para todos los diseños de mezclas, y que el comportamiento del asentamiento posiblemente sea por el agua de diseño que es mayor en las mezclas con AGR debido al mayor porcentaje de absorción que estas presentan, y que el tiempo de preparación y mezclado del concreto no es suficiente para que el agregado reciclado absorba el agua calculada, quedando esta como agua adicional de mezclado, incrementando la fluidez de la mezcla y asentamiento de la misma.

Los resultados del asentamiento coinciden a los presentados por Beltrán (2017) y Pelissari *et al.* (2020), donde mencionan que la trabajabilidad de la mezcla con AR disminuye en forma proporcional al contenido de AR, lo que no sucede con el AGR tratados.

Igualmente coinciden a los hallado por Silva *et al.* (2018), que indica que los AR presentan incapacidad para absorber esa agua extra a una velocidad lo suficientemente rápida, lo cual los niveles de asentamiento de estas mezclas presentan mayor trabajabilidad.

#### **4.2.3 Peso unitario del concreto**

Este ensayo se llevó según los procedimientos establecidos por la NTP 339.046 (2008), determinándose peso y volumen real del concreto endurecido producido en cada mezcla, datos que se obtuvieron antes de la rotura de las probetas, cuyos resultados se presentan en la Tabla 43.

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrico.



Tabla 43

*Peso unitario del concreto por diseño de mezcla*

Agregado	a/c	PU (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado	a/c	PU (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado	a/c	PU (kg/m <sup>3</sup> )
		2065.2			2044.4			2212.6
		2034.3			2050.9			2201.0
	0.70	2032.7		0.70	2034.4		0.70	2198.9
		2041.9			2005.7			2179.4
		2017.1			1969.3			2197.4
		2124.4			2083.8			2226.9
		2109.4			2106.8			2185.2
	0.62	2167.3		0.62	2089.1		0.62	2204.6
		2121.2			2032.2			2178.5
		2090.4			2050.7			2188.4
AGRI		2127.3	AGR		2099.0	AGN		2220.7
		2091.4			2093.4			2198.4
	0.55	2201.3		0.55	2091.7		0.55	2202.4
		2178.3			2069.0			2288.2
		2164.9			2049.8			2273.2
		2250.3			2101.5			2332.6
		2084.6			2095.3			2352.2
	0.43	2190.5		0.43	2068.5		0.43	2334.7
		2154.6			2053.0			2321.6
		2153.6			2070.1			2313.0

#### 4.2.3.1 Prueba de normalidad

Se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 44, utilizándose los pesos unitarios del concreto por diseño de mezcla de la Tabla 43.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{t(0.95, 5)}$  de 0.762 que se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44

*Pruebas Shapiro-Wilk para peso unitario del concreto*

Relación a/c	Valor $W_c$	Valor-P	Valor $W_t$
<b>AGRI</b>			
0.70	0.947849	0.728904	0.762
0.62	0.931991	0.616169	0.762
0.55	0.962469	0.823638	0.762
0.43	0.969683	0.865714	0.762
<b>AGR</b>			
0.70	0.892572	0.367568	0.762
0.62	0.941317	0.683135	0.762
0.55	0.871411	0.26925	0.762
0.43	0.919669	0.53005	0.762
<b>AGN</b>			
0.70	0.924252	0.561298	0.762
0.62	0.901217	0.413409	0.762
0.55	0.856092	0.211288	0.762
0.43	0.972302	0.880264	0.762

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal.

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal.

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables peso unitario del concreto con diferentes relaciones a/c con AGRI, AGR y AGN se distribuyen normalmente.

#### 4.2.3.2 Prueba de homogeneidad

Se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en la Tabla 43.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 46) del error absoluto de los datos (Tabla 45).

Tabla 45

*Error absoluto peso unitario del concreto*

AGRI				AGR				AGN			
0.7	0.62	0.55	0.43	0.7	0.62	0.55	0.43	0.7	0.62	0.55	0.43
26.96	1.86	25.34	83.58	23.46	11.28	18.42	23.82	14.74	30.18	15.88	1.78
3.94	13.14	61.24	82.12	29.96	34.28	12.82	17.62	3.14	11.52	38.18	21.38
5.54	44.76	48.66	23.78	13.46	16.58	11.12	9.18	1.04	7.88	34.18	3.88
3.66	1.34	25.66	12.12	15.24	40.32	11.58	24.68	18.46	18.22	51.62	9.22
21.14	32.14	12.26	13.12	51.64	21.82	30.78	7.58	0.46	8.32	36.62	17.82

Tabla 46

*ANOVA error absoluto P.U. del concreto con AGRI*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2998.9	3	999.634	1.79	0.1892
Intra grupos	8923.9	16	557.744		
Total (Corr.)	11922.8	19			

Tabla 47

*ANOVA error absoluto P.U. del concreto con AGR*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	418.295	3	139.432	1.08	0.3861
Intra grupos	2067.89	16	129.243		
Total (Corr.)	2486.19	19			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 3, 16)}$  de 3.24.

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea.

Como  $F_c < F_t$ , se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables peso unitario del concreto con diferentes relaciones a/c elaborados con AGRI, AGR y AGN se distribuyen homogéneamente.

#### 4.2.3.3 Prueba de hipótesis del peso unitario del concreto

Se utilizó el análisis de ANOVA para determinar si el agregado grueso reciclado impregnado influye en el peso unitario del concreto, tal como se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48

*Análisis de ANOVA para peso unitario del concreto*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Agregado	32609.8	1	32609.8	27.33	0.0000
B:a/c	54422.1	3	18140.7	15.21	0.0000
<b>Interacciones</b>					
AB	7195.33	3	2398.44	2.01	0.1322
Residuos	38175.2	32	1192.97		
Total (corregido)	132402.	39			

Los resultados estadísticos muestran que la Razón-F para la variable Agregados y relación a/c es igual a 27.33 y 15.21 respectivamente, que es el cociente entre el estimado de grupos y el estimado dentro de grupos.

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; no tiene una influencia en el peso unitario del concreto.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una influencia en el peso unitario del concreto.

De la tabla de niveles de distribución  $F$  con una confianza al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 1, 32)}$  de 4.17.

Como  $F_c > F_t$  ( $27.33 > 4.17$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable agregado AGRI y AGR influye en el peso unitario del concreto.

Igualmente, de la tabla de niveles de distribución  $F$  con una seguridad al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 3, 32)}$  de 2.92.

Como  $F_c > F_t$  ( $15.21 > 2.92$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable a/c (0.70, 0.62, 0.55, 0.43) influye en el peso unitario del concreto.

Igualmente, como  $F_c < F_t$  ( $2.01 < 2.92$ ), se rechaza  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables agregado y a/c (0.70, 0.62, 0.55, 0.43) no interactúan entre ellas a favor del peso unitario del concreto, es decir, no depende uno del otro para obtener mejores pesos unitarios.

Para poder determinar cuál de los agregados tiene mayor incidencia en el peso unitario del concreto se realizó la prueba de múltiple rango Tukey (Tabla 49).

Tabla 49

*Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para peso unitario del concreto*

<b>Agregado</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos homogéneos</b>
AGR	20	2062.93	7.72326	X
AGRI	20	2120.03	7.72326	X
<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>	
AGR - AGRI	*	-57.105	22.2481	

Nota: \* indica una diferencia significativa.

En la Tabla 49, se aprecia que el AGRI tiene mayor influencia en el peso unitario del concreto en comparación con los pesos unitarios de los concreto con AGR.

En la Figura 28, se observa que conformante va abajando la relación a/c va aumentando el peso unitario del concreto, esto debido a que los AGRI presentan mayor peso volumétrico compactado.

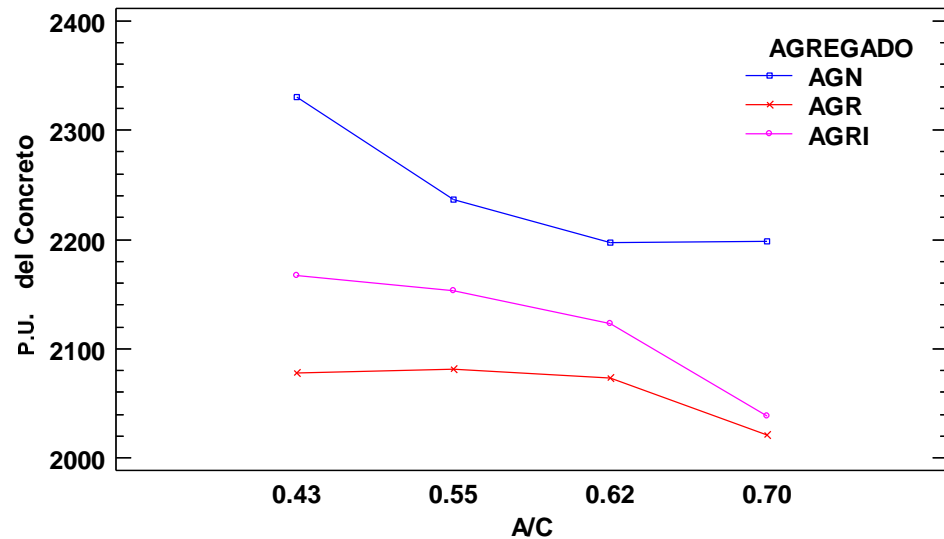


Figura 28. Comparación del peso unitario de diferentes agregados gruesos

En la Figura 28, se observa que el proceso de impregnado en el agregado grueso reciclado incrementan el peso unitario del concreto con una tendencia creciente cuando disminuye la relación a/c, mientras el peso unitario de los concretos con AGR tiene una tendencia lineal por más que cambien la relación a/c y decreciente a relaciones a/c menores a 0.55, sin embargo, los pesos unitarios de los concretos con AGRI y AGR son menores al peso unitario del concreto con AGN, esto debido posiblemente al menor peso específico que presentan los agregados impregnados y reciclados en relación a los agregados naturales.

Los agregados gruesos impregnados generan concretos de pesos unitarios normales y los agregados reciclados concretos livianos, según la clasificación propuesto por Abanto (2009), mencionando que el peso unitario es la relación del peso entre la masa del espécimen seco del concreto, y según sus valores lo podemos clasificar en concretos livianos con valores de 400 a 1700 kg/m<sup>3</sup>, concretos normales de 2300 a 2500 kg/m<sup>3</sup> y concretos pesados de 2800 a 6000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.4 Resistencia a la compresión

Esta prueba se realizó para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto de acuerdo con la NTP 339.034 (2015). Los resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas se muestran en la Tabla 50.

Tabla 50

*Resistencia a la compresión del concreto por diseño de mezcla*

Agregado	a/c	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Agregado	a/c	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Agregado	a/c	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
		122.6			106.4			107.0
		94.8			124.4			87.3
	0.70	101.8		0.70	117.4		0.70	116.6
		107.0			114.9			103.6
		110.1			119.3			106.3
		158.3			189.4			116.2
		152.1			190.7			124.1
	0.62	166.7		0.62	191.1		0.62	102.0
		158.7			190.1			115.4
		160.4			189.6			123.1
AGRI		197.0	AGR		234.5	AGN		174.5
		187.7			231.8			145.7
	0.55	204.3		0.55	230.6		0.55	186.1
		197.0			232.2			187.1
		199.6			224.2			170.9
		243.3			245.5			240.4
		226.0			245.1			268.5
	0.43	240.6		0.43	244.2		0.43	234.3
		228.1			245.2			235.9
		241.7			246.1			247.8

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrico.

#### 4.2.4.1 Prueba de normalidad

Se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 51, utilizándose la resistencia del concreto por diseño de mezcla de la Tabla 50.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{t(0.95, 5)}$  de 0.762, la que se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51

*Pruebas Shapiro-Wilk para resistencia del concreto*

Relación a/c	Valor $W_c$	Valor- $P$	Valor $W_t$
<b>AGRI</b>			
0.70	0.978866	0.91526	0.762
0.62	0.955249	0.778395	0.762
0.55	0.928409	0.590545	0.762
0.43	0.811034	0.0979777	0.762
<b>AGR</b>			
0.70	0.966096	0.845177	0.762
0.62	0.941436	0.683982	0.762
0.55	0.869574	0.261711	0.762
0.43	0.968551	0.859313	0.762
<b>AGN</b>			
0.70	0.911382	0.470784	0.762
0.62	0.876765	0.292146	0.762
0.55	0.866539	0.249613	0.762
0.43	0.842750	0.169532	0.762

Para la prueba de hipótesis, se tiene la siguiente la zona de aceptación.

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal.

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal.

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables de resistencia del concreto



con diferentes relaciones a/c del AGRI, AGR y AGN se distribuyen normalmente.

#### 4.2.4.2 Prueba de homogeneidad

Se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en la Tabla 50.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 53 y 54) del error absoluto de los datos (Tabla 52).

Tabla 52

*Error absoluto de resistencia del concreto*

AGRI				AGR				AGN			
0.7	0.62	0.55	0.43	0.7	0.62	0.55	0.43	0.7	0.62	0.55	0.43
10.08	0.78	3.84	0.28	15.34	0.94	0.12	7.36	2.84	0.04	1.64	4.98
7.92	0.52	1.14	0.12	12.46	7.14	9.42	9.94	16.86	7.94	27.16	23.12
0.92	0.92	0.06	1.02	5.46	7.46	7.18	4.66	12.44	14.16	13.24	11.08
1.58	0.08	1.54	0.02	0.26	0.54	0.12	7.84	0.56	0.76	14.24	9.48
2.82	0.58	6.46	0.88	2.84	1.16	2.48	5.76	2.14	6.94	1.96	2.42

Tabla 53

*ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con AGRI*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2998.9	3	999.634	1.79	0.1892
Intra grupos	8923.9	16	557.744		
Total (Corr.)	11922.8	19			

Tabla 54

*ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con AGR*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	418.295	3	139.432	1.08	0.3861
Intra grupos	2067.89	16	129.243		
Total (Corr.)	2486.19	19			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 3, 16)}$  de 3.24, definiéndose la zona de aceptación de  $H_0$ .

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea.

Como  $F_c < F_t$ , se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables resistencia del concreto con diferentes relaciones a/c elaborados con AGRI, AGR se distribuyen homogéneamente.

#### 4.2.4.3 Prueba de hipótesis de la resistencia del concreto

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para determinar si el agregado grueso reciclado impregnado influye en la resistencia del concreto, tal como se muestra en la Tabla 55.

Tabla 55

*Análisis de ANOVA para resistencia del concreto (kg/cm<sup>2</sup>)*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:agregado	4296.09	1	4296.09	115.25	0.0000
B:a/c	93777.9	3	31259.3	838.55	0.0000
Interacciones					
AB	1329.22	3	443.072	11.89	0.0000
Residuos	1192.89	32	37.2778		
Total	100596.	39			

(corregido)

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Los resultados estadísticos muestran que la **Razón-F** para la variable agregados y relación a/c es igual a 115.25 y 838.55 respectivamente, que es el cociente entre el estimado de grupos y el estimado dentro de grupos.

Definiéndose la zona de aceptación de  $H_0$ .

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; no tiene una influencia en la resistencia del concreto.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una influencia en la resistencia del concreto.

De la tabla de niveles de distribución  $F$  con una confianza al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 1, 32)}$  de 4.17.

Como  $F_c > F_t$  ( $115.25 > 4.17$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable agregado AGRI y AGR influye en la resistencia del concreto.

Igualmente, de la tabla de niveles de distribución  $F$  con una seguridad al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 3, 32)}$  de 2.92.

Como  $F_c > F_t$  ( $838.55 > 2.92$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable a/c (0.70, 0.62, 0.55, 0.43) influye en la resistencia del concreto.

Igualmente, como  $F_c > F_t$  ( $11.89 > 2.92$ ), se acepta  $H_0$ , por lo se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables agregado y a/c (0.70, 0.62, 0.55, 0.43) interactúan entre ellas a favor de la resistencia del concreto, es decir, depende uno del otro para obtener mejores resistencias del concreto.

Para poder determinar cuál de los agregados presenta mayor resistencia a la compresión realizaremos la prueba de múltiples rangos de Tukey, mostrando que los concretos con AGRI presentan menor resistencia a la compresión con una diferencia estadística del 20.727%, en comparación a los concretos con AGR (Tabla 56).

Tabla 56

*Pruebas de Tukey para resistencia por agregados*

Agregado	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
AGRI	20	174.901	1.36524	X
AGR	20	195.628	1.36524	X
Contraste	Sig.	Diferencia		
AGR - AGRI	*	20.727		

Nota: \* indica una diferencia significativa.

En la Figura 29, los concretos con agregados impregnados y agregados reciclados superan en resistencia a la compresión a los concretos con AGN, y a partir de la relación a/c de 0.43 esta diferencia comienza a revertirse. Los concretos con AGN presentan problemas de resistencia iniciales, deduciéndose que requiere de una cantidad de cemento para mejorar su superficie de adherencia, lo que no ocurre con el agregado impregnado que por el proceso de impregnación con cemento sobre la superficie del mortero adherido al agregado cuenta con un tratamiento superficial, al igual que el AGR.

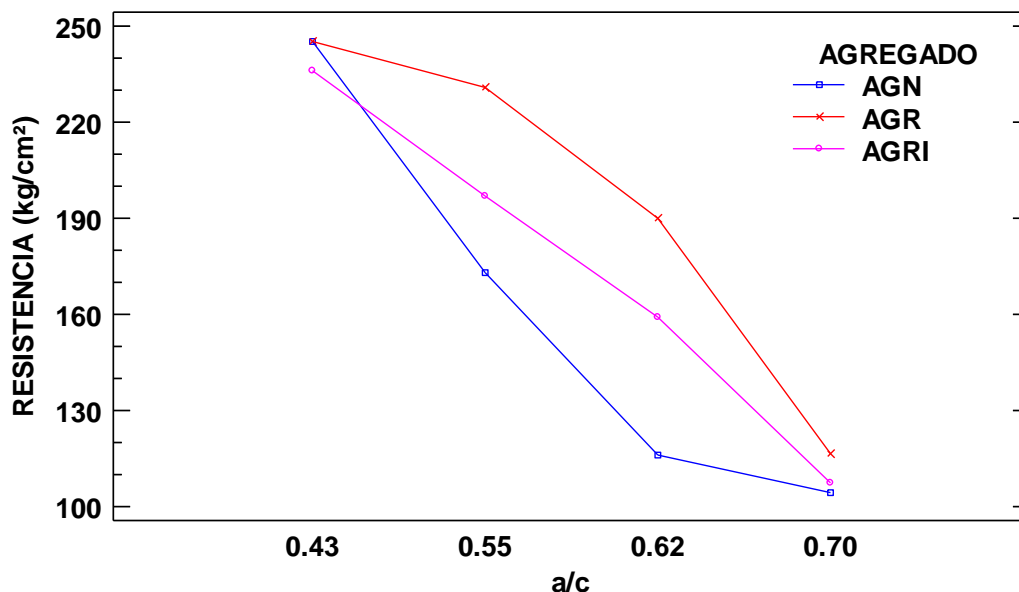


Figura 29. Resistencia del concreto con diferentes AG y relaciones a/c.

Tabulando la curva de resistencia de los concreto con AGRI, AGR y AGN presentes en la Figura 29, se obtuvo la relación a/c de un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> con valores de 0.521, 0.590 y 0.507 respectivamente, concluyéndose que podemos obtener concretos con menores cantidades de cemento con el uso de AGRI y AGR en comparación a los concretos con AGN.

Con el fin de pronosticar el comportamiento de la resistencia a la compresión de los concretos con AGRI y AGR en relación al a/c de diseño se ha elaborado la regresión polinomial de 3er grado con los datos de la Tabla 50, obteniéndose las siguientes expresiones:

$$y_{AGRI} = -124.737 + 2116.63 * x - 3642.92 * x^2 + 1560.89 * x^3$$

$$y_{AGR} = -335.792 + 2606.31 * x - 3107.73 * x^2 + 439.2 * x^3$$

Donde:

$y_{AGRI}$  = Resistencia a la compresión de los concretos con AGRI

$y_{AGR}$  = Resistencia a la compresión de los concretos con AGR

$x$  = Relación a/c de diseño

En la Figura 30, se aprecia que el concreto con AGRI puede llegar a una resistencia máxima de 239.25 kg/cm<sup>2</sup> utilizando una relación a/c de 0.39. Igualmente el concreto con AGR puede llegar a su máxima resistencia de 248.28 kg/cm<sup>2</sup> utilizando una relación de a/c de 0.47, y menores a estas relaciones de a/c la resistencia disminuye, a diferencia del concreto con AGN que incrementa su resistencia.

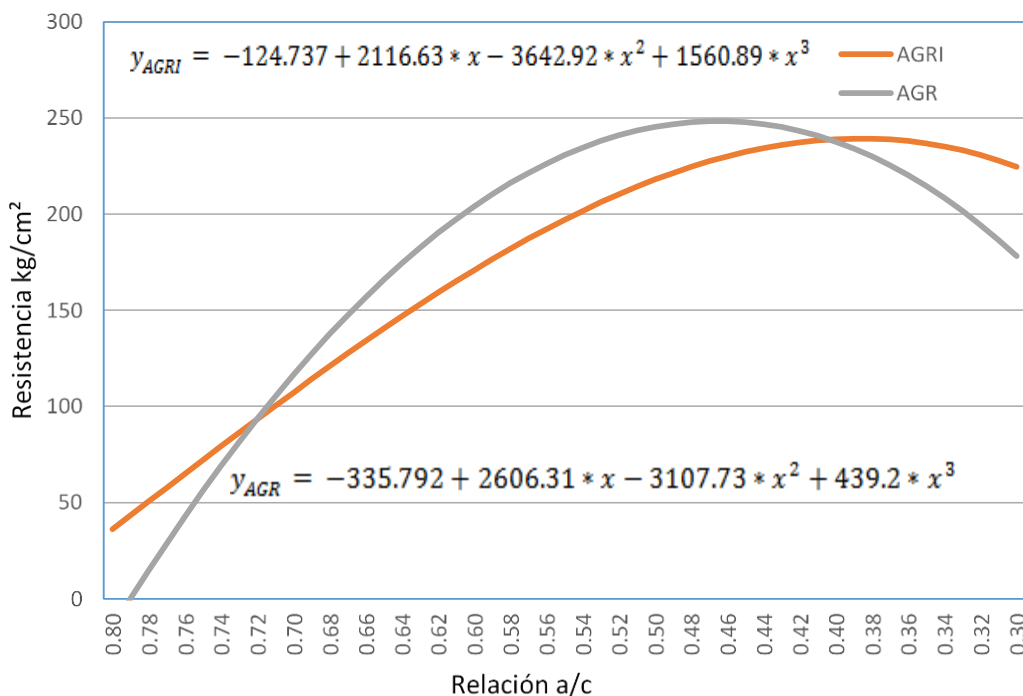


Figura 30. Proyección de la resistencia de los concretos con AGRI y AGR

Resultados que coinciden por lo mostrado por Rasheeduzzafar y Khan (1984) mencionando que para relaciones de  $a/c > 0.45$  la resistencia del concreto reciclado era del mismo orden que del concreto de referencia. Asimismo, indica que, para razones  $a/c < 0.40$  la resistencia de los concretos reciclados no se incrementa de manera significativa e incluso disminuye.

#### 4.3 Variación de la resistencia mecánica del concreto elaborado con diferentes relaciones a/c, con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP

Con fines de evaluar si varía la resistencia mecánica del concreto elaborados con diferentes relaciones a/c con el uso parcial de agregados reciclados impregnados con cemento IP, se realizó el reemplazo parcial del agregado grueso reciclado impregnado con AGN en proporciones de 33% y 67% con relaciones a/c de 0.55 y 0.43, comparadas con los concretos con AGR con las mismas características de diseño. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 57.

Tabla 57

*Resistencia a la compresión de concretos con AGRI y AGR sustituido con AGN*

Agreg.	a/c	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Agreg.	a/c	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Agreg.	a/c	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Agreg.	a/c	f'c kg/cm <sup>2</sup>
		197.0			243.3			234.5			245.5
100%		187.7			226.0			231.8			245.1
AGRI	0.55	204.3	100%	0.43	240.6	100%	0.55	230.6	100%	0.43	244.2
		197.0	AGRI		228.1	AGR		232.2	AGR		245.2
		199.6			241.7			224.2			246.1
67%		167.6			221.0			166.0			268.9
AGRI		168.6	67%		224.7	67%		181.0	67%		253.9
33%	0.55	176.2	AGRI	0.43	225.4	AGR	0.55	176.0	AGR	0.43	260.5
AGN		167.1	33%		214.6	33%		170.1	33%		266.0
		172.4	AGN		224.1	AGN		177.2	AGN		257.6
33%		151.7			218.2			212.1			203.2
AGRI		162.9	33%		203.6	33%		216.1	33%		228.0
67%	0.55	162.4	AGRI	0.43	219.3	AGR	0.55	213.7	AGR	0.43	207.3
AGN		158.4	67%		208.7	67%		213.6	67%		221.6
		154.7	AGN		206.5	AGN		211.3	AGN		219.1
0%		174.5			240.4			174.5			240.4
AGRI		145.7	0%		268.5	0%		145.7	0%		268.5
100%	0.55	186.1	AGRI	0.43	234.3	AGR	0.55	186.1	AGR	0.43	234.3
AGN		187.1	100%		235.9	100%		187.1	100%		235.9
		170.9	AGN		247.8	AGN		170.9	AGN		247.8

Para poder decidir sobre la prueba de hipótesis a emplear, es necesario primero determinar el nivel de distribución de la normalidad y homogeneidad de los datos, y verificar si estamos en un análisis de prueba paramétrico o no paramétrico.

#### 4.3.1 Prueba de normalidad

Se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra pequeña, cuyos resultados se muestran en la Tabla 58, utilizándose los pesos unitarios del concreto por diseño de mezcla de la Tabla 57.

De la tabla de niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks (anexo 19), se obtiene el  $W_{r(0.95, 5)}$  de 0.762 la que se muestra en la Tabla 58.

Tabla 58

*Pruebas Shapiro-Wilk para resistencia del concreto % de reemplazo*

Relación a/c	% de reemplazo	Valor $W_c$	Valor-P	Valor $W_t$
0.55	AGRI			
	100%	0.928409	0.590545	0.762
	67%	0.87126	0.268625	0.762
	33%	0.919422	0.528406	0.762
0.43	0%	0.866539	0.249613	0.762
	100%	0.811034	0.0979777	0.762
	67%	0.824486	0.124087	0.762
	33%	0.87582	0.288003	0.762
0.55	0%	0.84275	0.169532	0.762
	AGR			
	100%	0.869574	0.261711	0.762
	67%	0.958303	0.797915	0.762
0.43	33%	0.946656	0.720663	0.762
	0%	0.866539	0.249613	0.762
	100%	0.968551	0.859313	0.762
	67%	0.966489	0.847462	0.762
0.55	33%	0.936332	0.647419	0.762
	0%	0.84275	0.169532	0.762

Definiéndose la zona de aceptación de  $H_0$ .

$H_0$ : Se acepta, si  $W_c < W_t$ ; no tiene una distribución normal.

$H_0$ : Se rechaza, si  $W_c > W_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una distribución normal.

Como  $W_c > W_t$ , se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable resistencia del concreto con porcentaje de reemplazo de AGRI, AGR y AGN con diferentes relaciones a/c se distribuyen normalmente.



### 4.3.2 Prueba de homogeneidad

Se ha empleado la prueba de homogeneidad de Levene. Los datos utilizados corresponden a los mostrados en la Tabla 57.

La prueba de Levene se obtiene del análisis ANOVA (Tabla 60) del error absoluto de los datos (Tabla 59).

Tabla 59

*Error absoluto de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR*

AGRI								AGR							
0.55				0.43				0.55				0.43			
100%	67%	33%	0%	100%	67%	33%	0%	100%	67%	33%	0%	100%	67%	33%	0%
0.12	2.78	6.32	1.64	7.36	0.96	6.94	4.98	3.84	8.06	1.26	1.64	0.28	7.52	12.64	4.98
9.42	1.78	4.88	27.16	9.94	2.74	7.66	23.12	1.14	6.94	2.74	27.16	0.12	7.48	12.16	23.12
7.18	5.82	4.38	13.24	4.66	3.44	8.04	11.08	0.06	1.94	0.34	13.24	1.02	0.88	8.54	11.08
0.12	3.28	0.38	14.24	7.84	7.36	2.56	9.48	1.54	3.96	0.24	14.24	0.02	4.62	5.76	9.48
2.48	2.02	3.32	1.96	5.76	2.14	4.76	2.42	6.46	3.14	2.06	1.96	0.88	3.78	3.26	2.42

Tabla 60

*ANOVA error absoluto de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	376.233	7	53.7476	1.99	0.0871
Intra grupos	863.138	32	26.9731		
Total (Corr.)	1239.37	39			

De la tabla de contraste de valor tabulado  $F$  de la distribución (anexo 20), se obtiene el  $F_t(0.95, 7, 32)$  de 2.33, definiéndose la zona de aceptación de  $H_0$ .

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; Tiene una distribución homogénea.

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; No tiene una distribución homogénea.

Como  $F_c < F_t$ , ( $1.99 < 2.33$ ), se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables resistencia del concreto elaborados con reemplazo de AGRI, AGR y AGN y diferentes relaciones a/c se distribuyen homogéneamente.

### 4.3.3 Prueba de hipótesis de resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGR

Se utilizó el análisis de ANOVA para determinar si el agregado grueso reciclado impregnado influye en la resistencia del concreto elaborado con diferentes porcentajes de reemplazo de AGRI y AGR, tal como se muestra en la Tabla 61.

Tabla 61

*Análisis ANOVA para resistencia con % de reemplazo de AGRI y AGR*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Agregado	6646.66	1	6646.66	78.19	0.0000
B:a/c	48275.1	1	48275.1	567.87	0.0000
C:% Reemplazo	8255.31	3	2751.77	32.37	0.0000
Interacciones					
AB	482.162	1	482.162	5.67	0.0202
AC	2455.3	3	818.434	9.63	0.0000
BC	9579.81	3	3193.27	37.56	0.0000
ABC	5070.93	3	1690.31	19.88	0.0000
Residuos	5440.7	64	85.011		
Total (corregido)	86206.0	79			

Definiéndose la zona de aceptación de  $H_0$ .

$H_0$ : Se acepta, si  $F_c < F_t$ ; no tiene una influencia en la resistencia del concreto

$H_0$ : Se rechaza, si  $F_c > F_t$ ; y se acepta  $H_1$ ; tiene una influencia en la resistencia del concreto

De la tabla de niveles de Distribución F con una confianza al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 1, 64)}$  de 4.00.

Como  $F_c > F_t$  ( $78.19 > 4.00$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable % de reemplazo de agregado (AGRI, AGR) influye en la resistencia del concreto.

Como  $F_c > F_t$  ( $567.87 > 4.00$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable a/c (0.55, 0.43) influye en la resistencia del concreto con reemplazo de AGRI y AGRI.

Igualmente, de la tabla de niveles de distribución  $F$  con una seguridad al 95% (anexo 20), se obtiene el  $F_{t(0.95, 3, 64)}$  de 2.76.

Como  $F_c > F_t$  ( $32.37 > 2.76$ ), se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que la variable % de reemplazo (33% y 67% influye en la resistencia del concreto.

En la relación a/c y % de reemplazo, se evaluó la prueba de ANOVA, como  $F_c > F_t$  ( $37.56 > 2.76$ ), se acepta  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables agregado y a/c interactúan entre ellas a favor de la resistencia del concreto, es decir, depende uno del otro para obtener mejores resistencias.

Para poder determinar cuál de los reemplazos de agregados presenta mayor resistencia a la compresión realizaremos la prueba de múltiples rangos de Tukey, mostrando que los concretos con AGR con 0% de reemplazo presentan mayor resistencia a la compresión (Tabla 62).

Tabla 62

*Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia por %reemplazo*

<b>%Reemplazo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos homogéneos</b>
67%	20	199.62	2.06169	X
33%	20	206.945	2.06169	XX
100%	20	209.12	2.06169	X
0%	20	227.235	2.06169	X

En la Tabla 62 y Figura 31, se aprecia que el concreto con AGRI ha presentado disminución de resistencia con reemplazo de 33% y 67% con AGN con valores por debajo de la resistencia de los concretos con AGN, teniendo el mismo comportamiento los concretos con AGR con reemplazo de 33 y 67%. Concluyéndose que el reemplazo de porcentajes del AGRI por AGN disminuye la resistencia del concreto, y por ser el AGN un elemento nuevo en el análisis podemos concluir que el AGN afecta de manera negativa en las mezclas de los concretos con AGRI y AGR, posiblemente esto se deba a la procedencia del agregado, forma, textura, presencia de polvo en su superficie.

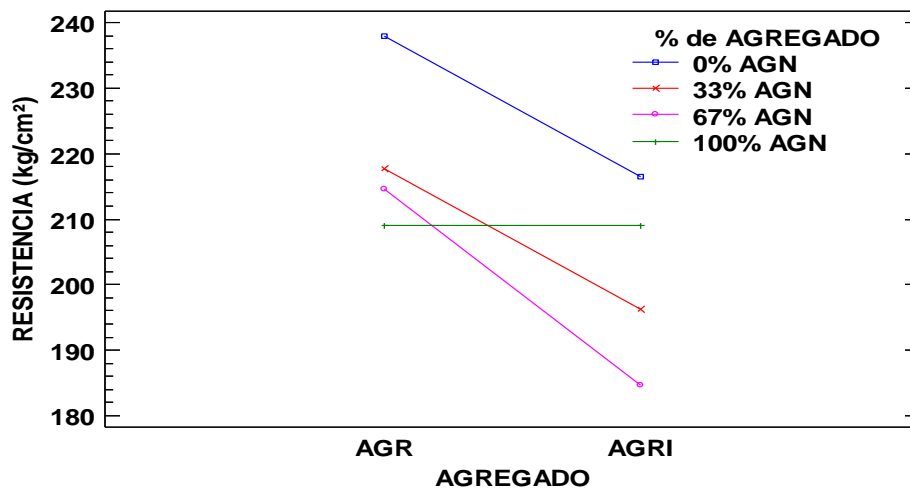


Figura 31. Resistencia del concreto con sustitución del agregado grueso natural

Los resultados de resistencia a la compresión de los concretos con AGRI coinciden con los encontrados por Priano *et al.* (2016), en que concluye que los tratamientos previos de los AR no tuvieron una influencia significativa en el comportamiento mecánico de los correspondientes concretos, presentando una disminución del orden del 22 %.

Los AGRI producen concretos de menor resistencia a la compresión que los AGR, debido a la baja calidad que estos poseen en comparación con los AGR. Resultados parecidos a los mencionados por Rajprasad y Pannirselvam (2020) mencionando que las investigaciones encontraron que el tratamiento de los AR satisface los estándares sin ninguna concesión en calidad y resistencia del concreto. Coincidiendo también por lo afirmado por Major y Sudhirkumar (2016), informando que las propiedades del concreto original influyen las propiedades mecánicas del concreto de agregados reciclados y que es posible obtener concreto reciclado de una mayor resistencia a la compresión que el original. Al igual que presentado por Gurdíán *et al.* (2021) que mencionan que todos los cambios aplicados a los concretos respecto al patrón (sustituciones de AN por AR) alteran su comportamiento mecánico. La porosidad depende de la matriz cementante cuando las sustituciones de AR son bajas; y cuando estas sustituciones son elevadas prevalece la influencia de la porosidad del agregado sobre la porosidad total del concreto, y viceversa en otras calidades de agregado.

#### 4.4 Aporte teórico

El agregado reciclado impregnado, es aquel agregado reciclado que ha pasado por la técnica de impregnación con cemento IP, con fines de mejorar las características físicas y mecánicas que presentan los agregados reciclados. El proceso de impregnado consiste en sumergir al agregado reciclado grueso en una pasta de cemento de relación a/c de 0.50 por 30 minutos, para luego ser curado en agua por 14 días y secado al intemperie por 14 días más.

Los agregados reciclados impregnados presentan características diferentes a los agregados reciclados debido al proceso de impregnación con pasta de cemento, que modifica su textura, y al endurecer ha generado una superficie uniforme suavizada poca rugosa, menos porosa, con poca o nada de polvo adherido, con presencia de orificios en su superficie debido al proceso de salida de aire de los espacios vacíos, ocupando los espacios y las deformaciones que presentan los agregados reciclados, presentando una superficie poco áspera debido a la mezcla de la pasta de cemento con los residuos de mortero antiguo que se desprende del agregado reciclado y que forman un mortero que se adhiere a la superficie del agregado reciclado, que posee con una tonalidad blanquecina debido a la carbonatación de la pasta de impregnación.

El agregado reciclado impregnado presenta una granulometría que no se encuentra dentro de las recomendaciones de la norma ASTM C-136, presentando un aumento del porcentaje retenido en la malla  $\frac{1}{2}$ ", esto posiblemente debido a que al momento del proceso de impregnación el agregado reciclado se fragmenta, teniendo módulo de fineza con valores de 8.14, mayores en 8% en comparación al agregado reciclado, clasificándose como un agregado muy grueso. Su propiedad de absorción es menor en 44%, esto debido a que se ha generado una delgada capa en la superficie del agregado reciclado impidiendo el paso de las aguas hacia los poros. Presenta un incremento del 2% del peso volumétrico seco compactado posiblemente debido a su forma ovalada y curva, haciendo que tenga un mejor acomodo al momento del compactado.

Sin embargo, el agregado reciclado impregnado presenta similitud en el peso específico y peso volumétrico suelto que los agregados reciclados.



El uso del agregado impregnado en concreto modifica las características en el asentamiento, incrementado la trabajabilidad, haciendo que esta se encuentre dentro de la consistencia de diseño, lo que no ocurre con los concretos con agregado reciclado. Los concretos con agregado impregnado presentan mayor peso unitario, pero menor resistencia a la compresión en relaciones de a/c de 0.70 a 0.55, acortándose esta diferencia y revirtiéndose en relación a/c menores a 0.43, todo ello en comparación con concretos con agregado reciclado.

## CONCLUSIONES

- El proceso de impregnado con cemento IP tiene un efecto significativo en el mejoramiento en las características físicas del agregado reciclado, especialmente en la absorción, módulo de fineza y del peso volumétrico seco compactado, e influye en la resistencia del concreto elaborados con agregado grueso reciclado impregnado, igualando y superando a los concretos con AGR y AGN, por tanto, la investigación presenta las siguientes conclusiones específicas:
- Las características físicas que se modifican por el proceso de impregnación de los agregados gruesos reciclados con cemento IP, es la reducción del porcentaje de absorción de hasta un 46.65%, incremento del porcentaje que pasa la malla ½", incrementando del valor del MF en 8.24% e incremento el PVSC en un 1.9%, sin presentar diferencia estadística significativa en el peso volumétrico seco suelto y peso específico. Estos cambio de las características mejoró la trabajabilidad en un 33% en el concreto fresco e incrementó el peso unitario del concreto seco en un 2.75%.
- El proceso de impregnación del agregado grueso reciclado con cemento IP hace variar de manera negativa la resistencia de compresión en los concretos, conformemente disminuye la relación a/c la diferencia se acorta, igualando y superando la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado en relaciones a/c menores a 0.43. Los concretos elaborados con AGRI y AGR superaron en resistencia a la compresión a los concretos con AGN, debido a que los AGRI y AGR presentan resistencia iniciales iguales o superiores a 210 kg/cm<sup>2</sup> presentes en las probetas de concreto utilizados en la investigación, obteniéndose agregado de buena calidad.
- La sustitución parcial de 33% y 67% del agregado grueso impregnado con agregado grueso natural altera negativamente la resistencia del concreto, debido a las propiedades físicas que estas presentan.

## RECOMENDACIONES

- En la presente investigación se realizó con agregado reciclado procedente de concreto de resistencia promedio de  $210 \text{ kg/cm}^2$  teniéndose como resultado concretos reciclados de alta calidad, por lo que se recomienda realizar el proceso de impregnación con cemento IP en agregados reciclados de mediana a baja calidad, proveniente de concretos seco de obras de reparación o refacción.
- En esta investigación se realizó el proceso de impregnación con pasta de cemento de relación de 0.50, por lo que se recomienda realizar el proceso de impregnación con otras relaciones de a/c.
- El proceso de impregnación se realizó por inmersión y escurrimiento manual, disminuyendo la absorción del agregado reciclado, sin incrementar el peso específico de la misma. Se recomienda realizar investigaciones con procesos de inmersión por centrifugado mecanizado y evaluar el tiempo óptimo de estas, verificando el incremento del peso específico del AR.
- El proceso de impregnación se realizó sin la adición de aditivos químicos que pudieran mejorar la fluidez de la pasta de cemento, por lo que se recomienda investigar el mejoramiento del proceso de impregnación con soluciones químicas y aditivos con fines de incrementar la profundidad de impregnación.



## BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*. Segunda Edición. San Marcos.
- ACI 211.1-91. (1997). *Standard Practice for Selecting Proportions for normal Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) Reapproved 1997*. American Concrete Institute (ACI).
- ACI 211. (2016). *Diseño de mezclas de concreto*. American Concrete Institute (ACI).
- Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). *Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective*. *Journal of Cleaner Production*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>
- ALAMY. (2019). *Agregado reciclado de residuos de concreto – Um* (Número 1, p. 43). Recuperado de <https://www.alamy.es/agregado-de-concreto-reciclado-rca-que-se-produce-por-trituracion-de-hormigon-recuperado-de-edificios-de-hormigon-losas-cubiertas-de-puente-carreteras-demolidas-image381565709.html>
- Amianti, M., y Botaro, V. (2008). *Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto*. SciELO Brasil. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v13n4/a12v13n4>
- Arriaga, T. (2013). *Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado*. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- ASTM C-136. (2009). *Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos*. American Society for Testing and Materials (ASTM). Recuperado de <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-143-90a.html>
- ASTM C-566. (2012). *Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado*. American Society for Testing and Materials (ASTM), 04, 2–4.

- ASTM C33. (2016). *Especificación normalizada para agregados para concreto. Especificación normalizada para agregados para concreto*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Barboza, J. (2015). *Concreto reciclado*. Universidad Señor de Sipán, 110. Recuperado de [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284\\_CONCRETO\\_RECICLADO.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284_CONCRETO_RECICLADO.pdf)
- Beltrán, B. (2017). *Estudio de la durabilidad del hormigón elaborado con áridos reciclados encapsulados*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Civil, 1–73.
- Beltrán, G., y Borrego, C. (2014). *Comportamiento mecánico de concreto con agregado reciclado tratado con lechadas pobres*. repository.javeriana.edu.co. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15052>
- Berg, M., Voordijk, H., & Adriaanse, A. (2020). *Recovering building elements for reuse (or not) – Ethnographic insights into selective demolition practices*. Journal of Cleaner Production, 256. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120332>
- Bravo, A., y Bravo, I. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto fabricado con agregados reciclados provenientes de adoquines*. Universidad Pontificia Javeriana.
- Cha, G., Moon, H., Kim, Y., Hong, W., Jeon, G., Yoon, Y., Hwang, C., & Hwang, J. (2020). *Evaluating recycling potential of demolition waste considering building structure types: A study in South Korea*. Journal of Cleaner Production, 256, 120385. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120385>
- CORPUS Ltda. (2020). *Agregado-reciclado manposteria*. <https://corpus.com.br/wp-content/uploads/2020/10/agregado-reciclado.jpeg>
- Corral, R., Arredondo, S., Almaral, J., y Gómez, J. (2013). *Corrosión por cloruros del acero de refuerzo embebido en concreto con agregado grueso reciclado y materiales cementantes suplementarios*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(1), 21–35. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-50732013000100002>

- Cruz, M., y Gómez, O. (2013). *Influencia del agregado grueso reciclado de mampostería en el comportamiento del concreto reciclado*. Pontificia Universidad Javeriana, 7–112.
- DESPÓSITO CASTRO S.A. (2019). *Ladrillo-Triturado-2-1*. Recuperado de <https://depositocastro.com/wp-content/uploads/2019/04/Ladrillo-Triturado-1-1.jpg>
- Dicovski, L. (2012). *Estadística básica para ingenieros* (U. N. de Ingeniería (Ed.); Vol. 1).
- DS 003-2013 MVCS, (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2019). *Reglamento para la gestión y manejo de los residuos de la actividad de la construcción y demolición - Reglamento de Licencias de Habilitación Urbana y Licencias de Edificación*. En Diario el Peruano. Recuperado de <https://diariooficial.elperuano.pe/>
- DS 005-2012 MINEM. (2012). *Reglamento de seguridad y salud en el trabajo*. D.S. 005-2012-TR. Reglamento, 7, 1–27.
- E.060, (2009). *Norma E.060 Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Falek, K., Aoudjane, K., Kadri, E. H., & Kaoua, F. (2017). *Influence of recycled aggregates on the mechanical and tribological Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor behavior of concrete temperature function district heat demand forecast a for a long-term*. *Energy Procedia*, 139, 456–461. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.237>
- Fernández, R., Danilevicz, Â., Ferreira, & Saurin, T. (2017). *Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects*. *Waste Management*, 67, 265–277. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.05.025>
- Flores, J. (2020). *Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición en la municipalidad provincial del Cusco*. Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech.
- Fonseca, E. (2018). *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.* Universidad Nacional del Colombia, 138.
- Gámez, D., Saldaña, H., Gómez, J., & Corral, R. (2017). *Feasibility study and characterization of aggregates for structural concrete.* *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 283–304. <https://doi.org/10.14482/inde.35.2.10162>
- Ghisellini, P., Ji, X., Liu, G., y Ulgiati, S. (2018). *Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of China: A review.* *Journal of Cleaner Production*, 195, 418–434. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.084>
- González, L. (2008). *Conceptos generales sobre los agregados del concreto.* Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 70P, 1, 70.
- Gurdián Currán, F. H., Garcés Terradillos, P., Zorzoza Gomez, E., y Garcia Alcocel, E. M. (2021). *Comportamiento de hormigones con adiciones puzolánicas y árido reciclado.* *Revista ALCONPAT*, 11(3), 17–30. Recuperado de <https://doi.org/10.21041/ra.v11i3.542>
- Hansen, TC, y Narud, H. (1983). *Resistencia del hormigón reciclado a partir de hormigón triturado agregado grueso.* *Concrete International*. Recuperado de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/9140>
- Hansen, Torben. (1986). *Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985.* *Materials and Structures*, 19(3), 201–246. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/BF02472036>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). *Construction and demolition waste management in China through the 3R principle.* *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36–44. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.09.029>
- Ikau, R., Joseph, C., & Tawie, R. (2016). *Factors Influencing Waste Generation in the Construction Industry in Malaysia.* *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 11–18. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2016.10.213>

- Isaia, G., y Gastaldini, A. (2017). *Acción física y puzolánica de las adiciones minerales sobre la resistencia mecánica del hormigón de alto rendimiento*. Elsevier.  
Recuperado de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946501000579>
- Javier, M. (2011). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. academia.edu, 34.  
Recuperado de <https://www.academia.edu/download/55568285/Experimental.pdf>
- KONSTRUTECNIA.COM. (2021). *Cemento Rumi Tipo Ip 42.5 kg*. Recuperado de  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4RAQxuLaPG0J:https://konstrutecnia.com/p/cemento-rumi-tipo-ip-42-5-kg+ ycd=3 yhl=es-419 yct=clnk ygl=pe>
- Liu, Q., Xiao, J., & Sun, Z. (2011). *Experimental study on the failure mechanism of recycled concrete*. Construction and Building Materials.
- Machaca, E. (2018). *Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 52, 294. Recuperado de  
[http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3571/63\\_2018\\_machaca\\_mamani\\_eb\\_espg\\_doctorado\\_ciencias\\_ambientales.pdf?sequence=1 yisAllowed=y](http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3571/63_2018_machaca_mamani_eb_espg_doctorado_ciencias_ambientales.pdf?sequence=1 yisAllowed=y)
- Major, R., y Sudhirkumar, B. (2016). *Estudio sobre hormigón reciclado con áridos*.  
Recuperado de <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1793>
- MARPI EIRL. (2021). Recuperado de  
<https://www.deperu.com/externo.php?ID=www.deperu.com/comercios/artesantias/marpi-eirl-1289119>
- Mauricio, C., Montoya, B., y Fernando, L. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Recuperado de  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>
- Melendez, A. (2016). *Utilización del concreto reciclado como agregado (grueso y fino) para un diseño de mezcla  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Huaraz-2016*. Universidad San Pedro, Huaraz Perú, 1–118.



- Mendoza, I., y Chévez, S. (2017). *Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo*. *Revista de Ingeniería Civil*, 2, 9–14.
- Moyano, M. (2016). *Experimental characterisation of a cement-based compound with recycled aggregates and EPS from rehabilitation work*. *Revista de la Construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- NTP.400.021. (2002). *Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. Norma Técnica Peruana, Lima 41. Recuperado de [https://www.academia.edu/26938679/NORMA\\_TÉCNICA\\_NTP\\_400\\_021\\_PERUANA\\_2002](https://www.academia.edu/26938679/NORMA_TÉCNICA_NTP_400_021_PERUANA_2002)
- NTP.400.022. (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino*. Norma Técnica Peruana. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/ingenieria/372901324-ntp-400-012-2013-pdf/5739579>
- NTP 334.009. (2016). CEMENTOS. *Cemento pórtland*. Requisitos. INACAL, 6ta Edición.
- NTP 339.034. (2015). Hormigón (Concreto). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. INDECOPI, 4(3), 22. Recuperado de [https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE\\_DetallarProducto.aspx?PRO=4303](https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=4303)
- NTP 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. NTP 339.035 Instituto Nacional de Calidad, 3ra. edic, 13. Recuperado de [https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE\\_DetallarProducto.aspx?PRO=4303](https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=4303)
- 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)*. INACAL.
- NTP 339.047. (2006). *Hormigón (Concreto). Definiciones y terminología relativas al*

- hormigón y agregados* (p. 17).
- NTP 339.088. (2006). *Hormigón (Concreto). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*. Requisitos.
- NTP 339.185. (2011). *Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.012. (2001). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado*. Lima 41.
- 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*. INDECOPI, 14. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/343664826/NTP-400-017-2011-Agregados-Metodo-de-Ensayo-Para-Determinar-El-Peso-Unitario-Del-Agregado>
- NTP 400.037. (2001). *Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*.
- NTP 400.053. (2019). *Norma Técnica Peruana 400.053. Instituto Nacional de Calidad*, Lima 27, 1–14. Recuperado de <https://www.qhse.com.pe/wp-content/uploads/2019/03/NTP-900.058-2019-Residuos.pdf>
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). *Técnicas de muestreo sobre una población a estudio*. scielo.conicyt.cl, 35, 227–232. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_arttext)
- Pelissari, V., Matoski, A., Alberti, M. E., y Medeiros, A. (2020). *Absorção de água de amassamento em concretos produzidos com agregados reciclados*. *Brazilian Applied Science Review*, 4(1), 51–69. Recuperado de <https://doi.org/10.34115/basrv4n1-005>
- Perea, M., y Alvarado, A. (2016). *Propiedades mecánicas en concretos fabricados con agregados gruesos reciclados tratados con lechadas*. Pontificia Universidad Javeriana. September 2015, 1–8.
- Polanco, A. (2012). *Manual de prácticas de Laboratorio*. 80. Universidad Nacional



Santiago Antúnez de Mayolo.

- Poon, C., Shui, Z., & Lam, L. (2004). *Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates*. *Construction and Building Materials*, 18(6), 461–468. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>
- Priano, C., Señas, C. R., Moro, L., y Marfil, J. (2016). *Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón*. Pretreatment recycled aggregates for concrete Copia personal de los autores.
- PRONIED. (s. f.). *Programa Nacional de Infraestructura Educativa - PRONIED* - Gobierno del Perú. Gobierno del Perú. Recuperado 31 de octubre de 2021, de Recuperado de <https://www.gob.pe/pronied>
- Quichca, J. (2016). *Diseño de mezcla de concreto  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  adicionando relave minero para tránsito ligero relavera Pacococha-P Virreyña–Castrovirreyña Huancavelica*. Universidad Peruana Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 1–39. Recuperado de [http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/189/Luz\\_Ravelo\\_Tesis\\_Titulo\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/189/Luz_Ravelo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rajprasad, J., & Pannirselvam, N. (2020). *Optimizing the properties of treated recycled aggregate concrete*. *AIP Conference Proceedings*, 2277(November). Recuperado de <https://doi.org/10.1063/5.0025258>
- Rao, K., Keerthi, K., & Vasam, S. (2018). *Acid resistance of quaternary blended recycled aggregate concrete*. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 423–433. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2018.03.005>
- Rasheeduzzafar, & Khan, A. (1984). *Recycled Concrete—A Source for New Aggregate*. *undefined*, 6(1), 17. Recuperado de <https://doi.org/10.1520/CCA10349J>
- Rivvas, E. (2010). *Concreto: Diseño de mezclas*. Instituto de la Construcción y Gerencia, 54.
- RNE. (2020). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*, Gobierno del



- Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Rosero Alvarez, D. M. (2019). *Propuesta de guía de uso de los agregados reciclados en Colombia provenientes de RCD, basado en normativa internacional y en el desarrollo de investigaciones de universidades colombianas*. Universidad Nacional de Colombia. 191.
- San Martín, R. (2019). *Uso de probetas ensayadas del LEMC como agregado grueso reciclado en mezclas nuevas de concreto*. Universidad de Piura.
- Sanjuán, Á., y Chinchón, S. (2006). *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*. En Universidad de Alicante (Vol. 34, Número 11). Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Sapuyay, S. (2016). *Construction Waste – Potentials and Constraints*. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 714–722. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2016.07.074>
- Šeps, K., Fládr, J., y Broukalová, I. (2016). *Resistance of Recycled Aggregate Concrete to Freeze-thaw and Deicing Salts*. *Procedia Engineering*, 151, 329–336. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.367>
- Shaban, W. M., Yang, J., Su, H., Mo, K. H., Li, L., & Xie, J. (2019). *Quality improvement techniques for recycled concrete aggregate: A review*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 17(4), 151–167. Recuperado de <https://doi.org/10.3151/jact.17.4.151>
- Silva, R. (2014). *Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production*. *Construction and Building Materials*, 201–217.
- Silva, R. V, Brito, J. De, & Dhir, R. K. (2018). *Fresh-state performance of recycled aggregate concrete : A review*. *Construction and Building Materials*, 178, 19–31. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.149>
- Sorouschian, P. (2012). *Towards broad use of recycled glass concrete on msu campus*.

- Be green*, SPARTAN, 66(December), 37–39.
- Sri Ravindrarajah, R., & Tam, C. T. (1985). *Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate*. Magazine of Concrete Research, 37(130), 29–38. Recuperado de <https://doi.org/10.1680/mac.1985.37.130.29>
- Styles, D., Schoenberger, H., y Zeschmar-lahl, B. (2018). *Resources, Conservation y Recycling Construction and demolition waste best management practice in Europe*. Resources, Conservation y Recycling, 136(April), 166–178. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- Tafsirojjaman, T. (2017). *A Study on Treated Recycled Coarse Aggregate as a Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Paper*. University of Southern QAustralia, ID: CBM-016. August.
- Tang, A. J., De Jesus, R., & Cunanan, A. (2019). *Microstructure and mechanical properties of concrete with treated recycled concrete aggregates*. International Journal of GEOMATE, 16(57), 21–27. Recuperado de <https://doi.org/10.21660/2019.57.4537>
- Thomas, J., Thaickavil, N. N., & Wilson, P. M. (2018). *Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates*. Journal of Building Engineering, 19, 349–365. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.05.007>
- Trapero, A., F. Escobar, y J. Dominguez. (2010). *Experimentación en Agricultura*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Universidad nacional de ingeniería (Primera ed). Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tovarović, J., Ivanović, J., & Šekularac, N. (2017). *Renovation of existing glass facade in order to implement energy efficiency and media facade*. Energy and Buildings, 152, 653–666. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.07.049>
- Wahi, N., Tawie, R., & Ika, R. (2016). *Critical Review on Construction Waste Control Practices: Legislative and Waste Management Perspective*. Procedia - Social and



- Behavioral Sciences, 224, 276–283. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2016.05.460>
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., y Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. University of Texas at San Antonio (I. Pearson Education (Ed.); Novena edición).
- Yazdanbakhsh, A. (2018). *A bi-level environmental impact assessment framework for comparing construction and demolition waste management strategies*. Waste Management, 77, 401–412. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.04.024>
- Zega, C. (2008). *Hormigones reciclados: caracterización de los agregados gruesos reciclados*. Recuperado de <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/139>
- Zega, C. (2015). *Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón*. [sciELO.org.ve](http://www.scielo.org.ve). Recuperado de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2007000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2007000200001&script=sci_arttext)
- Zega, J. (2008). *Hormigones reciclados: caracterización de los agregados gruesos reciclados*. Departamento de ingeniería Civil UNCPBA, 62.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Diseño de mezclas, relación a/c = 0.70, método ACI 211.1

### DISEÑO DE MEZCLA, Método ACI 211.1

#### 1.- Materiales

##### 1.1.- Cemento:

- Cemento Portland Puzolánico “Rumi” IP
- Peso Específico = 2.85 gr/cm<sup>3</sup>

##### 1.2.- Agua:

- El agua usada proviene de la red de agua potable de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

##### 1.3.- Agregados:

Parámetros	AGRI	AGR	AFN
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1197.890	1199.266	1602.549
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1341.668	1315.740	1708.786
Absorción (%)	4.654	8.408	4.651
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2098	2119	2340
Módulo de fineza	8.14	7.52	3.05
TMN	1”	1”	---

#### 2.- Selección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado

De acuerdo al análisis granulométrico de los Agregados Gruesos se tiene un TMN de 1”.

#### 3.- Selección del asentamiento

El diseño de mezcla requiere tener una consistencia plástica, con un asentamiento de 3” a 4”.

#### 4.- Volumen Unitario de agua

El volumen unitario de agua lo seleccionamos de la Tabla 6.3.3 del ACI 211.1.

*Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes Slump*

Asentamiento	Agua, en $lt/m^3$ para los tamaños máximo nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	1045	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: Tabla 6.3.3. ACI 211.1-91, Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes Slump

Para una consistencia plástica de asentamiento 3" a 4", y de tamaño máximo nominal de 1" para un concreto sin aire incorporado le corresponde una cantidad de agua de amasado de  $193 l/m^3$  de concreto.

### 5.- Selección del contenido de aire

Desde que se trata de un concreto sin aire incorporado, se ha considerado el porcentaje de aire que queda atrapado, se ha obtenido los siguientes valores de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91.

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: Tabla 6.3.3. ACI 211.1-91, Porcentaje de aire atrapado

El contenido de aire atrapado para un agregado de Tamaño Máximo Nominal de 1" es de 1.5%.

## 6.- Relación agua-cemento

No presentándose problemas de intemperismo ni de ataques por sulfatos, u otro tipo de acciones que puede dañar al concreto, se ha seleccionado la relación agua-cemento por resistencia de la tabla 6.3.4 (a) del ACI 211.1-91.

Resistencia a la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Tabla 6.3.4 (a). ACI 211.1-91, Relación agua-cemento

Para nuestro caso se ha designado la relación a/c de 0.70.

## 7.- Factor cemento

El factor cemento es la cantidad de cemento que se va a utilizar en un metro cubico de concreto, esta expresado por la siguiente formula:

$$F_c = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Relación a/c}} = \frac{193}{0.70} = 275.7 \text{ kg/m}^3$$

La cantidad de cemento a utilizarse es = 275.7 kg/m<sup>3</sup>

## 8.- Contenido de agregado grueso

Para determinar el contenido de agregado grueso se ha empleado la tabla 6.3.6 del ACI 211.1-91.

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		Módulo de fineza del agregado fino			
mm.	Pulg.	2.4	2.6	2.8	3.0
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Tabla 6.3.6. ACI 211.1-91, Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Con un módulo de fineza de 3.05 y un TMN del agregado grueso de 1", se encontró un valor de  $b/b_0 = 0.65$  metros cúbicos de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto.

- Peso del agregado grueso =  $0.65 \times 1341.67 \text{ kg/m}^3 = 865.38 \text{ kg}$

### 9.- Calculo de volúmenes absolutos

Conocido los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procedió a calcular la suma de los volúmenes absolutos:

$$\text{Vol. Cemento} = \frac{F_c}{P. e. \text{ del cemento}} = \frac{275.7 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.0967 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Agua} = \frac{\text{Cantidad de agua}}{P. e. \text{ del agua}} = \frac{193 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. que ocupa el aire} = \% \text{ de aire atrapado} = 1.5\% = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. AG} = \frac{\text{Peso AG seco y compactado}}{P. e. \text{ del AG}} = \frac{865.38 \text{ kg}}{2098 \text{ kg/m}^3} = 0.412 \text{ m}^3$$

- Suma de volúmenes conocidos =  $0.717 \text{ m}^3$

## 10.- Contenido de agregado fino

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso sólido.

- Volumen absoluto de agregado fino =  $1 - 0.717 \text{ m}^3 = 0.283 \text{ m}^3$
- Peso del agregado fino seco =  $0.283 \text{ m}^3 \times 2340 \text{ kg/m}^3 = 662.22 \text{ kg}$

## 11.- Valor de diseño

Las cantidades de materiales a ser empleados como valores de diseño para 1 metro cúbico de concreto serán:

- Cemento =  $275.7 \text{ kg}$
- Agua de diseño =  $193 \text{ l}$
- Agregado fino seco =  $662.22 \text{ kg}$
- Agregado grueso seco =  $865.38 \text{ kg}$

## 12.- Corrección por humedad del agregado

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto debe ser corregida en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra:

Peso húmedo del:

- Agregado Fino =  $662.22 \text{ kg} \times (1 + 5.10\% / 100) = 695.99 \text{ kg}$
- Agregado grueso =  $865.38 \text{ kg} \times (1 + 2.25\% / 100) = 884.85 \text{ kg}$

## 13.- Humedad superficial de los agregados

- 
- Agregado fino =  $5.10\% - 4.65\% = .45\%$
- Agregado grueso =  $2.25\% - 4.65\% = - 2.40\%$



#### 14.- Aporte de humedad

- Agregado fino =  $0.45\% / 100 \times 662.22 \text{ kg} = 2.98 \text{ l}$
- Agregado grueso =  $- 2.40\% / 100 \times 865.38 \text{ kg} = - 20.769 \text{ l}$
- *Aporte de humedad de los agregados* =  $- 17.789$

#### 15.- Agua efectiva

- Agua efectiva =  $193 \text{ l} - 17.789 \text{ l} = 210.789 \text{ l}$

#### 16.- Peso de los materiales húmedos para un metro cubico de concreto:

- Cemento =  $275.7 \text{ kg}$
- Agua de diseño =  $210.789 \text{ l}$
- Agregado fino seco =  $695.99 \text{ kg}$
- Agregado grueso seco =  $884.85 \text{ kg}$

#### 17.- Peso de los materiales para 5 probetas más 10% de desperdicio:

- Cemento =  $8.039 \text{ kg}$
- Agua de diseño =  $6.147 \text{ l}$
- Agregado fino seco =  $20.278 \text{ kg}$
- Agregado grueso seco =  $25.800 \text{ kg}$

Para los demás relaciones de a/c se ha seguido el mismo procedimiento.

## Anexo 2. Evidencias fotográficas



*Figura 32.* Proceso de impregnación del agregado grueso reciclado con cemento IP



*Figura 33.* Eliminación de excedente del proceso de impregnación



*Figura 34.* Primer día de curado de AGRI



*Figura 35.* Análisis granulométrico del agregado grueso



*Figura 36.* Ensayo de material fino por debajo de la malla 200



*Figura 37.* Secado de agregado grueso impregnado



### Anexo 3. Análisis granulométrico del Agregado Grueso Reciclado Impregnado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



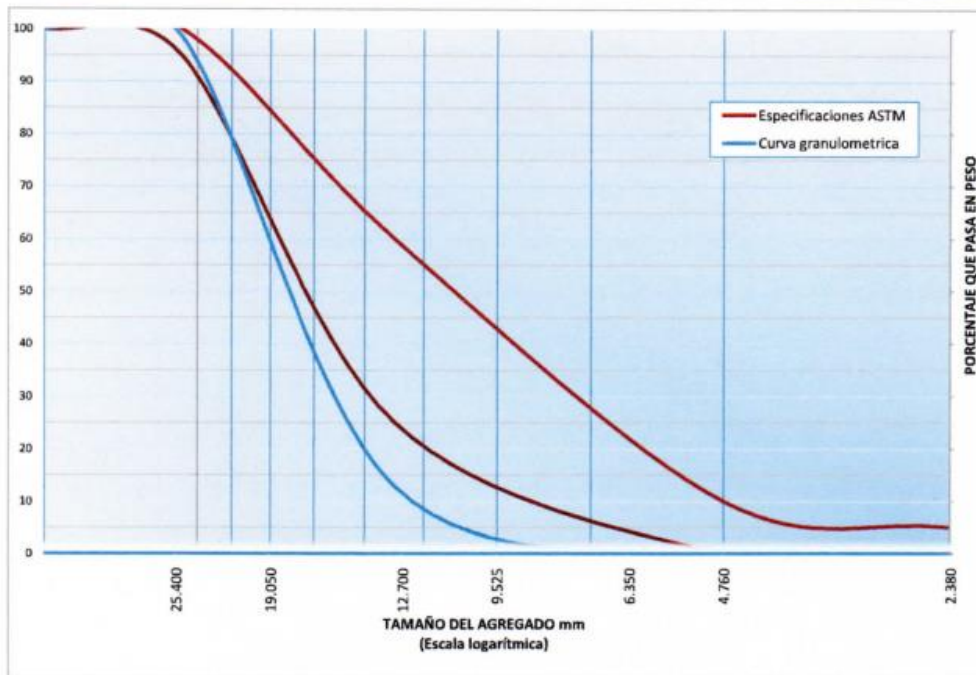
#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS

"IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

PROYECTO :  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA  
FECHA : 25 de junio de 2021

MUESTRA : AGREGADO GRUESO RECICLADO IMPREGNADO  
CANTERA : UNA - PUNO

TAMIZ Pulga.	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
						TNM = 1"		
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	0.00			P. muestra = 1477  MF = 8.14  Características  D10 = 11.99 Cu = 1.465 D30 = 14.47 CC = 0.995 D60 = 17.56
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	0.00			
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
1"	25.400	20.00	1.35	1.35	98.65	95	100	
3/4"	19.050	357.00	24.17	25.52	74.48			
1/2"	12.700	911.00	61.68	87.20	12.80	25	60	
3/8"	9.525	184.00	12.46	99.66	0.34			
1/4"	6.350	0.00	0.00	99.66	0.34			
N° 04	4.760	4.00	0.27	99.93	0.07	0	10	
N° 08	2.380	1.00	0.07	100.00	0.00	0	5	
SUM.T		1477	100.00	813.68				



Mr. RONIBO MARTINEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 101589  
ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

### Anexo 4. Análisis granulométrico del Agregado Grueso Reciclado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES**

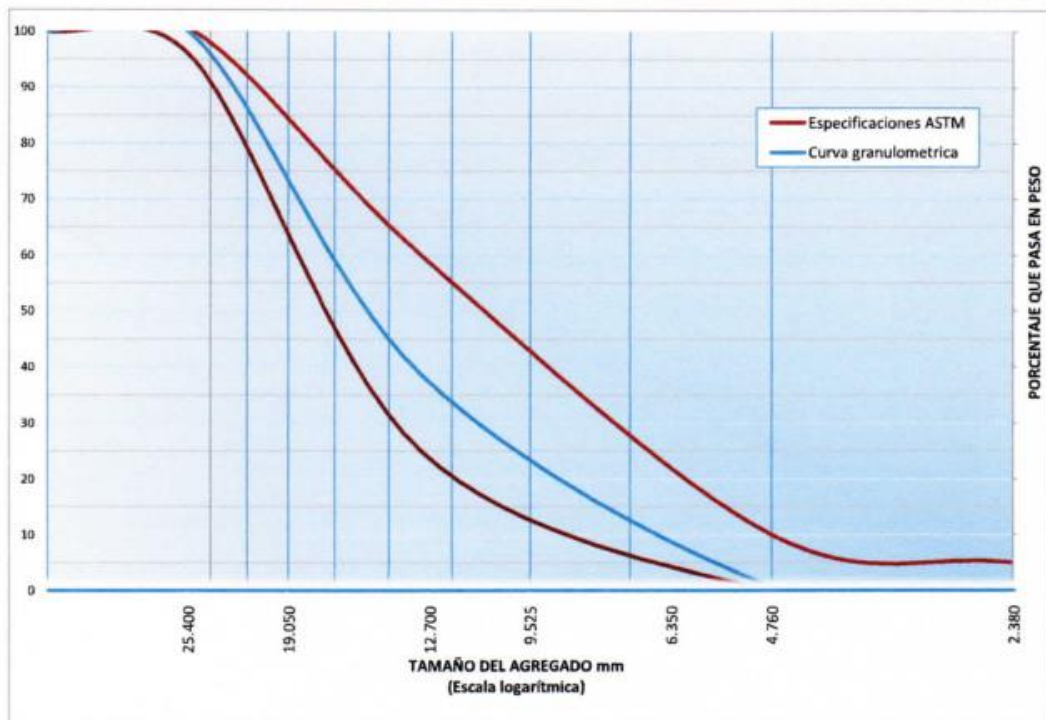


**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS**

**"IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

PROYECTO :  
 REALIZADO POR : **JORGE LUIS AROSTE VILLA**      MUESTRA : **AGREGADO GRUESO RECICLADO**  
 FECHA : **25 de junio de 2021**      CANTERA : **UNA - PUNO**

TAMIZ Pulga.	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
						TNM = 1"		
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	0.00			P. muestra = 3944  MF = 7.52  Características D10 = 7.01    Cu = 2.194 D30 = 11.20    CC = 1.163 D60 = 15.39
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	0.00			
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
1"	25.400	29.00	0.74	0.74	99.26	95	100	
3/4"	19.050	405.00	10.27	11.00	89.00			
1/2"	12.700	1983.00	50.28	61.28	38.72	25	60	
3/8"	9.525	729.00	18.48	79.77	20.23			
1/4"	6.350	0.00	0.00	79.77	20.23			
N° 04	4.760	766.00	19.42	99.19	0.81	0	10	
N° 08	2.380	32.00	0.81	100.00	0.00	0	5	
SUM.T		3944	100.00	751.98				



  
**Mg. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.**  
**INGENIERO GEÓLOGO**  
 CIP- 101589  
 ESR. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE



### Anexo 5. Análisis granulométrico del Agregado Grueso Natural



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS

"IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

PROYECTO :

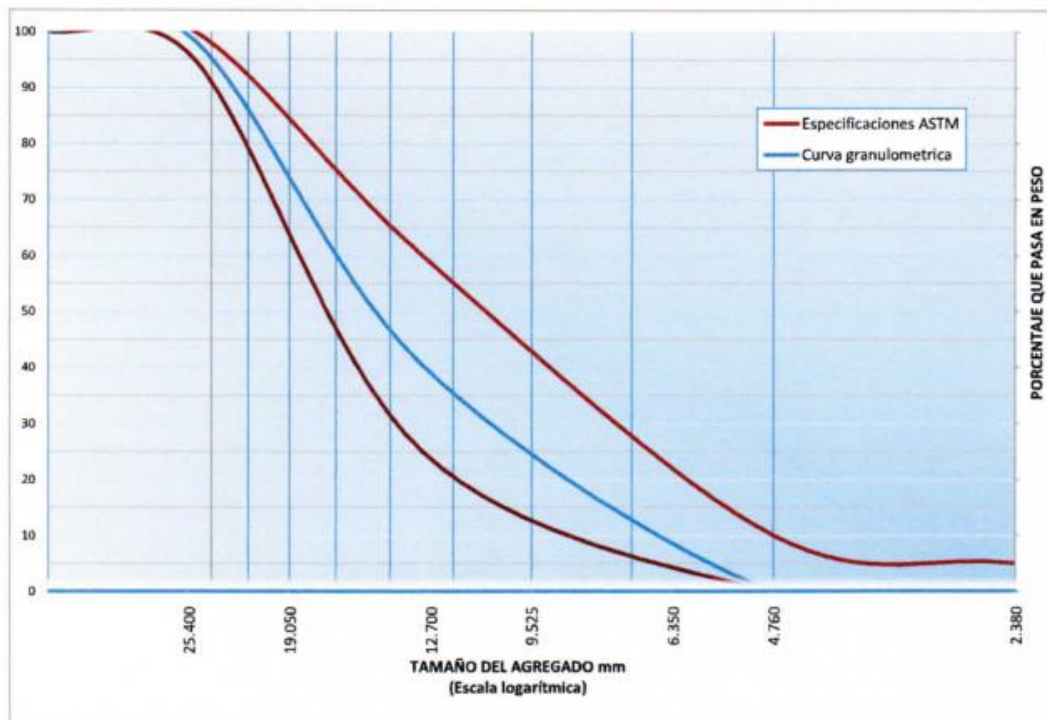
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA

MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL

FECHA : 25 de junio de 2021

CANTERA : UNA - PUNO

TAMIZ Pulga.	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
						TNM = 1"		
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	0.00			P. muestra = 930.34  MF = 7.65  Características D10 = 9.61    Cu = 1.6 D30 = 11.65    CC = 0.918 D60 = 15.37
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	0.00			
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
1"	25.400	14.50	1.56	1.56	98.44	95	100	
3/4"	19.050	105.80	11.37	12.93	87.07			
1/2"	12.700	434.70	46.72	59.66	40.34	25	60	
3/8"	9.525	289.80	31.15	90.81	9.19			
1/4"	6.350	81.14	8.72	99.53	0.47			
N° 04	4.760	4.40	0.47	100.00	0.00	0	10	
N° 08	2.380	0.00	0.00	100.00	0.00	0	5	
SUM.T		930.34	100.00	764.95				



Mg. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
OIP: 101569  
ESP. SERVICIO SANEAMIENTO  
Y MEDIO AMBIENTE

**Anexo 6. Análisis granulométrico del Agregado Fino Reciclado**



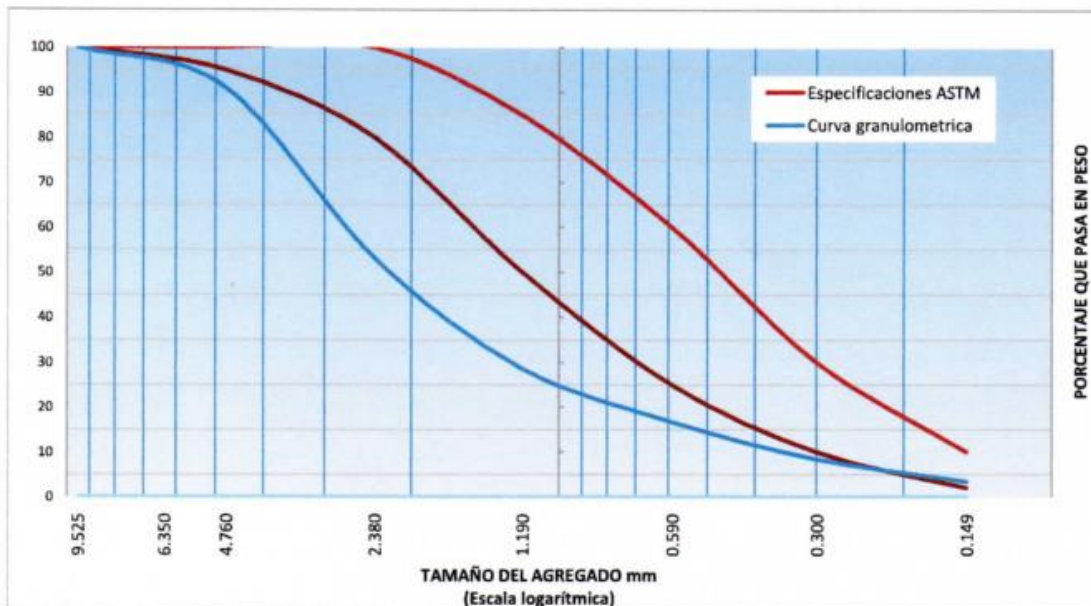
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
AGREGADO FINO**

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO FINO RECICLADO  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

TAMIZ Pulga.-ASTM	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100 100	P. muestra = 2178  MF = 3.98  Características  D10 = 0.35    Cu = 7.94 D30 = 1.26    CC. = 1.58 D60 = 2.81
1/4"	8.350	0.00	0.00	0.00			
N° 04	4.780	192.00	8.82	8.82	91.18	95 100	
N° 08	2.380	829.00	38.06	46.88	53.12	80 100	
N° 10	2.000		0.00	46.88			
N° 16	1.190	532.00	24.43	71.30	28.70	50 85	
N° 20	0.840		0.00	71.30			
N° 30	0.590	260.00	11.94	83.24	16.76	25 60	
N° 40	0.420		0.00	83.24			
N° 50	0.300	181.00	8.31	91.55	8.45	10 30	
N° 80	0.180		0.00	91.55			
N° 100	0.149	109.00	5.00	96.56	3.44	02 10	
N° 200	0.074	67.00	3.08	99.63	0.37		
BASE	0.000	8.00	0.37	100.00	0.00		
SUM.T	30.78	2178.00	100.00	398.35	302.02		



**OBSERVACIONES:**  
Su granulometría se encuentra fuera de las especificaciones ASTM.

M. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 101588  
ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE



### Anexo 7. Análisis granulométrico del Agregado Fino Natural



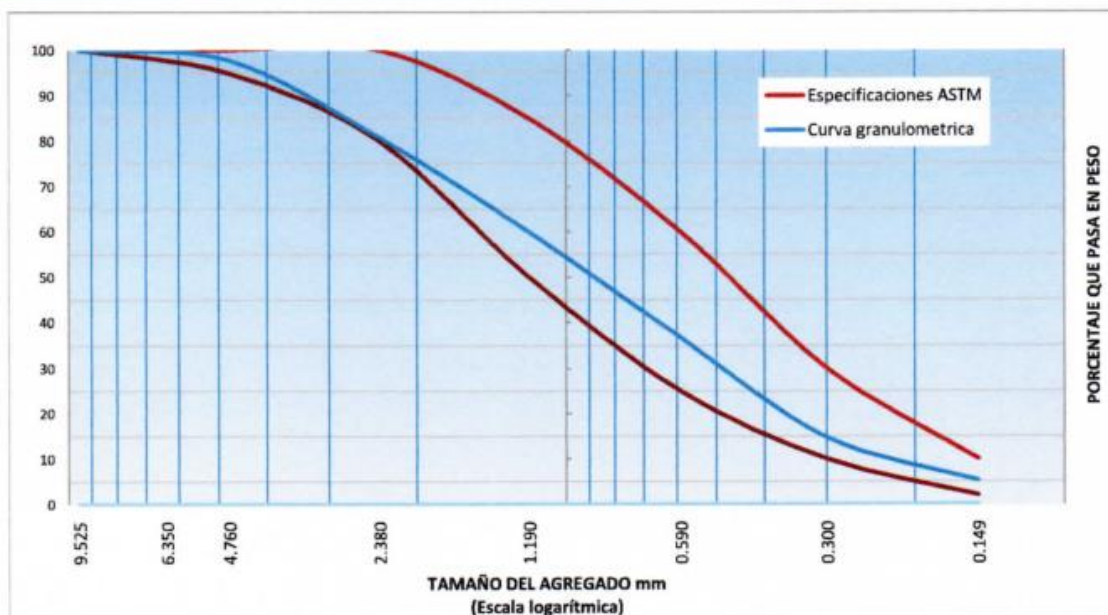
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO AGREGADO FINO

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO FINO NATURAL  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

TAMIZ Pulga.-ASTM	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	1.00	0.10	0.10	99.90	100 100	P. muestra = 952.6  MF = 3.05  Características  D10 = 0.22    Cu = 5.31 D30 = 0.50    CC = 0.94 D60 = 1.19
1/4"	8.350	0.00	0.00	0.10			
N° 04	4.780	19.00	1.99	2.10	97.90	95 100	
N° 08	2.380	163.00	17.11	19.21	80.79	80 100	
N° 10	2.000		0.00	19.21			
N° 16	1.190	198.00	20.79	40.00	60.00	50 85	
N° 20	0.840		0.00	40.00			
N° 30	0.590	222.00	23.30	63.30	36.70	25 60	
N° 40	0.420		0.00	63.30			
N° 50	0.300	209.00	21.94	85.24	14.76	10 30	
N° 80	0.180		0.00	85.24			
N° 100	0.149	90.00	9.45	94.69	5.31	02 10	
N° 200	0.074	29.00	3.04	97.73	2.27		
BASE	0.000	21.60	2.27	100.00	0.00		
SUM.T	30.78	952.60	100.00	304.64	397.63		



OBSERVACIONES:  
Su granulometría se encuentra dentro de las especificaciones ASTM.

Mg. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 101589  
EPR. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

**Anexo 8. Peso Unitario del agregado grueso reciclado impregnado**



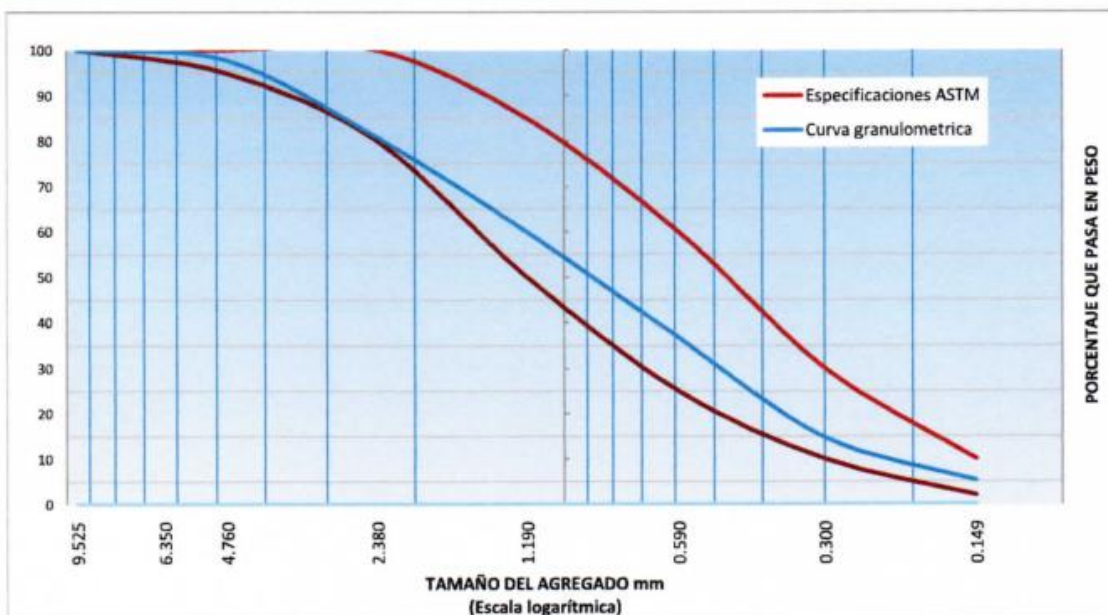
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
AGREGADO FINO**

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO FINO NATURAL  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

TAMIZ Pulga.-ASTM	ABERTURA mr.	PESO RETEN.	% R. PARCIAL	% R. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	1.00	0.10	0.10	99.90	100 100	P. muestra = 952.6  MF = 3.05  Características  D10 = 0.22    Cu = 5.31 D30 = 0.50    CC. = 0.94 D60 = 1.19
1/4"	8.350	0.00	0.00	0.10			
N° 04	4.780	19.00	1.99	2.10	97.90	95 100	
N° 08	2.380	163.00	17.11	19.21	80.79	80 100	
N° 10	2.000		0.00	19.21			
N° 16	1.190	198.00	20.79	40.00	60.00	50 85	
N° 20	0.840		0.00	40.00			
N° 30	0.590	222.00	23.30	63.30	36.70	25 60	
N° 40	0.420		0.00	63.30			
N° 50	0.300	209.00	21.94	85.24	14.76	10 30	
N° 80	0.180		0.00	85.24			
N° 100	0.149	90.00	9.45	94.69	5.31	02 10	
N° 200	0.074	29.00	3.04	97.73	2.27		
BASE	0.000	21.60	2.27	100.00	0.00		
SUM.T	30.78	952.60	100.00	304.64	397.63		



**OBSERVACIONES:**  
Su granulometría se encuentra dentro de las especificaciones ASTM.

Mg. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 101589  
EPR. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE



## Anexo 9. Peso Unitario del agregado grueso reciclado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



### PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO GRUESO RECICLADO  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

### AGREGADO GRUESO

#### PESO UNITARIO SUELTO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	8063.347	8063.347	8063.347
Peso del molde (kg)	0.719	0.719	0.719
Peso del agregado suelto + molde (kg)	10.360	10.432	10.375
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	9.641	9.713	9.656
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1195.657	1204.587	1197.555
Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1199.266		

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	8063.347	8063.347	8063.347
Peso del molde (kg)	0.719	0.719	0.719
Peso del agregado compactado + molde (kg)	11.363	11.305	11.317
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	10.644	10.586	10.598
Peso volumétrico seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1320.047	1312.854	1314.318
Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m <sup>3</sup> )	1315.740		

M<sup>c</sup>. RODRIGO MARTÍNEZ JAIME C.  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP: 101588  
 ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE

## Anexo 10. Peso Unitario del agregado grueso natural



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



### PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

### AGREGADO GRUESO

#### PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	8063.347	8063.347	8063.347
Peso del molde (kg)	0.719	0.719	0.719
Peso del agregado suelto + molde (kg)	12.834	12.805	12.851
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	12.115	12.086	12.132
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1502.478	1498.881	1504.586
<b>Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1501.982</b>		

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	8063.347	8063.347	8063.347
Peso del molde (kg)	0.719	0.719	0.719
Peso del agregado compactado + molde (kg)	13.637	13.641	13.630
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	12.918	12.922	12.911
Peso volumétrico seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1602.064	1602.560	1601.196
<b>Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1601.940</b>		

**Mg. RODRIGO MARTÍNEZ JAIME C.**  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP: 101589  
 EBR. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE

## Anexo 11. Peso Unitario del agregado fino reciclado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



### PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO FINO RECICLADO  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

### AGREGADO FINO

#### PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo no.	1	2	3
Molde No.	1	1	1
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2779.947	2779.947	
Peso del molde (kg)	0.331	0.331	
Peso del agregado suelto + molde (kg)	3.512	3.535	
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	3.181	3.204	
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1144.267	1152.540	
<b>Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1148.403</b>		

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2779.947	2779.947	
Peso del molde (kg)	0.331	0.331	
Peso del agregado compactado + molde (kg)	3.825	3.833	
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	3.494	3.502	
Peso volumétrico seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1256.859	1259.736	
<b>Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1258.297</b>		

**Mg. RODRIGO MARTÍNEZ JAIME C.**  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP: 101569  
 ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE



## Anexo 12. Peso Unitario del agregado fino natural



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



### PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA MUESTRA : AGREGADO FINO NATURAL  
FECHA : 25 de junio de 2021 CANTERA : UNA - PUNO

### AGREGADO FINO

#### PESO UNITARIO SUELTO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	1	1	1
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2779.947	2779.947	2779.947
Peso del molde (kg)	0.331	0.331	0.331
Peso del agregado suelto + molde (kg)	4.807	4.780	4.771
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	4.476	4.449	4.440
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1610.103	1600.390	1597.153
<b>Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1602.549</b>		

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	02	02	02
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2779.947	2779.947	2779.947
Peso del molde (kg)	0.331	0.331	0.331
Peso del agregado compactado + molde (kg)	5.095	5.073	5.076
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	4.764	4.742	4.745
Peso volumétrico seco compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1713.702	1705.788	1706.867
<b>Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1708.786</b>		

**Mg. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.**  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP: 101589  
 ESR. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE

**Anexo 13.** Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado impregnado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO**

**PROYECTO :** "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
**REALIZADO POR :** JORGE LUIS AROSTE VILLA      **MUESTRA :** AGREGADO GRUESO RECICLADO IMPREGNADO  
**FECHA :** 27 de junio de 2021      **CANTERA :** UNA - PUNO

**AGREGADO GRUESO**

**METODO DEL CESTO SUMERGIDO**

Numero de ensayo	1	2	3	Und.
A.- Peso del cesto + gancho	985.00	990.00	990.00	g
B.- Peso del cesto + gancho + Msss	1823.00	1798.00	1633.00	g
C.- Peso del cesto sumergido	901.00	901.00	901.00	g
D.- Peso del cesto sumergido + Msss	1358.00	1342.00	1250.00	g
E.- Peso charola	444.00	282.00	282.00	g
F.- Peso charola + material seco	1243.00	1055.00	897.00	g
G.- Peso de la muestra seca (F-E)	799.00	773.00	615.00	g
H.- Peso del material SSS (B-A)	838.00	808.00	643.00	g
I.- Peso en el agua de la muestra SSS (D-C)	457.00	441.00	349.00	g
<b>Peso específico (G/(H-I))</b>	2.097	2.106	2.092	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio peso específico (G/(H-I))</b>		2.098		g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción % ((H-G)/G)</b>	4.881	4.528	4.553	%
<b>Promedio absorción % ((H-G)/G)</b>		4.654		%

**Mr. RODRIGO MARTÍNEZ JAIME C.**  
**INGENIERO GEÓLOGO**  
 CIP: 101680  
 ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE

**Anexo 14.** Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO**

**PROYECTO :** "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
**REALIZADO POR :** JORGE LUIS AROSTE VILLA **MUESTRA :** AGREGADO GRUESO RECICLADO  
**FECHA :** 27 de junio de 2021 **CANTERA :** UNA - PUNO

**AGREGADO GRUESO  
METODO DEL CESTO SUMERGIDO**

Numero de ensayo	1	2	3	Und.
A.- Peso del cesto + gancho	989.00	989.00	989.00	g
B.- Peso del cesto + gancho + Msss	2320.00	1819.00	2440.00	g
C.- Peso del cesto sumergido	862.00	908.00	908.00	g
D.- Peso del cesto sumergido + Msss	1606.00	1378.00	1733.00	g
E.- Peso charola	417.00	445.00	445.00	g
F.- Peso charola + material seco	1643.00	1212.00	1783.00	g
G.- Peso de la muestra seca (F-E)	1226.00	767.00	1338.00	g
H.- Peso del material SSS (B-A)	1331.00	830.00	1451.00	g
I.- Peso en el agua de la muestra SSS (D-C)	744.00	470.00	825.00	g
<b>Peso específico (G/(H-I))</b>	2.089	2.131	2.137	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio peso específico (G/(H-I))</b>	2.119			g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción % ((H-G)/G)</b>	8.564	8.214	8.445	%
<b>Promedio absorción % ((H-G)/G)</b>	8.408			%

**M. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.**  
**INGENIERO GEÓLOGO**  
 CIP: 101569  
 ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE



**Anexo 15.** Peso específico y absorción del agregado grueso natural



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES**



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO**

**PROYECTO :** "IMPREGNACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"  
**REALIZADO POR :** JORGE LUIS AROSTE VILLA **MUESTRA :** AGREGADO GRUESO NATURAL  
**FECHA :** 27 de junio de 2021 **CANTERA :** UNA - PUNO

**AGREGADO GRUESO**  
**METODO DEL CESTO SUMERGIDO**

Numero de ensayo	1	2	3	Und.
A.- Peso del cesto + gancho	985.00	990.00	990.00	g
B.- Peso del cesto + gancho + Msss	2235.00	2238.00	1715.00	g
C.- Peso del cesto sumergido	907.00	909.00	909.00	g
D.- Peso del cesto sumergido + Msss	1655.00	1649.00	1344.00	g
E.- Peso charola	283.00	442.00	442.00	g
F.- Peso charola + material seco	1496.00	1649.00	1144.00	g
G.- Peso de la muestra seca (F-E)	1213.00	1207.00	702.00	g
H.- Peso del material SSS (B-A)	1250.00	1248.00	725.00	g
I.- Peso en el agua de la muestra SSS (D-C)	748.00	740.00	435.00	g
<b>Peso específico (G/(H-I))</b>	2.416	2.376	2.421	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio peso específico (G/(H-I))</b>		2.404		g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción % ((H-G)/G)</b>	3.050	3.397	3.276	%
<b>Promedio absorción % ((H-G)/G)</b>		3.241		%

**Mr. RODRIGO MARTINEZ JAIME C.**  
**INGENIERO GEOLOGO**  
 CIP: 101569  
 ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL  
 Y MEDIO AMBIENTE







**Anexo 18.** Resistencia a la compresión y peso volumétrico de los concretos

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES

**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

"IMPREGNACION DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

PROYECTO :  
REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA      FECHA : 13 de agosto de 2021

Mezcla	Código	Peso (gr)	Medidas (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso volum. (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha		Edad días
			Alt.	Diam.						Moldeo	Rotura	
M-1	1	10,755	29.9	14.9	174.366	5207.739	2065.2	209.76	122.63	05/07/2021	13/8/2021	39
M-1	2	10,737	30.0	15.0	175.930	5277.902	2034.3	163.61	94.80	05/07/2021	13/8/2021	39
M-1	3	10,812	30.1	15.0	176.715	5319.109	2032.7	176.51	101.82	05/07/2021	13/8/2021	39
M-1	4	10,825	30.0	15.0	176.715	5301.438	2041.9	185.56	107.04	05/07/2021	13/8/2021	39
M-1	5	10,801	30.0	15.1	178.289	5354.609	2017.1	192.48	110.05	05/07/2021	13/8/2021	39
M-2	6	11,125	30.0	14.9	174.366	5236.800	2124.4	270.78	158.30	05/07/2021	13/8/2021	39
M-2	7	11,183	30.0	15.0	176.715	5301.438	2109.4	263.62	152.07	05/07/2021	13/8/2021	39
M-2	8	11,161	29.8	14.8	172.809	5149.720	2167.3	282.67	166.74	05/07/2021	13/8/2021	39
M-2	9	11,258	30.0	15.0	176.715	5307.328	2121.2	275.15	158.72	05/07/2021	13/8/2021	39
M-2	10	11,218	30.1	15.1	178.289	5366.495	2090.4	280.57	160.42	05/07/2021	13/8/2021	39
M-3	11	11,760	30.2	15.3	183.054	5528.219	2127.3	353.82	197.03	05/07/2021	13/8/2021	39
M-3	12	11,613	30.6	15.2	181.458	5552.627	2091.4	334.20	187.74	05/07/2021	13/8/2021	39
M-3	13	11,670	30.0	15.0	176.715	5301.438	2201.3	354.22	204.33	05/07/2021	13/8/2021	39
M-3	14	11,548	30.0	15.0	176.715	5301.438	2178.3	341.52	197.00	05/07/2021	13/8/2021	39
M-3	15	11,605	30.1	15.1	178.289	5360.552	2164.9	349.16	199.63	05/07/2021	13/8/2021	39
M-4	16	11,588	29.9	14.8	172.034	5149.540	2250.3	410.59	243.29	05/07/2021	13/8/2021	39
M-4	17	11,712	30.0	15.4	187.072	5618.403	2084.6	414.84	226.05	05/07/2021	13/8/2021	39
M-4	18	11,613	30.0	15.0	176.715	5301.438	2190.5	417.02	240.56	05/07/2021	13/8/2021	39
M-4	19	11,601	30.1	15.1	179.079	5384.298	2154.6	400.69	228.08	05/07/2021	13/8/2021	39
M-4	20	11,506	30.1	15.0	177.501	5342.776	2153.6	420.91	241.72	05/07/2021	13/8/2021	39
M-5	21	10,718	29.9	14.9	175.147	5242.742	2044.4	182.84	106.41	06/07/2021	13/8/2021	38
M-5	22	10,597	29.8	14.9	173.587	5167.105	2050.9	211.80	124.38	06/07/2021	13/8/2021	38
M-5	23	10,642	29.9	14.9	175.147	5231.065	2034.4	201.64	117.36	06/07/2021	13/8/2021	38
M-5	24	10,645	30.0	15.0	176.715	5307.328	2005.7	199.15	114.88	06/07/2021	13/8/2021	38
M-5	25	10,615	30.1	15.1	179.079	5390.267	1969.3	209.58	119.30	06/07/2021	13/8/2021	38
M-6	26	10,876	29.9	14.9	174.366	5219.363	2083.8	324.04	189.44	06/07/2021	13/8/2021	38
M-6	27	10,959	30.0	14.9	173.587	5201.822	2106.8	324.67	190.66	06/07/2021	13/8/2021	38
M-6	28	10,855	29.7	14.9	175.147	5196.036	2089.1	328.27	191.06	06/07/2021	13/8/2021	38
M-6	29	10,906	30.1	15.1	178.289	5366.495	2032.2	332.56	190.14	06/07/2021	13/8/2021	38
M-6	30	10,932	30.0	15.0	177.501	5330.942	2050.7	330.15	189.60	06/07/2021	13/8/2021	38
M-7	31	10,992	29.9	14.9	175.147	5236.904	2099.0	402.87	234.47	06/07/2021	13/8/2021	38
M-7	32	11,012	29.9	15.0	175.930	5260.309	2093.4	400.07	231.81	06/07/2021	13/8/2021	38
M-7	33	11,089	30.0	15.0	176.715	5301.438	2091.7	399.81	230.63	06/07/2021	13/8/2021	38
M-7	34	11,091	30.1	15.1	178.289	5360.552	2069.0	406.10	232.19	06/07/2021	13/8/2021	38
M-7	35	11,098	30.1	15.1	179.870	5414.091	2049.8	395.58	224.18	06/07/2021	13/8/2021	38
M-8	36	10,993	30.0	14.9	174.366	5230.987	2101.5	419.99	245.53	06/07/2021	13/8/2021	38
M-8	37	10,985	29.9	14.9	175.147	5242.742	2095.3	421.15	245.11	06/07/2021	13/8/2021	38
M-8	38	11,015	30.0	15.0	177.501	5325.026	2068.5	425.17	244.17	06/07/2021	13/8/2021	38
M-8	39	11,005	30.1	15.1	178.289	5360.552	2053.0	428.78	245.16	06/07/2021	13/8/2021	38
M-8	40	10,999	30.1	15.0	176.715	5313.219	2070.1	426.59	246.08	06/07/2021	13/8/2021	38
M-9	41	11,561	30.0	14.9	174.366	5225.175	2212.6	183.00	106.98	07/07/2021	13/8/2021	37
M-9	42	11,565	30.0	14.9	175.147	5254.418	2201.0	150.00	87.30	07/07/2021	13/8/2021	37
M-9	43	11,528	30.1	14.9	174.366	5242.612	2198.9	199.44	116.60	07/07/2021	13/8/2021	37
M-9	44	11,554	30.0	15.0	176.715	5301.438	2179.4	179.54	103.57	07/07/2021	13/8/2021	37
M-9	45	11,559	30.0	14.9	175.147	5260.257	2197.4	182.56	106.25	07/07/2021	13/8/2021	37
M-10	46	11,571	29.9	14.9	173.587	5196.036	2226.9	197.90	116.21	07/07/2021	13/8/2021	37
M-10	47	11,559	30.1	15.0	175.930	5289.631	2185.2	214.17	124.09	07/07/2021	13/8/2021	37
M-10	48	11,340	29.9	14.8	172.034	5143.805	2204.6	172.14	102.00	07/07/2021	13/8/2021	37
M-10	49	11,549	30.0	15.0	176.715	5301.438	2178.5	200.05	115.40	07/07/2021	13/8/2021	37
M-10	50	11,499	30.0	14.9	175.147	5254.418	2188.4	211.45	123.07	07/07/2021	13/8/2021	37

M. RODRIGO MARTINEZ JARBE C.  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP: 101588  
 BPS. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



**ENSAJO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

"IMPREGNACION DE AGREGADOS RECICLADOS CON CEMENTO IP Y EL MEJORAMIENTO DE SUS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICOS-MECÁNICAS, EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

PROYECTO :

REALIZADO POR : JORGE LUIS AROSTE VILLA

FECHA :

13 de agosto de 2021

Mezcla	Código	Peso (gr)	Medidas (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso volum. (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha		Edad días
			Alt.	Diam.						Moldeo	Rotura	
M-11	51	12,023	30.1	15.1	179.870	5414.091	2220.7	307.87	174.48	07/07/2021	13/8/2021	37
M-11	52	12,247	30.6	15.2	182.255	5570.932	2198.4	260.54	145.72	07/07/2021	13/8/2021	37
M-11	53	12,350	30.5	15.3	183.854	5607.543	2202.4	335.64	186.09	07/07/2021	13/8/2021	37
M-11	54	12,212	30.1	15.0	177.501	5336.859	2288.2	325.85	187.13	07/07/2021	13/8/2021	37
M-11	55	12,199	30.0	15.1	179.079	5366.390	2273.2	300.15	170.85	07/07/2021	13/8/2021	37
M-12	56	12,380	30.0	15.0	176.715	5307.328	2332.6	416.74	240.39	07/07/2021	13/8/2021	37
M-12	57	12,401	30.0	15.0	175.930	5272.038	2352.2	463.36	268.48	07/07/2021	13/8/2021	37
M-12	58	12,391	30.0	15.0	176.715	5307.328	2334.7	406.15	234.29	07/07/2021	13/8/2021	37
M-12	59	12,390	30.1	15.0	177.501	5336.859	2321.6	410.85	235.95	07/07/2021	13/8/2021	37
M-12	60	12,385	30.2	15.0	177.501	5354.609	2313.0	431.44	247.77	07/07/2021	13/8/2021	37
M-13	61	11,001	29.7	14.9	175.147	5207.712	2112.4	287.99	167.61	08/07/2021	13/8/2021	36
M-13	62	10,989	29.7	15.0	176.715	5248.423	2093.8	292.25	168.58	08/07/2021	13/8/2021	36
M-13	63	11,053	30.0	15.0	176.715	5301.438	2084.9	305.54	176.25	08/07/2021	13/8/2021	36
M-13	64	11,021	30.1	15.0	176.715	5313.219	2074.3	289.69	167.11	08/07/2021	13/8/2021	36
M-13	65	11,005	30.1	15.0	177.501	5342.776	2059.8	300.14	172.37	08/07/2021	13/8/2021	36
M-14	66	11,305	29.8	14.9	175.147	5219.389	2166.0	260.65	151.70	08/07/2021	13/8/2021	36
M-14	67	11,168	29.6	15.0	175.930	5213.394	2142.2	281.19	162.93	08/07/2021	13/8/2021	36
M-14	68	11,220	30.0	14.9	175.147	5260.257	2133.0	279.05	162.41	08/07/2021	13/8/2021	36
M-14	69	11,283	30.0	15.0	177.501	5325.026	2118.9	275.81	158.39	08/07/2021	13/8/2021	36
M-14	70	11,273	30.1	15.1	178.289	5360.552	2103.0	270.56	154.69	08/07/2021	13/8/2021	36
M-15	71	11,221	29.7	15.0	177.501	5271.775	2128.5	289.11	166.03	08/07/2021	13/8/2021	36
M-15	72	11,147	29.9	15.0	175.930	5260.309	2119.1	312.36	180.99	08/07/2021	13/8/2021	36
M-15	73	11,190	30.0	15.0	176.715	5295.547	2113.1	305.05	175.97	08/07/2021	13/8/2021	36
M-15	74	11,205	30.0	15.1	179.079	5378.328	2083.4	298.84	170.11	08/07/2021	13/8/2021	36
M-15	75	11,301	30.1	15.0	177.501	5342.776	2115.2	308.59	177.22	08/07/2021	13/8/2021	36
M-16	76	11,483	30.0	14.9	174.366	5230.987	2195.2	362.76	212.07	08/07/2021	13/8/2021	36
M-16	77	11,302	29.8	15.0	175.930	5236.851	2158.2	372.95	216.09	08/07/2021	13/8/2021	36
M-16	78	11,502	30.0	15.0	176.715	5301.438	2169.6	370.50	213.72	08/07/2021	13/8/2021	36
M-16	79	11,425	30.1	15.0	177.501	5336.859	2140.8	371.93	213.60	08/07/2021	13/8/2021	36
M-16	80	11,492	30.1	15.1	178.289	5366.495	2141.4	369.50	211.26	08/07/2021	13/8/2021	36
M-17	81	11,107	30.0	15.0	176.715	5295.547	2097.4	383.14	221.01	09/07/2021	13/8/2021	35
M-17	82	11,095	29.8	14.9	175.147	5213.551	2128.1	386.16	224.75	09/07/2021	13/8/2021	35
M-17	83	11,161	30.0	15.0	177.501	5319.109	2098.3	392.56	225.44	09/07/2021	13/8/2021	35
M-17	84	11,121	30.0	15.1	178.289	5354.609	2076.9	375.41	214.64	09/07/2021	13/8/2021	35
M-17	85	11,085	30.0	15.0	177.501	5330.942	2079.4	390.25	224.12	09/07/2021	13/8/2021	35
M-18	86	11,320	29.9	15.0	176.715	5283.766	2142.4	378.32	218.23	09/07/2021	13/8/2021	35
M-18	87	11,299	29.9	15.0	177.501	5307.276	2129.0	354.44	203.55	09/07/2021	13/8/2021	35
M-18	88	11,315	30.0	15.0	176.715	5301.438	2134.3	380.15	219.29	09/07/2021	13/8/2021	35
M-18	89	11,305	30.1	15.0	177.501	5336.859	2118.3	363.48	208.74	09/07/2021	13/8/2021	35
M-18	90	11,289	30.0	15.1	178.289	5342.723	2113.0	361.12	206.47	09/07/2021	13/8/2021	35
M-19	91	12,109	30.6	15.1	178.289	5461.582	2217.1	470.37	268.93	09/07/2021	13/8/2021	35
M-19	92	11,202	30.1	15.0	175.930	5289.631	2117.7	438.25	253.93	09/07/2021	13/8/2021	35
M-19	93	11,895	30.0	15.0	176.715	5307.328	2241.2	451.56	260.48	09/07/2021	13/8/2021	35
M-19	94	12,015	30.0	15.0	177.501	5325.026	2256.3	463.15	265.98	09/07/2021	13/8/2021	35
M-19	95	11,992	30.0	15.0	177.501	5325.026	2252.0	448.61	257.63	09/07/2021	13/8/2021	35
M-20	96	11,778	30.1	15.1	179.870	5414.091	2175.4	358.49	203.17	09/07/2021	13/8/2021	35
M-20	97	12,020	30.6	15.2	180.663	5528.300	2174.3	404.04	227.97	09/07/2021	13/8/2021	35
M-20	98	12,051	30.1	15.0	177.501	5336.859	2258.1	361.02	207.33	09/07/2021	13/8/2021	35
M-20	99	12,006	30.0	15.1	178.289	5354.609	2242.2	387.59	221.60	09/07/2021	13/8/2021	35
M-20	100	11,895	30.0	15.0	177.501	5325.026	2233.8	381.60	219.15	09/07/2021	13/8/2021	35

Mg. RODRIGO MARTÍNEZ JAIME C.  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 101588  
ESP. SEGURIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

### Anexo 19. Niveles de significación para el contraste de Shapiro – Wilks

n	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.937	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

Fuente: (Trapero *et al.*, 2010)

### Anexo 20. Distribución $F$ (0.05)

En las columnas se encuentran los valores  $F$  que corresponden al área 0.05 a la derecha

En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador

En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Fuente: (Trapero *et al.*, 2010)

**Anexo 21.** Distribución de la t de Student (Prueba de dos colas).

gl	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6,366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Fuente: (Trapero *et al.*, 2010)