

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**Análisis de la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución de agregado reciclado, Arequipa 2023**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Araoz Marin, Diego Antonio**

**ORCID: 0009-0000-9801-4512**

**Ramirez Velarde Alvarez, Jaime Eduardo**

**ORCID: 0009-0000-4808-0108**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

**Dr. De la Cruz Mendoza, Fernando Aron**

**ORCID: 0000-0002-0386-4176**

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 26 de Junio del 2025

**Dictamen: 007465-C-EPIC-2025**

Visto el borrador del expediente 007465, presentado por:

**2017802591 - RAMIREZ VELARDE ALVAREZ JAIME EDUARDO**

**2017204091 - ARAOZ MARIN DIEGO ANTONIO**

Titulado:

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL HUMO DE SÍLICE CON ADITIVO PLASTIFICANTE EN LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y TRACCIÓN DEL CONCRETO DE FC=210 KG/CM<sup>2</sup> Y FC=280  
KG/CM<sup>2</sup> CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO RECICLADO, AREQUIPA 2023**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO CIVIL**

**29245617 - DIAZ GALDOS MIGUEL RENATO  
DICTAMINADOR**



**29412437 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO  
DICTAMINADOR**



**46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY  
DICTAMINADOR**



# Análisis de la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ con sustitución de agregado reciclado,

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	4%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	4%
	Fuente de Internet	
3	repositorioacademico.upc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.uss.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.usmp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

## DEDICATORIA

*A Dios, por brindarme salud y fortaleza para poder alcanzar y lograr todas las metas y objetivos que me he trazado.*

*A mis amados padres, quienes que con su ejemplo me inculcaron valores como la responsabilidad, sacrificio y perseverancia, valores imprescindibles para alcanzar cada sueño que me propuse, su amor incondicional es mi mayor fuente de inspiración y motivación para poder superarme a mí mismo cada día. Este como cada logro obtenido en mi vida es dedicado a ellos.*

*A mi querida Hermana, quien siempre me acompañó en cada paso que daba y con la que he construido recuerdos inolvidables.*

*A mis amadas abuelas, Isabel y Nilda quienes desde pequeño me supieron educar y guiar con todo su amor.*

*A mi enamorada, quien supo apoyarme y brindarme todo su amor para poder lograr este tan importante objetivo en mi vida personal y profesional.*

*A mi compañero de tesis, quien compartió conmigo este largo camino, de quien he aprendido mucho y del cual siento muy orgulloso de cada triunfo obtenido, gracias por estar siempre a mi lado amigo mío.*

**Diego Antonio Araoz Marin.**

*Para mis amados padres, Jaime y Blanca, quienes nunca dejaron que mi motivación y espíritu decaiga, son mi faro en la noche y mi ancla en la tormenta.*

*Para mis abuelos Julián y Emma, quienes me enseñaron los valores más allá de lo profesional e intelectual. Un abrazo al cielo.*

*A mi mejor amigo, Julio que siempre estuvo apoyándome y amilanando los más duros momentos de este proceso. Gracias por cada consejo y abrazo.*

*A mi compañero de tesis, quien compartió conmigo este largo camino, de quien he aprendido mucho, gracias por la determinación que demostraste para culminar este logro.*

*A mi colega y gran amiga Alejandra, quien nos acompañó en toda nuestra etapa de educación superior y de quien me siento muy orgulloso de cada logro obtenido.*

**Jaime Eduardo Ramirez Velarde Alvarez**

## AGRADECIMIENTOS

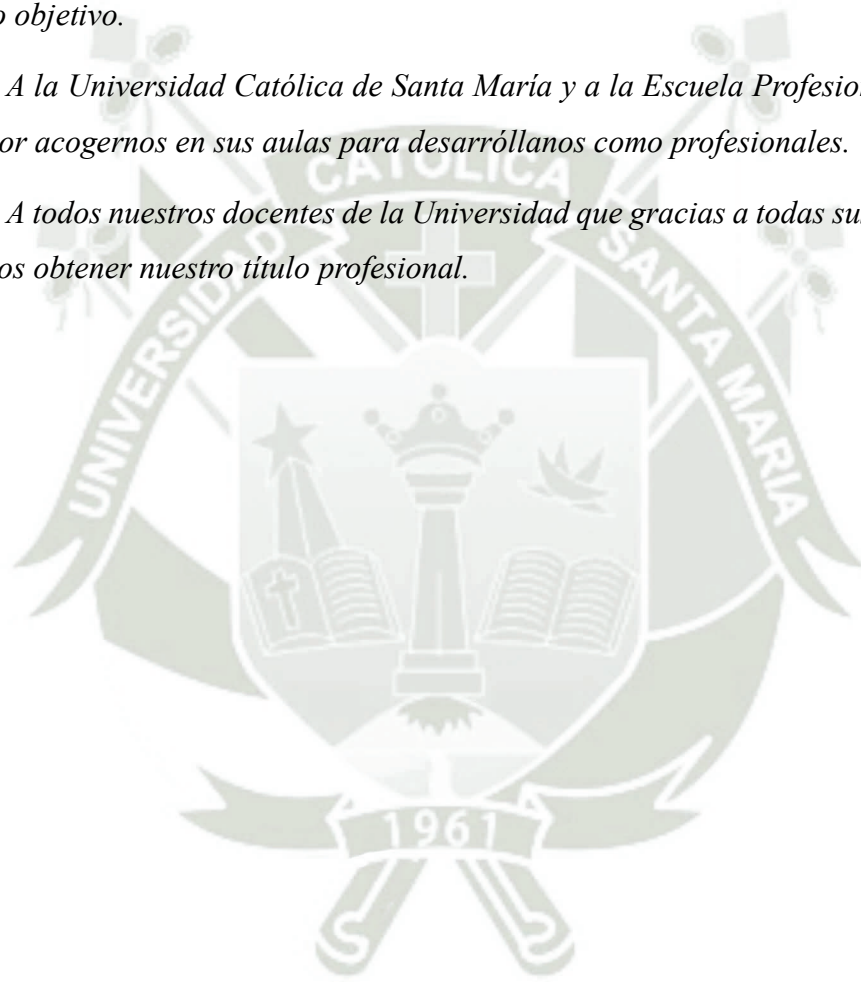
*Agradecemos a Dios, por permitirnos tener salud para poder disfrutar de este triunfo con nuestras familias.*

*A nuestros padres y familiares quienes son nuestros pilares y a quienes dedicamos cada triunfo conseguido a lo largo de nuestras vidas.*

*A nuestro asesor, quien nos guió y aconsejó en cada momento para poder alcanzar nuestro objetivo.*

*A la Universidad Católica de Santa María y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por acogernos en sus aulas para desarrollarnos como profesionales.*

*A todos nuestros docentes de la Universidad que gracias a todas sus enseñanzas hoy podemos obtener nuestro título profesional.*



## RESUMEN

Existen investigaciones que avalan el uso de agregado grueso reciclado obtenido de demolición como sustituto parcial del agregado grueso natural, sin embargo, estas se basan en concretos de bajas resistencias, pues a mayor porcentaje de reemplazo se ve mermada su trabajabilidad, ya que, al tener mortero adherido al agregado, este presenta una mayor absorción, sumado a esto existen diferencias en las propiedades mecánicas de los agregados que afectan directamente en la resistencia final. Es así que, para suplir estas deficiencias se analizó la inclusión de humo de sílice que ha demostrado incrementar las resistencias a compresión del concreto y la adición de aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad en diseños de mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con porcentajes de sustitución de 25% y 50% de agregado grueso por agregado grueso reciclado de TMN  $\frac{1}{2}$ ".

La presente investigación, es de diseño experimental y evaluó la resistencia a compresión y tracción indirecta para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7, 14 y 28 días de probetas de concreto de 20cm x 10cm, para la inclusión del humo de sílice en dosificaciones de 0%, 5%, 10% y 15%, también se utilizó el aditivo superplastificante en dosificación de 500ml por bolsa de cemento. Estas adiciones fueron para diseños de mezcla con porcentajes de reemplazo de 0% 25% y 50% de agregado grueso reciclado. En total se realizó 48 diseños de mezcla y el número de probetas requeridas tanto para el ensayo a compresión como para el ensayo de tracción indirecta fue de 576 testigos de concreto, también se realizó el ensayo de profundidad de carbonatación mediante la medición del Ph. Además de ello, se incluye un análisis costo-beneficio. De todos los resultados se concluye lo siguiente: Para el diseño de mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  la adición de 10% de humo de sílice, aditivo superplastificante y un 50% de reemplazo de agregado grueso reciclado fue el diseño óptimo, debido a que alcanza la resistencia requerida cumpliendo con el slump. Para el diseño de mezcla  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , la adición de 10% de humo de sílice, aditivo superplastificante y un 25% de reemplazo de agregado grueso reciclado, es el diseño óptimo, debido a que alcanza la resistencia requerida cumpliendo con el slump, lo que se traduce en una trabajabilidad aceptable. La elección de los diseños óptimos se basó principalmente en su resistencia a compresión, pues es la propiedad físico-mecánica de mayor importancia para su uso.

**Palabras clave:** Agregado grueso reciclado, humo de sílice, aditivo superplastificante.

## ABSTRACT

There are investigations that support the use of recycled coarse aggregate obtained from demolition as a partial substitute for natural coarse aggregate, however, these are based on low-strength concretes, since a higher replacement percentage reduces their workability, since, by having mortar adhered to the aggregate, it presents a greater absorption, added to this there are differences in the mechanical properties of the aggregates that directly affect the final resistance. Thus, to make up for these deficiencies, the inclusion of silica fume was analyzed, which has been shown to increase the compressive strength of concrete and the addition of superplasticizer additive to improve workability in mix designs  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  and  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  with replacement percentages of 25% and 50% of coarse aggregate by TMN ½" recycled coarse aggregate.

This research is experimental design and evaluated the compressive and indirect tensile strength for  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  and  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  at 7, 14 and 28 days of 20cm x 10cm concrete samples, for the inclusion of silica fume in dosages of 0%, 5%, 10% and 15%, the superplasticizer additive was also used in a dosage of 500ml per bag of cement. These additions were for mix designs with replacement percentages of 0% 25% and 50% of recycled coarse aggregate. In total, 48 mix designs were made and the number of test pieces required for both the compression test and the indirect tensile test was 576 concrete samples, The carbonation depth test was also carried out by measuring the Ph. In addition, a cost-benefit analysis is included.

From all the results, the following is concluded: For the mix design  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , the addition of 10% silica fume, superplasticizer additive and 50% recycled coarse aggregate replacement was the optimal design, since it achieves the required strength while meeting the slump. For the mix design  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , the addition of 10% silica fume, superplasticizer additive and 25% recycled coarse aggregate replacement is the optimal design, since it achieves the required strength while meeting the slump, which translates into acceptable workability. The choice of the optimal designs was based mainly on their compressive strength, since it is the most important physical-mechanical property for their use.

**Key words:** Recycled coarse aggregate, silica fume, superplasticizer additive.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2. PROBLEMA.....	5
2.1. Problema general.....	5
2.2. Problemas específicos.....	5
3. OBJETIVOS.....	6
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
3.3. Justificación.....	7
3.3.1. Social.....	7
3.3.2. Ambiental.....	7
3.3.3. Económica.....	8
3.3.4. Tecnológica.....	9
3.3.5. Político institucional.....	9
3.3.6. Ética.....	9
3.4. Hipótesis general.....	9
3.5. Operacionalización de las Variables.....	10
3.6. Alcances y Limitaciones.....	12
3.6.1. Alcance.....	12
3.6.2. Limitaciones.....	16
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
1. Fundamento Teórico.....	18
1.1. Antecedentes de la investigación.....	18
1.1.1. Internacional.....	18
1.1.2. Nacional.....	20
1.1.3. Regional.....	21

2. Bases teóricas.....	23
2.1. Concreto .....	23
2.1.1. Componentes.....	23
2.1.2. Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	24
2.1.3. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido .....	25
2.1.4. Agregados .....	26
2.2. Diseño de Mezcla .....	28
2.2.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados .....	28
2.3. Concreto Reciclado .....	31
2.3.1. Residuos Sólidos de Construcción y Demolición .....	31
2.3.2. Clasificación y Manejo de Residuos de Construcción y Demolición .....	32
2.3.3. Proceso de Obtención de Agregados Reciclados .....	35
2.3.4. Trituradora de Impacto.....	36
2.3.5. Uso del granulado de concreto como agregado .....	37
2.4. Aditivos .....	37
2.4.1. Humo de Sílice.....	38
2.4.2. Aditivo Plastificante.....	39
CAPÍTULO III METODOLOGÍA PROPUESTA .....	40
1. DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	41
2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
3. Ubicación espacial temporal .....	45
3.1. Campo de verificación.....	45
3.2. Área de estudio .....	45
4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	51
4.1. Método de diseño del concreto.....	51
4.1.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados .....	51
4.2. Tipos de ensayos .....	53
4.2.1. Ensayos en estado fresco.....	53
4.2.2. Ensayos en estado endurecido.....	53
4.2.3. Cuadro de ensayo .....	53
5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	56
5.1. Observación presente .....	57
5.2. Observación documental .....	57

CAPÍTULO IV DESARROLLO.....	59
1. CEMENTO PORTLAND TIPO IP .....	63
2. AGUA.....	65
3. ADITIVO PLASTIFICANTE .....	65
4. HUMO DE SÍLICE .....	66
5. AGREGADO GRUESO .....	66
5.1. Granulometría.....	67
5.2. Peso unitario suelto .....	69
5.3. Peso unitario compactado.....	70
5.4. Peso específico y absorción.....	71
5.5. Contenido de humedad.....	71
5.6. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto .....	72
6. AGREGADO FINO.....	73
6.1. Granulometría.....	74
6.2. Peso unitario suelto .....	76
6.3. Peso unitario compactado.....	77
6.4. Peso específico y absorción.....	78
6.5. Contenido de humedad.....	79
7. AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	80
7.1. Granulometría.....	81
7.2. Peso unitario suelto .....	83
7.3. Peso unitario compactado.....	84
7.4. Peso específico y absorción.....	85
7.5. Contenido de humedad.....	86
7.6. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto .....	87
8. DISEÑO DE MEZCLA .....	88
8.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados .....	88
8.2. Resumen de Diseños de Mezcla .....	89
CAPÍTULO V RESULTADOS.....	92
1. ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO .....	93
1.1. Asentamiento de Concreto .....	93
1.1.1. Asentamiento $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .....	94
1.1.2. Asentamiento $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .....	96

1.2. Temperatura.....	97
1.2.1. Temperatura $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	98
1.2.2. Temperatura $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
1.3. Rendimiento del Concreto.....	100
1.3.1. Rendimiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	101
1.3.2. Rendimiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	103
2. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO .....	104
2.1. Resistencia a la Compresión.....	104
2.1.1. Resistencia a la compresión $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .....	105
2.1.2. Resistencia a la compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .....	110
2.2. Resistencia a la Tracción Indirecta.....	114
2.2.1. Resistencia a la Tracción $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .....	115
2.2.2. Resistencia a la Tracción $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .....	117
2.3. Profundidad de Carbonatación .....	119
3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	119
4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	122
5. TRIANGULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	124
CAPÍTULO VI ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO .....	125
1. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS .....	126
1.1. Costo de habilitación del Agregado Grueso Reciclado.....	126
1.2. Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	126
1.3. Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	131
2. ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO .....	136
2.1. Análisis Costo-Beneficio para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	137
2.2. Análisis Costo-Beneficio para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	139
CONCLUSIONES.....	141
RECOMENDACIONES .....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	145

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Flujo para la obtención de granulado de concreto .....	35
Figura 2 Diagrama de Flujo de un Posible Tratamiento de Concreto de Demolición.....	36
Figura 3 Producción de Microsílice.....	38
Figura 4 Proceso de recolección de Microsílice .....	39
Figura 5 Mapa de Procesos del Procedimiento de la Investigación .....	44
Figura 6 Laboratorio de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente - UCSM.....	45
Figura 7 Ubicación del jirón Alpamayo y el jirón Ubinas .....	46
Figura 8 Resumen de Metrados .....	47
Figura 9 Presupuesto de Obra.....	48
Figura 10 Prueba de Resistencia a la Compresión de Veredas.....	49
Figura 11 Recolección de Escombros de Veredas Demolidas.....	50
Figura 12 Comprensión del Concreto con Agregados Reciclados y Microsílice.....	60
Figura 13 Comprensión del Concreto con Aditivo Superplastificante y Microsílice.....	62
Figura 14 Bolsa de 42.5 kg de Cemento Portland Yura Tipo IP.....	64
Figura 15 Características técnicas "Cemento Portland Yura Tipo IP" .....	64
Figura 16 Ubicación del Laboratorio FAICA.....	65
Figura 17 Aditivo Plastificante "SikaCem Plastificante" .....	66
Figura 18 Humo de Sílice "Sika Fume" .....	66
Figura 19 Ubicación de cantera La Poderosa .....	67
Figura 20 Granulometría del Agregado Grueso de la Cantera "La Poderosa".....	68
Figura 21 Curva granulométrica de agregado grueso.....	69
Figura 22 Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso.....	69
Figura 23 Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.....	70
Figura 24 Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso .....	71
Figura 25 Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.....	72
Figura 26 Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles .....	73
Figura 27 Ubicación de cantera La Poderosa .....	74
Figura 28 Agregado Fino Cantera La Poderosa .....	75
Figura 29 Curva granulométrica de agregado fino.....	76
Figura 30 Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.....	76
Figura 31 Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino .....	77
Figura 32 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino .....	78

Figura 33 Ensayo de contenido de humedad del agregado fino .....	79
Figura 34 Ubicación de la demolición.....	80
Figura 35 Demolición de veredas $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ .....	81
Figura 36 Agregado grueso Reciclado .....	81
Figura 37 Curva granulométrica de agregado grueso Reciclado.....	83
Figura 38 Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso Reciclado.....	83
Figura 39 Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso reciclado .....	84
Figura 40 Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso Reciclado.....	85
Figura 41 Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso Reciclado.....	86
Figura 42 Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles .....	87
Figura 43 Ensayo de Asentamiento de Concreto.....	93
Figura 44 Comparación de Resultados de Asentamiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	95
Figura 45 Comparación de Resultados de Asentamiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	97
Figura 46 Temperatura del Concreto.....	97
Figura 47 Comparación de Resultados de Temperatura $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
Figura 48 Comparación de Resultados de Temperatura $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	100
Figura 49 Rendimiento del Concreto.....	100
Figura 50 Comparación de Resultados de Rendimiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	102
Figura 51 Comparación de Resultados de Rendimiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	104
Figura 52 Ensayo de Compresión a los 7 días.....	104
Figura 53 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 7 días).....	108
Figura 54 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 14 días).....	108
Figura 55 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 28 días).....	109
Figura 56 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 7 días).....	113
Figura 57 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 14 días).....	113
Figura 58 Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 28 días).....	114
Figura 59 Ensayo de tracción indirecta .....	114
Figura 60 Comparación de Resistencia a la Tracción $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	116
Figura 61 Comparación de Resistencia a la Tracción $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	118
Figura 62 Diagrama de Flujo del Método de Investigación .....	123
Figura 63 Comparación de Costos Unitarios para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	131
Figura 64 Comparación de Costos Unitarios para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	136
Figura 65 Comparación de Costo-Beneficio para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	138
Figura 66 Comparación de Costo-Beneficio para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	140

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de Residuos Sólidos (Arequipa-Ciudad).....	8
Tabla 2 Variables Independientes.....	10
Tabla 3 Variable dependiente .....	11
Tabla 4 Números de Ensayos Según los Antecedentes .....	13
Tabla 5 Proporciones para los Aditivos Según los Antecedentes .....	14
Tabla 6 Resultados de las propiedades mecánicas .....	19
Tabla 7 Matriz Resumen del Estado del Arte.....	22
Tabla 8 Valores Máximos Admisibles de Sustancias en Agua .....	24
Tabla 9 Características de los Agregados.....	26
Tabla 10 Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.....	28
Tabla 11 Resistencia Requerida .....	29
Tabla 12 Asentamiento de Concreto Según Tipo de Estructuras .....	30
Tabla 13 Porcentaje de Aire Atrapado .....	30
Tabla 14 Volumen de Agua por Metro Cúbico de Concreto.....	30
Tabla 15 Relación Agua / Cemento.....	31
Tabla 16 Composición Porcentual de los Componentes de Escombros.....	32
Tabla 17 Clasificación y Opciones de Manejo de Residuos de la Construcción .....	33
Tabla 18 Opciones de aprovechamiento de Residuos de la Construcción .....	34
Tabla 19 Granulado de concreto en función del uso previsto .....	37
Tabla 20 Codificación de diseños de mezcla.....	52
Tabla 21 Especímenes para ensayos a compresión de resistencia $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	53
Tabla 22 Especímenes para ensayos a compresión de resistencia $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	54
Tabla 23 Especímenes para ensayos a tracción de resistencia $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	55
Tabla 24 Especímenes para ensayos a tracción de resistencia $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	56
Tabla 25 Resumen de Especímenes para Ensayos al Concreto Endurecido .....	56
Tabla 26 Resultados de las tesis y artículos de revisión.....	63
Tabla 27 Granulometría agregado grueso .....	68
Tabla 28 Peso unitario suelto del agregado grueso .....	70
Tabla 29 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	70
Tabla 30 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	71
Tabla 31 Contenido de humedad del agregado grueso.....	72
Tabla 32 Abrasión del agregado grueso natural en la máquina de Los Ángeles.....	73
Tabla 33 Granulometría agregado fino.....	75

Tabla 34	Peso unitario suelto del agregado fino.....	77
Tabla 35	Peso unitario compactado del agregado fino.....	78
Tabla 36	Peso específico y absorción del agregado fino.....	79
Tabla 37	Contenido de humedad del agregado fino.....	80
Tabla 38	Granulometría Agregado Grueso Reciclado.....	82
Tabla 39	Peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.....	84
Tabla 40	Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado.....	85
Tabla 41	Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.....	86
Tabla 42	Contenido de humedad del agregado grueso reciclado.....	86
Tabla 43	Abrasión del agregado grueso reciclado en la máquina de Los Ángeles.....	87
Tabla 44	Resumen de las Propiedades de los Componentes.....	88
Tabla 45	Condiciones de Diseño para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
Tabla 46	Volúmenes Absolutos de Agregados (Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0).....	88
Tabla 47	Proporciones por Método de Fineza – Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0.....	89
Tabla 48	Resumen de Proporciones para Diseños de Mezclas $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	90
Tabla 49	Resumen de Proporciones para Diseños de Mezclas $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	91
Tabla 50	Resultados de Asentamiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	94
Tabla 51	Resultados de Asentamiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	96
Tabla 52	Resultados de Temperatura $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	98
Tabla 53	Comparación de Resultados de Temperatura $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
Tabla 54	Resultados de Rendimiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	101
Tabla 55	Resultados de Rendimiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	103
Tabla 56	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ - 7días.....	105
Tabla 57	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ - 14días.....	106
Tabla 58	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ - 28días.....	107
Tabla 59	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ - 7días.....	110
Tabla 60	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ - 14días.....	111
Tabla 61	Resultados de la Resistencia a la Compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ - 28días.....	112
Tabla 62	Resultados de la Resistencia a la Tracción $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	115
Tabla 63	Resultados de la Resistencia a la Tracción $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	117
Tabla 64	Profundidad de Carbonatación ( $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ).....	119
Tabla 65	Triangulación de la Investigación.....	124
Tabla 66	Análisis de Costo Unitario de Producción de Agregado Reciclado.....	126
Tabla 67	Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	127

Tabla 68 Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	132
Tabla 69 Análisis Costo-Beneficio para los diseños de mezcla $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	137
Tabla 70 Análisis Costo-Beneficio para los diseños de mezcla $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	139



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz De Consistencia.....	155
Anexo 2 Panel Fotográfico.....	156
Anexo 3 Ensayo De Carbonatación Para Diseños Patrones Y Óptimos .....	163



## ÍNDICE DE ECUACIONES

( 1) Porcentaje de agregado fino en relacion a volúmenes absolutos.....28



## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria de la construcción implica mayores emisiones de residuos sólidos de demolición que carecen de una adecuada gestión para su eliminación, siendo su paradero más usual botaderos informales o para rellenos de terrenos con desniveles pronunciados. Ante ello, una manera adecuada de gestión de dichos residuos es la reutilización de estos como materiales de construcción, esto se logra con un adecuado procesamiento de estos. Ante este escenario existen investigaciones respaldando el uso de agregado grueso reciclado obtenido de diversas demoliciones de concreto como pueden ser pistas y veredas, dicho reemplazo tiene sus limitaciones puesto que a mayor porcentaje de reemplazo las resistencias a compresión se ven disminuidas, de igual manera al tener mortero impregnado en el agregado grueso reciclado ocasiona una mayor absorción y por ende le quita trabajabilidad a la mezcla de concreto (Cáceres & Valencia, 2018). Debido a esta situación, la incorporación de humo sílice ha demostrado un incremento en las resistencias del concreto al actuar como filler, de igual manera el aditivo superplastificante mejora notablemente la trabajabilidad de la mezcla, la combinación de estas dos adiciones logra compensar las bajas resistencias y el menor asentamiento que se obtiene al usar agregado grueso reciclado, esto nos lleva a nuestro objetivo principal planteado: Analizar la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de agregado reciclado.

El presente estudio está articulado por 6 capítulos detalladamente expuestos a continuación:

- Capítulo I: Planteamiento del Problema, conformado por la problemática, la cual aborda el diagnóstico de residuos sólidos de construcción y demolición en el Perú y específicamente en Arequipa, gestión de los residuos de construcción y demolición, además se comenta brevemente estudios relacionados con el uso de agregados gruesos reciclados para la elaboración de concreto, objetivos general y específicos enfocados en resolver la problemática planteada, justificación, hipótesis, operacionalización de las variables dependientes e independientes, alcances y limitaciones a las cuales se rige la investigación desarrollada.

- Capítulo II: Fundamento Teórico, el capítulo comienza con los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, los cuales abordan el análisis de los diferentes porcentajes de reemplazos de agregados reciclados, pero sin la inclusión de aditivo plastificante y humo de sílice. A continuación, se presentan conceptos teóricos referidos a los agregados, aditivos y al concreto con sus componentes, además se presentan sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido, de igual manera se detalla el proceso de obtención del agregado reciclado, para finalmente definir el diseño de mezcla elegido.
- Capítulo III: Metodología, el presente capítulo enmarca la investigación en base al diseño y nivel de esta, la técnica utilizada fue la observación (lógico inductivo) teniendo como instrumentos la observación presente y documental, finalmente, la descripción de la metodología que explica el área de estudio, método de diseño del concreto, técnicas y herramientas de recolección de datos y ensayos que serán analizados en esta investigación.
- Capítulo IV: Desarrollo, el capítulo abarca la caracterización de los materiales utilizados, analizando propiedades físico-mecánicas tanto del agregado fino, grueso y reciclado. Al final del capítulo se muestra una tabla donde está la totalidad de diseños de mezcla para los diseños de mezclas  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  (48 diseños de mezcla).
- Capítulo V: Resultados, se muestran resultados del concreto en estado fresco como son el asentamiento, la temperatura y su rendimiento, en cuanto al concreto en estado endurecido se muestran los resultados del ensayo compresión y tracción indirecta. Determinando así las dosificaciones óptimas para los diseños de mezclas  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$
- Capítulo VI: Análisis Costo – Beneficio
- Capítulo VII: Conclusiones, conclusiones de la investigación realizada.
- Capítulo VIII: Recomendaciones, recomendaciones de la investigación realizada.



## 1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años la industria de la construcción se ha desarrollado de manera exponencial, siendo así uno de los principales movimientos económicos que se da en el país, a la vez, esta actividad genera gran cantidad de contaminación convirtiéndose en un problema que tiene que ser gestionado por las autoridades. Torres (2016) menciona que las actividades de construcción son responsables directa o indirectamente de una gran parte de las emisiones de dióxido de carbono, estas emisiones tienen un impacto sobre la atmósfera durante toda la etapa de construcción, es decir, desde la producción de materiales hasta la gestión de desechos de demolición.

En el Perú, según el Ministerio del Ambiente (2008) el sector de vivienda y construcción se ubica en el tercer lugar como mayor generador de residuos sólidos no peligrosos, esto sumado a que se realiza una inadecuada gestión de los residuos de demolición enviándolos a botaderos, no solo implica una contaminación visual, sino que se pierde el material potencialmente reciclable, en el Diagnóstico de Residuos Sólidos de la Construcción y Demoliciones en el Perú realizó un estudio el cual abarcó a 16 municipalidades de Lima y 40 municipalidades a nivel del país (incluida Arequipa), en dicho estudio muestra que a nivel provincial un 70% de estos, sí recolectan residuos de construcción y demolición, sin embargo, sólo el 15% de este es reutilizado como material de relleno para terrenos con desniveles pronunciados, además, menciona que en el país se generan aproximadamente 5 663 062 toneladas de Residuos Sólidos de Construcción (RSC) al año y Arequipa genera un aproximado de 427 042 toneladas/año de RSC, lo que representa el 7.54% del total y lo convierte en la segunda región con mayores emisiones de RSC, seguida de Lima con un total de 2 098 562 toneladas/año (37.06%).

Manrique (2020) concluye que en la ciudad de Arequipa se muestra un avance progresivo y continuo en la economía medido mediante el Producto Bruto Interno (PBI) y reflejado en la construcción de infraestructuras en Arequipa metropolitana, sin embargo este crecimiento también conlleva a mayores cantidades de Residuos Sólidos de Construcción y Demolición y que lamentablemente los profesionales responsables de las construcciones y demoliciones no solo no tienen conocimiento de la normativa vigente para la gestión de dichos residuos si no también que no se tiene una cultura de reutilización de los recursos, la mayoría opta por la eliminación permanente de los desechos y no por la recuperación de los mismos provocando así que ríos y quebradas se conviertan en botaderos ilegales y que nuestros recursos naturales se vayan agotando año a año.

Muñoz et al. (2021) señala que una forma adecuada de gestión para los residuos de construcción y demolición es la reutilización de estos como materiales de construcción mediante el procesamiento de escombros, el reciclaje de estos desechos como agregados presenta limitantes como su mayor absorción y menor rendimiento en comparación de los agregados naturales lo que provoca que se usen aditivos para poder asemejar las características de estos materiales a los de uno convencional.

A lo largo de estos últimos años se ha investigado la forma de reutilizar los residuos sólidos de demolición, para poder usarlos como agregados en la elaboración de concretos. Sin embargo, según Cáceres y Valencia (2018) indican que los agregados reciclados presentan una alta absorción, lo que afecta negativamente en la resistencia final del concreto. Por tanto, esta investigación propone adicionar al agregado reciclado el humo de sílice el cual incrementa la resistencia a la compresión del concreto y aditivo super plastificante que otorgará una mejora en sus propiedades físicas del concreto, pues, ambas adiciones no se habrían trabajado de manera conjunta anteriormente, por lo que se analizará su influencia en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

## 2. PROBLEMA

### 2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de agregado reciclado?

### 2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del humo de sílice y aditivo plastificante, para su correcta dosificación en la elaboración de concreto reciclado de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ?
- ¿Cómo se realiza los ensayos correspondientes para determinar las características de los materiales?
- ¿Cómo se realiza los ensayos del concreto en estado fresco?
- ¿Cómo influye en el ensayo a compresión las proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ?

- ¿Cómo influye en el ensayo a tracción indirecta las proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ?
- ¿Cuál es la influencia de los componentes adicionados en la resistencia a la compresión y tracción del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ?

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Analizar la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de agregado reciclado.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades físico-mecánicas del humo de sílice y aditivo plastificante, para su correcta dosificación en la elaboración de concreto reciclado de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .
- Realizar los ensayos correspondientes para determinar las características de los materiales.
- Realizar los ensayos del concreto en estado fresco.
- Realizar el ensayo a compresión con proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .
- Realizar el ensayo a tracción indirecta con proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .
- Identificar la influencia de los componentes adicionados en la resistencia a la compresión y tracción del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

### **3.3. Justificación**

#### **3.3.1. Social**

La contaminación del medio ambiente es responsabilidad de todos, y su prevención de igual manera, una de las aportaciones de la ingeniería civil para esta problemática global es la reducción de extracción de agregados de las canteras naturales mediante la reutilización de residuos sólidos de construcción, en Europa por ejemplo ya se tomó mayor consciencia del daño ocasionado al medio ambiente y países como Alemania luego de la segunda guerra mundial son hoy en día el país con mayor producción de agregados reciclados en Europa, otros países como España cuentan con normas que regulan la utilización de estos materiales en la elaboración de hormigón (Martínez et al., 2015).

Ante lo expuesto, la investigación pretende colaborar con el mayor conocimiento de la reutilización de agregados reciclados del país puesto que si bien ya existe una normativa para el uso de RSCD, esta se ve limitada debido a la insuficiente o nula cantidad de investigaciones donde se evalué el comportamiento de concretos reciclados con el uso de aditivos plastificantes y humo de sílice.

#### **3.3.2. Ambiental**

Según Manrique (2020) señala que, en relación con el sector industrial, el sector construcción cuenta con menor número de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) y esto se debe a su singular actividad, como solución a este problema, se debe implementar nuevas y mejores prácticas. Según El Comercio (2016) señala que sólo el 30% de las municipalidades provinciales del país realiza una gestión de tratamiento y reaprovechamiento de los residuos sólidos, además el 25% de la basura recolectada en comunas no recibe un correcto tratamiento residual.

La gestión de los residuos de construcción en la ciudad de Arequipa no es la adecuada, esta situación es preocupante ya que en Arequipa se genera un total de 427 042 toneladas por año de residuos de construcción, de este total se tiene que el 12% de los residuos que llegan a los vertederos son hormigón, por lo tanto, se estaría generando aproximadamente 51.245 Tn/año de escombros provenientes de las demoliciones de infraestructuras de concreto en la ciudad de Arequipa (Ministerio del Ambiente, 2008).

A continuación, se presenta los residuos sólidos por distrito:

**Tabla 1**  
*Producción de Residuos Sólidos (Arequipa-Ciudad)*

Distrito	Población	Producción Per Cápita kg./hab./día	Generación Estimada de Residuos Sólidos T/día
Cercado Arequipa	57,212.00	1.12	63.80
Cerro Colorado	121,427.00	0.77	93.80
Cayma	84,818.00	0.68	57.70
Yanahuara	20,665.00	0.80	16.50
Alto Selva Alegre	78,261.00	0.89	69.80
Miraflores	52,325.00	0.89	46.74
Mariano Melgar	54,672.00	0.70	38.30
Paucarpata	130,013.00	0.59	76.20
Characato	5,851.00	0.22	1.30
Sabandia	3,927.00	0.59	2.30
J.L.B.y Rivero	77,583.00	1.16	90.00
Socabaya	69,612.00	0.50	34.60
Jacobo Hunter	47,969.00	0.65	31.20
Tiabaya	15,409.00	0.43	6.60
Sachaca	22,035.00	0.69	15.10
Uchumayo	1,044.00	0.69	7.60
Yura	19,434.00	0.56	10.90
Total	872,257.00	0.76	662.44

*Nota.* Residuos Sólidos Producidos por los Distritos de Arequipa. Adaptado de “Estudio de los Aspectos Económicos y Ambientales de la Gestión de Residuos Sólidos de Actividades de Construcción y Demolición de la Municipalidad Distrital de Miraflores” por A. Hinojosa, 2016.

Por lo que, la razón principal de realizar esta investigación es que en la ciudad no hay una adecuada gestión para la eliminación de estos residuos que contaminan por la emisión de dióxido de carbono y afectan visualmente la imagen de la ciudad.

Se debe tomar consciencia ya que estos son recursos no renovables y la eliminación del material de desecho debe realizarse de tal manera que su almacenamiento permita su posterior reutilización por lo que se pretende reducir la cantidad de residuos de construcción y mejorar sus propiedades con humo de sílice y aditivo plastificante por lo que se disminuiría la contaminación ambiental y se aportaría a la reutilización y economía circular.

### 3.3.3. Económica

El sector construcción se encuentra dentro de las 5 principales industrias contribuyentes al Producto Bruto Interno del país, menciona que en el año 2019 aportó 31.8 millones de soles equivalente al 6% del PBI anual (CEMEX, 2020).

El concreto es el segundo producto que más consume la humanidad después del agua, debido a su propiedad moldeable en estado fresco y las capacidades de resistencia y durabilidad que adquiere una vez endurecido lo convierte en uno de los materiales más indispensables en cualquier proyecto de construcción (ElDiario, 2019).

En vista del impacto de la industria de la construcción en la economía del país y a la importancia del concreto en los proyectos de edificación, se ve la necesidad de reducir los costos de producción de concreto.

#### **3.3.4. Tecnológica**

La presente investigación pretende aportar al conocimiento sobre la elaboración de concreto a partir de la adición de agregado reciclado, humo de sílice y aditivo plastificante, debido a que los componentes anteriormente mencionados mejoran las propiedades mecánicas del concreto trabajado de manera aislada, por lo tanto, se busca evaluar como trabajarán de manera conjunta en los ensayos de compresión y tracción indirecta.

#### **3.3.5. Político institucional**

La presente investigación pretende generar un aporte de conocimiento sobre la adición humo de sílice con aditivo plastificante en el concreto con sustitución de agregado reciclado otorgado hacia la universidad. De tal manera, servirá de referencia para futuras investigaciones realizadas por los alumnos de la Universidad Católica de Santa María.

#### **3.3.6. Ética**

La presente investigación se realizó bajo el recto cumplimiento de la normativa correspondiente al tema y será transparente sobre el uso de la información y su autoría. También, se garantizará la autenticidad de la investigación, se evitará la duplicación de otros estudios y se asegurará el compromiso con la gestión de la información.

### **3.4. Hipótesis general**

Dado que existe un desconocimiento de la influencia de humo de sílice con aditivo plastificante en el comportamiento del concreto con sustitución de agregado reciclado, es probable que al adicionar humo de sílice y aditivo plastificante en el concreto a diferentes proporciones influya de manera positiva la resistencia a la compresión y tracción indirecta del concreto para resistencias  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.5. Operacionalización de las Variables

**Tabla 2**  
*Variables Independientes*

Operacionalización de variables				
Variables Independientes	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos	Escala
Aditivo Plastificante	Ficha técnica del fabricante	ml	Probeta milimetrada	Cuantitativa
Humo de Sílice	Dosificación	%	Balanza Calibrada	Cuantitativa
	Granulometría	%	NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global)	Cuantitativa
Propiedades del agregado reciclado y natural	Peso unitario	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)	Cuantitativa
	Peso específico y absorción AG	g/cm <sup>3</sup> y %	NTP 400.021 (Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso)	Cuantitativa
	Peso específico y absorción AF	g/cm <sup>3</sup> y %	NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa y absorción para agregado fino)	Cuantitativa
	Contenido de Humedad	%	NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para determinar contenido de humedad total evaporable por secado)	Cuantitativa
Nivel de reemplazo del agregado de concreto reciclado	Dosificación	%	Balanza calibrada	Cuantitativa

*Nota.* Operacionalización de Variables Independientes

**Tabla 3***Variable dependiente*

Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Herramientas
Propiedades del concreto en estado fresco	Elaboración y Curado	Adimensional	NTP 339.033 (Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra)
	Densidad y Rendimiento	g/cm <sup>3</sup> y m <sup>3</sup>	NTP 339.046 (Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento del concreto)
	Asentamiento	cm	NTP 339.035 (Método para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams)
	Temperatura	°C	NTP 339.184 (Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto)
Propiedades del concreto en estado endurecido	Resistencia a la Compresión	kg/cm <sup>2</sup>	NTP 339.034 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas)
	Resistencia a la Tracción Indirecta	kg/cm <sup>2</sup>	NTP 339.084 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple, por compresión diametral de una probeta cilíndricas)
	Determinación de la profundidad de carbonatación	Dk max	UNE 112011 (Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio)

*Nota.* Operacionalización de Variables Dependientes

### 3.6. Alcances y Limitaciones

#### 3.6.1. Alcance

La investigación pretende analizar la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de agregado reciclado.

Los agregados reciclados se obtendrán de la trituración de escombros de demolición de veredas del proyecto “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal En Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”. Después de haber obtenido concreto demolido se procederá a triturar el escombros en la chancadora “Tesab 623CT” para obtener agregados reciclados de 1/2 " mediante el tamizado respectivo.

Es importante señalar que los agregados reciclados utilizados en la presente investigación no provienen de la ciudad de Arequipa, debido a que en dicha localidad no se encontró el volumen suficiente de concreto demolido ni con la documentación necesaria que avale su trazabilidad y características técnicas. Por tal motivo, los agregados reciclados empleados fueron obtenidos en otra provincia, asegurando su adecuada caracterización y procedencia para fines de la investigación.

Para el uso de aditivos se utilizarán los producidos por la empresa Sika, tanto el aditivo plastificante como el humo de sílice. Además, para el diseño de mezcla del concreto reciclado se usará el Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados, ya que es el método en el cual las características del agregado grueso toman mayor relevancia al momento de realizar el Diseño de Mezcla. Se realizará la sustitución del agregado grueso en niveles del 0%, 25% y 50% por el agregado reciclado proveniente de la trituración de los escombros de demolición, para resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ . Se evaluará para el concreto en estado fresco su rendimiento, asentamiento y temperatura. Para el concreto endurecido se evaluará resistencia a la compresión y tracción indirecta.

Como se puede ver en la tabla 4 los antecedentes utilizan en su mayoría 3 probetas para compresión y 3 probetas para tracción indirecta, de igual manera la rotura la hacen en su gran mayoría a los 7, 14 y 28 días, es por ello, que serán esos los parámetros que se utilizarán en la presente investigación para el ensayo a compresión y a los 28 días para el ensayo a tracción indirecta. Lo que significa que tendremos un total de 48 diseños de mezcla y 576 probetas a ensayar.

**Tabla 4***Números de Ensayos Según los Antecedentes*

Investigación (Tesis y/o Artículo de Revisión)	Probetas por Diseño de Mezcla	Edades de Rotura (días)	% de Reemplazo de AGR	% Humo de Sílice	% Plastificante	Ensayos a Compresión	Ensayos a Tracción	Total ensayos
Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año-2019	3 para compresión y 3 para tracción	3, 7, 14, 28 días	0%, 25%, 50%, 75%, 100%	-	-	120	120	240
Evaluación del diseño de concreto $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales” elaborada en la Universidad Nacional Federico Villareal	3 para compresión y 3 para tracción	3, 7, 28 días	35%	-	-	9	-	9
Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 21, 28 días	0%, 25%, 30%, 40%, 50%	-	-	180	180	360
Estudio de la Influencia del Tipo y Porcentaje de Reemplazo de los Agregados Reciclados en las Propiedades del Concreto, Para Diseños de $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm <sup>2</sup> , en la Ciudad de Arequipa	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 28 días	0%, 25%, 50% 100%	-	-	540	180	720
Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando humo de sílice, Lima – 2020	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 28 días	-	0%, 9%, 10%, 11%	-	36	0	36
Análisis Del Concreto Elaborado Con Agregado Reciclado Producto De La Demolición De Veredas De Concreto Adicionado Con Humo De sílice Frente A Esfuerzos De Compresión Para El Reuso En Veredas En La Ciudad Del Cusco	9 para compresión	7, 14, 28 días	-	0%, 8%, 9%, 10%	-	108	-	108
Evaluación Experimental del Uso de Microsílice para la Elaboración de Concreto de Alta Resistencia	8 para compresión	28 días	-	0%, 10%, 15%, 20%	1% Y 1.5%	32	-	32
Aplicación de Aditivo Microsílice, y Superplastificante Para el Diseño de Mezclas de Concreto de Alto Desempeño	3 para compresión y 3 para flexión	7, 14, 28 días	-	9%, 10%, 11%	1%, 1.3%, 1.5%	63	28	91
Concreto de Alto Desempeño Utilizando Hormigón con Adición de Microsílice y Superplastificante	3 para compresión y 3 para tracción	28 días	-	0%, 4%, 6%, 8%	0%, 0.8%, 1.2%, 1.6%	120	120	240

*Nota.* Número de probetas ensayadas de los antecedentes de la investigación

**Tabla 5***Proporciones para los Aditivos Según los Antecedentes*

Investigación (Tesis y/o Artículo de Revisión)	Probetas por Diseño de Mezcla	Edades de Rotura (días)	% de Reemplazo de AGR	% Optimo Reemplazo de AGR	% Humo de Sílice	% Optimo Humo de Sílice	% Plastificante	% Óptimo Plastificante
Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados	3 para compresión y 3 para tracción	28 días	0%, 20%, 40%, 60%, 80%	-	-	-	-	-
La influencia de los RCD en reemplazo de los agregados para la elaboración de concreto: Una revisión literatura	3 para compresión y 3 para tracción	-	-	<50%	-	-	-	-
Concreto elaborado con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados	3 para compresión y 3 para tracción	-	-	<50%	-	-	-	-
Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año-2019	3 para compresión y 3 para tracción	3, 7, 14, 28 días	0%, 25%, 50%, 75%, 100%	25%	-	-	-	-
Evaluación del diseño de concreto $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales” elaborada en la Universidad Nacional Federico Villareal	3 para compresión y 3 para tracción	3, 7, 28 días	35%	35%	-	-	-	-
Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 21, 28 días	0%,25%,30%,40%, 50%	40%	-	-	-	-
Estudio de la Influencia del Tipo y Porcentaje de Reemplazo de los Agregados Reciclados en las Propiedades del Concreto, Para Diseños de $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm <sup>2</sup> , en la Ciudad de Arequipa	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 28 días	0%, 25%, 50% 100%	<50%	-	-	-	-
Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando humo de sílice, Lima – 2020	3 para compresión y 3 para tracción	7, 14, 28 días	-	-	0%, 9%, 10%, 11%	10%	-	-
Análisis Del Concreto Elaborado Con Agregado Reciclado Producto De La Demolición De Veredas De Concreto Adicionado Con Humo De sílice Frente A Esfuerzos De Compresión Para El Reuso En Veredas En La Ciudad Del Cusco	9 para compresión	7, 14, 28 días	-	-	0%, 8%, 9%, 10%	8%	-	-
Evaluación Experimental del Uso de Microsílice para la Elaboración de Concreto de Alta Resistencia	8 para compresión	28 días	-	-	0%, 10%, 15%, 20%	10%	1% Y 1.5%	1.5%
Aplicación de Aditivo Microsílice, y Superplastificante Para el Diseño de Mezclas de Concreto de Alto Desempeño	3 para compresión y 3 para flexión	7, 14, 28 días	-	-	9%, 10%, 11%	10%	1%, 1.3%, 1.5%	1.5%
Concreto de Alto Desempeño Utilizando Hormigón con Adición de Microsílice y Superplastificante	3 para compresión y 3 para tracción	28 días	-	-	0%, 4%, 6%, 8%	6%	0%,0.8%, 1.2%, 1.6%	1.6%
Estudio Sobre el Efecto del Humo de Sílice Sobre las Propiedades Frescas y Endurecidas del Concreto	-	-	-	-	-	8-10%	-	-

*Nota.* Porcentaje De Adición De Humo De Sílice Y Aditivo Super Plastificante Según Los Antecedentes De La Investigación

De la literatura revisada podemos observar que las recomendaciones para el reemplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado son de menos del 50% de reemplazo y con la premisa de que, a mayor reemplazo, más bajas son las resistencias a compresión y tracción. De igual manera el humo de sílice las recomendaciones sugieren su adición en el rango del 6-10% y para el aditivo superplastificante se considerará la recomendación de la ficha técnica de 500 ml por cada bolsa de cemento, lo que representa aproximadamente el 1.4% del peso de la bolsa de cemento que encaja con las recomendaciones dadas en los antecedentes.

Se realizará el ensayo de compresión a 216 probetas con variaciones en 0%, 5%, 10% y 15% de humo de sílice, añadiendo 500ml de aditivo super plastificante por cada 42.5 kg de cemento y se realizará el remplazo de 0%, 25% y 50% de agregado reciclado para el diseño de concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , así como 216 probetas para el diseño de concreto  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

Se realizará el ensayo de tracción indirecta a 72 probetas con variaciones en 0%, 5%, 10% y 15% de humo de sílice, añadiendo 500ml de aditivo super plastificante por cada 42.5 kg de cemento y se realizará el remplazo de 0%, 25% y 50% de agregado reciclado para el diseño de concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , así como 72 probetas para el diseño de concreto  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

Se realizará el ensayo de determinación de la profundidad de carbonatación para los diseños óptimos tanto para  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$  mediante la perforación con diamantina de vigas a los 28 días de curado, posterior a ello, se expuso a la intemperie por 30 días.

Se comparará los valores de los resultados de los ensayos y mediante un análisis costo – beneficio se identificará las variaciones óptimas que otorguen mejores propiedades mecánicas al concreto.

Se evaluará si el uso de agregado grueso reciclado, junto con humo de sílice y aditivo superplastificante, puede ser adecuado para su aplicación en componentes estructurales y no estructurales de baja a moderada exigencia, tales como:

- Infraestructura urbana menor: Veredas, sardineles, aceras y pavimentos destinados al tránsito peatonal.
- Elementos estructurales de carga moderada: Columnas, vigas y placas aligeradas en viviendas o edificios.

- Cimentaciones superficiales: (zapatas corridas o aisladas) en estructuras livianas o de moderada carga.

### 3.6.2. Limitaciones

La investigación se encuentra delimitada en resistencias a la compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  debido a que con el uso del humo de sílice y aditivo plastificante se busca elaborar concretos de alta resistencia y que las resistencias propuestas son las más usadas en el país. A la vez se encuentra delimitada en el uso de aditivo plastificante de la marca Sika pues es la más comercial en el medio y ya que la tesis es autofinanciada, no se cuenta con los medios para poder comparar con otros aditivos plastificantes o superplastificantes de otras marcas. De igual forma la investigación se encuentra delimitada al uso de humo de sílice de la marca Sika ya que de igual manera es el más comercial y en la ciudad de Arequipa no es posible la elaboración propia del humo de sílice debido a que no se cuenta con la facilidad de hornos con las temperaturas necesarias para la fabricación del humo de sílice.



## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTO TEÓRICO**

## 1. Fundamento Teórico

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### 1.1.1. Internacional

Según Ulloa et al. (2018) en su artículo “Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados” publicada en la revista SciELO en la ciudad de Bogotá, se concluye que el incremento de la cantidad de agregado reciclado derivó en un decaimiento de la resistencia a la compresión puesto que el agregado reciclado más 10% de agregado fino evidencia resistencias más bajas a la degradación comparado con el agregado obtenido de cantera.

Además, menciona que los agregados reciclados de ladrillo cerámico y los agregados reciclados de concreto triturado son aptos para diseños de hormigón permeable, debido a que cumplen con los intervalos establecidos por el Comité ACI 522, 2010, cumpliendo con la resistencia a compresión 5.79 MPa y flexión 2.14 MPa, adicionalmente presentan una permeabilidad de 24,79 mm/s.

De acuerdo a los autores Muñoz et al. (2021) en su artículo de revisión mencionan que una de las mejores opciones para poder combatir el exceso de contaminación producida por la industria de la construcción y sus residuos sólidos de demolición es la elaboración de concretos reciclados, sin embargo, el máximo reto es encontrar el nivel de remplazo adecuado para que el concreto trabaje de manera adecuada, en el artículo se revisaron más de 50 documentos provenientes de copys, ScienceDirect y Scielo elaborados en los últimos 5 años, los cuales sintetizan que es poco eficaz el reemplazo total del agregado natural por uno reciclado ya que mientras mayor sea el porcentaje de agregado proveniente de la demolición menores serán sus propiedades mecánicas del concreto, los autores también concluyen que para que un concreto reciclado trabaje de forma adecuada el porcentaje de remplazo no debe exceder el 50%, además, los concretos de dichos estudios fueron elaborados sin ningún compuesto adicional.

**Tabla 6***Resultados de las propiedades mecánicas*

Autor	Residuo Utilizado	% de remplazo experimental		% Optimo de Remplazo	Relación a/c	Resistencia a la compresión MPa.			Resistencia a la tracción MPa (28 días)
						7 días	14 días	28 días	
Neponruceno et al. (20 18)	Ladrillo Reciclado	15%, 30%, 50% y 75%	AGR	75%	0.43	38.9	NME	47.1	2.66
Suárez et al. (2017)	Ladrillo Reciclado	20%, 35%, 50%, 70% y 100%	AFR-AGR	35%	0.5	NME	NME	43.4	2.52
Husseinetal., (2020)	Concreto Reciclado	75%	AFR-AGR	75%	0.35	NME	NME	15	2.08
Puente et al. (2020)	Concreto Reciclado	25%, 50%	AFR	25%	0.33	NME	NME	60.23	4.04
Bidabadi et al. (2020)	Concreto Reciclado	15%, 30%, 50%, 70% y 100%	AFR-AGR	30%	0.45	NME	NME	37.45	2.79
Revilla et al. (2020)	Concreto Reciclado	25%, 50%, 75% y 100%	AFFR	50%	NME	57.8	NME	61.5	NME
Salesa et al. (2017)	Concreto Reciclado	100%	AGR	100%	0.5	NME	54.2	62.1	NME
Sasanipou & Aslani (2020)	Concreto Reciclado	100%	AGR	100%	0.4	NME	NME	52	NME
Jian & Wu (2021)	Concreto Reciclado	50%, 70% y 100%	AGR	50%	0.42	NME	NME	43	NME
Raza et al. (2020)	Concreto Reciclado	100%	AGR	100%	0.5	19.5	NME	32	3
Laserna &Montero (2016)	Concreto Reciclado	20%, 50% y 100%	AGR	50%	0.5	38.2	NME	45.8	NME
Silva et al. (20 16)	Combinación de Residuos	25%, 50%, 75% y 100%	AFR-AGR	50%	0.45	22	NME	34	2.71
Saleem et al. (2021)	Combinación de Residuos	28%, 31%, 32%, 33.5%, 34%, y 34.5%	AGR	34.50%	NME	NME	NME	24	NME
Bravo et al. (20 15)	Combinación de Residuos	10%, 25%, 50%, y 100%	AGR	50%	NME	NME	NME	31.1	3.4
NME= No Menciona en el Estudio			AFR= Agregado Fino Reciclado			AGR=Agregado Grueso Reciclado			

*Nota.* Comparación de Resultados de las Propiedades Mecánicas de Investigaciones de Concretos Reciclados. Adaptada de “La Influencia de los RCD en Reemplazo de los Agregados Para la Elaboración de Concreto: Una Revisión Literatura” por Muñoz et al.,2021.

### 1.1.2. Nacional

Cipriano (2019) en su tesis “Concreto Elaborado con Agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Reciclados” elaborado en la Universidad Nacional De Ingeniería señala como parte de sus conclusiones que el agregado grueso tiene 12% más de superficie específica, 21% menos de peso unitario suelto, 18% menos de peso unitario compactado y 993% más de absorción que el agregado grueso natural.

Otra conclusión respecto a la resistencia a la compresión axial a los 28 días es que esta disminuye un 14% para la relación cemento y agregado 1:3, un 27% para la relación cemento y agregado 1:4 y un 9% para la relación cemento y agregado 1:5 con respecto a su concreto patrón.

Según Caycho y Espinoza (2019) en su tesis “Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito la molina, año-2019” elaborada en la Universidad Ricardo Palma” en la ciudad de Lima, manifiesta que de acuerdo a la dosificación de los materiales usados por metro cubico se realizaron 3 diseños con 25, 50 y 75% de agregado reciclado, obteniendo así reducciones en el cemento de 22, 44 y 66 kg respectivamente, en el agregado fino de cantera reducciones de 48, 88, 123 kg para los porcentajes antes mencionados; finalmente reducciones en el agua 11, 23, y 35 litros, en cuanto resistencias mecánicas, se realizaron dosificaciones de 25, 50, 75 y 100% de A.G.R. en compresión se vio un incremento del 1% para la 1ra dosificación, mientras que para los 3 restantes hubo un decaimiento del 5, 11 y 16% respectivamente, para sus resultados a la tracción, la 1ra hubo un aumento del 1%, las dos siguientes hubo una reducción del 10% y la última tuvo una reducción del 16%. Para la flexión todas presentaron una reducción del 12, 9, 11 y 16% respectivamente.

Según Erazo (2018) en su tesis “Evaluación del diseño de concreto  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales” elaborada en la Universidad Nacional Federico Villareal” en la ciudad de Lima, manifiesta que comparando los costos por metro cubico, se concluye que para el concreto con agregado reciclado tiene un costo de S/194.81 (con IGV), mientras que para el convencional su costo se eleva a S/211.08 (con IGV), lo que representa una diferencia porcentual del 8%, también pudo evidenciar que el concreto con agregado reciclado sobrepasa con casi 40% la resistencia requerida para elementos no estructurales a edades de 28 días.

Según Bazalar y Cadenillas (2019) en su tesis “Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  en estructuras aporricadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental” elaborada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en la ciudad de Lima deduce que mediante el método ACI, se hicieron 5 diseños de mezclas, uno de ellos con agregados obtenidos de cantera y los 4 restantes con dosificaciones del 25, 30, 40 y 50% de agregado de concreto reciclado. Eligiéndose la dosificación óptima del 40% ya que la resistencia a la compresión supera en 2.91% a la del concreto convencional, a su vez, concluye que el límite para el reemplazo por agregados reciclados es del 50%, ya que de ser mayor el porcentaje afectara directamente a su resistencia a la compresión tracción y flexión.

Gamboa (2020) en su tesis “Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  utilizando humo de sílice, Lima – 2020” realizada en la Universidad Cesar Vallejo concluye que al incorporar humo de sílice en dosificaciones del 9%, 10% y 11% presenta una mejoría en sus propiedades físicas con respecto al concreto patrón de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en la investigación se menciona que para una dosificación 9% se presentó una mejora de 19.32% en su resistencia a la compresión y 3.17% en la resistencia a la flexión, mientras que para una dosificación del 10% se ve un incremento positivo del 31.86% para compresión y 4.76% para flexión, y finalmente para la dosificación del 11% de humo de sílice se observa un incremento del 23.53% y 11.11% en resistencias a la compresión y tracción respectivamente, también se resalta el incremento del costo de elaboración en más del 50% con respecto al concreto patrón de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

### 1.1.3. Regional

Los resultados de Cáceres y Valencia (2018) muestran que los concretos  $f'_c=175, 210$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$  elaborados con agregados reciclados tiene un decrecimiento de resistencia a la compresión conforme va aumenta su  $f'_c$  requerido. Para poder mejorar el diseño es preferible usar reemplazos mínimos de agregado reciclado, también se concluye que los agregados reciclados de tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ ” muestran un mejor comportamiento que los de tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ ”, a su vez recomienda obtener los agregados reciclados de concretos de alta resistencia.

**Tabla 7**  
*Matriz Resumen del Estado del Arte*

Ítem	Autor (Año)	Título de la Investigación	Objetivo	Resultados y/o Conclusiones
1	Ulloa et al. (2018)	“Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados”	Se analizó el efecto que produce la incorporación de agregados reciclados, obtenidos de residuos de construcción y demolición en Bogotá, sobre el comportamiento mecánico del concreto permeable.	La incorporación de agregados reciclados reduce la resistencia a la compresión del concreto; sin embargo, los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas y se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma ACI.
2	Muñoz et al. (2021)	“La Influencia de los RCD en Reemplazo de los Agregados Para la Elaboración de Concreto: Una Revisión Literatura”	-Evaluar el uso de agregados reciclados en concreto como alternativa sostenible. -Determinar el porcentaje óptimo de reemplazo de agregados naturales por reciclados. -Sintetizar estudios sobre el impacto de los agregados reciclados en las propiedades del concreto.	-El reemplazo total de agregados naturales por reciclados reduce las propiedades mecánicas del concreto. -El porcentaje de reemplazo no debe superar el 50% para obtener buenos resultados. -Los concretos estudiados no incluían aditivos adicionales.
3	Cipriano (2019)	“Concreto Elaborado con Agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Reciclados”	-Evaluar el uso de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en la elaboración de concreto. -Analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con estos agregados reciclados en comparación con el concreto convencional.	-El agregado grueso reciclado tiene una superficie específica un 12% mayor, un peso unitario suelto 21% menor, un peso unitario compactado 18% menor y una absorción 993% mayor que el agregado grueso natural. -La resistencia a la compresión disminuye en un 14% para la relación cemento:agregado 1:3, un 27% para 1:4 y un 9% para 1:5, en comparación con el concreto patrón. -Resistencia a la compresión aumentó un 1% con el 25% de A.G.R., pero disminuyó en un 5%, 11% y 16% a medida que aumentó el porcentaje de reciclado.
4	Caycho y Espinoza (2019)	“Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito la molina, año-2019” elaborada en la Universidad Ricardo Palma”	-Evaluar el impacto de diferentes porcentajes de agregado reciclado (A.G.R.) en las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en resistencia a la compresión, tracción y flexión. -Analizar cómo la incorporación de agregado reciclado afecta la dosificación y la reducción de materiales como cemento, agregado fino de cantera y agua.	-La resistencia a la tracción mostró un comportamiento similar, con un aumento del 1% para el 25% de A.G.R. y disminuciones del 10% y 16% para las mayores proporciones. -En cuanto a flexión, todos los porcentajes mostraron una reducción en la resistencia, destacando disminuciones del 12% al 16% a medida que se aumentó el porcentaje de reciclado.
5	Erazo (2018)	“Evaluación del diseño de concreto $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales” elaborada en la Universidad Nacional Federico Villareal”	-Evaluar el costo de producción del concreto con agregado reciclado en comparación con el concreto convencional. -Analizar el desempeño mecánico del concreto reciclado en relación con los requisitos de resistencia para elementos no estructurales.	-El costo del concreto con agregado reciclado es un 8% más bajo que el concreto convencional, con un precio de S/194.81 (con IGV) frente a S/211.08 (con IGV) para el convencional. -El concreto reciclado supera en casi un 40% la resistencia requerida para elementos no estructurales a los 28 días, lo que evidencia que puede ser una opción eficiente y económica para su uso en estos elementos.
6	Bazalar y Cadenillas (2019)	“Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental”	-Proponer el uso de agregados reciclados en la elaboración de concreto estructural con un $f'c$ de 280 kg/cm <sup>2</sup> , en estructuras aporticadas. -Evaluar la resistencia a la compresión de diferentes dosificaciones de agregados reciclados y su impacto en el rendimiento del concreto estructural.	-La dosificación óptima de agregado reciclado es del 40%, ya que mejora la resistencia a la compresión en 2.91% en comparación con el concreto convencional. -El límite máximo recomendado para el reemplazo con agregado reciclado es 50%, ya que cualquier porcentaje superior afecta negativamente la resistencia a la compresión, tracción y flexión.
7	Gamboa (2020)	“Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando humo de sílice, Lima – 2020”	-Evaluar la mejora técnica y económica del concreto de $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> mediante la incorporación de humo de sílice. -Analizar el impacto de distintas dosificaciones de humo de sílice en las propiedades físicas del concreto.	-La incorporación de humo de sílice en porcentajes de 9%, 10% y 11% mejora la resistencia a la compresión y flexión del concreto. -Para la dosificación de 11%, se obtiene un aumento significativo en la resistencia a la compresión (23.53%) y tracción (11.11%), pero con un aumento del 50% en el costo de producción con respecto al concreto patrón.
8	Cáceres y Valencia (2018)	“Estudio de la Influencia del Tipo y Porcentaje de Reemplazo de los Agregados Reciclados en las Propiedades del Concreto, para Diseños de $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm <sup>2</sup> , en la Ciudad de Arequipa”	-Analizar la resistencia a la compresión de concretos $f'c=175, 210$ y 280 kg/cm <sup>2</sup> elaborados con agregados reciclados. -Determinar la influencia del tamaño de los agregados reciclados ( $3/4$ ” vs $1/2$ ”) sobre el desempeño del concreto. -Evaluar el tipo de concreto reciclado que mejora la resistencia a la compresión.	-La resistencia a la compresión disminuye a medida que aumenta el $f'c$ requerido en los concretos elaborados con agregados reciclados. -Para mejorar el desempeño, se recomienda utilizar reemplazos mínimos de agregado reciclado. -Los agregados reciclados de tamaño máximo de $3/4$ ” muestran un mejor comportamiento que los de $1/2$ ”.

Nota. Matriz del Estado de Arte (Internacional, Nacional y Regional).

## 2. Bases teóricas

### 2.1. Concreto

Es un material que resulta de la mezcla de agregados los cuales son rocas trituradas como la grava y la arena, material aglomerante como el cemento y agua, en algunas oportunidades con aditivos los cuales se encargan de mejorar las propiedades de la mezcla; durante su etapa fresca, la mezcla se presenta características plásticas, es decir puede ser moldeable con facilidad. Una vez endurecido adquiere propiedades mecánicas resistentes de un cuerpo sólido, es por ello que es el material más usado en la industria de la construcción (Torre, 2004).

#### 2.1.1. Componentes

##### 2.1.1.1. Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material granular de dimensiones superiores a los 4.75 mm equivalente a la malla N° 4, este puede tener una desintegración mecánica o natural hasta alcanzar su tamaño final (Instituto Nacional de Calidad, 2008).

##### 2.1.1.2. Agregado Fino

Según Torre (2004) señala que el agregado fino es aquel material inorgánico de origen artificial o natural cuyas dimensiones son menores al tamiz 3/8" pero superiores al de la malla N° 200.

##### 2.1.1.3. Cemento Portland

El cemento portland se obtiene al pulverizarse el clinker en adición con sulfato de calcio o sus derivados, el cual es un conglomerante hidráulico, es decir, permite mediante la adición de agua combinar componentes y adherirlos en un conjunto, una vez culminada su pérdida de plasticidad y endurecimiento presenta estabilidad y resistencia (CEMEX, 2019).

#### 2.1.1.4. Agua

Abanto (2009) Menciona que el agua es un material indispensable para la elaboración de concreto, ya que actúa como lubricante haciendo que el concreto sea más trabajable, el agua a usarse debe estar libre de ácidos, materias orgánicas y aceites, debe ser un agua libre de olor y sabor, de preferencia se puede usar agua de consumo humano. Las sustancias presentes en el agua a usarse en la elaboración de concreto deben estar por debajo de los siguientes valores:

**Tabla 8**  
*Valores Máximos Admisibles de Sustancias en Agua*

Sustancias Disueltas	Valor Máximo Admisible (ppm=partículas por millón)
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

*Nota:* Valores máximos de sustancias solubles en agua para elaboración del concreto. Adaptado de “Tecnología del Concreto” por F. Abanto, 2009.

### 2.1.2. Propiedades del Concreto en Estado Fresco

#### 2.1.2.1. Asentamiento del concreto

El asentamiento mide la fluidez del concreto en su estado fresco para poder ser mezclado, maniobrado, trasladado y vaciado sin que pierda su uniformidad; la gradación, textura y forma de los agregados, así como los aditivos usados en la elaboración del concreto, muestran gran influencia en la trabajabilidad del concreto (Torre, 2004).

#### 2.1.2.2. Temperatura

El control de la temperatura del concreto en estado fresco es importante para garantizar que no afecte en el fraguado acelerado de la mezcla, ya que altas temperaturas producen una rápida hidratación del cemento, la temperatura del concreto depende del aporte calórico de cada uno de sus componentes, dicha temperatura incide directamente en el asentamiento y el contenido de aire, las temperaturas del concreto deben oscilar entre 10° y 29°C (Sanchez, 2001).

### 2.1.2.3. *Densidad y Rendimiento del Concreto*

La densidad del concreto es la relación entre su masa y su volumen, mientras que el rendimiento del concreto es el volumen de concreto producido a partir de una mezcla con cantidades conocidas de los materiales. (INACAL, 2008)

## 2.1.3. **Propiedades del Concreto en Estado Endurecido**

### 2.1.3.1. *Resistencia a la Compresión*

Se entiende como resistencia a la compresión a la capacidad del concreto ya fraguado a soportar cargas que tienden a reducir el volumen de la muestra sobre un área determinada sin que esta se agriete o llegue a su falla, la mezcla alcanza su máxima resistencia a los 28 días, la resistencia a la compresión actúa de manera directamente proporcional sobre la mayoría de las propiedades del concreto en estado endurecido (Abanto, 2009).

### 2.1.3.2. *Resistencia a la Tracción*

La resistencia a la tracción es la oposición que muestra el concreto a fallar frente a fuerzas que intentan expandir su volumen, la resistencia a la tracción es menor al módulo de rotura y a la resistencia a la compresión del concreto, su uso principal en el cálculo estructural de elementos es para obtener el esfuerzo cortante del concreto y la longitud de desarrollo del acero de refuerzo en elementos de concreto armado; el método indirecto para calcular la resistencia a la tracción consiste en aplicar cargas de compresión en el largo del cilindro de concreto a una velocidad controlada hasta provocar su falla (Instituto Nacional de Calidad, 2017).

### 2.1.3.3. *Profundidad de Carbonatación*

La carbonatación del concreto es uno de los principales factores de la disminución de durabilidad de concreto, este fenómeno se produce debido a la interacción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el ambiente con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) del concreto, derivando en una disminución de la alcalinidad del concreto. El objetivo principal de esta medida es determinar si la carbonatación ha alcanzado la armadura, lo que permitirá evaluar si ha causado o contribuido al desarrollo de la corrosión en caso de que esta haya ocurrido.

La medida de la profundidad de la capa carbonatada en los concretos se basa en la determinación de la reducción de la alcalinidad que supone la carbonatación, la cual puede ponerse de manifiesto mediante un indicador de pH, que la hace visible por cambios de coloración: toma color rojo-púrpura para valores de pH superiores a 9,5 (concreto no carbonatado) y se vuelve incolora en valores inferiores a 8 (concreto carbonatado). Para valores entre 8 y 9,5 toma tonalidades entre rosa y rojo-púrpura. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

#### 2.1.4. Agregados

##### 2.1.4.1. Características del Agregado

Debido a que el concreto este compuesto aproximadamente por tres cuartas partes de agregados es por ello por lo que es importante la caracterización y elección de los materiales, pues estos presentan gran influencia en la resistencia y durabilidad final de la mezcla de concreto (Torre, 2004).

Para poder caracterizar los agregados que se utilizan en el presente trabajo de investigación se presenta la Tabla 6.

**Tabla 9**  
*Características de los Agregados*

Agregado	Tipo	Procedencia	Tamaño
Agregado Grueso Natural	Angular	Cantera Natural	1/2"
Agregado Fino	Arena Gruesa	Cantera Natural	-
Agregado Grueso Reciclado	Angular	Trituración de Escombros	1/2"

*Nota.* Características de los Agregados a Emplearse en la Elaboración del Concreto Reciclado.

##### 2.1.4.1.1. Análisis Granulométrico

Con el presente ensayo se pretende precisar la distribución del tamaño de las partículas en el agregado grueso y fino, esto se realiza mediante el tamizado de una muestra seca la cual va pasando por una serie de tamices con aberturas ordenadas de forma decreciente, se desea que la distribución de partículas sea uniforme ya que con esta característica se asegura una correcta distribución de los agregados en la elaboración del concreto y estas deben cumplir con límites granulométricos determinados en la Norma Técnica Peruana 400.037, los resultados se expresan en una curva granulométrica donde se presenta el porcentaje de pasante vs la abertura del tamiz en mm (Instituto Nacional de Calidad, 2001).

#### 2.1.4.1.2. *Contenido de Humedad*

El contenido de humedad en los agregados fino y grueso se refiere a la cantidad de agua evaporable presente tanto en la superficie de las partículas y al agua ubicada en los vacíos internos del agregado, es una característica del agregado de gran interés para poder determinar las cantidades de materiales para la elaboración de concretos, el contenido de humedad se expresa en porcentaje y se compara el peso de la muestra en su estado original y su peso una vez la muestra haya pasado por un proceso de secado en horno (Instituto Nacional de Calidad, 2013).

#### 2.1.4.1.3. *Peso Unitario Suelto y Compactado*

Esta propiedad simboliza el peso del agregado contenido en un volumen determinado y es de gran utilidad sobre todo para poder compatibilizar y expresar cantidades de masa en volumen para nuestro diseño de mezcla, el ensayo normalizado este dado por la Norma Técnica Peruana 400.017 donde también indica el procedimiento para el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas de los agregados (Torre, 2004).

#### 2.1.4.1.4. *Peso Específico y Absorción*

Las propiedades de densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de los agregados gruesos y finos están dados por las Normas Técnicas Peruanas 400.021 y 400.022 respectivamente, la densidad se entiende como la masa contenida en una unidad de volumen del agregado, mientras que la densidad relativa se refiere a la conexión entre la densidad del material con la densidad del agua a temperatura conocida y a su vez, la absorción se define como la capacidad retener agua en los vacíos de aire del agregado; según el estado del agregado se puede obtener tanto para la densidad promedio como la densidad relativa, densidades en estado seca al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSD) y densidades aparentes. La absorción es un valor que al igual que el contenido de humedad influye en la determinación de cantidades de materiales para la elaboración del concreto (Instituto Nacional de Calidad, 2018).

## 2.2. Diseño de Mezcla

### 2.2.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados

Este método para el diseño de mezclas de concreto propuesto por Stanton Walker nace de cuestionamientos al método elaborado por el comité 211 del ACI, el proceso propuesto por el ACI calcula el contenido de agregado fino mediante la diferencia de la suma de volúmenes absolutos del agregado grueso, cemento, agua y aire en relación a la unidad; la disyuntiva se presenta debido a que, sin importar la resistencia deseada, mientras se mantenga el módulo de fineza del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso constantes, el contenido de agregado grueso no variará, el procedimiento de S. Walker busca que las características granulométricas tanto del agregado fino y grueso tomen injerencia en el diseño de mezcla; el porcentaje de los agregados dependerá de su módulo de fineza de cada uno de los áridos y de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad (Rivva, 1992).

**Tabla 10**  
*Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados*

TMN	Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados para contenidos de cemento en sacos/m <sup>3</sup>				
	5	6	7	8	9
3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
2	5.78	5.86	5.94	6.01	5.09
3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

*Nota.* Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados para contenidos de cemento en sacos/m<sup>3</sup>. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

Para determinar los porcentajes del agregado fino y grueso el ACI Committee 211, (2002) brinda las siguientes formulas:

$$r_f = \frac{mg - mca}{mg - mf} \quad (1)$$

Donde:

- $r_f$ : Porcentaje de agregado fino en relacion a volumenes absolutos.
- $mg$ : Modulo de Fineza del Agregado Grueso.
- $mf$ : Modulo de Fineza del Agregado Fino.

- *mca*: Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados.

Según el autor, el método de combinación de agregados usa el siguiente proceso para la elaboración del diseño de mezclas:

- Determinar la Resistencia Requerida (Tabla 6).
- Selección Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso.
- Selección de asentamiento requerido (Tabla 7).
- Determinación del Contenido de Aire (Tabla 8).
- Determinación del Volumen de Agua (Tabla 9).
- Relación Agua / cemento (Tabla 10).
- Contenido de Cemento.
- Cálculo del volumen absoluto de los agregados.
- Determinación del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados (Tabla 11).
- Determinación de los porcentajes y volúmenes absolutos del agregado grueso y fino.
- Cálculo de pesos de los componentes en estado seco.
- Corrección por humedad y absorción.
- Presentación de Pesos de los Componentes en Estado Húmedo.

**Tabla 11**  
*Resistencia Requerida*

$f'c$ especificada	$F'cr$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<210	$F'cr=f'c+70$
210-350	$F'cr=f'c+84$
>350	$F'cr=f'c+98$

*Nota.* Resistencia Requerida. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

**Tabla 12**  
*Asentamiento de Concreto Según Tipo de Estructuras*

Tipo de Estructuras	Slump (mínimo- máximo)
Zapata y muros de contención reforzado	1-3
Cimentaciones simples y calzaduras	1-3
Vigas y muros armados	1-4
Columnas	2-4
Muros y pavimentos	1-3
Concreto ciclópeo	1-2

*Nota.* Asentamiento de Diseño. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

**Tabla 13**  
*Porcentaje de Aire Atrapado*

TMN del Agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8	3
1/2	2.5
3/4	2
1	1.5
1 1/2	1
2	0.5
3	0.3
4	0.2

*Nota.* Aire atrapado según el TMN del agregado grueso. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

**Tabla 14**  
*Volumen de Agua por Metro Cúbico de Concreto*

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TMN agregados y consistencia indicada							
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
Concreto sin aire incorporado								
1-2	207	199	190	179	166	154	130	113
3-4	228	216	205	193	181	169	145	124
6-7	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1-2	181	175	168	160	150	142	122	107
3-4	202	193	184	175	165	157	133	119
6-7	216	205	187	184	174	166	154	-

*Nota.* Agua en lt/m<sup>3</sup>, para TMN agregados y consistencia indicada. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

**Tabla 15**  
*Relación Agua / Cemento*

f'c kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua / cemento en peso	
	Sin Aire Incorporado	Con Aire Incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	
450	0.38	

*Nota.* Relación Agua/Cemento. Adaptado de “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete” por ACI Committee 211, 2002.

### **2.3. Concreto Reciclado**

El Instituto Nacional de Calidad (1999) define como concreto reciclado a la combinación de agua, cemento y agregados cuya procedencia sea producto de la trituración de residuos de la demolición de estructuras simples o reforzadas, dichos fragmentos deberán ser triturados hasta alcanzar dimensiones similares a los agregados naturales, a su vez indica que el concreto reciclado puede contener en su totalidad o de forma parcial agregados reciclados.

#### **2.3.1. Residuos Sólidos de Construcción y Demolición**

El Ministerio del Ambiente (2000) menciona que producto de la demolición de infraestructuras se genera escombros al cual lo denomina residuo solido de Construcción, estos se pueden clasificar en peligroso y no peligroso, entendiéndose como peligroso aquel que su gestión y/o tratamiento involucre un riesgo alto a la salud de las personas.

El Ministerio del Ambiente (2008) muestra la descomposición porcentual de los componentes de escombros de Residuos Sólidos de Construcción que se derivan a los botaderos de la ciudad de Lima, obteniendo escombros separados en:

**Tabla 16***Composición Porcentual de los Componentes de Escombros*

Material	Porcentaje (%)
Ladrillos y otros cerámicos	54.00
Hormigón	12.00
Piedra	5.00
Arena, grava y otros áridos	4.00
Madera	4.00
Vidrio	0.50
Plásticos	1.50
Metales	2.50
Asfalto	5.00
Yeso	0.20
Papel	0.30
Basura	7.00
Otros	4.00

*Nota.* Composición Porcentual de los Componentes de Escombros. Adaptada de “Diagnóstico de Residuos Sólidos de la Construcción y Demoliciones en el Perú” por Ministerio del Ambiente, 2008.

### 2.3.2. Clasificación y Manejo de Residuos de Construcción y Demolición

De acuerdo con Muñoz et al. (2021) indica que, por la gran cantidad de botaderos ilegales, se desarrollaron dos grandes tecnologías con el fin de reutilizar el material de escombros proveniente de la demolición, la primera tecnología es la Recuperación en Seco avanzada (ADR), la cual tiene como propósito triturar bloques de escombros hasta obtener partículas gruesas (12 a 4 mm), finas (4-0.25 mm) y ultrafinas (<0.25 mm), la segunda es un Sistema de clasificación de aire de calefacción (HAS), el cual usa aire caliente para poder clasificar las partículas finas de las ultrafinas.

El Instituto Nacional de Calidad (1999) presenta un cuadro donde menciona la clasificación, así como también las opciones de manejo de los residuos como se muestra en la Figura 1, en dicha tabla se puede apreciar que la norma categoriza al concreto de demolición como reciclable; también especifica que las fracciones obtenidas deben ser tratadas para obtener materiales secundarios que permitan su reciclaje, además brinda un esquema de las opciones de aprovechamiento de residuos de construcción como se ve en la Figura 2.

**Tabla 17***Clasificación y Opciones de Manejo de Residuos de la Construcción*

	Excedentes de Remoción	Excedentes de Obra	Escombros
Reutilizables	Agregados, piedras  Tierras con contenido orgánico	Cementos y aglomerantes, retazos de fierro  Alambres, piedras, productos cerámicos.	Productos cerámicos, piedras
Reciclables	Bolonería	Concreto sobrante Casquete de ladrillo	Mezcla asfáltica de demolición Concreto de demolición Material no bituminoso de demolición de carreteras Material de demolición no clasificado Mezcla de ladrillo con mortero
Para Disposición Final	Materiales Contaminados, otros	Materiales Contaminados, otros	Escombros Contaminados

*Nota.* Clasificación y Opciones de Manejo de Residuos de la Actividad de la construcción. Adaptada de “NTP 400.050 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Generalidades” por Instituto Nacional de Calidad, 1999.

**Tabla 18**

*Opciones de aprovechamiento de Residuos de la Construcción*

	Mezcla Asfáltica de Demolición PNTP 400.051		Material no Bituminoso de Demolición de Carreteras PNTP 400.052	Concreto de Demolición PNTP 400.053	Materiales de Demolición no Clasificados PNTP 400.054	Excedentes de Remoción PNTP 400.055
Procedencia	Carpetas Asfálticas	Tratamiento asfáltico superficial	Bases y subbases granuladas no tratadas de pavimentos	Losas de Concreto	Edificaciones, carreteras, canales	Suelos a remover
Procesos de Obtención de Fracciones de los Residuos	Fresado	Levantamiento /fresado	Remoción / fresado	Levantamiento / fresado	Demolición selectiva	Levantamiento
Proceso de Obtención de Materiales Secundarios	-	Chancado	Chancado	Chancado / selección	Chancado / selección	-
Material Secundario Obtenido	Granulado de Asfalto		Granulado no Bituminoso de Carreteras	Granulado de Concreto	Granulado no clasificado	-
Usos	Nivel de Recomendación					
Tipo I	Carpeta Asfáltica	1	-	-	-	-
	Losas de Concreto	-	-	1	-	-
	Morteros	-	2	-	-	-
	Concreto	-	2	1	1	-
	Ladrillos	-	1	1	1	-
Tipo II	Bases sin Aglomerante	2	1	2	2	-
	Sub-base	2	1	2	-	-
	Capa Sub-rasante	2	1	2	2	-
Tipo III	Rellenos no portantes	3	3	3	3	1
	Taludes contra ruido	3	3	3	3	1
	Rellenos Sanitarios	-	3	3	3	1
Usos:	Tipo I: Opciones con uso de aglomerantes (cemento y asfalto).					
	Tipo II: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mayor exigencia técnica.					
	Tipo III: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mínima exigencia técnica.					
Niveles de Recomendación	1: Uso óptimo bajo el criterio de uso de materiales con la opción de mayor exigencia técnica posible.					
	2: Uso posible asumiendo pérdida en el potencial de reciclaje de la obra realizada con este material secundario.					
	3: Opción menos recomendable.					

*Nota.* Opciones de aprovechamiento de Residuos de la Actividad de la Construcción. Adaptado de “NTP 400.050 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Generalidades” por Instituto Nacional de Calidad, 1999.

Según el Instituto Nacional de Calidad (1999) en esta tabla se observa que la procedencia de concreto de demolición puede venir de losas de concreto, edificaciones, carreteras, canales; en cuanto al proceso de obtención de las fracciones de residuos se da por levantamiento o demolición selectiva; en cuanto al proceso de obtención de materiales secundarios (agregado grueso) se da por chancado/selección.

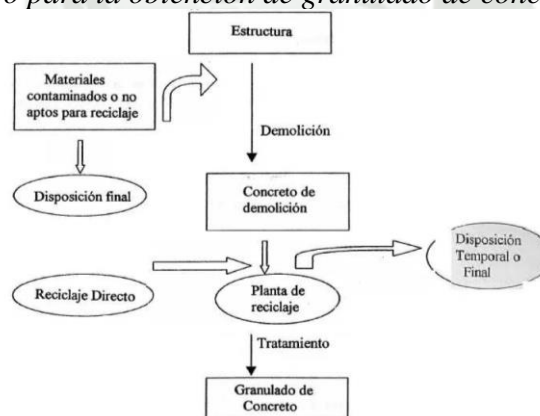
Además, el autor respecto al nivel de recomendación califica el uso para concreto como 1, el cual significa un uso óptimo bajo el criterio de uso de materiales con la opción de mayor exigencia técnica posible.

### 2.3.3. Proceso de Obtención de Agregados Reciclados

El Instituto Nacional de Calidad (1999) señala que para la obtención de óptimos agregados reciclados es importante que previo a la demolición de las estructuras seleccionadas se escoja y separe todo aquel material que pueda contaminar la muestra como vidrios, cerámicos, etc. Además, presenta los siguientes diagramas de flujo del proceso de obtención de agregados reciclados y del tratamiento posterior.

**Figura 1**

*Diagrama de Flujo para la obtención de granulado de concreto*

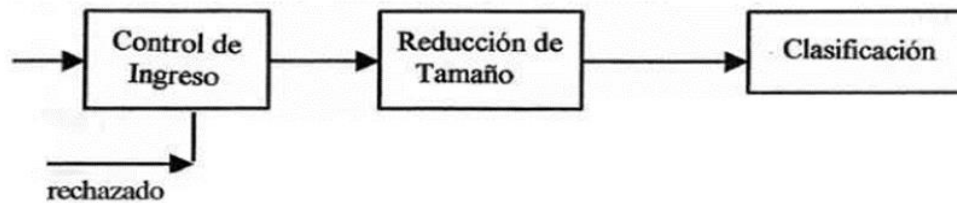


*Nota.* Diagrama de Flujo para la obtención de Agregados reciclados para concreto de demolición. Adaptado de “NTP 400.053 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Reciclaje de Concreto de Demolición” por Instituto Nacional de Calidad, 1999.

Donde, según el autor:

- Estructura: Puede ser de concreto simple o concreto armado.
- Demolición: Mediante demolición manual o mecánica (Previamente se seleccionan los materiales no aptos para reciclaje).
- Planta de reciclaje: Se establece un control por inspección ocular de ingreso y de salida.
- Tratamiento: trituración, separación de partes metálicas y clasificación mediante granulometría.

- Almacenamiento temporal: Se debe almacenar de ser posible de acuerdo con su procedencia y uso posterior.

**Figura 2***Diagrama de Flujo de un Posible Tratamiento de Concreto de Demolición*

*Nota.* Diagrama de Flujo de un Posible Tratamiento de Concreto de Demolición. Adaptado de “NTP 400.053 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Reciclaje de Concreto de Demolición” por Instituto Nacional de Calidad, 1999.

**2.3.4. Trituradora de Impacto**

Nedeljkovic et al. (2021) menciona que la obtención de agregados reciclados producto de demoliciones se puede realizar mediante técnicas de reciclaje, entre las más usadas se tiene:

- Triturado de mandíbula (mecánica).
- Trituradora de impacto (mecánica).
- Trituradora de rotor (mecánica).
- Recuperación en seco avanzada (mecánica y térmica).

El autor también apunta que el tratamiento mecánico ayuda a la separación y reducción de tamaños de partículas, mientras que el tratamiento térmico se concentra en la separación de la pasta de mortero del agregado pétreo.

Además, menciona que la trituración es un proceso el cual se puede realizar las veces que sea necesario, pero no es lo más recomendable, ya que con este método no se logra separar las partículas de cemento impregnadas en el agregado y que a su vez al realizar un mayor número de trituraciones provoca el aumento de partículas ultrafinas las cuales afectan a la trabajabilidad y pueden retrasar el proceso de fraguado del concreto reciclado.

Según Universidad Politécnica de Valencia (2013) indica que las trituradoras de impacto proporcionan curvas mejor graduadas en relación con las chancadoras de mandíbulas, así como buen factor de forma, el proceso de triturado se da de la siguiente manera: El material a procesar cae a la cámara de trituración a través de un chute como guía y es chancado por la acción de impacto que puede ser: por barras de choque (elementos percutores, fijas y de sección rectangular) o martillo (colección de martillos de percusión situados a lo largo de varios ejes) hasta que pasa la abertura con el tamaño preseleccionado.

### 2.3.5. Uso del granulado de concreto como agregado

El Instituto Nacional de Calidad (1999) señala que los ensayos que se han de realizar para hallar la competencia del granulado dependerán del diseño del producto final, por lo que dichos ensayos se realizarán sobre el producto final por el consumidor antes de que sea utilizado en obra, si es el productor quien decide realizar los ensayos, deberá realizarlos por lote y se debe indicar la fecha de realización del ensayo, así como la edad del producto, además, resalta que es importante la procedencia del concreto de demolición para el uso del granulado de concreto y la tabla a continuación muestra los usos posibles de acuerdo con la procedencia:

**Tabla 19**  
*Granulado de concreto en función del uso previsto*

Usos	Procedencia		
	Concretos de mediana y baja resistencia (Veredas, pisos de viviendas)	Losas de Pavimentos	Concretos Estructurales (Columnas, placas y cimientos de edificios, puentes, concretos especiales)
Pavimentos de Tráfico ligero	-	✓	✓
Cicloviás	✓	✓	✓
Losas Deportivas	✓	✓	✓
Veredas	✓	✓	✓
Patios	✓	✓	✓
Cimientos	✓	✓	✓
Concreto Simple masivo	✓	✓	✓
Rellenos no Portantes	✓	✓	✓

*Nota.* Procedencia del Granulado de concreto en función del uso previsto. Adaptado de “NTP 400.053 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Reciclaje de Concreto de Demolición” por Instituto Nacional de Calidad, 1999.

### 2.4. Aditivos

### 2.4.1. Humo de Sílice

El humo de sílice o microsíllice es un “sílice muy fino y no cristalino” de colores grises, suele definirse como una “super puzolana” por las propiedades que proporciona al cemento, se trata de un mineral compuesto de dióxido de silicio amorfo y ultrafino, que resulta del proceso de obtención de ferrosilicio o silicatos, involucrando la reducción en horno de arco eléctrico a temperaturas superiores a 2000°C (Allauca et al., 2009).

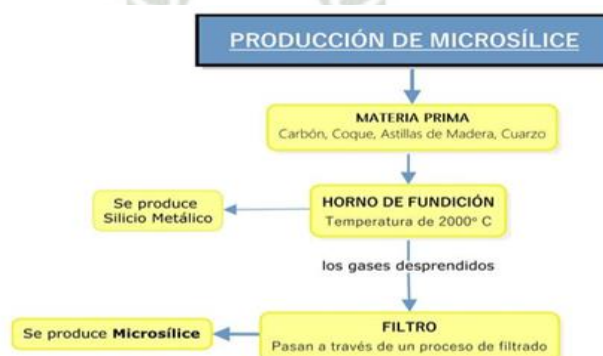
#### 2.4.1.1. Características y Propiedades

El humo de Sílice al ser partículas tan finas, estas actúan llenando los espacios vacíos en la pasta, haciendo que el concreto mejore sus propiedades adherentes, creando mayor compacidad a la vez que brinda más fluidez a la mezcla, además, ayuda a reducir la exudación de agua en la superficie y reduce la permeabilidad del concreto y esto último conlleva a incrementar su durabilidad, en cuanto a la resistencia del concreto, se han obtenido aumentos considerables desde 20% al 50%, obteniendo mayores beneficios con el uso de plastificantes, la dosificación del humo de sílice varía 5 y 15% del peso del cemento, a su vez, otra propiedad que resultó de la adición de humo de sílice al concreto es el incremento de la resistencia al ataque de sulfatos y cloruros, donde se observó que reduce casi hasta eliminar una probable reacción álcali sílice, esto significa una mayor durabilidad del concreto en condiciones de bajas temperaturas (Allauca et al., 2009).

#### 2.4.1.2. Proceso de Obtención

La Asociación de Humo de Sílice (2005) bajo la filosofía “reducir, reutilizar, reparar y mejorar la eficiencia en el uso de recursos” muestra un esquema del proceso de obtención que se presenta a continuación:

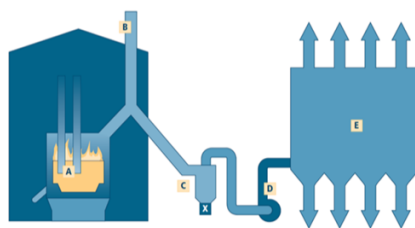
**Figura 3**  
*Producción de Microsíllice*



*Nota.* Esquema de producción de Microsíllice. Adaptada de “Manual de Usuario de Humo de Sílice” por Silica Fume Association, 2005.

De igual manera brinda el proceso de recolección del humo de sílice:

**Figura 4**  
*Proceso de recolección de Microsílice*



*Nota.* Esquema del proceso de recolección de Microsílice, A: Horno de arco eléctrico. B: Chimenea. C: Precolector. D: Ventilador. E: Filtro de bolsa de aire. Adaptada de “Manual de Usuario de Humo de Sílice” por Silica Fume Association, 2005.

#### **2.4.2. Aditivo Plastificante**

##### *2.4.2.1. Definición*

Como describe Sika Perú (2021) al aditivo plastificante, es un aditivo en estado líquido, que se usa durante el mezclado de los materiales para concretos y morteros, su principal función es recubrir las partículas de cemento impidiendo su fricción y volviendo a la mezcla más fluida y trabajable, reduciendo la cantidad de agua necesaria y mejorando sus propiedades mecánicas, dicho aditivo resulta de la mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos que muestra una apariencia marrón oscura, dependiendo de su dosificación se puede utilizar como un aditivo plastificante o superplastificante.

##### *2.4.2.2. Características y Propiedades*

En cuanto a sus propiedades físicas, es decir las propiedades del concreto en estado fresco se muestra que el principal beneficio del uso de aditivo plastificante esta dado en el asentamiento ya que puede llegar a ser hasta de 8 pulgadas, lo que se interpreta como una mezcla más fluida, consistente y trabajable, sin tener que variar la relación a/c la cual es perjudicial para sus propiedades mecánicas, en tanto a sus propiedades mecánicas se observa que el aditivo plastificante ayuda a obtener mayores resistencias en sus primeros 7 días en comparación de un concreto elaborado convencionalmente, de igual manera, encontramos que la resistencia a la flexión o tracción muestran mejores resultados (Rodríguez, 2020).



## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA PROPUESTA**

## 1. DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es experimental según Hernandez et al. (2014) en su libro “Metodología de la Investigación” menciona que los diseños experimentales de acepción particular son aquellos donde existen cambios de una o más variables dependientes, esto debido al manejo de una o más de una variable independiente.

También, se tiene que según Zapatero (2010) en su libro “Fundamentos de Investigación para estudiantes de Ingeniería” menciona que el método lógico Inductivo es un razonamiento mediante el cual se da conclusiones generalizadas a partir de la observación, este puede ser completo cuando se logra observar todo el objeto de estudio o incompleto de ser el caso contrario.

Además, según Hernandez et al. (2014) menciona que el enfoque cuantitativo utiliza la estadística para poder recolectar datos con el fin de demostrar hipótesis planteadas.

## 2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### Etapa 1

- Revisión bibliográfica del humo de sílice
- Revisión bibliográfica del aditivo plastificante
- Revisión bibliográfica del uso de material de demolición

### Etapa 2

- Recolección de concreto proveniente de una demolición
- Preselección manual de impurezas en el concreto demolido
- Trituración del material (Trituradora de impacto)
- Selección del agregado grueso reciclado para ensayos
- Adquisición de los componentes convencionales del concreto
- Obtención del aditivo plastificante Sika
- Obtención del humo de sílice Sika
- Caracterización de los materiales
- Determinar proporciones a usar de humo de sílice y aditivo plastificante

## Etapa 3

- Elaboración de diseño de mezcla a través de la adición del 0%, 5%, 10% y 15% de humo de sílice, 0 ml y 500 ml de aditivo plastificante y 0%, 25% y 50% de agregado reciclado para una resistencia de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Elaboración de diseño de mezcla a través de la adición del 0%, 5% y 20% de humo de sílice, 0 ml y 500 ml de aditivo plastificante y 0%, 25% y 50% de agregado reciclado para una resistencia de  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ .
- Realizar según la NTP 339.033 (Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra)
- Realizar según la NTP 339.046 (Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento del concreto)
- Realizar según la NTP 339.035 (Método para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams)
- Realizar según la NTP 339.184 (Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto)

## Etapa 4

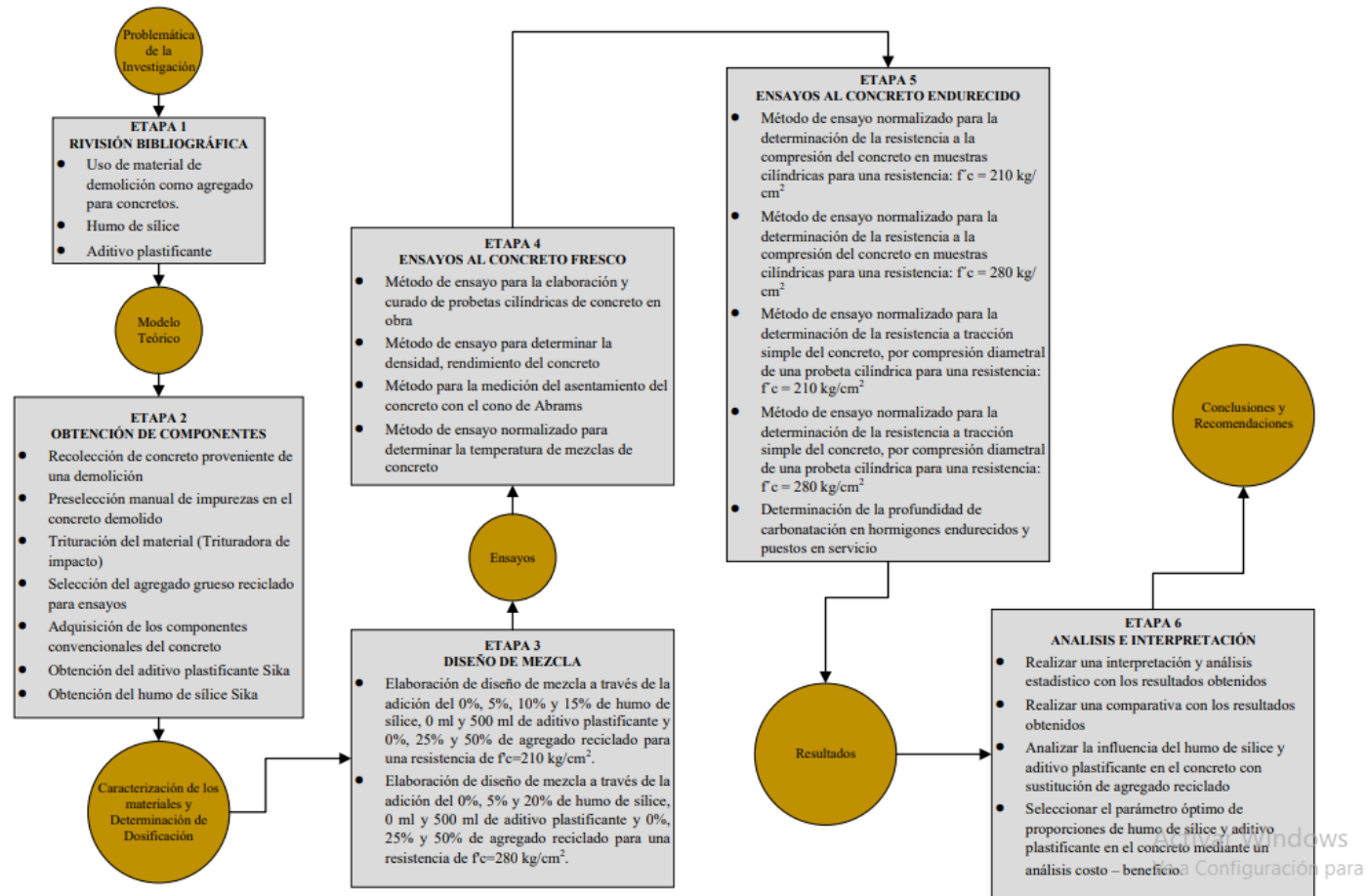
- Realizar según la NTP 339.034 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas) para una resistencia:  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Realizar según la NTP 339.034 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas) para una resistencia:  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Realizar según la NTP 339.084 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica) para una resistencia:  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Realizar según la NTP 339.084 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica) para una resistencia:  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Realizar según UNE 112011 (Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio)

### Etapa 05

- Realizar una interpretación y análisis estadístico con los resultados obtenidos
- Realizar una comparativa con los resultados obtenidos
- Analizar la influencia del humo de sílice y aditivo plastificante en el concreto con sustitución de agregado reciclado
- Seleccionar el parámetro óptimo de proporciones de humo de sílice y aditivo plastificante en el concreto mediante un análisis costo – beneficio.



**Figura 5**  
*Mapa de Procesos del Procedimiento de la Investigación*



*Nota.* Mapa De Procesos Propuesto Para El Procedimiento De La Investigación

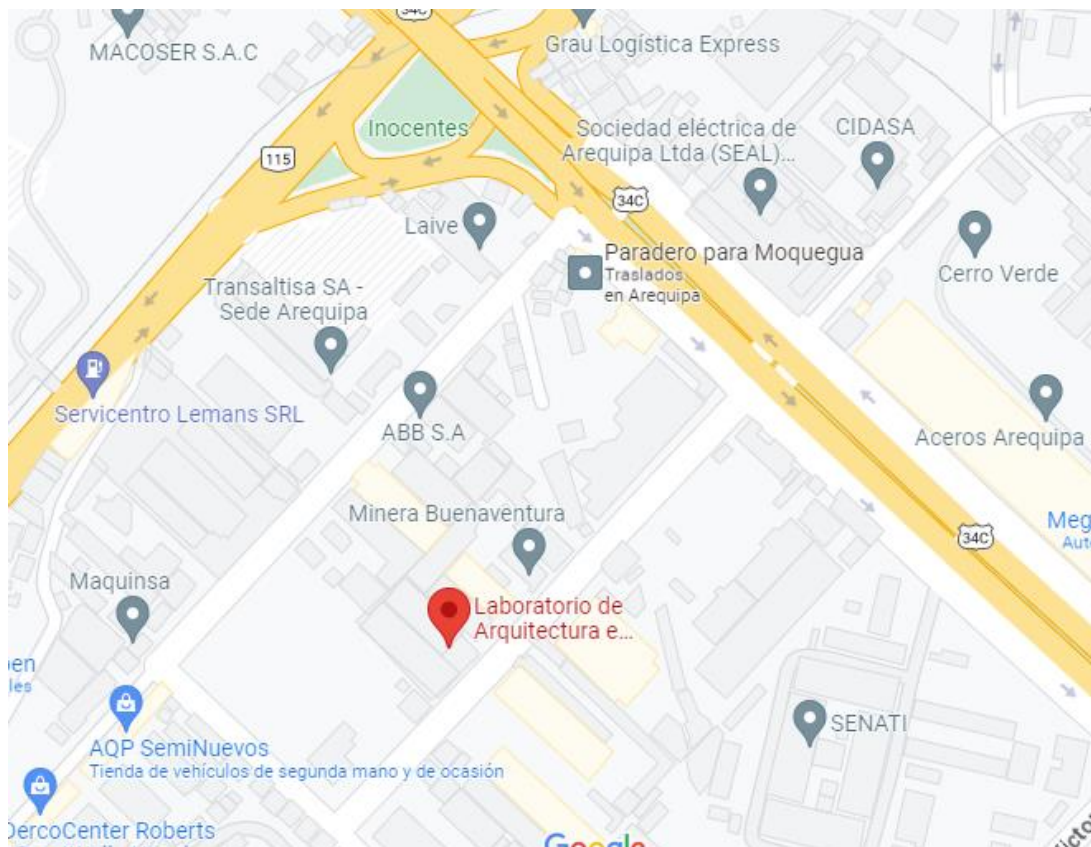
### 3. Ubicación espacial temporal

#### 3.1. Campo de verificación

Los ensayos correspondientes referentes a la parte experimental se realizaron en los laboratorios de concreto de la Universidad Católica de Santa María.

**Figura 6**

*Laboratorio de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente - UCSM*

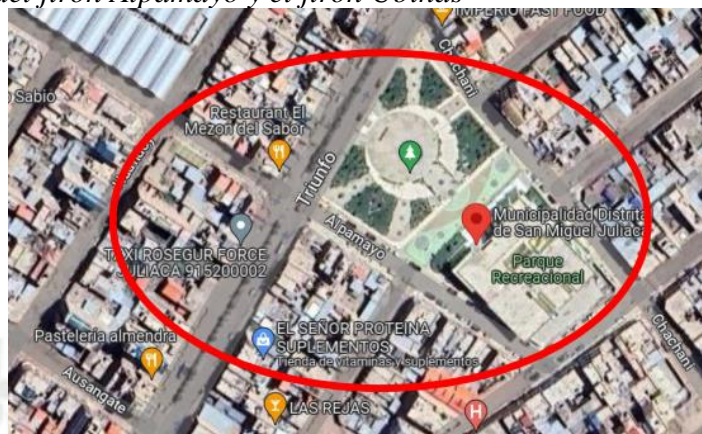


*Nota.* Ubicación del Laboratorio de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente – UCSM. Adaptada de Google Maps, 2024.

#### 3.2. Área de estudio

La ubicación del área de estudio será de las demoliciones ubicadas en el jirón Alpamayo y el jirón Ubinas de la obra “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal de Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

**Figura 7**  
*Ubicación del jirón Alpamayo y el jirón Ubinas*



*Nota.* “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal de Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

Como parte del proyecto “Creación De Infraestructura Para El Servicio De Esparcimiento Y Actividades Protocolares En La Sede Administrativa De La Municipalidad Distrital De San Miguel, Distrito De San Miguel -Provincia De San Román - Departamento De Puno” con CUI 2452318 de la gestión anterior de la Municipalidad de San Miguel (2019-2022) se realizó la construcción de veredas alrededor de la Municipalidad de San Miguel (Av. Triunfo, Jr. Alpamayo). Actualmente en la actual gestión (2023-2026) se viene desarrollando el proyecto “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal de Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno” con CUI 2493929. Este proyecto actual cuenta con partidas de demolición de veredas debido a la variación en las dimensiones entre las nuevas veredas propuestas y las veredas existentes.

**Figura 8**  
*Resumen de Metrados*



**RESUMEN DE METRADOS**

**MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LAS URBANIZACIONES PUEBLO JOVEN LA REVOLUCIÓN Y SAN MARTIN DE PORRES DISTRITO DE SAN MIGUEL - PROVINCIA DE SAN ROMAN - DEPARTAMENTO DE PUNO**

PIP: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LAS URBANIZACIONES PUEBLO JOVEN LA REVOLUCIÓN Y SAN MARTIN DE PORRES DISTRITO DE SAN MIGUEL - PROVINCIA DE SAN ROMAN - DEPARTAMENTO DE PUNO

FECHA: JULIO DEL 2022

Partida	Descripción	Und	Total
01.09.00	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
01.09.01	ETAPA PRELIMINAR		
01.09.01.01	REUNION DE CONCERTACIÓN	Und	1.00
1.10.00.	ETAPA DE CONSTRUCCION		
01.10.01	MANTENIMIENTO DE VIAS ALTERNAS	M	619.45
1.11	NIVELADO DE BUZONES		
01.11.01.	NIVELADO DE BUZONES	UND	44.00
01.11.02	TAPA DE BUZONES	UND	44.00
01.12.00	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD		
01.12.01	DISEÑO DE MEZCLA	UND	2.00
01.12.02	PRUEBAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO	UND	54.00
01.12.03	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	UND	24.00
01.12.04	ENSAYO DENSIDAD DE CAMPO	UND	60.00
02.00.00	CONSTRUCCION DE VEREDAS,SARDINEL Y RAMPAS		
02.01.00	OBRAS PRELIMINARES		
02.01.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO	M2	13.160.82
02.02.01	DEMOLICION DE VEREDAS DE CONCRETO EXISTENTE	M2	5.817.80
02.02.02	ACARREO DE MATERIAL DE DEMOLICIONES Dpro=30M	M3	727.23
02.02.03	ELIMINACION DE DEMOLICIONES	m3	727.23
02.03.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
02.03.01	CORTE EN MATERIAL SUELTO	M3	2.838.92
02.03.02	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	4.275.88
02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	4.275.88
02.03.04	RELLENO Y COMPACTADO DEL MATERIAL DE PRESTAMO E=0.10	M3	1.201.84
02.04.00	VEREDAS		
02.04.01	VEREDAS: ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	M2	1.378.38
02.04.02	VEREDAS Y RAMPAS: CONCRETO F'C=175 KG/CM2 E=10 CM. ACAB 1 CM	M2	11.127.57

*Nota.* “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal de Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

La resistencia a la compresión del concreto demolido es de 175 kg/cm<sup>2</sup>, esto se puede comprobar en el presupuesto de obra y ensayos de calidad del expediente técnico del proyecto “Creación De Infraestructura Para El Servicio De Esparcimiento Y Actividades Protocolares En La Sede Administrativa De La Municipalidad Distrital De San Miguel, Distrito De San Miguel -Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

**Figura 9**  
*Presupuesto de Obra*

Item	Descripción	Und.	Metra do	Precio S/.	Parcial S/.
D1	TRATAMIENTO DE PISOS Y PAVIMENTOS				398137,25
01.01	OBRAS PROVISIONALES				5468,75
01.01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA 3.60x2.40m.	und	1,00	650,87	650,87
01.01.02	ALMACEN, CASETA GUARDIANA Y OFICINA DE OBRA	mes	3,00	238,96	716,88
01.01.03	CERCO PERIMETRICO PROVISIONAL DURANTE OBRA	m	270,00	9,50	2565,00
01.01.04	ENERGIA ELECTRICA PARA LA OBRA	glb	1,00	460,00	460,00
01.01.05	AGUA PARA LA OBRA	mes	3,00	140,00	420,00
01.01.06	INSTALACION DE SS.HH. PARA PERSONAL	und	1,00	656,00	656,00
01.02	SEGURIDAD Y SALUD				3000,00
01.02.01	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD Y/O DESVIO DE TRAFICO EN OBRA	glb	1,00	700,00	700,00
01.02.02	ELABORACION E IMPLEMENTACION DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	glb	1,00	2300,00	2300,00
01.03	OBRAS PRELIMINARES				20406,34
01.03.01	LIMPIEZA INICIAL DEL TERRENO	m2	4251,32	1,98	8417,61
01.03.02	TRAZO Y REPLANTEO INICAL	m2	4251,32	1,72	7312,27
01.03.03	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	4251,32	1,10	4676,45
01.04	MOVIMIENTO DE TIERRAS				80925,78
01.04.01	DEMOLICION DE VEREDA EXISTENTE CON EQUIPO	m2	560,16	8,42	4752,33
01.04.02	CORTE DE MATERIAL SUELTO CON EQUIPO	m3	725,60	4,80	3482,88
01.04.03	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1580,12	35,76	56505,09
01.04.04	NIVELACION Y COMPACTADO CON EQUIPO PESADO	m2	4268,95	2,10	8964,80
01.04.05	CARGUIO Y ELIMINACION DE MATERIAL EXEDENTE	m3	686,49	10,46	7180,69
01.05	VEREDAS				17407,23
01.05.01	NIVELACION Y COMPACTADO CON EQUIPO LIVIANO	m2	222,07	2,71	601,81
01.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VEREDAS	m2	73,30	23,08	1688,00
01.05.03	CONCRETO SIMPLE fcc=175 kg/cm2 EN VEREDA	m3	31,97	260,41	8326,33
01.05.04	ACABADO DE PISO CON CEMENTO - ARENA	m2	222,07	26,43	5869,31
01.05.05	JUNTA ASFALTICA	m	49,80	4,97	246,51
01.05.06	PINTURA ESMALTE DE TRAFICO EN SARDINELES	m2	55,52	13,46	747,30
01.06	RAMPAS				1058,90
01.06.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	13,20	11,16	147,31
01.06.02	CONCRETO fcc=175 kg/cm2 ACABADO BRUÑADO	m3	4,36	209,08	911,59
01.07	PISOS - PLAZA				220037,47
01.07.01	SARDINEL A NIVEL DE PISO				13957,97
01.07.01.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	824,58	11,16	9202,31
01.07.01.02	CONCRETO fcc=175 kg/cm2	m3	17,01	279,58	4755,66

*Nota.* “Creación De Infraestructura Para El Servicio De Esparcimiento Y Actividades Protocolares En La Sede Administrativa De La Municipalidad Distrital De San Miguel, Distrito De San Miguel -Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

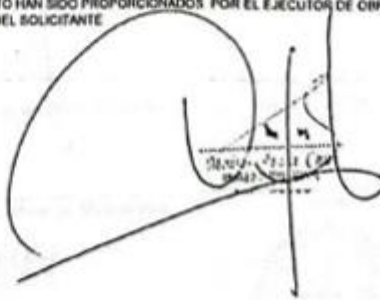


**Figura 10**  
*Prueba de Resistencia a la Compresión de Veredas*

**PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO NIP 339,034**

Nº	TIPO ESTRUCTURA	FECHA MOLDEO	EDAD (días)	FECHA ROTURA	LECTURA DIAL (KN)	ÁREA (cm²)	RESISTENCIA (kg/cm²)	$f_c$ (kg/cm²)	RESISTENCIA (t/m²)
1	FALSO PISO DE 4" PARA ADOQUIN ROTONDA 3	03/11/2020	42	15/12/2020	289,6	176,7	167	140	119
2	FALSO PISO DE 4" PARA ADOQUIN ROTONDA 3	04/11/2020	41	15/12/2020	295,6	176,7	171	140	122
3	SARDINAL PERALTADO H=0,50 M INTERIOR TIPO 3	05/11/2020	40	15/12/2020	302,6	176,7	175	175	100
4	FALSO PISO DE 4" PARA ADOQUIN ROTONDA 2 INGRESO MUNICI	06/11/2020	39	15/12/2020	255,9	176,7	148	140	106
5	SARDINAL A NIVEL PISO TERMINADO ROTONDA 3	07/11/2020	38	15/12/2020	352,2	175,5	205	175	117
6	FALSO PISO PASAJE PEATONAL LADO MUNICIPIO	12/11/2020	33	15/12/2020	256,3	179,1	146	140	104
7	FALSO PISO PASAJE PEATONAL LADO MUNICIPIO	12/11/2020	33	15/12/2020	284,3	174,4	166	140	119
8	CISTERNA CUARTO DE BOMBAS TECHO	20/11/2020	25	15/12/2020	433,6	175,5	252	210	120
9	CONCRETO SIMPLE EN VEREDAS LADO MUNICIPIO	21/11/2020	24	15/12/2020	347,8	179,1	198	175	113
10	CONCRETO SIMPLE EN VEREDAS JR. ALPAMAYO	23/11/2020	22	15/12/2020	378,5	177,9	217	175	124
11	CONCRETO SIMPLE EN RAMPAS TIPO 1 VEREDA	25/11/2020	20	15/12/2020	339,5	176,7	196	175	112
12	CONCRETO SIMPLE EN RAMPAS TIPO 3	27/11/2020	18	15/12/2020	345,2	177,9	198	175	113
13	CONCRETO SIMPLE EN RAMPAS TIPO 2 AV. TRIUNFO	27/11/2020	18	15/12/2020	369,5	175,5	215	175	123

NOTA LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO HAN SIDO PROPORCIONADOS POR EL EJECUTOR DE OBRAS LAS PRUEBAS REALIZADAS EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE



*Nota.* “Creación De Infraestructura Para El Servicio De Esparcimiento Y Actividades Protocolares En La Sede Administrativa De La Municipalidad Distrital De San Miguel, Distrito De San Miguel -Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

**Figura 11***Recolección de Escombros de Veredas Demolidas*

*Nota.* “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal de Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”.

Los escombros obtenidos de veredas de concreto simple con  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  serán triturados por medio de la trituradora de impacto “Rotocrusher Tesab 623CT”. Cada porción será triturada y tamizada para obtener tamaño de agregado  $\frac{1}{2}$ ” una vez realizado el proceso de tamizado se procederá al lavado del agregado y mezclar uniformemente para finalmente empaquetar.

De acuerdo con la ficha técnica, la chancadora Tesab 623CT cuenta con un motor Caterpillar C9 de 275 Hp (205 kw) con una unidad trituradora de impacto de servicio pesado con un rotor de 1100 mm (42”) de diámetro y una trayectoria adicional de trituración y moldeado, a su vez cuenta con una tasa de producción de hasta 150 Tn/h. Esta chancadora puede trabajar de forma independiente o integrarse fácilmente en las operaciones de trituración y cribado existentes (TESAB - Crusher Product Range, 2023).

Se considera un 10% de desperdicio de agregados reciclados, por lo que se considerará una cantidad aproximada de 2-3 m<sup>3</sup> de escombros para poder analizar la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , elaborándose 432 probetas para ensayos a la compresión y 144 probetas para ensayos a la tracción.

#### 4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se está tomando el diseño de mezcla de concreto reciclado  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con humo de sílice y aditivo plastificante, realizado con el Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados en la ciudad de Arequipa. Además, se considera la mezcla de concreto elaborado con agregado natural y niveles de remplazo del 0%, 25% y 50% de agregados de demolición, utilizando humo de sílice en dosificaciones de 0%, 5%, 10% y 15% y aditivo plastificante marca Sika.

Para los ensayos de compresión las probetas se elaboraron según la norma NTP 339.033 de altura de 20 cm y un diámetro de 10 cm y se ensayarán a la edad de 7, 14 y 28 días. Para los ensayos a tracción indirecta se realizarán probetas según la norma NTP 339.084 de 10cm de diámetro por 20 cm de altura y se ensayarán a la edad de 28 días. Para los ensayos de determinación de la profundidad de carbonatación según UNE 112011 se realizará el vaciado de 4 vigas de 15cm x 15cm x 75cm (diseños patrones y diseños óptimos para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ) para mediante perforación con diamantina extraer 12 probetas de 2" x 15cm de altura.

De tal forma, a través de sus distintas proporciones se verificó cómo varían sus propiedades y encontrar un balance óptimo en las proporciones de cada componente buscando una mejora de su resistencia a la compresión y tracción.

##### 4.1. Método de diseño del concreto

###### 4.1.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de los Agregados

La elección del diseño de mezclas del Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados se da, debido a que este método busca que las características granulométricas tanto del agregado fino y grueso intervengan en el diseño de mezcla para brindar mejores condiciones de trabajabilidad. Esto resulta importante dado que lo que se pretende reemplazar parcialmente es el agregado grueso natural por el agregado grueso reciclado obtenido de la trituración.

Se evaluará el desempeño del humo de sílice en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15%, de aditivo plastificante en proporciones de 0 ml y 500 ml y de agregado reciclado en niveles de remplazo de 0%, 25% y 50% para concreto de concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ . A continuación, se presenta la codificación que se tendrá para los diseños de mezclas.

**Tabla 20***Codificación de diseños de mezcla*

Niveles de Reemplazo	Sin Aditivo Plastificante					Con Aditivo Plastificante			
	Humo de Sílice					Humo de Sílice			
	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	
f <sub>c</sub> = 280 kg/cm <sup>2</sup>	0%	210-R0-SP- HS0	210-R0-SP- HS5	210-R0-SP- HS10	210-R0-SP- HS15	210-R0-CP- HS0	210-R0-CP- HS5	210-R0-CP- HS10	210-R0-CP- HS15
	25%	210-R25-SP- HS0	210-R25-SP- HS5	210-R25-SP- HS10	210-R25-SP- HS15	210-R25- CP- HS0	210-R25-CP- HS5	210-R25-CP- HS10	210-R25-CP- HS15
	50%	210-R50-SP- HS0	210-R50-SP- HS5	210-R50-SP- HS10	210-R50-SP- HS15	210-R50- CP- HS0	210-R50-CP- HS5	210-R50-CP- HS10	210-R50-CP- HS15
	0%	280-R0-SP- HS0	280-R0-SP- HS5	280-R0-SP- HS10	280-R0-SP- HS15	280-R0-CP- HS0	280-R0-CP- HS5	280-R0-CP- HS10	280-R0-CP- HS15
	25%	280-R25-SP- HS0	280-R25-SP- HS5	280-R25-SP- HS10	280-R25-SP- HS15	280-R25- CP- HS0	280-R25-CP- HS5	280-R25-CP- HS10	280-R25-CP- HS15
	50%	280-R50-SP- HS0	280-R50-SP- HS5	280-R50-SP- HS10	280-R50-SP- HS15	280-R50- CP- HS0	280-R50-CP- HS5	280-R50-CP- HS10	280-R50-CP- HS15

*Nota.* Codificación de diseño de mezclas.

## 4.2. Tipos de ensayos

### 4.2.1. Ensayos en estado fresco

- Elaboración y Curado; Densidad y Rendimiento; Asentamiento y Temperatura

### 4.2.2. Ensayos en estado endurecido.

- Resistencia a la Compresión (432 probetas de concreto para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ )
- Resistencia a la Tracción Indirecta (144 probetas de concreto para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ )
- Determinación de la profundidad de carbonatación (12 testigos de concreto para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ )

### 4.2.3. Cuadro de ensayo

**Tabla 21**

*Especímenes para ensayos a compresión de resistencia  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Probetas para ensayo a COMPRESION $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para resistencia de 210kg/cm2 con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado								
	EDADES		0%		25%		50%				
		días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Humo de sílice	5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	10%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	15%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
											Total 108

Probetas para ensayo a COMPRESION $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para resistencia de 210kg/cm2 sin aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado								
	EDADES		0%		25%		50%				
		días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Humo de sílice	5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	10%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	15%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
											Total 108

*Nota.* Número necesario de probetas por diseño de mezcla para ensayos a compresión de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 22**

*Especímenes para ensayos a compresión de resistencia  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

Concreto para resistencia de 280kg/cm2 con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado								
		0%			25%			50%		
Probetas para ensayo a COMPRESION $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	EDADES	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Humo de sílice 5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	10%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	15%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
									Total	108

Concreto para resistencia de 280kg/cm2 sin aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado								
		0%			25%			50%		
Probetas para ensayo a COMPRESION $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	EDADES	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Humo de sílice 5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	10%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	15%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
									Total	108

*Nota.* Número necesario de probetas por diseño de mezcla para ensayos a compresión de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 23**

*Especímenes para ensayos a tracción de resistencia  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Probetas para ensayo a TRACCION INDIRECTA $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para resistencia de $210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado		
	EDADES		0%	25%	50%
			28 días	28 días	28 días
	0%		3	3	3
Humo de sílice	5%		3	3	3
	10%		3	3	3
	15%		3	3	3
			Total		36

---

Probetas para ensayo a TRACCION INDIRECTA $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para resistencia de $210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado		
	EDADES		0%	25%	50%
			28 días	28 días	28 días
	0%		3	3	3
Humo de sílice	5%		3	3	3
	10%		3	3	3
	15%		3	3	3
			Total		36

*Nota.* Número necesario de probetas por diseño de mezcla para ensayos a Tracción de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 24**

*Especímenes para ensayos a tracción de resistencia  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

Probetas para ensayo a TRACCION INDIRECTA $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para resistencia de 210kg/cm2 con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado		
			0%	25%	50%
	EDADES		28 días	28 días	28 días
		0%	3	3	3
	Humo de sílice	5%	3	3	3
		10%	3	3	3
		15%	3	3	3
			Total		36
	Concreto para resistencia de 210kg/cm2 con aditivo plastificante		% de Reemplazo de Agregado Reciclado		
			0%	25%	50%
EDADES		28 días	28 días	28 días	
	0%	3	3	3	
Humo de sílice	5%	3	3	3	
	10%	3	3	3	
	15%	3	3	3	
		Total		36	

*Nota.* Número necesario de probetas por diseño de mezcla para ensayos a Tracción de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 25**

*Resumen de Especímenes para Ensayos al Concreto Endurecido*

	Ensayo a la compresión	Ensayo a la Tracción Indirecta	Profundidad de carbonatación	
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	216	72	6	
$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	216	72	6	
TOTAL	432	144	12	588

*Nota.* Resumen de Numero de Especímenes Necesarios para ensayos de Compresion y Traccion para resistencias de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

## 5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La presente investigación utilizó la técnica de observación, la cual, se trabajó mediante los siguientes instrumentos:

### 5.1. Observación presente

La presente investigación utilizó el instrumento de observación presente para corroborar un óptima recopilación y procesamiento de los materiales utilizados en los ensayos, así mismo, para verificar el correcto desarrollo de la parte experimental realizada en laboratorio, como lo fue: Ensayos a los agregados, ensayos de concreto en estado fresco y ensayos del concreto en estado endurecido.

### 5.2. Observación documental

Para esta investigación las fuentes de recolección de datos abarcan tesis, artículos de revistas, informes, páginas web anteriormente mencionadas en el marco teórico. Por ellos las fuentes son del tipo secundarias.

La información del estado del arte consta de 9 tesis y 4 artículos internacionales, nacionales y regionales, las cuales fundamentan esta investigación y permiten tener un mejor panorama y una mejor alternativa de solución.

Para el proceso de análisis y cálculo se debe de tomar en cuenta lo que señala la norma técnica peruana en cuanto a los agregados para el diseño de la mezcla de concreto:

- NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global)
- NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)
- NTP 400.021 (Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso)
- NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa y absorción para agregado fino)
- NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para determinar contenido de humedad total evaporable por secado)

En cuanto a los ensayos al concreto en estado fresco se tiene:

- NTP 339.033 (Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra)
- NTP 339.046 (Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento del concreto)
- NTP 339.035 (Método para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams)

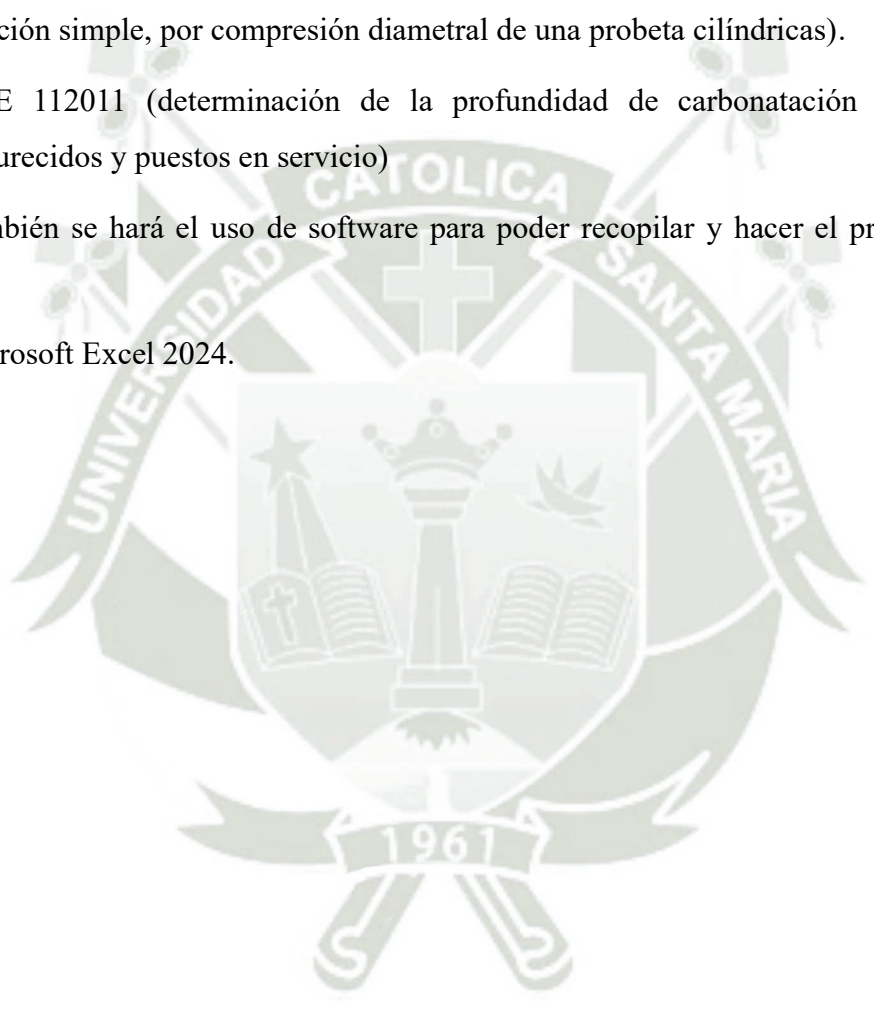
- NTP 339.184 (Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto)

En cuanto a los ensayos al concreto en estado endurecido se tiene:

- NTP 339.034 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas)
- NTP 339.084 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple, por compresión diametral de una probeta cilíndricas).
- UNE 112011 (determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio)

También se hará el uso de software para poder recopilar y hacer el procesamiento de datos:

- Microsoft Excel 2024.





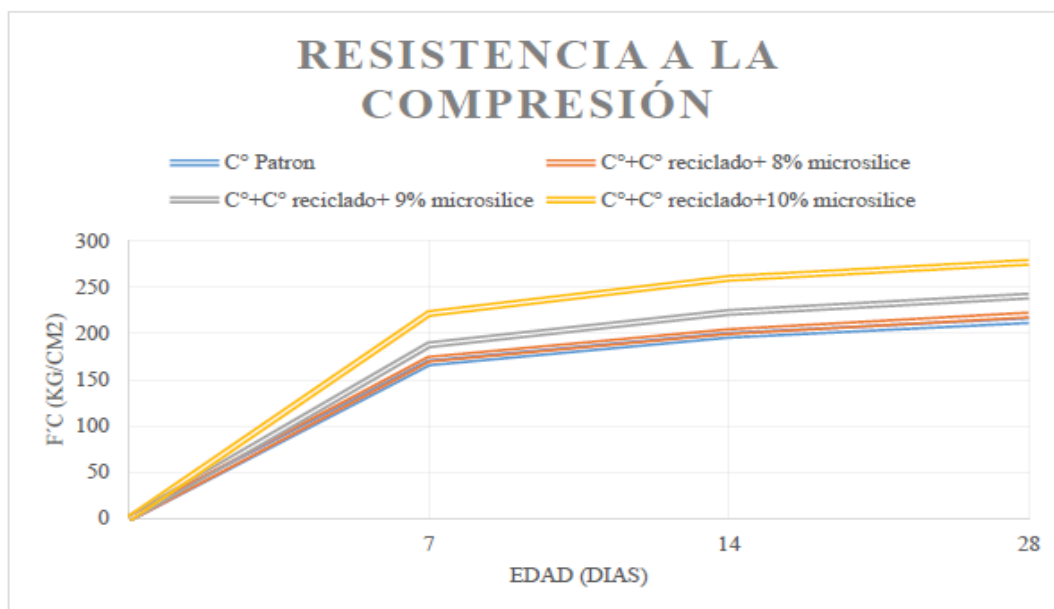
## **CAPÍTULO IV DESARROLLO**

Luego de una revisión literaria por los repositorios de algunas universidades que elaboraron concreto con adiciones de micro sílice y/o superplastificante se pudo analizar e inferir cuál será su comportamiento con diferentes dosificaciones, cabe resaltar que no se trabajó las 3 variables juntas (agregado reciclado, humo de sílice y superplastificante).

Según Valencia (2018) en su tesis “Análisis Del Concreto Elaborado Con Agregado Reciclado Producto De La Demolición De Veredas De Concreto Adicionado Con Humo De sílice Frente A Esfuerzos De Compresión Para El Reuso En Veredas En La Ciudad Del Cusco” utilizó el tamaño máximo nominal de su agregado grueso reciclado de 1”, el porcentaje de reemplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado fue de 50%, también incluyó las dosificaciones de microsíllice en 8, 9 y 10% y presenta los siguientes resultados en cuanto a su resistencia a la compresión se refiere:

**Figura 12**

*Compresión del Concreto con Agregados Reciclados y Microsíllice*



*Nota.* Comparación grafica de las resistencias a compresión alcanzadas de los 4 diferentes diseños de mezcla. Adaptado de “Análisis Del Concreto Elaborado Con Agregado Reciclado Producto De La Demolición De Veredas De Concreto Adicionado Con Humo De sílice Frente A Esfuerzos De Compresión Para El Reuso En Veredas En La Ciudad Del Cusco” por Valencia, 2018.

Como se puede ver, a mayor cantidad de micro sílice que se añada, las resistencias irán ascendiendo, sin embargo, el microsílíce al ser un material muy fino reduce el asentamiento, lo que probablemente se solucionaría con un aditivo superplastificante, pero que en esta tesis no lo utiliza. Como conclusiones en esta investigación precisa que el porcentaje óptimo de inclusión microsílíce es 8% del peso del cemento, con esta dosificación llega a resistencias muy similares a la de un concreto patrón elaborado sin agregado reciclado.

En la tesis: “Evaluación Experimental del Uso de Microsílíce para la Elaboración de Concreto de Alta Resistencia” hecha por Vega (2019), reemplaza el cemento por micro sílice en dosificaciones de 10, 15 y 20%, sin embargo, tuvo que incluir un superplastificante para poder elaborar su concreto debido a que el microsílíce al ser un material muy fino secaba al concreto y no lograba mezclarse todo el cemento.

Además, brinda su manera más óptima de mezclar los materiales, siendo de la siguiente manera: agregado grueso, agua, agregado fino, cemento, agua, superplastificante, microsílíce y agua. (el agua se agrega parcialmente hasta llegar a su cantidad final). El autor señala que es importante dejar mezclar por 3 minutos antes de agregar el microsílíce para poder generar la pasta de cemento. Finalmente concluye que su porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por micro sílice es de 10%, con esta dosificación llega a resultados de resistencia similares a los de un concreto patrón. También comprobó que al aumentar la dosificación de superplastificante y reducir la relación agua/cemento no se obtienen mejores resistencias a la compresión.

De igual manera se revisó tesis donde con microsílíce y aditivo plastificante pretenden obtener concretos de alta resistencia, como es en el caso de la tesis: “Aplicación de Aditivo Microsílíce, y Superplastificante Para el Diseño de Mezclas de Concreto de Alto Desempeño” hecha por Anicama (2020) donde la resistencia compresión de su concreto patrón con relación agua/cemento=0.38 es  $500 \text{ kg/cm}^2$ , es así que varía la dosificación de aditivo superplastificante en 0, 1, 1.3 y 1.5%, y el microsílíce varía en 0, 9, 10 y 11% obteniendo los siguientes resultados:

**Figura 13**

*Comprensión del Concreto con Aditivo Superplastificante y Microsílice*

Diseño de mezcla	% de superplastificante	7 días	14 días	28 días
Relación a/c=0.38	0%	383.03	424.73	460.6
	1%	401.66	445.13	480.93
	1.3%	410.63	459.1	486.3
	1.5%	423.6	457.73	493.13

Diseño de mezcla	% de microsílice	7 días	14 días	28 días
Relación a/c=0.38	0%	350.8	412.3	457.03
	9%	386.16	439.76	479.9
	10%	470.43	470.6	508.6
	11%	383.83	459.56	474.36

*Nota.* Comparación de las resistencias a compresión alcanzadas de los diferentes diseños de mezcla. Adaptado de “Aplicación de Aditivo Microsílice, y Superplastificante Para el Diseño de Mezclas de Concreto de Alto Desempeño” por Anicama, 2020.

Nuevamente es evidente que la cantidad de humo de sílice incorporado es directamente proporcional con el incremento de la resistencia a compresión. La tesis concluye con su dosificación óptima para concreto con relación agua/cemento igual a 0.38, 1.5% de superplastificante y 10% de microsílice (ambos son porcentajes del peso de cemento) obteniendo un slump de 5” y peso unitario de 2376 kg/cm<sup>3</sup>.

En Huancayo, García (2018) en su tesis “Concreto de Alto Desempeño Utilizando Hormigón con Adición de Microsílice y Superplastificante” analiza y concluye que el diseño óptimo es emplear la relación agua/cemento igual a 0.3 con 1.6% de aditivo superplastificante y 6% de micro sílice llegando a unas resistencias a la compresión promedio de 794 kg/cm<sup>2</sup> y un asentamiento de 5”. De igual manera afirma que a medida que se incremente los porcentajes de microsílice, el concreto en estado endurecido mejorará su resistencia tanto a compresión y compresión diametral.

Iman, et al. (2018) en su artículo: “Estudio Sobre el Efecto del Humo de Sílice Sobre las Propiedades Frescas y Endurecidas del Concreto” afirman que el porcentaje de optimización de reemplazo de humo de sílice está en el rango de 8 -10% para el ensayo a compresión y en el rango de 12 – 15% para los ensayos de tracción indirecta y flexión. Sin embargo, señalan que, a mayor porcentaje de reemplazo, el valor de la trabajabilidad presenta una tendencia decreciente.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las diversas dosificaciones optimas que se obtuvieron de las tesis y artículos de revisión previamente descritos.

agregados finos.

**Tabla 26**  
*Resultados de las tesis y artículos de revisión*

Variables	Tesis y Artículos de Revisión				Iman, et al. (2018)
	Valencia (2018)	Vega (2019)	Anicama (2020)	García (2018)	
Humo de Sílice	8%	10%	10%	6%	8-10%
Plastificante	-	-	1.50%	1.60%	-

*Nota.* Resumen de las dosificaciones óptimas de humo de sílice y/o aditivo plastificante obtenidas de tesis y artículos de revisión.

Con toda esta revisión literaria se definió nuestras dosificaciones de microsíllice en 0, 5, 10 y 15%, y al utilizar agregado grueso reciclado y que este, presenta una mayor absorción respecto al agregado grueso natural, se utilizará el aditivo sikaCem en su dosificación de superplastificante de 500ml por cada bolsa de cemento de 42.5kg.

### 1. CEMENTO PORTLAND TIPO IP

El cemento utilizado es el “Cemento Portland Tipo IP de la marca Yura” en su presentación de 42.5 kg. Este cemento es el resultado de la mezcla en un molino industrial de Clinker, puzolana natural de origen volcánico de alta radiactividad y yeso.

Su fabricación se da bajo sistemas de gestión ambiental (ISO 14001) y de calidad (ISO 9001), lo que garantiza sus propiedades de resistencia e impermeabilidad y también que pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, acidas) y abrasión. (Cemento YURA, 2023)

**Figura 14**  
*Bolsa de 42.5 kg de Cemento Portland Yura Tipo IP*



Nota. Imagen referencial de bolsa de cemento YURA. Adaptado de “Ficha Técnica Yura IP” por Cemento YURA, 2023.

La Norma Técnica Peruana 334.090 brinda los requisitos químicos y físicos que debe tener el cemento Portland tipo IP, por lo cual, en la en la figura 3 se puede apreciar la ficha técnica del cemento Portland Yura IP la cual brinda detalladamente las características técnicas de dicho cemento con su valor máximo y mínimo permitido por la norma.

**Figura 15**  
*Características técnicas "Cemento Portland Yura Tipo IP"*

REQUISITOS		Requisitos Norma Técnica Peruana 334.090:2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP		CEMENTO YURA MULTI-PROPÓSITO TIPO IP
REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDAD			
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6.0		1.5 a 3.0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	%	máximo 4.0		1.5 a 3.0
Pérdida de ignición	%	máximo 5.0		1.5 a 4.0
REQUISITOS FÍSICOS				
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	-		2.70 a 2.8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0.80		-0.09 a 0.05
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420		140 a 260
Contenido de aire	%	máximo 12		3 a 8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
3 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 133		150 a 210
7 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 204		210 a 240
28 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 255		290 a 360
RESISTENCIA A LOS SULFATOS				
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.05		< 0.05
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.10		< 0.07

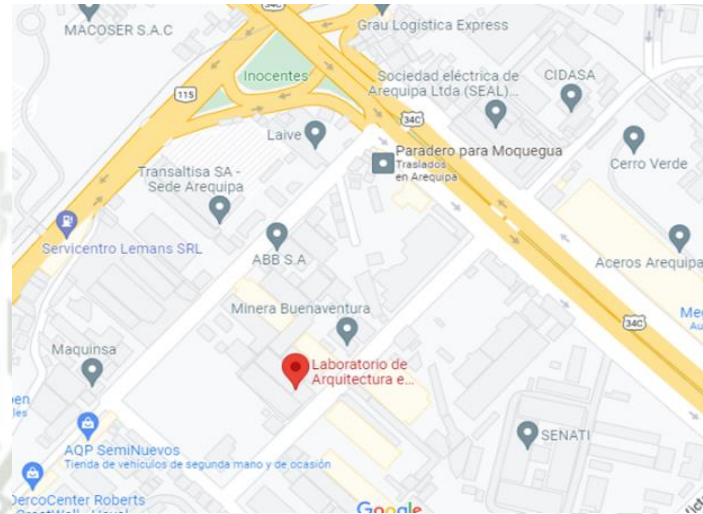
Nota. Ficha Técnica de Cemento Portland Yura Tipo IP. Adaptado de “Ficha Técnica Yura IP” por Cemento YURA, 2023.

## 2. AGUA

El agua para el diseño de mezclas fue obtenida del laboratorio de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente de la Universidad Católica Santa María

**Figura 16**

*Ubicación del Laboratorio FAICA*



*Nota.* Ubicación del Laboratorio de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente – UCSM. Adaptada de Google Maps, 2024.

Según el INACAL (2019) en la Norma Técnica Peruana 339.088 titulada “Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos” indica que se permite el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin la realización de ensayos para determinar su conformidad de acuerdo a los parámetros que establece.

## 3. ADITIVO PLASTIFICANTE

El aditivo plastificante actúa directamente sobre el cemento, en la etapa de mezclado sus partículas se encuentran oscilando lo que provoca roces lo cual no permite mezclas con gran trabajabilidad, los lignosulfonatos y polímeros orgánicos recubren las partículas de cemento y controlan la fricción dándonos concretos fluidos (Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero, 2016)

Generalmente se usa este aditivo en la elaboración del concreto para aumentar la trabajabilidad de la mezcla, reducir el uso de agua sin perjudicar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido y aumentar la resistencia a la compresión del concreto elaborado.

El aditivo SikaCem plastificante utilizado en la investigación, tiene una apariencia marrón oscura y es de consistencia líquida, para su dosificación su ficha técnica indica que

se use 250mL por cada bolsa de cemento de 42.5 kg en caso se desee usar el producto como un aditivo plastificante y 500mL si se requiere su uso como super plastificante. (Sika Informaciones Técnicas, 2021)

**Figura 17**

*Aditivo Plastificante "SikaCem Plastificante"*



*Nota.* Imagen Referencial de SikaCem Plastificante. Adaptado de "Ficha Técnica Sikacem Plastificante" por "Sika", 2023.

#### 4. HUMO DE SÍLICE

El Humo de Sílice o micro sílice se trata de un material puzolánico producto de la reducción de cuarzo con carbón en hornos de arco eléctricos con temperaturas mayores a los 2000°C. Debido a su extremada finura, generalmente superior a la del cemento, permite una mejor distribución de las partículas en la elaboración de mezclas de concreto mejorando su resistencia y durabilidad. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2011)

Sika Fume es un producto en polvo de apariencia gris, se usa en la elaboración de concretos de alta resistencia y su dosificación es de 2% a 10% del peso del cemento (Sika Informaciones Técnicas, 2019).

**Figura 18**

*Humo de Sílice "Sika Fume"*

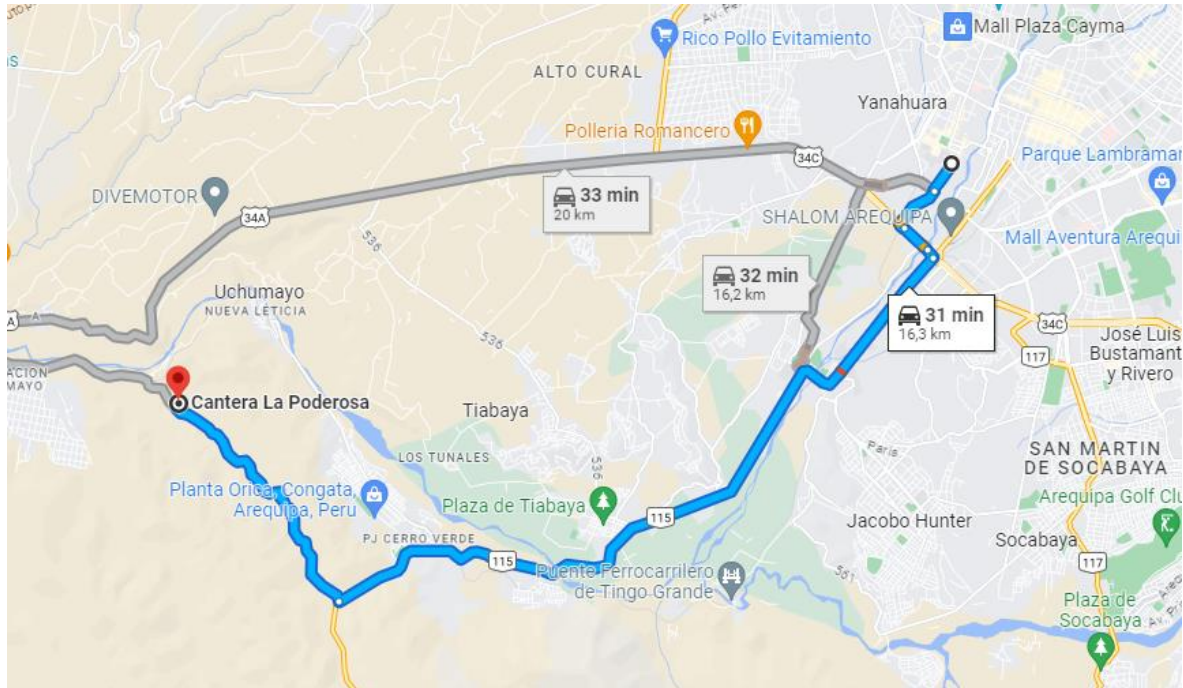


*Nota.* Imagen referencial Sika Fume. Adaptado de "Ficha Técnica Sika Fume" por "Sika", 2023.

#### 5. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado es proveniente de la cantera La Poderosa ubicada en el distrito de Uchumayo en la ciudad de Arequipa a 30 minutos de la Universidad Católica de Santa María.

**Figura 19**  
*Ubicación de cantera La Poderosa*



*Nota.* Ubicación Referencial de Cantera La Poderosa. Adaptado de "Google Maps", 2023.

El origen geológico de la cantera La Poderosa es de depósitos Aluviales, están constituidos por fragmentos angulosos a redondeados de rocas plutónicas, volcánicas, y sedimentarias de tamaño variable, provenientes de afloramientos rocosos muy fracturados (Vargas & Peralta, 2020).

### 5.1. Granulometría

- Norma: NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global)
- Muestra: la cantidad mínima de agregado grueso depende del TMN (Tamaño Máximo Nominal) siendo para agregado grueso de ½" la muestra mínima 2 kg.
- Tamices: Se usaron los tamices con abertura 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", ¼", N°4 y N°8. Ordenados de forma decreciente.

**Figura 20**

*Granulometría del Agregado Grueso de la Cantera “La Poderosa”*



*Nota.* Tamices Normados para Ensayo de Granulometría.

Se puede observar del ensayo de granulometría que el tamaño máximo nominal del agregado de la cantera la poderosa es de 1/2", también se muestra que está dentro de los límites granulométricos del huso ASTM N° 7.

**Tabla 27**

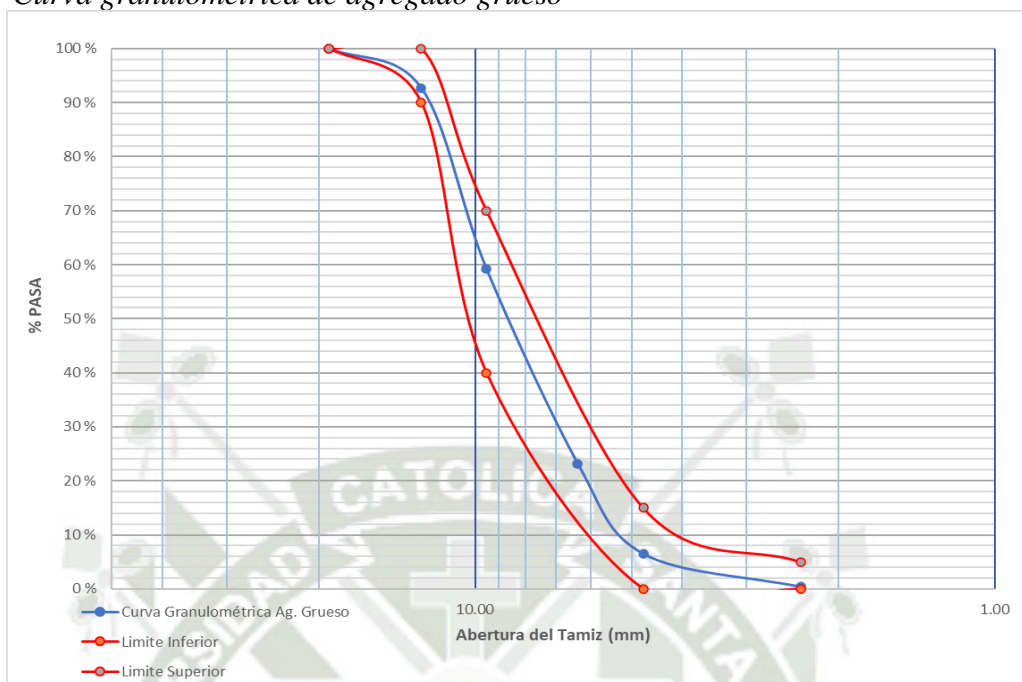
*Granulometría agregado grueso*

Tamiz N°	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido		%Pasa	HUSO 7	
			%Parcial	%Acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
3"	76.2						
2 1/2"	63.5						
2"	50.8						
1 1/2"	37.5	0	0	0	100		
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.7	231	7.43	7.43	92.57	90	100
3/8"	9.52	1087	34.96	42.39	57.61	40	70
1/4"	6.35	1071	34.44	76.83	23.17		
N°4	4.75	539.3	17.34	94.17	5.83	0	15
N°8	2.36	157.8	5.07	99.25	0.75	0	5
N°10	2	0	0	99.25	0.75		
N°16	1.18	0	0	99.25	0.75		
N°30	0.6	0	0	99.25	0.75		
N°50	0.3	0	0	99.25	0.75		
N°100	0.15	0	0	99.25	0.75		
N°200	0.07	0	0	99.25	0.75		
FONDO		12	0.4	99.6			

*Nota.* Tabla Del Ensayo De Granulometría Del Agregado Grueso Natural De 1/2".

El ensayo de granulometría brinda un valor importante para nuestro diseño de mezcla como es el módulo de fineza, este valor adimensional es de 6.28, dato muy relevante para el diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados.

**Figura 21**  
*Curva granulométrica de agregado grueso*



*Nota.* Curva Granulométrica y Límites del HUSO 7.

### 5.2. Peso unitario suelto

- Norma: NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)
- Muestra: el tamaño de la muestra será aproximadamente de 125% a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente

**Figura 22**  
*Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso*



*Nota.* Enrasado de muestra de agregado grueso para peso unitario suelto.

**Tabla 28**

*Peso unitario suelto del agregado grueso*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	19.25	18.961	18.994
Peso del recipiente (kg)	T	4.841	4.841	4.841
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	$M=(G-T)/V$	1532.083	1501.314	1504.823
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio		1512.74	

*Nota.* Peso Unitario Suelto Del Agregado Grueso Natural De 1/2"

### 5.3. Peso unitario compactado

- Norma: NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)
- Muestra: el tamaño de la muestra será aproximadamente de 125% a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente

**Figura 23**

*Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso*



*Nota.* Muestra de agregado grueso para ensayo de peso unitario compactado.

**Tabla 29**

*Peso unitario compactado del agregado grueso*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	19.961	19.997	19.984
Peso del recipiente (kg)	T	4.841	4.841	4.841
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	$M=(G-T)/V$	1607.64	1611.467	1610.113
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio		1609.74	

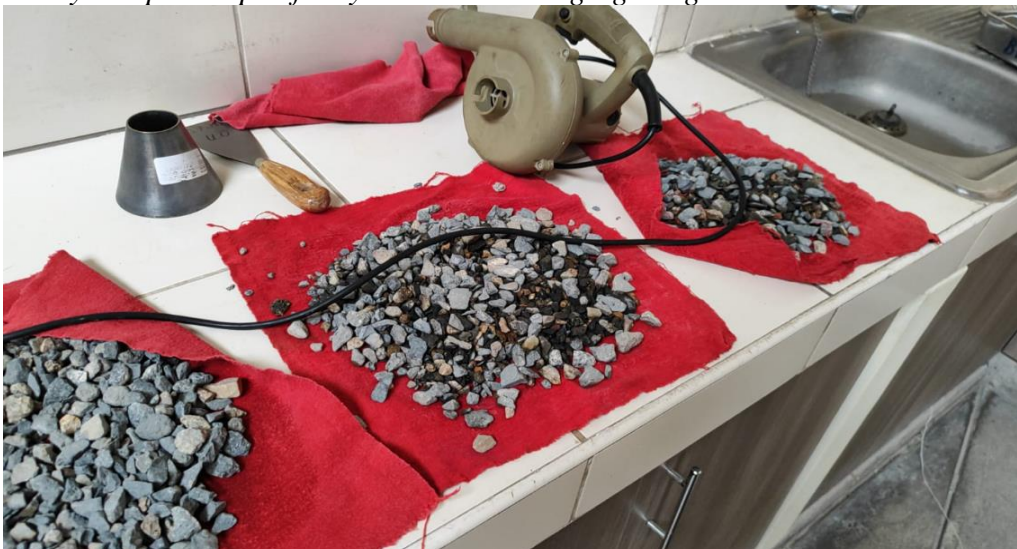
*Nota.* Peso Unitario Compactado Del Agregado Grueso Natural De 1/2".

#### 5.4. Peso específico y absorción

- Norma: NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa y absorción para agregado fino)
- Muestra: Cantera “La Poderosa”

**Figura 24**

*Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso*



*Nota.* Secado de Muestra de agregado grueso para ensayo de peso específico y absorción

**Tabla 30**

*Peso específico y absorción del agregado grueso*

Muestra	N1	N2	N3	Promedio
Peso específico de masa (Pem)	2.66	2.65	2.7	2.67
Peso específico de masa saturado y superficialmente seco (PeSSS)	2.69	2.68	2.73	2.7
Peso específico aparente (gravedad específica) (Pea)	2.73	2.73	2.77	2.74
Absorción	1.01	1.03	1	1.01

*Nota.* Peso Específico Y Absorción Del Agregado Grueso Natural De 1/2"

#### 5.5. Contenido de humedad

- Norma: NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para determinar contenido de humedad total evaporable por secado)
- Muestra: la cantidad mínima de agregado grueso depende del TMN (Tamaño Máximo Nominal) siendo para agregado grueso de 1/2" la muestra mínima 2 kg.

**Figura 25**

*Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso*



*Nota.* Muestra seca al horno de agregado grueso.

**Tabla 31**

*Contenido de humedad del agregado grueso*

		Contenido de Humedad Agregado Grueso		
N° De Ensayo		1	2	3
Recipiente N°		HG-1	HG-2	HG-3
Masa de recipiente + Masa muestra húmeda (gr)	A	3744	3795	3784
Masa de recipiente + Masa muestra Seca (gr)	B	3738.89	3788.84	3778.74
Masa de recipiente (gr)	C	1037	990	995
Masa del Agua (gr)	D=A-B	5.11	6.16	5.26
Masa muestra seca sin tara (gr)	E=B-C	2701.89	2798.84	2783.74
% Contenido de Humedad	(D/E) *100	0.19	0.22	0.19
% Contenido de Humedad	Promedio		0.2	

*Nota.* Contenido De Humedad Del Agregado Grueso Natural De 1/2"

### 5.6. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto

- Norma: NTP 400.019 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles)
- Muestra: 5kg de agregado grueso de SUPERMIX de TMN 1/2" de las cuales 2.5kg que pasen el tamiz de 3/4" y queden retenidos en el tamiz de 1/2" y 2.5 kg que pasen el tamiz de 1/2" y que queden retenidos en el tamiz de 3/8".

**Figura 26**

*Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles*



*Nota.* Peso De La Muestra Tipo B.

**Tabla 32**

*Abrasión del agregado grueso natural en la máquina de Los Ángeles*

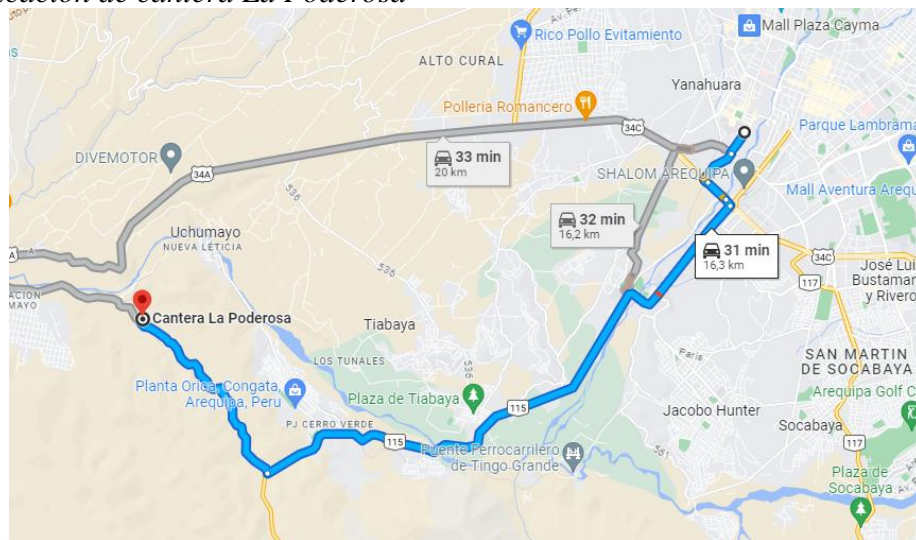
Muestra	N1	N2	N3
Masa de Muestra Retenida en malla 3/8" (g)	2500	2500	2500
Masa de Muestra Retenida en malla 1/2" (g)	2500	2500	2500
Masa de Muestra Limpia y Seca al Horno (g)	5000	5000	5000
Masa de Muestra Triturada, Limpia y Seca al Horno (g)	4225	4206	4217
% de Desgaste	15.5	15.88	15.66
% de Desgaste Promedio	15.68		

*Nota.* Datos Obtenidos Del Ensayo De Abrasión

## 6. AGREGADO FINO

El agregado fino utilizado es arena gruesa proveniente de la cantera La Poderosa ubicada en el distrito de Uchumayo en la ciudad de Arequipa a 30 minutos de la Universidad Católica de Santa María.

**Figura 27**  
*Ubicación de cantera La Poderosa*



*Nota.* Ubicación Referencial de Cantera La Poderosa. Adaptado de "Google Maps", 2023. “El origen geológico de la cantera La Poderosa es de depósitos Aluviales, están constituidos por fragmentos angulosos a redondeados de rocas plutónicas, volcánicas, y sedimentarias de tamaño variable, provenientes de afloramientos rocosos muy fracturados” (Vargas & Peralta, 2020, p. 60)

### 6.1. Granulometría

El ensayo de Granulometría se encuentra normado por la Norma Técnica Peruana “NTP 400.012:2021 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición”.

Para el presente ensayo se necesita una cantidad mínima de 300 g de agregado fino seco. El cual recorrerá los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8”, 3/4”, 1/2”, 1” y 1 1/2”. (Instituto Nacional de Calidad, 2001).

**Figura 28**  
*Agregado Fino Cantera La Poderosa*



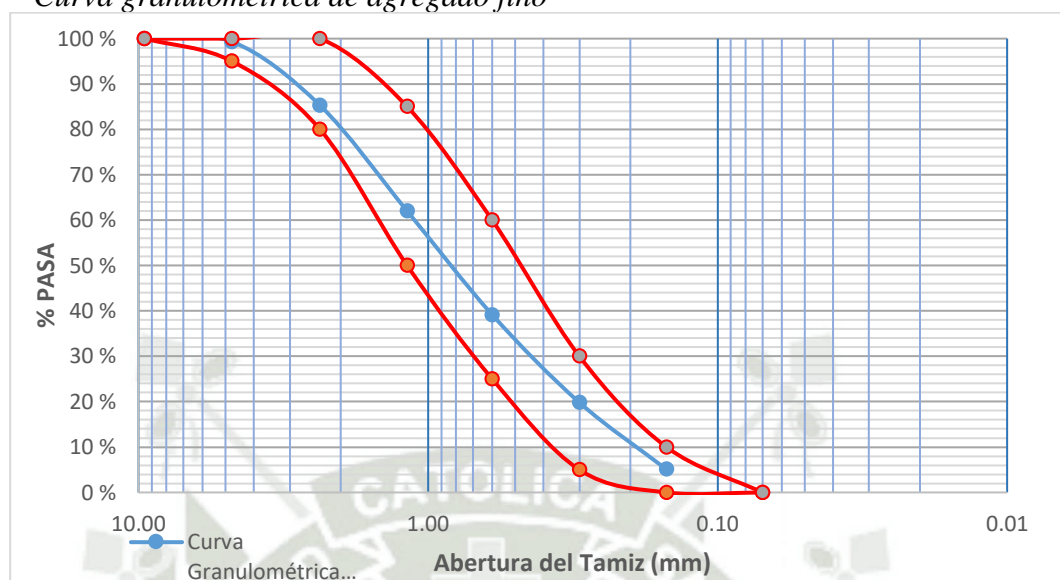
*Nota.* Tamices Normados para Ensayo de Granulometría.

**Tabla 33**  
*Granulometría agregado fino*

N°	Tamiz mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido		% Pasa	Lim. Inf.	Lim. Sup.
			% Parcial	% Acumulado			
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00		
N°4	4.75	3.70	0.70	0.70	99.30	95	100
N°8	2.36	74.40	14.02	14.71	85.29	80	100
N°10	2.00	55.10	10.38	25.09	74.91		
N°16	1.18	68.50	12.91	38.00	62.00	50	85
N°30	0.60	121.30	22.85	60.85	39.15	25	60
N°50	0.30	102.60	19.33	80.18	19.82	5	30
N°100	0.15	78.30	14.75	94.93	5.07	0	10
N°200	0.07	21.60	4.07	99.00	1.00	0	0
FONDO		5.30	1.00	100.00			
Peso Total (gr)		530.80					

*Nota.* Tabla del ensayo de granulometría del agregado fino.

**Figura 29**  
*Curva granulométrica de agregado fino*



*Nota.* Curva Granulométrica y Límites Granulométricos

## 6.2. Peso unitario suelto

El ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino se encuentra normado por la Norma Técnica Peruana “NTP 400.017:2020 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados”.

El ensayo consta de rellenar el recipiente de medida con una pala o cuchara hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2”) por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina con una regla.

El resultado es la división de la masa del agrado fino entre el volumen del recipiente (INACAL, 2020).

**Figura 30**  
*Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino*



*Nota.* Enrasado de la muestra para ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.

**Tabla 34**

*Peso unitario suelto del agregado fino*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	6.187	6.134	6.19
Peso del recipiente (kg)	T	1.612	1.612	1.612
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	$M=(G-T)/V$	1609.345	1590.784	1610.401
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio		1603.51	

*Nota.* Peso unitario suelto del agregado fino.

### 6.3. Peso unitario compactado

El ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino se encuentra normado por la Norma Técnica Peruana “NTP 400.017:2020 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados”.

El ensayo consta de rellenar el recipiente de medida en 3 capas apisonándola con 25 golpes por cada capa.

El resultado es la división de la masa del agrado fino entre el volumen del recipiente (INACAL, 2020).

**Figura 31**

*Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino*



*Nota.* Peso de la muestra y recipiente para ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.

**Tabla 35**

*Peso unitario compactado del agregado fino*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	6.807	6.854	6.87
Peso del recipiente (kg)	T	1.612	1.612	1.612
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	$M=(G-T)/V$	1827.321	1843.976	1849.604
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio		1840.3	

*Nota.* Peso unitario compactado del agregado fino

#### **6.4. Peso específico y absorción**

El ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino se encuentra normado por la Norma Técnica Peruana “NTP 400.022:2021 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición”.

Una muestra de agregado es retirada en agua por  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$  para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se determina de nuevo. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción. (INACAL, 2021)

**Figura 32**

*Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino*



*Nota.* Peso de muestra y recipiente de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

**Tabla 36**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

Muestra	N1	N2	N3	Promedio
Peso específico de masa (Pem)	2.51	2.55	2.54	2.54
Peso específico de masa saturado y superficialmente seco (PeSSS)	2.54	2.58	2.57	2.56
Peso específico aparente (gravedad específica) (Pea)	2.58	2.62	2.61	2.6
Absorción	1.05	1	1.02	1.02

*Nota.* Peso específico y absorción del agregado fino

### 6.5. Contenido de humedad

El ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino se encuentra normado por la Norma Técnica Peruana “NTP 339.185:2021 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición”.

El ensayo consta de pesar la muestra, para posteriormente secarla al horno y mediante la diferencia de pesos se determina el porcentaje de agua contenido en las partículas del agregado. (INACAL, 2021)

**Figura 33**

*Ensayo de contenido de humedad del agregado fino*



*Nota.* Peso superficialmente seco para ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

**Tabla 37**  
*Contenido de humedad del agregado fino*

Contenido de Humedad Agregado Fino		1	2	3
N° De Ensayo				
Recipiente N°		HF-1	HF-2	HF-3
Masa de recipiente + Masa muestra húmeda (gr)	A	632.74	622	622.5
Masa de recipiente + Masa muestra Seca (gr)	B	631.94	621.01	621.75
Masa de recipiente (gr)	C	133.5	125.5	120
Masa del Agua (gr)	D=A-B	0.8	0.99	0.75
Masa muestra seca sin tara (gr)	E=B-C	498.44	495.51	501.75
% Contenido de Humedad	(D/E) *100	0.16	0.2	0.15
% Contenido de Humedad	Promedio		0.17	

*Nota.* Contenido De Humedad Del Agregado Fino.

## 7. AGREGADO GRUESO RECICLADO

Como parte de un proyecto de la gestión anterior (2019-2022) se hizo veredas alrededor de la Municipalidad de San Miguel – Departamento de Puno (Av. Triunfo, Jr. Alpamayo). Actualmente en la actual gestión (2023-2026) han sido demolidas algunas zonas de las mencionadas veredas. El motivo de dicha partida de demolición es: la variación en las dimensiones de las veredas nuevas con las veredas de la anterior gestión, lo que ocasionaba que las cunetas antiguas no empalmen de manera adecuada con el trazo de las cunetas del nuevo proyecto.

**Figura 34**  
*Ubicación de la demolición*



*Nota.* Ubicación referencial de Av. Triunfo y Jr. Alpamayo Adaptado de "Google Maps", 2023.

Una vez realiza la recolección de escombros de la demolición de dichas veredas, (específicamente las que están ubicadas en el jirón Alpamayo y el jirón Ubinas para lo cual adjuntamos fotos de la recolección de escombros) se procede a triturarlas en la chancadora y finalmente tamizarla para obtener agregado grueso reciclado de ½”

### Figura 35

*Demolición de veredas  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Acopio de Escombros. Adaptado de “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular Y Peatonal En Las Urbanizaciones Pueblo Joven La Revolución Y San Martin De Porres Distrito De San Miguel - Provincia De San Román - Departamento De Puno”, 2023.

### 7.1. Granulometría

- Norma: NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global)
- Muestra: agregado grueso reciclado de ½” obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT

### Figura 36

*Agregado grueso Reciclado*



*Nota.* Tamices Utilizados Para Ensayos De Granulometría Del Agregado Grueso Reciclado.

Se hizo el ensayo de granulometría para 3 muestras representativas del agregado grueso reciclado obteniendo módulos de fineza de 6.23, 6.23 y 6.07, dando como Módulo de fineza promedio de 6.18.

**Tabla 38**  
*Granulometría Agregado Grueso Reciclado*

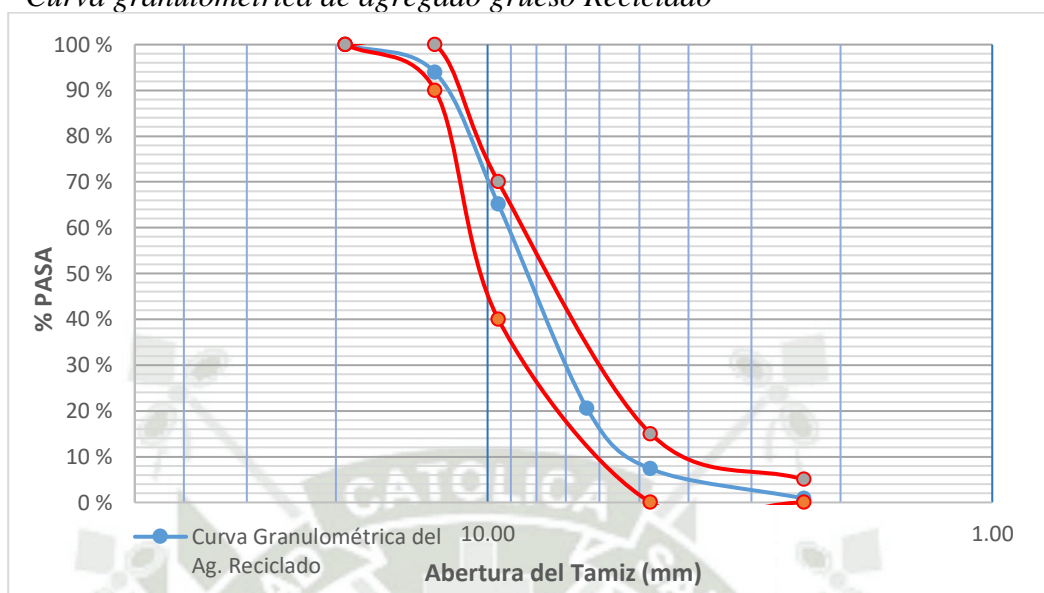
N°	Tamiz mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido		% Pasa	HUSO 7	
			% Parcial	% Acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
3"	76.20						
2 1/2"	63.50						
2"	50.80						
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.70	176.00	6.12	6.12	93.88	90	100
3/8"	9.52	828.00	28.77	34.89	65.11	40	70
1/4"	6.35	1284.00	44.61	79.50	20.50		
N°4	4.75	379.00	13.17	92.67	7.33	0	15
N°8	2.36	186.00	6.46	99.13	0.87	0	5
N°10	2.00	0.00	0.00	99.13	0.87		
N°16	1.18	0.00	0.00	99.13	0.87		
N°30	0.60	0.00	0.00	99.13	0.87		
N°50	0.30	0.00	0.00	99.13	0.87		
N°100	0.15	0.00	0.00	99.13	0.87		
N°200	0.07	0.00	0.00	99.13	0.87		
FONDO		25.00	0.90	100.00			
Peso Total (gr)		2878.00					

*Nota.* Tabla de Resultados del Ensayo de Granulometría al Agregado Reciclado

La curva granulométrica del agregado grueso reciclado cumple del rango del HUSO 7. Este agregado tiene un módulo de fineza de 6.18, esto implica que tiene agregados de tamaño más grandes que los del agregado grueso natural.

**Figura 37**

*Curva granulométrica de agregado grueso Reciclado*



*Nota.* Curva Granulométrica Y Límites Según El HUSO 7.

### 7.2. Peso unitario suelto

- Norma: NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)
- Muestra: agregado grueso reciclado de ½" obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT

**Figura 38**

*Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso Reciclado*



*Nota.* Peso de la Muestra Seca del Agregado Reciclado.

**Tabla 39**

*Peso unitario suelto del agregado grueso reciclado*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	16.590	16.343	16.496
Peso del recipiente (kg)	T	4.841	4.841	4.841
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	$M=(G-T)/V$	1249.217	1222.955	1239.222
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio		1237.13	

*Nota.* Resultados del Ensayo del PUS del Agregado Grueso Reciclado.

Comparado los resultados del agregado grueso de SUPERMIX, tenemos que el agregado grueso reciclado presenta un peso unitario suelto 16% menor.

### 7.3. Peso unitario compactado

- Norma: NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado)
- Muestra: agregado grueso reciclado de ½" obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT

**Figura 39**

*Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso reciclado*



*Nota.* Muestra Seca para el Ensayo de PUC del Agregado Grueso Reciclado.

**Tabla 40**

*Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado*

Muestra		N1	N2	N3
Peso del recipiente + contenido (kg)	G	17.291	17.598	17.431
Peso del recipiente (kg)	T	4.841	4.841	4.841
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	M=(G-T)/V	1323.751	1356.393	1338.637
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio	1339.59		

*Nota.* Resultados del Ensayo del PUS del Agregado Grueso Reciclado. Comparado los resultados del agregado grueso de SUPERMIX, tenemos que el agregado grueso reciclado presenta un peso unitario compactado 16.4 % menos.

#### 7.4. Peso específico y absorción

- Norma: NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa y absorción para agregado fino)
- Muestra: agregado grueso reciclado de ½” obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT

**Figura 40**

*Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso Reciclado*



*Nota.* Secado Superficial de la Muestra.

**Tabla 41**

*Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado*

Muestra	N1	N2	N3	Promedio
Peso específico de masa (Pem)	2.26	2.27	2.28	2.27
Peso específico de masa saturado y superficialmente seco (PeSSS)	2.41	2.41	2.42	2.41
Peso específico aparente (gravedad específica) (Pea)	2.65	2.65	2.65	2.65
Absorción	6.56	6.23	6.06	6.29

*Nota.* Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción

El agregado grueso reciclado presenta una absorción 3.6 veces más que el del agregado grueso de SUPERMIX.

### 7.5. Contenido de humedad

- Norma: NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para determinar contenido de humedad total evaporable por secado)
- Muestra: agregado grueso reciclado de ½” obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT

**Figura 41**

*Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso Reciclado*



*Nota.* Muestras Secas al Horno.

**Tabla 42**

*Contenido de humedad del agregado grueso reciclado*

Contenido de Humedad Agregado Grueso		1	2	3
N° De Ensayo	Recipiente N°	P39	P40	P41
Masa de recipiente + Masa muestra húmeda (gr)	A	3155	3199	3250
Masa de recipiente + Masa muestra Seca (gr)	B	3033	3073	3120
Masa de recipiente (gr)	C	155	199	250
Masa del Agua (gr)	D=A-B	122	126	130
Masa muestra seca sin tara (gr)	E=B-C	2878	2874	2870
% Contenido de Humedad	(D/E) *100	4.24	4.38	4.53
% Contenido de Humedad	Promedio		4.38	

*Nota.* Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Reciclado.

El agregado grueso reciclado presenta un contenido de humedad 16 veces más que el del agregado grueso de SUPERMIX.

### 7.6. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto

- Norma: NTP 400.019 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles)
- Muestra: 5kg de agregado grueso reciclado de TMN ½” obtenido de la trituración de la chancadora TESAB 623CT de las cuales 2.5 kg que pasen el tamiz de ¾” y queden retenidos en el tamiz de ½” y 2.5 kg que pasen el tamiz de ½” y que queden retenidos en el tamiz de 3/8”.

**Figura 42**

*Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles*



*Nota.* Muestra Seca y Triturada por la Maquina de Los Ángeles

**Tabla 43**

*Abrasión del agregado grueso reciclado en la máquina de Los Ángeles*

Muestra	N1	N2	N3
Masa de Muestra Retenida en malla 3/8" (g)	2500.00	2500.00	2500.00
Masa de Muestra Retenida en malla 1/2" (g)	2500.00	2500.00	2500.00
Masa de Muestra Limpia y Seca al Horno (g)	5000.00	5000.00	5000.00
Masa de Muestra Triturada, Limpia y Seca al Horno (g)	3358.60	3386.00	3489.00
% de Desgaste	32.83	32.28	30.22
% de Desgaste Promedio	31.78		

*Nota.* Resultados del Ensayo de Abrasión del Agregado Reciclado.

El agregado grueso reciclado presenta un desgaste por la máquina de los Ángeles 2 veces más que el del agregado grueso de SUPERMIX.

## 8. DISEÑO DE MEZCLA

### 8.1. Método Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados

Una vez definida con las propiedades de los componentes (agregados, cemento, agua y aditivos), se precisaron las condiciones de diseño.

**Tabla 44**  
*Resumen de las Propiedades de los Componentes*

Descripción	Und.	Ag. Fino	Ag. Grueso	Cemento	Agua	Aditivo Plastificante
TMN	pulg	-	1/2	-	-	-
Módulo de Finura	-	2.9	6.33	-	-	-
Peso Unitario Suelto	kg/m <sup>3</sup>	1603.51	1512.74	-	-	-
Peso Unitario Compactado	kg/m <sup>3</sup>	1840.3	1609.74	-	-	-
Peso Específico	kg/m <sup>3</sup>	2.6	2.74	2850	1000	1200
Contenido de Humedad	%	0.17	0.2	-	-	-
Porcentaje de Absorción	%	1.02	1.01	-	-	-

*Nota.* Propiedades de los componentes necesarios para el Diseño de Mezcla

Se realizaron los 48 diseños de mezcla que se muestran en la tabla 14, mostrándose a continuación el diseño de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con 0% de remplazo de agregado grueso, 0% de adición de humo de sílice y sin aditivo plastificante, codificado como 210-R0-SP-HS0.

**Tabla 45**  
*Condiciones de Diseño para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Descripción	Und.	
Resistencia a la Compresión Especificada ( $f'c$ )	kg/cm <sup>2</sup>	210
Resistencia a la Compresión Requerida ( $F'cr$ )	kg/cm <sup>2</sup>	294
TMN	pulg	1/2
Aire Atrapado	%	2.5
Volumen de Agua	Lts	216
a/c	-	0.56
MFC	-	4.7

*Nota.* Condiciones de Diseño para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 46**  
*Volúmenes Absolutos de Agregados (Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0)*

Descripción	Und.	
Volumen de Agregados	m <sup>3</sup>	0.38
Porcentaje de Agregado Fino	%	47.58
Porcentaje de Agregado Grueso	%	52.42
Volumen de Ag. Fino	m <sup>3</sup>	0.3
Volumen de Ag. Grueso	m <sup>3</sup>	0.33

*Nota.* Volúmenes Absolutos de los Agregados para Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0

Finalmente, se realizó la dosificación adecuada por metro cubico de concreto en estado seco y húmedo de los materiales.

**Tabla 47***Proporciones por Método de Fineza – Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0*

Material	Und.	Peso Seco/m3	Corrección	Peso Hum/m3
Cemento	kg	386.82	-	386.82
Agua	lts	216	13.79	229.79
Agregado Grueso	kg	893.64	1.002	895.43
Agregado Fino	kg	770.39	1.0017	771.7
Aire	%	2.5	-	2.5
Plastificante	lts	0	-	0

*Nota.* Diseño de Mezcla 210-R0-SP-HS0

## 8.2. Resumen de Diseños de Mezcla

A continuación, se muestra las proporciones de los materiales a usarse para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto con las diferentes combinaciones propuestas para la investigación.

**Tabla 48**

*Resumen de Proporciones para Diseños de Mezclas  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Pesos de Agregados Húmedos por m<sup>3</sup> para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Ítem	Diseño	Cemento (Kg)	Ag Grueso (Kg)	Ag Reciclado (Kg)	Ag Fino (Kg)	Agua (Lt)	Plastificante (ml)	Humo de Sílice (Kg)
D1	210-R0-SP-HS0	386.82	895.43	0	771.7	229.79	0	0
D2	210-R25-SP-HS0	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	0	0
D3	210-R50-SP-HS0	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	0	0
D4	210-R0-SP-HS5	386.82	895.43	0	771.7	229.79	0	19.34
D5	210-R25-SP-HS5	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	0	19.34
D6	210-R50-SP-HS5	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	0	19.34
D7	210-R0-SP-HS10	386.82	895.43	0	771.7	229.79	0	38.68
D8	210-R25-SP-HS10	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	0	38.68
D9	210-R50-SP-HS10	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	0	38.68
D10	210-R0-SP-HS15	386.82	895.43	0	771.7	229.79	0	58.02
D11	210-R25-SP-HS15	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	0	58.02
D12	210-R50-SP-HS15	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	0	58.02
D13	210-R0-CP-HS0	386.82	895.43	0	771.7	229.79	4550.82	0
D14	210-R25-CP-HS0	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	4550.82	0
D15	210-R50-CP-HS0	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	4550.82	0
D16	210-R0-CP-HS5	386.82	895.43	0	771.7	229.79	4550.82	19.34
D17	210-R25-CP-HS5	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	4550.82	19.34
D18	210-R50-CP-HS5	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	4550.82	19.34
D19	210-R0-CP-HS10	386.82	895.43	0	771.7	229.79	4550.82	38.68
D20	210-R25-CP-HS10	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	4550.82	38.68
D21	210-R50-CP-HS10	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	4550.82	38.68
D22	210-R0-CP-HS15	386.82	895.43	0	771.7	229.79	4550.82	58.02
D23	210-R25-CP-HS15	386.82	671.57	223.86	771.7	229.79	4550.82	58.02
D24	210-R50-CP-HS15	386.82	447.71	447.71	771.7	229.79	4550.82	58.02

*Nota.* Diseños de Mezclas  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 49**

*Resumen de Proporciones para Diseños de Mezclas  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

Pesos de Agregados Húmedos por m<sup>3</sup> para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Ítem	Diseño	Cemento (kg)	Ag Grueso (kg)	Ag Reciclado (kg)	Ag Fino (kg)	Agua (lt)	Plastificante (ml)	Humo de Sílice (kg)
D25	280-R0-SP-HS0	463.52	925.56	0	673.05	229.19	0	0
D26	280-R25-SP-HS0	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	0	0
D27	280-R50-SP-HS0	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	0	0
D28	280-R0-SP-HS5	463.52	925.56	0	673.05	229.19	0	23.18
D29	280-R25-SP-HS5	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	0	23.18
D30	280-R50-SP-HS5	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	0	23.18
D31	280-R0-SP-HS10	463.52	925.56	0	673.05	229.19	0	46.35
D32	280-R25-SP-HS10	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	0	46.35
D33	280-R50-SP-HS10	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	0	46.35
D34	280-R0-SP-HS15	463.52	925.56	0	673.05	229.19	0	69.53
D35	280-R25-SP-HS15	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	0	69.53
D36	280-R50-SP-HS15	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	0	69.53
D37	280-R0-CP-HS0	463.52	925.56	0	673.05	229.19	5453.17	0
D38	280-R25-CP-HS0	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	5453.17	0
D39	280-R50-CP-HS0	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	5453.17	0
D40	280-R0-CP-HS5	463.52	925.56	0	673.05	229.19	5453.17	23.18
D41	280-R25-CP-HS5	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	5453.17	23.18
D42	280-R50-CP-HS5	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	5453.17	23.18
D43	280-R0-CP-HS10	463.52	925.56	0	673.05	229.19	5453.17	46.35
D44	280-R25-CP-HS10	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	5453.17	46.35
D45	280-R50-CP-HS10	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	5453.17	46.35
D46	280-R0-CP-HS15	463.52	925.56	0	673.05	229.19	5453.17	69.53
D47	280-R25-CP-HS15	463.52	694.17	231.39	673.05	229.19	5453.17	69.53
D48	280-R50-CP-HS15	463.52	462.78	462.78	673.05	229.19	5453.17	69.53

*Nota.* Diseños de Mezclas  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$



## 1. ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO

### 1.1. Asentamiento de Concreto

Se realizó la prueba de trabajabilidad del concreto a cada diseño de mezcla, teniendo como trabajabilidad de diseño entre 3"- 4".

#### **Figura 43**

*Ensayo de Asentamiento de Concreto*



*Nota.* Toma de datos del asentamiento del diseño patrón D1.

Este es un ensayo significativo ya que una buena trabajabilidad permite que al momento de vaciar elementos estructurales no se presenten defectos como las cangrejas.

### 1.1.1. Asentamiento $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 50**

*Resultados de Asentamiento  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

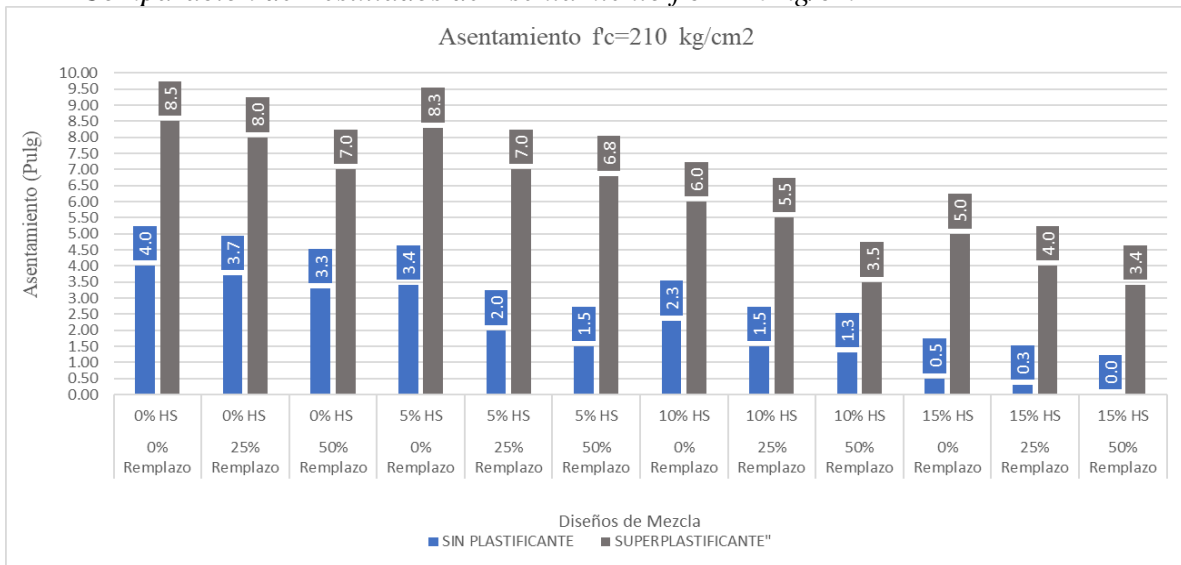
DISEÑO	CODIGO	ASENTAMIENTO (PULG)
D1	210-R0-SP-HS0	4.00
D2	210-R25-SP-HS0	3.70
D3	210-R50-SP-HS0	3.30
D4	210-R0-SP-HS5	3.40
D5	210-R25-SP-HS5	2.00
D6	210-R50-SP-HS5	1.50
D7	210-R0-SP-HS10	2.30
D8	210-R25-SP-HS10	1.50
D9	210-R50-SP-HS10	1.30
D10	210-R0-SP-HS15	0.50
D11	210-R25-SP-HS15	0.30
D12	210-R50-SP-HS15	0.00
D13	210-R0-CP-HS0	8.50
D14	210-R25-CP-HS0	8.00
D15	210-R50-CP-HS0	7.00
D16	210-R0-CP-HS5	8.30
D17	210-R25-CP-HS5	7.00
D18	210-R50-CP-HS5	6.80
D19	210-R0-CP-HS10	6.00
D20	210-R25-CP-HS10	5.50
D21	210-R50-CP-HS10	3.50
D22	210-R0-CP-HS15	5.00
D23	210-R25-CP-HS15	4.00
D24	210-R50-CP-HS15	3.40

*Nota.* Resultados de trabajabilidad del diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se observa que el remplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado afecta en el asentamiento de la mezcla reduciendo su trabajabilidad en 21.7% y 40.8% para remplazos del 25% y 50% respecto al diseño patrón.

**Figura 44**

*Comparación de Resultados de Asentamiento  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de trabajabilidad del diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

La influencia del aditivo plastificante en la trabajabilidad es positiva ya que mejora esta propiedad en 70.6% respecto al diseño sin aditivo.

En cambio, el uso del humo de sílice reduce la trabajabilidad en 38.5%, 54.2% y 93.1% con dosificaciones del 5%, 10% y 15%.

### 1.1.2. Asentamiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 51**

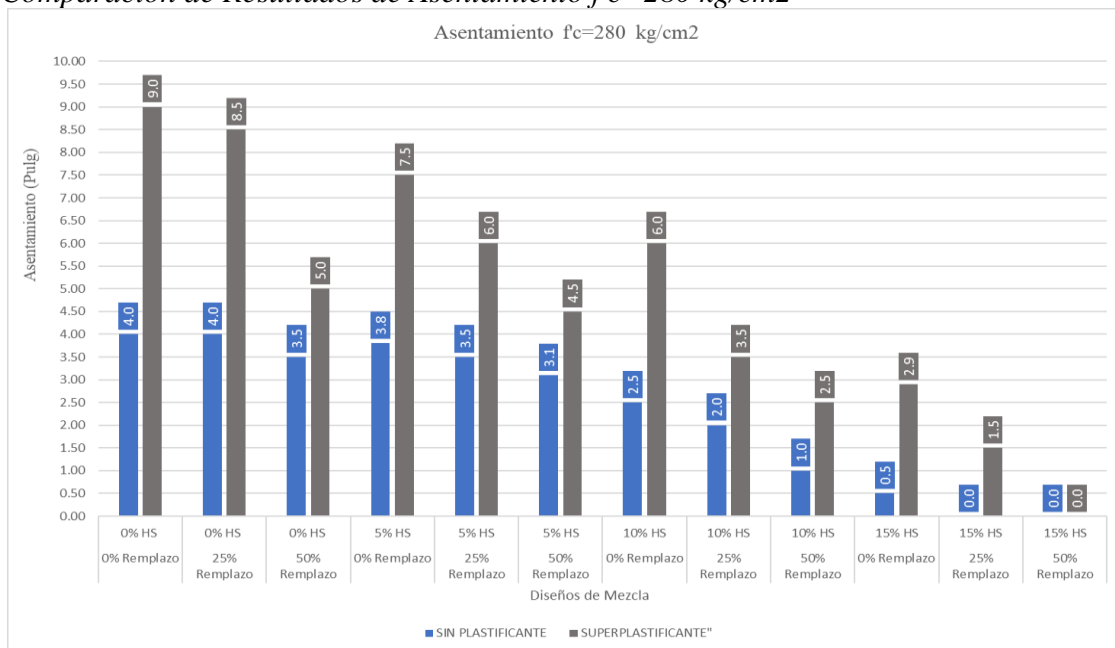
*Resultados de Asentamiento  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

DISEÑO	CODIGO	ASENTAMIENTO (PULG)
D25	280-R0-SP-HS0	4
D26	280-R25-SP-HS0	4
D27	280-R50-SP-HS0	3.5
D28	280-R0-SP-HS5	3.8
D29	280-R25-SP-HS5	3.5
D30	280-R50-SP-HS5	3.1
D31	280-R0-SP-HS10	2.5
D32	280-R25-SP-HS10	2
D33	280-R50-SP-HS10	1
D34	280-R0-SP-HS15	0.5
D35	280-R25-SP-HS15	0
D36	280-R50-SP-HS15	0
D37	280-R0-CP-HS0	9
D38	280-R25-CP-HS0	8.5
D39	280-R50-CP-HS0	5
D40	280-R0-CP-HS5	7.5
D41	280-R25-CP-HS5	6
D42	280-R50-CP-HS5	4.5
D43	280-R0-CP-HS10	6
D44	280-R25-CP-HS10	3.5
D45	280-R50-CP-HS10	2.5
D46	280-R0-CP-HS15	2.9
D47	280-R25-CP-HS15	1.5
D48	280-R50-CP-HS15	0

*Nota.* Resultados de trabajabilidad del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se observa que el remplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado afecta en el asentamiento de la mezcla reduciendo su trabajabilidad en 30.42% y 54.21% para remplazos del 25% y 50% respecto al diseño patrón.

**Figura 45**  
*Comparación de Resultados de Asentamiento  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de trabajabilidad del diseño  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

La influencia del aditivo plastificante en la trabajabilidad es positiva ya que mejora esta propiedad en 54.96% respecto al diseño sin aditivo.

En cambio, el uso del humo de sílice reduce la trabajabilidad en 9.64%, 52.98% y 95.83% con dosificaciones del 5%, 10% y 15%

## 1.2. Temperatura

Mediante el uso del termómetro digital se determinó la temperatura del concreto.

**Figura 46**  
*Temperatura del Concreto*



*Nota.* Temperatura del diseño patrón D1.

### 1.2.1. Temperatura $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 52***Resultados de Temperatura  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

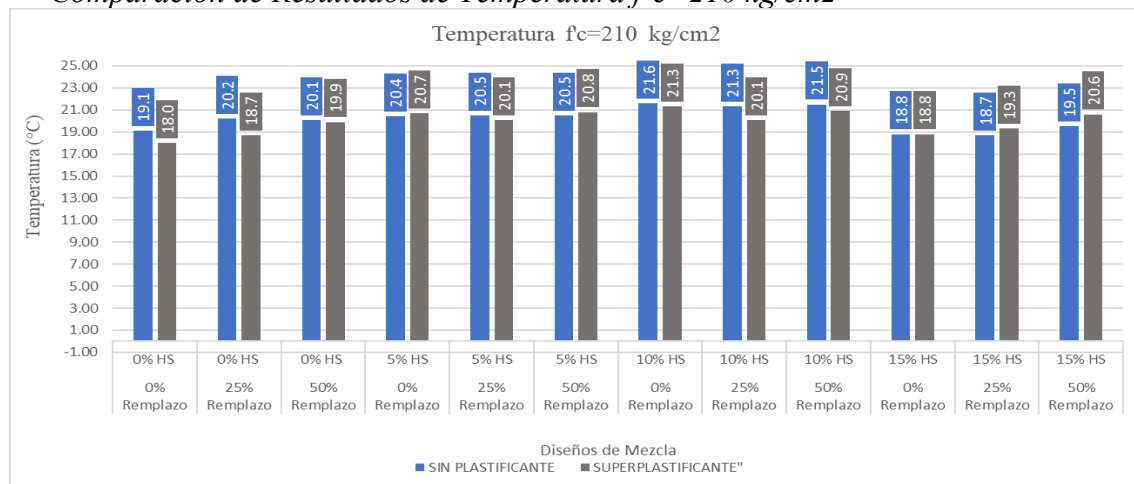
DISEÑO	CODIGO	TEMPERATURA (°C)
D1	210-R0-SP-HS0	19.1
D2	210-R25-SP-HS0	20.2
D3	210-R50-SP-HS0	20.1
D4	210-R0-SP-HS5	20.4
D5	210-R25-SP-HS5	20.5
D6	210-R50-SP-HS5	20.5
D7	210-R0-SP-HS10	21.6
D8	210-R25-SP-HS10	21.3
D9	210-R50-SP-HS10	21.5
D10	210-R0-SP-HS15	18.8
D11	210-R25-SP-HS15	18.7
D12	210-R50-SP-HS15	19.5
D13	210-R0-CP-HS0	18
D14	210-R25-CP-HS0	18.7
D15	210-R50-CP-HS0	19.9
D16	210-R0-CP-HS5	20.7
D17	210-R25-CP-HS5	20.1
D18	210-R50-CP-HS5	20.8
D19	210-R0-CP-HS10	21.3
D20	210-R25-CP-HS10	20.1
D21	210-R50-CP-HS10	20.9
D22	210-R0-CP-HS15	18.8
D23	210-R25-CP-HS15	19.3
D24	210-R50-CP-HS15	20.6

*Nota.* Resultados de Temperatura del diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se observa que para las diferentes adiciones y niveles de remplazo las temperaturas varían entre 18 °C y 21.6 °C, sin embargo, no se nota grandes variaciones que marquen alguna tendencia.

**Figura 47**

*Comparación de Resultados de Temperatura  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Temperatura del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

**1.2.2. Temperatura  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 53**

*Comparación de Resultados de Temperatura  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

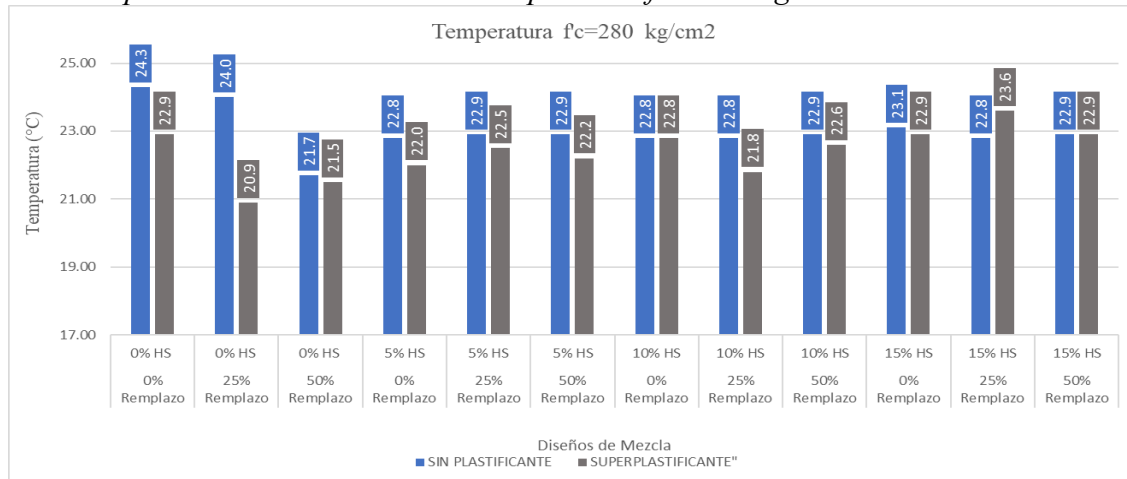
DISEÑO	CODIGO	TEMPERATURA (°C)
D25	280-R0-SP-HS0	24.3
D26	280-R25-SP-HS0	24.00
D27	280-R50-SP-HS0	21.70
D28	280-R0-SP-HS5	22.80
D29	280-R25-SP-HS5	22.90
D30	280-R50-SP-HS5	22.90
D31	280-R0-SP-HS10	22.80
D32	280-R25-SP-HS10	22.80
D33	280-R50-SP-HS10	22.90
D34	280-R0-SP-HS15	23.10
D35	280-R25-SP-HS15	22.80
D36	280-R50-SP-HS15	22.90
D37	280-R0-CP-HS0	22.90
D38	280-R25-CP-HS0	20.90
D39	280-R50-CP-HS0	21.50
D40	280-R0-CP-HS5	22.00
D41	280-R25-CP-HS5	22.50
D42	280-R50-CP-HS5	22.20
D43	280-R0-CP-HS10	22.80
D44	280-R25-CP-HS10	21.80
D45	280-R50-CP-HS10	22.60
D46	280-R0-CP-HS15	22.90
D47	280-R25-CP-HS15	23.60
D48	280-R50-CP-HS15	22.90

*Nota.* Resultados de Temperatura del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

Se observa que para las diferentes adiciones y niveles de remplazo las temperaturas varían entre 20.9 °C y 24.3 °C, sin embargo, no se nota grandes variaciones que marquen alguna tendencia.

**Figura 48**

*Comparación de Resultados de Temperatura  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Temperatura del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

### 1.3. Rendimiento del Concreto

Se ensayó el rendimiento del concreto para compararlo con el rendimiento teórico de 2.4 Tn/m<sup>3</sup>.

**Figura 49**

*Rendimiento del Concreto*



*Nota.* Rendimiento de Concreto del diseño patrón D1.

A continuación, se muestra los resultados de los ensayos de concreto en estado fresco realizados para concreto con resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con las diferentes adiciones y niveles de remplazo del agregado reciclado.

### 1.3.1. Rendimiento $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 54**

*Resultados de Rendimiento  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

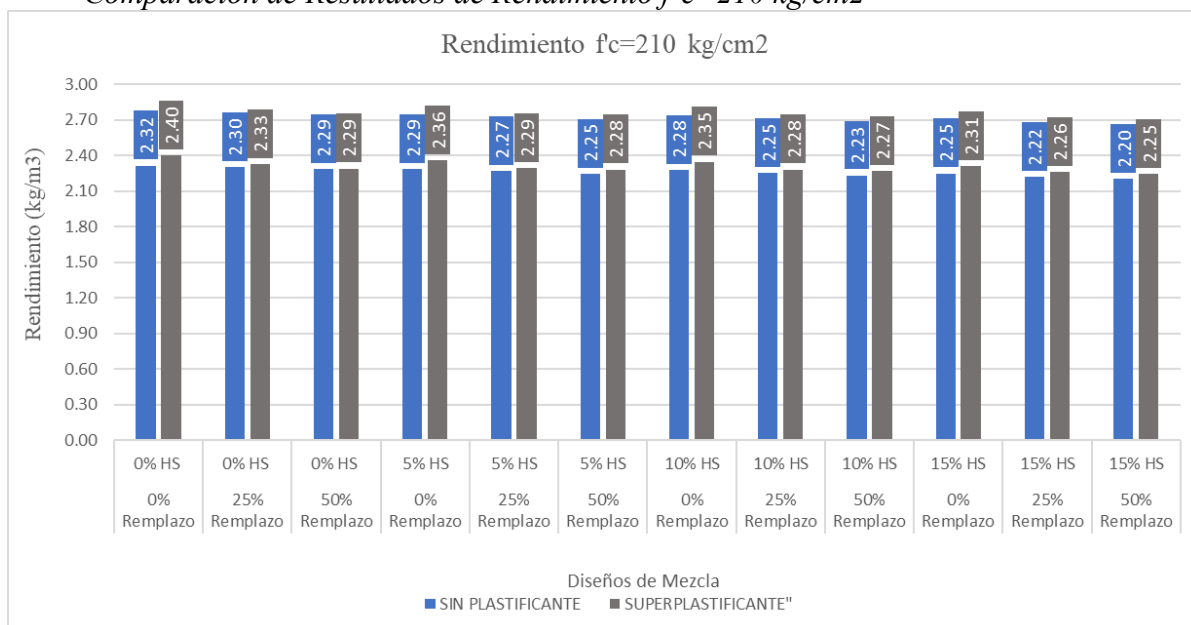
DISEÑO	CODIGO	Peso de olla + Muestra (kg)	RENDIMIENTO (kg/m <sup>3</sup> )		
			Peso de olla (kg)	Vol. De Olla (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (kg/m <sup>3</sup> )
D1	210-R0-SP-HS0	8.098	1.66	2.78	2.32
D2	210-R25-SP-HS0	8.065	1.66	2.78	2.3
D3	210-R50-SP-HS0	8.026	1.66	2.78	2.29
D4	210-R0-SP-HS5	8.021	1.66	2.78	2.29
D5	210-R25-SP-HS5	7.978	1.66	2.78	2.27
D6	210-R50-SP-HS5	7.91	1.66	2.78	2.25
D7	210-R0-SP-HS10	7.998	1.66	2.78	2.28
D8	210-R25-SP-HS10	7.92	1.66	2.78	2.25
D9	210-R50-SP-HS10	7.867	1.66	2.78	2.23
D10	210-R0-SP-HS15	7.916	1.66	2.78	2.25
D11	210-R25-SP-HS15	7.833	1.66	2.78	2.22
D12	210-R50-SP-HS15	7.782	1.66	2.78	2.2
D13	210-R0-CP-HS0	8.33	1.66	2.78	2.4
D14	210-R25-CP-HS0	8.135	1.66	2.78	2.33
D15	210-R50-CP-HS0	8.03	1.66	2.78	2.29
D16	210-R0-CP-HS5	8.219	1.66	2.78	2.36
D17	210-R25-CP-HS5	8.039	1.66	2.78	2.29
D18	210-R50-CP-HS5	8.007	1.66	2.78	2.28
D19	210-R0-CP-HS10	8.19	1.66	2.78	2.35
D20	210-R25-CP-HS10	8.006	1.66	2.78	2.28
D21	210-R50-CP-HS10	7.973	1.66	2.78	2.27
D22	210-R0-CP-HS15	8.088	1.66	2.78	2.31
D23	210-R25-CP-HS15	7.948	1.66	2.78	2.26
D24	210-R50-CP-HS15	7.902	1.66	2.78	2.25

*Nota.* Rendimiento del diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se ve que el rendimiento del concreto muestra relación con el asentamiento de los diseños con los diferentes niveles de remplazo y adiciones, se muestra una mejora de 1.9% con el uso del aditivo super plastificante.

**Figura 50**

*Comparación de Resultados de Rendimiento  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Rendimiento del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

### 1.3.2. Rendimiento $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 55**

*Resultados de Rendimiento  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

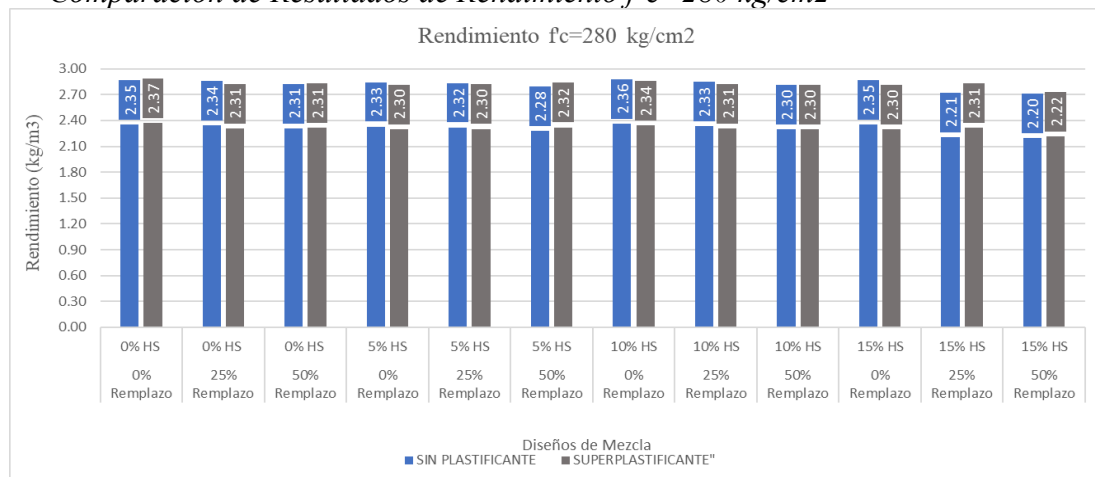
DISEÑO	CODIGO	Peso de olla + Muestra (kg)	RENDIMIENTO (kg/m <sup>3</sup> )		
			Peso de olla (kg)	Vol. De Olla (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (kg/m <sup>3</sup> )
D25	280-R0-SP-HS0	8.201	1.66	2.78	2.35
D26	280-R25-SP-HS0	8.173	1.66	2.78	2.34
D27	280-R50-SP-HS0	8.074	1.66	2.78	2.31
D28	280-R0-SP-HS5	8.133	1.66	2.78	2.33
D29	280-R25-SP-HS5	8.106	1.66	2.78	2.32
D30	280-R50-SP-HS5	7.994	1.66	2.78	2.28
D31	280-R0-SP-HS10	8.109	1.66	2.78	2.32
D32	280-R25-SP-HS10	8.047	1.66	2.78	2.3
D33	280-R50-SP-HS10	8.005	1.66	2.78	2.28
D34	280-R0-SP-HS15	8.091	1.66	2.78	2.31
D35	280-R25-SP-HS15	7.792	1.66	2.78	2.21
D36	280-R50-SP-HS15	7.762	1.66	2.78	2.2
D37	280-R0-CP-HS0	8.244	1.66	2.78	2.37
D38	280-R25-CP-HS0	8.174	1.66	2.78	2.34
D39	280-R50-CP-HS0	8.094	1.66	2.78	2.31
D40	280-R0-CP-HS5	8.291	1.66	2.78	2.39
D41	280-R25-CP-HS5	8.157	1.66	2.78	2.34
D42	280-R50-CP-HS5	8.108	1.66	2.78	2.32
D43	280-R0-CP-HS10	8.371	1.66	2.78	2.41
D44	280-R25-CP-HS10	8.138	1.66	2.78	2.33
D45	280-R50-CP-HS10	8.043	1.66	2.78	2.3
D46	280-R0-CP-HS15	8.045	1.66	2.78	2.3
D47	280-R25-CP-HS15	8.09	1.66	2.78	2.31
D48	280-R50-CP-HS15	7.824	1.66	2.78	2.22

*Nota.* Comparativa de Rendimiento del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se ve que el rendimiento del concreto muestra relación con el asentamiento de los diseños con los diferentes niveles de remplazo y adiciones, se muestra una mejora de 1.4% con el uso del aditivo super plastificante.

**Figura 51**

*Comparación de Resultados de Rendimiento  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de Rendimiento del diseño  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

## 2. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

### 2.1. Resistencia a la Compresión

Se realizó la prueba de resistencia a la compresión a cada diseño de mezcla. Se realizaron rotura a los 7, 14 y 28 días de edad de cada espécimen.

Se ensayó 3 probetas por cada edad para poder obtener un valor promedio de resistencia a la compresión.

**Figura 52**

*Ensayo de Compresión a los 7 días*



*Nota.* Toma de datos del ensayo a compresión del diseño D5 a los 7 días.

2.1.1. Resistencia a la compresión  $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 56

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  - 7 días

DISEÑO	CODIGO	$f_c$ (kgf)	$\varnothing$ (cm)	7 DÍAS	
				Área (cm <sup>2</sup> )	$f_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
D1	210-R0-SP-HS0	16995.0	10.1	78.54	209.04
		15990.0	9.8		
		16270.0	10.1		
D2	210-R25-SP-HS0	15847.0	10.2	78.54	204.07
		15947.0	9.8		
		16289.0	10.0		
D3	210-R50-SP-HS0	14871.0	9.9	78.02	189.07
		14378.0	9.9		
		15002.0	10.1		
D4	210-R0-SP-HS5	17154.0	10.0	79.59	214.54
		17088.0	10.1		
		16985.0	10.1		
D5	210-R25-SP-HS5	16988.0	9.8	78.02	210.69
		16229.0	9.9		
		16096.0	10.2		
D6	210-R50-SP-HS5	15478.0	10.2	81.18	194.32
		14962.0	10.2		
		16884.0	10.1		
D7	210-R0-SP-HS10	17884.0	10.1	81.18	222.65
		17988.0	10.2		
		18352.0	10.2		
D8	210-R25-SP-HS10	17285.0	10.1	80.65	215.10
		17464.0	10.1		
		17294.0	10.2		
D9	210-R50-SP-HS10	15229.0	10.2	80.65	203.60
		17228.0	10.2		
		16802.0	10.0		
D10	210-R0-SP-HS15	17778.0	10.0	76.98	224.85
		16982.0	9.8		
		17164.0	9.9		
D11	210-R25-SP-HS15	14885.0	10.1	78.02	193.91
		15580.0	10.0		
		14919.0	9.8		
D12	210-R50-SP-HS15	15232.0	10.2	81.18	191.46
		15212.0	10.2		
		16185.0	10.1		
D13	210-R0-CP-HS0	18302.0	9.8	77.50	228.10
		17643.0	9.9		
		17085.0	10.1		
D14	210-R25-CP-HS0	17862.0	10.2	80.65	217.62
		17726.0	10.1		
		17065.0	10.1		
D15	210-R50-CP-HS0	16552.0	10.2	80.65	208.23
		16872.0	10.0		
		16955.0	10.2		
D16	210-R0-CP-HS5	18752.0	9.8	76.46	236.60
		17566.0	10.0		
		17952.0	9.8		
D17	210-R25-CP-HS5	17255.0	9.8	76.98	221.20
		16845.0	9.9		
		16983.0	10.0		
D18	210-R50-CP-HS5	16908.0	10.0	78.02	212.80
		16025.0	10.0		
		16874.0	9.9		
D19	210-R0-CP-HS10	18569.0	9.9	75.94	244.75
		19114.0	9.8		
		18078.0	9.8		
D20	210-R25-CP-HS10	18143.0	10.2	81.18	226.12
		18049.0	10.2		
		18876.0	10.1		
D21	210-R50-CP-HS10	18145.0	10.2	79.59	225.81
		17688.0	10.0		
		18083.0	10.0		
D22	210-R0-CP-HS15	18375.0	9.8	75.43	245.87
		18080.0	9.7		
		19183.0	9.9		
D23	210-R25-CP-HS15	18070.0	9.8	78.54	222.17
		17161.0	10.2		
		17117.0	10.0		
D24	210-R50-CP-HS15	17628.0	10.1	80.65	221.67
		18550.0	10.1		
		17455.0	10.2		

Nota. Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  a los 7 días de edad para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Tabla 57

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  - 14 días

DISEÑO	CODIGO	$f'_c$ (kgf)	$\phi$ (cm)	14 DÍAS	
				Área (cm <sup>2</sup> )	$f'_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
D1	210-R0-SP-HS0	19588.0	10.0	79.59	241.89
		19255.0	10.1		
		18914.0	10.1		
D2	210-R25-SP-HS0	18148.0	9.9	79.06	233.24
		18332.0	10.2		
		18844.0	10.0		
D3	210-R50-SP-HS0	17803.0	10.1	79.06	221.12
		16971.0	10.0		
		17675.0	10.0		
D4	210-R0-SP-HS5	19987.0	10.2	80.65	248.28
		19504.0	10.2		
		20579.0	10.0		
D5	210-R25-SP-HS5	18023.0	9.9	76.98	237.46
		18125.0	9.8		
		18689.0	10.0		
D6	210-R50-SP-HS5	17969.0	10.0	79.59	226.16
		18284.0	10.1		
		17748.0	10.1		
D7	210-R0-SP-HS10	19159.0	10.0	78.54	251.36
		20008.0	10.1		
		20059.0	9.9		
D8	210-R25-SP-HS10	19147.0	10.1	79.59	245.68
		19983.0	10.0		
		19532.0	10.1		
D9	210-R50-SP-HS10	19308.0	10.1	79.59	243.29
		19792.0	10.0		
		18991.0	10.1		
D10	210-R0-SP-HS15	19497.0	9.9	76.46	259.24
		19333.0	9.9		
		20634.0	9.8		
D11	210-R25-SP-HS15	18917.0	10.1	79.59	227.52
		17605.0	10.1		
		17804.0	10.0		
D12	210-R50-SP-HS15	17199.0	9.8	78.02	225.89
		17734.0	9.9		
		17937.0	10.2		
D13	210-R0-CP-HS0	21228.0	10.0	79.59	266.26
		21038.0	10.1		
		21310.0	10.1		
D14	210-R25-CP-HS0	19958.0	10.0	78.02	251.44
		19851.0	10.0		
		19040.0	9.9		
D15	210-R50-CP-HS0	19242.0	10.0	78.54	246.73
		19011.0	10.2		
		19882.0	9.8		
D16	210-R0-CP-HS5	20812.0	10.0	76.98	274.81
		21003.0	9.8		
		21647.0	9.9		
D17	210-R25-CP-HS5	20204.0	10.1	79.06	260.88
		20771.0	10.1		
		20904.0	9.9		
D18	210-R50-CP-HS5	20193.0	10.1	79.06	256.92
		20823.0	10.0		
		19924.0	10.0		
D19	210-R0-CP-HS10	21923.0	9.9	76.46	280.97
		20920.0	9.8		
		21605.0	9.9		
D20	210-R25-CP-HS10	20298.0	9.8	78.02	270.32
		21160.0	9.9		
		21810.0	10.2		
D21	210-R50-CP-HS10	21089.0	9.9	76.98	268.40
		20130.0	9.8		
		20762.0	10.0		
D22	210-R0-CP-HS15	22480.0	9.8	78.02	281.81
		21463.0	10.3		
		22016.0	9.8		
D23	210-R25-CP-HS15	20764.0	10.2	78.02	268.00
		20190.0	9.8		
		21772.0	9.9		
D24	210-R50-CP-HS15	21199.0	10.2	78.02	268.44
		20645.0	9.9		
		20985.0	9.8		

Nota. Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días de edad para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Tabla 58

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  - 28 días

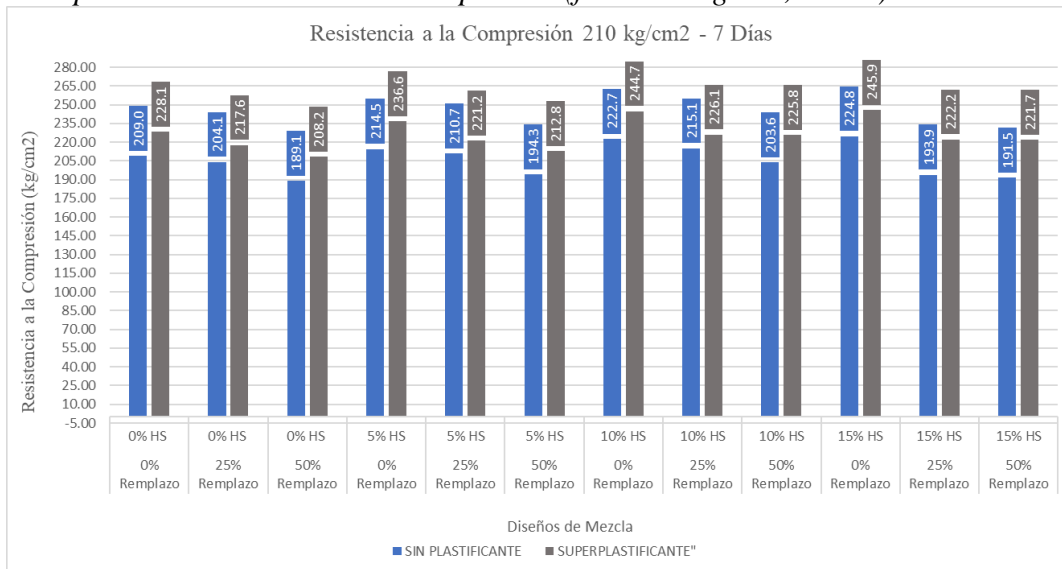
DISEÑO	CODIGO	$f_c$ (kgf)	$\phi$ (cm)	28 DÍAS	
				Área (cm <sup>2</sup> )	$f_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
D1	210-R0-SP-HS0	22015.0	10.0	78.02	282.03
		22153.0	9.9		
		21842.0	10.0		
D2	210-R25-SP-HS0	20070.0	9.8	76.98	267.28
		21181.0	9.9		
		20472.0	10.0		
D3	210-R50-SP-HS0	20213.0	10.1	79.59	253.41
		20011.0	10.1		
		20284.0	10.0		
D4	210-R0-SP-HS5	22988.0	10.0	76.46	290.45
		22478.0	9.8		
		21158.0	9.8		
D5	210-R25-SP-HS5	22164.0	10.0	79.59	276.36
		21771.0	10.1		
		22051.0	10.1		
D6	210-R50-SP-HS5	20855.0	10.0	78.02	266.41
		21023.0	10.0		
		20476.0	9.9		
D7	210-R0-SP-HS10	22887.0	9.8	76.46	295.57
		22009.0	9.8		
		22901.0	10.0		
D8	210-R25-SP-HS10	21676.0	10.1	80.65	273.27
		22085.0	10.1		
		22354.0	10.2		
D9	210-R50-SP-HS10	21455.0	9.9	78.02	278.01
		22304.0	10.0		
		21310.0	10.0		
D10	210-R0-SP-HS15	24011.0	9.9	79.06	301.16
		23812.0	10.2		
		23609.0	10.0		
D11	210-R25-SP-HS15	20633.0	9.8	76.46	269.14
		20851.0	9.9		
		20251.0	9.9		
D12	210-R50-SP-HS15	21540.0	10.0	79.59	268.83
		21220.0	10.0		
		21428.0	10.2		
D13	210-R0-CP-HS0	24055.0	10.1	79.59	299.44
		23458.0	10.1		
		23984.0	10.0		
D14	210-R25-CP-HS0	22078.0	9.9	77.50	283.95
		21308.0	9.9		
		22630.0	10.0		
D15	210-R50-CP-HS0	21017.0	9.8	78.02	273.62
		21078.0	9.9		
		21947.0	10.2		
D16	210-R0-CP-HS5	23872.0	10.1	78.02	307.63
		24332.0	9.8		
		23798.0	10.0		
D17	210-R25-CP-HS5	22853.0	9.9	78.02	290.91
		22759.0	9.9		
		22475.0	10.1		
D18	210-R50-CP-HS5	23446.0	10.2	80.65	290.51
		23829.0	10.2		
		23012.0	10.0		
D19	210-R0-CP-HS10	24269.0	10.0	76.98	312.45
		24099.0	9.9		
		23786.0	9.8		
D20	210-R25-CP-HS10	23341.0	10.0	79.06	299.84
		23669.0	10.0		
		24111.0	10.1		
D21	210-R50-CP-HS10	22780.0	10.1	78.02	294.80
		23096.0	9.8		
		23122.0	10.0		
D22	210-R0-CP-HS15	24074.0	10.0	78.02	315.76
		24970.0	9.9		
		24860.0	10.0		
D23	210-R25-CP-HS15	22840.0	10.2	79.59	286.04
		23261.0	10.0		
		22197.0	10.0		
D24	210-R50-CP-HS15	22519.0	9.8	78.54	284.68
		22095.0	10.2		
		22463.0	10.0		

Nota. Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Se observa que las resistencias a la compresión superaron el 65%, 90% y 99% de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  para los 7, 14 y 28 días respectivamente.

**Figura 53**

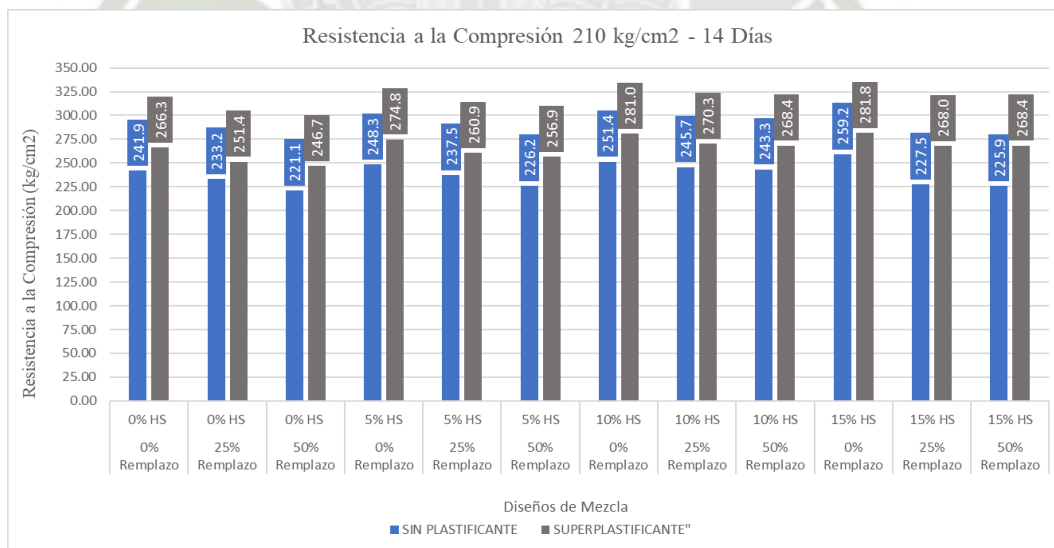
*Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 7 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Figura 54**

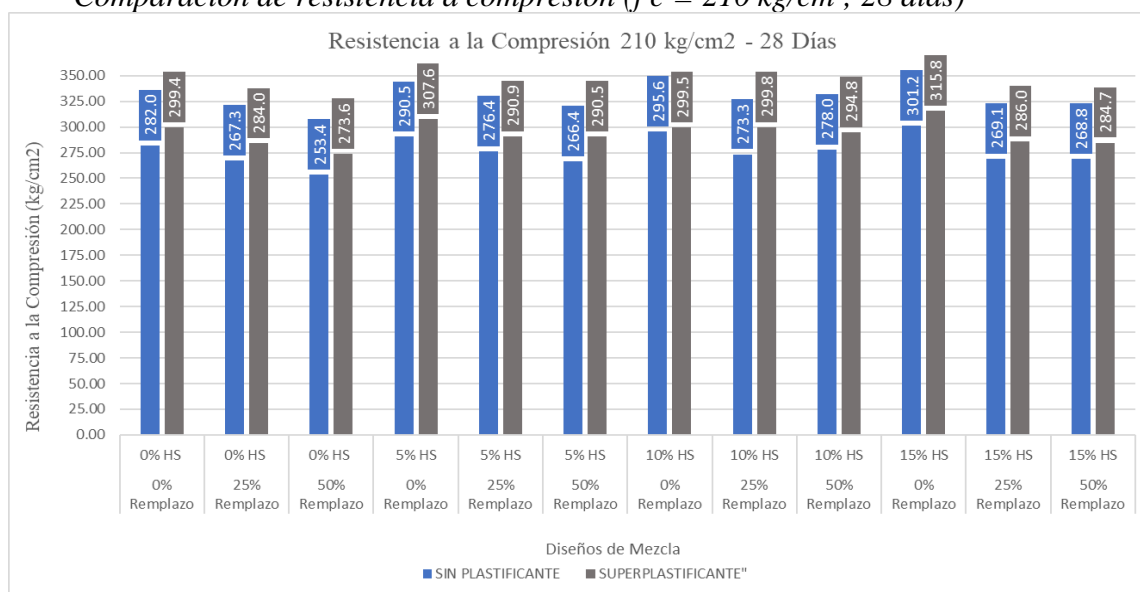
*Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 14 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Figura 55**

*Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 28 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

2.1.2. Resistencia a la compresión  $f'c=280\text{kg/cm}^2$

**Tabla 59**

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'c=280\text{ kg/cm}^2$  - 7 días

DISEÑO	CODIGO	$f_c$ (kgf)	$\varnothing$ (cm)	7 DÍAS	
				Área (cm <sup>2</sup> )	$f_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
D25	280-R0-SP-HS0	23124.0	10.1	80.55	281.11
		22341.0	10.1		
		22463.0	10.2		
D26	280-R25-SP-HS0	20934.0	10.0	77.88	277.61
		21962.0	10.0		
		21966.0	9.8		
D27	280-R50-SP-HS0	21801.0	10.1	79.38	273.30
		22052.0	9.9		
		21234.0	10.1		
D28	280-R0-SP-HS5	22962.0	10.0	78.52	288.18
		22997.0	10.0		
		21927.0	10.0		
D29	280-R25-SP-HS5	22600.0	10.1	79.79	281.39
		22028.0	10.0		
		22730.0	10.2		
D30	280-R50-SP-HS5	21981.0	10.1	77.79	275.93
		21483.0	10.0		
		20931.0	9.8		
D31	280-R0-SP-HS10	23626.0	10.1	78.54	293.77
		22612.0	10.0		
		22979.0	9.9		
D32	280-R25-SP-HS10	21622.0	10.0	79.46	273.09
		21465.0	10.1		
		22013.0	10.2		
D33	280-R50-SP-HS10	21047.0	9.9	77.95	267.09
		20486.0	10.0		
		20925.0	9.9		
D34	280-R0-SP-HS15	15085.0	10.1	79.89	194.34
		15253.0	10.1		
		16237.0	10.0		
D35	280-R25-SP-HS15	14570.0	10.0	78.04	186.37
		14965.0	10.0		
		14095.0	9.9		
D36	280-R50-SP-HS15	13968.0	9.9	78.31	185.77
		14715.0	10.0		
		14960.0	10.1		
D37	280-R0-CP-HS0	23019.0	10.1	79.65	296.61
		23875.0	10.0		
		23979.0	10.1		
D38	280-R25-CP-HS0	22331.0	9.9	78.58	289.78
		23046.0	10.2		
		22939.0	9.9		
D39	280-R50-CP-HS0	22189.0	9.9	78.57	285.21
		22049.0	10.1		
		22993.0	10.0		
D40	280-R0-CP-HS5	23861.0	10.0	78.05	311.68
		24960.0	9.9		
		24157.0	10.0		
D41	280-R25-CP-HS5	24289.0	10.1	78.35	305.62
		23688.0	9.9		
		23863.0	10.0		
D42	280-R50-CP-HS5	22159.0	10.1	79.01	290.02
		23117.0	9.9		
		23470.0	10.1		
D43	280-R0-CP-HS10	24561.0	9.8	76.13	316.81
		23992.0	9.8		
		23802.0	9.9		
D44	280-R25-CP-HS10	23301.0	10.0	79.23	291.87
		22666.0	9.9		
		23403.0	10.2		
D45	280-R50-CP-HS10	23924.0	10.1	80.67	288.07
		22906.0	10.2		
		22883.0	10.1		
D46	280-R0-CP-HS15	23909.0	9.9	78.77	303.65
		23613.0	10.2		
		24236.0	10.0		
D47	280-R25-CP-HS15	21086.0	10.0	79.47	252.61
		19420.0	10.1		
		19715.0	10.0		
D48	280-R50-CP-HS15	16564.0	10.2	78.66	213.52
		16801.0	10.0		
		17021.0	9.9		

Nota. Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=280\text{ kg/cm}^2$  a los 7 días de edad para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Tabla 60**

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  - 14 días

DISEÑO	CODIGO	$f'c$ (kgf)	14 DÍAS		$f'c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
			$\emptyset$ (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	
D25	280-R0-SP-HS0	24620.0	10.0	78.28	318.14
		24974.0	10.0		
		25117.0	10.0		
		25028.0	10.0		
D26	280-R25-SP-HS0	24511.0	9.8	78.06	314.72
		24166.0	10.1		
		23832.0	10.1		
		24001.0	9.8		
D27	280-R50-SP-HS0	24974.0	9.9	77.64	312.60
		25988.0	10.0		
		26123.0	10.2		
D28	280-R0-SP-HS5	26653.0	10.2	80.46	326.31
		25472.0	10.0		
		24926.0	9.9		
D29	280-R25-SP-HS5	24584.0	10.0	78.48	318.48
		24953.0	10.1		
		25381.0	10.1		
D30	280-R50-SP-HS5	25313.0	10.2	80.54	313.09
		24164.0	9.8		
		24036.0	10.1		
D31	280-R0-SP-HS10	23089.0	10.0	77.87	305.14
		22806.0	10.0		
		23407.0	9.8		
D32	280-R25-SP-HS10	22517.0	10.0	77.13	297.03
		23836.0	10.1		
		22217.0	10.0		
D33	280-R50-SP-HS10	23712.0	10.1	79.25	293.44
		20981.0	10.1		
		21458.0	10.1		
D34	280-R0-SP-HS15	19332.0	10.1	80.02	257.30
		19461.0	9.9		
		20368.0	10.0		
D35	280-R25-SP-HS15	19244.0	10.0	77.90	252.78
		20168.0	10.2		
		19053.0	10.1		
D36	280-R50-SP-HS15	19210.0	10.0	80.09	243.18
		26236.0	10.0		
		25817.0	9.9		
D37	280-R0-CP-HS0	26154.0	10.1	78.29	332.98
		25373.0	10.0		
		26861.0	10.0		
D38	280-R25-CP-HS0	26753.0	10.2	79.46	331.33
		25042.0	9.8		
		25637.0	9.8		
D39	280-R50-CP-HS0	25371.0	10.1	76.86	329.82
		27065.0	10.0		
		25815.0	9.9		
D40	280-R0-CP-HS5	26608.0	9.9	77.13	343.51
		25680.0	10.1		
		26474.0	10.0		
D41	280-R25-CP-HS5	26946.0	10.0	79.20	332.91
		26051.0	9.8		
		24443.0	9.8		
D42	280-R50-CP-HS5	25042.0	9.9	75.98	331.37
		26745.0	9.8		
		26040.0	9.8		
D43	280-R0-CP-HS10	27354.0	9.9	76.39	349.69
		25210.0	9.8		
		26954.0	9.8		
D44	280-R25-CP-HS10	26586.0	10.2	77.74	337.67
		25798.0	9.9		
		25974.0	10.1		
D45	280-R50-CP-HS10	26535.0	9.9	78.17	333.91
		24216.0	9.9		
		25223.0	10.2		
D46	280-R0-CP-HS15	24699.0	10.1	79.65	310.25
		23621.0	10.0		
		24764.0	10.2		
D47	280-R25-CP-HS15	24009.0	10.1	79.43	303.80
		19785.0	9.9		
		19190.0	10.2		
D48	280-R50-CP-HS15	20507.0	10.0	79.07	250.77

Nota. Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días de edad para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Tabla 61**

Resultados de la Resistencia a la Compresión  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  - 28 días

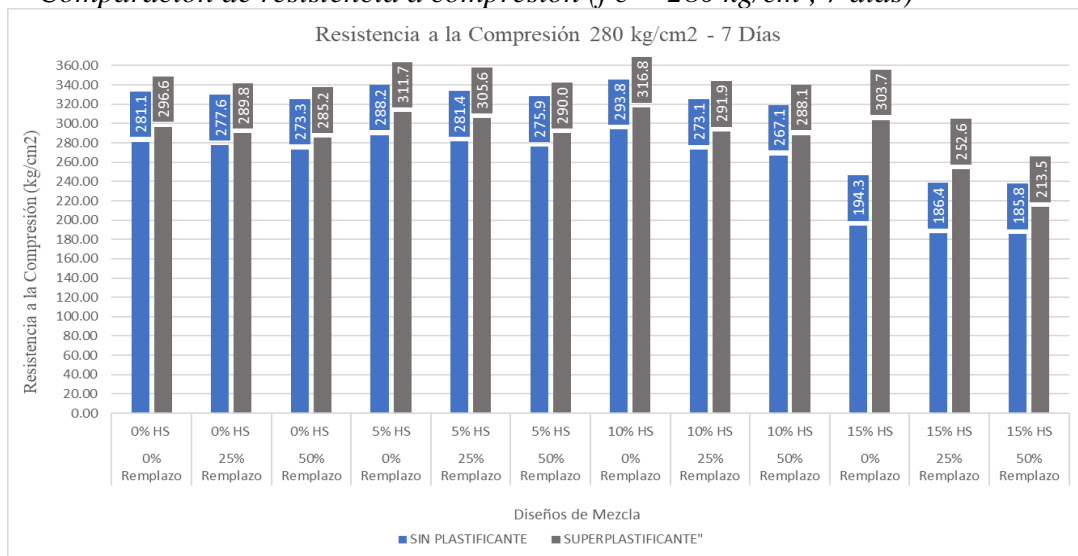
DISEÑO	CODIGO	$f'_c$ (kgf)	$\emptyset$ (cm)	28 DÍAS		$f'_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
				Área (cm <sup>2</sup> )		
D25	280-R0-SP-HS0	27322.0	10.1	79.00	352.15	
		27970.0	10.1			
		28164.0	9.9			
D26	280-R25-SP-HS0	25985.0	10.0	77.70	347.33	
		27388.0	10.0			
		27588.0	9.8			
D27	280-R50-SP-HS0	26777.0	9.8	78.57	340.81	
		27012.0	10.2			
		26546.0	10.0			
D28	280-R0-SP-HS5	29253.0	10.2	78.27	367.15	
		28906.0	10.0			
		28051.0	9.8			
D29	280-R25-SP-HS5	27650.0	10.0	78.61	351.72	
		27385.0	10.1			
		27914.0	9.9			
D30	280-R50-SP-HS5	25861.0	9.8	75.65	350.82	
		26777.0	9.8			
		26984.0	9.8			
D31	280-R0-SP-HS10	27947.0	10.0	77.53	362.20	
		27473.0	9.9			
		28825.0	9.9			
D32	280-R25-SP-HS10	25914.0	10.2	80.62	320.80	
		26217.0	10.0			
		25463.0	10.2			
D33	280-R50-SP-HS10	24392.0	9.9	77.37	316.97	
		24130.0	10.0			
		25051.0	9.9			
D34	280-R0-SP-HS15	21132.0	10.0	79.40	271.09	
		21398.0	10.1			
		22042.0	10.0			
D35	280-R25-SP-HS15	17064.0	10.1	78.52	219.94	
		17321.0	9.9			
		17422.0	10.0			
D36	280-R50-SP-HS15	17607.0	10.1	78.28	217.84	
		16648.0	10.1			
		16904.0	9.8			
D37	280-R0-CP-HS0	29575.0	9.8	76.65	375.90	
		28322.0	9.9			
		28537.0	9.9			
D38	280-R25-CP-HS0	29271.0	10.0	78.28	364.50	
		28220.0	9.8			
		28104.0	10.1			
D39	280-R50-CP-HS0	28236.0	10.1	78.04	363.18	
		27999.0	9.9			
		28797.0	9.9			
D40	280-R0-CP-HS5	31582.0	10.1	80.45	388.71	
		31339.0	10.1			
		30888.0	10.2			
D41	280-R25-CP-HS5	29025.0	10.0	77.78	371.42	
		29153.0	10.0			
		28489.0	9.9			
D42	280-R50-CP-HS5	29197.0	9.9	79.09	368.87	
		29091.0	10.1			
		29233.0	10.1			
D43	280-R0-CP-HS10	30664.0	10.1	77.87	395.16	
		31495.0	9.9			
		30156.0	9.8			
D44	280-R25-CP-HS10	29429.0	10.0	79.57	375.38	
		31041.0	10.2			
		29132.0	10.0			
D45	280-R50-CP-HS10	28329.0	9.9	77.62	361.95	
		28386.0	10.0			
		27569.0	9.9			
D46	280-R0-CP-HS15	30592.0	9.9	77.54	381.26	
		28465.0	9.9			
		29634.0	10.0			
D47	280-R25-CP-HS15	29726.0	10.1	78.40	369.79	
		28512.0	9.8			
		28737.0	10.1			
D48	280-R50-CP-HS15	25836.0	10.0	77.94	328.45	
		26064.0	9.9			
		24902.0	10.0			

Nota. Resistencia a la Compresión del diseño  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad para las diferentes adiciones

Se observa que las resistencias a la compresión superaron el 65%, 90% y 99% de  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  para los 7, 14 y 28 días respectivamente, exceptuando los diseños que tuvieron una trabajabilidad inferior a 2" ya que se generaron vacíos producto de la falta de fluidez de la mezcla.

**Figura 56**

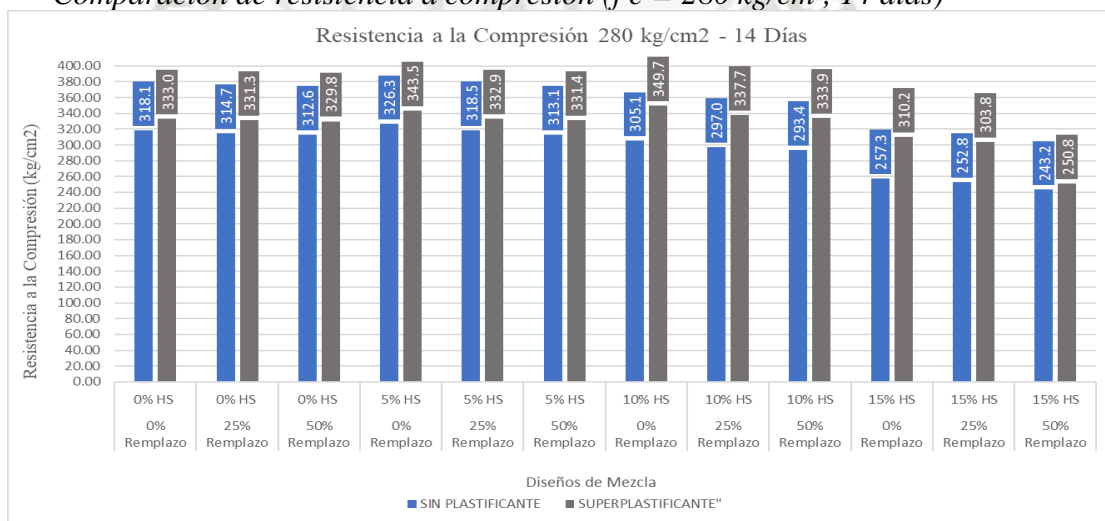
*Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 7 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

**Figura 57**

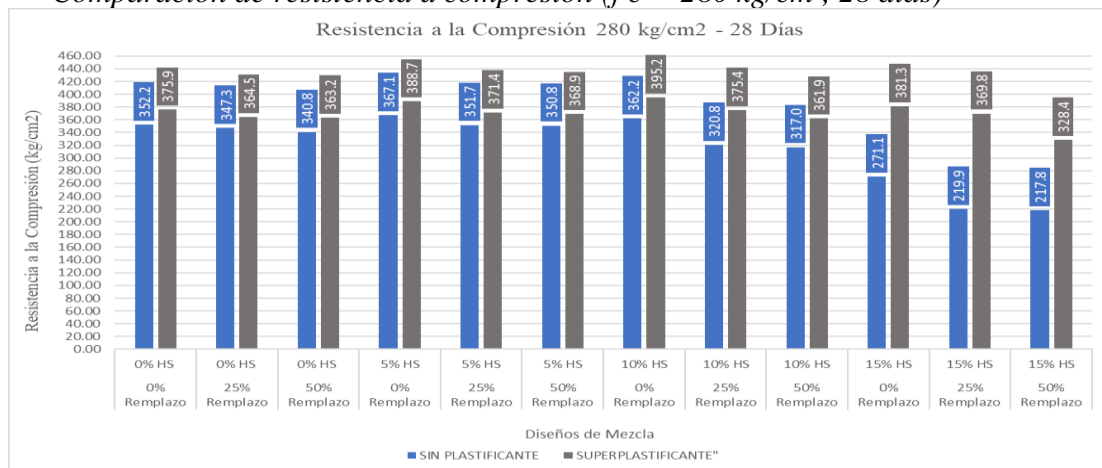
*Comparación de resistencia a compresión ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 14 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días para las diferentes adiciones y niveles de reemplazo.

**Figura 58**

*Comparación de resistencia a compresión ( $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , 28 días)*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Compresión del diseño  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

## 2.2. Resistencia a la Tracción Indirecta

Se realizó la prueba de resistencia a la tracción indirecta para los 48 diseños de mezcla a los 28 días de curado.

**Figura 59**

*Ensayo de tracción indirecta*



*Nota.* Preparación para el ensayo a tracción indirecta del diseño de mezcla D9

Aunque la mayoría de las estructuras de concreto están diseñadas principalmente para resistir cargas de compresión, los elementos estructurales, como vigas y columnas, experimentan también esfuerzos de tracción. He ahí la importancia de este ensayo, también conocido como ensayo brasileño.

2.2.1. Resistencia a la Tracción  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 62

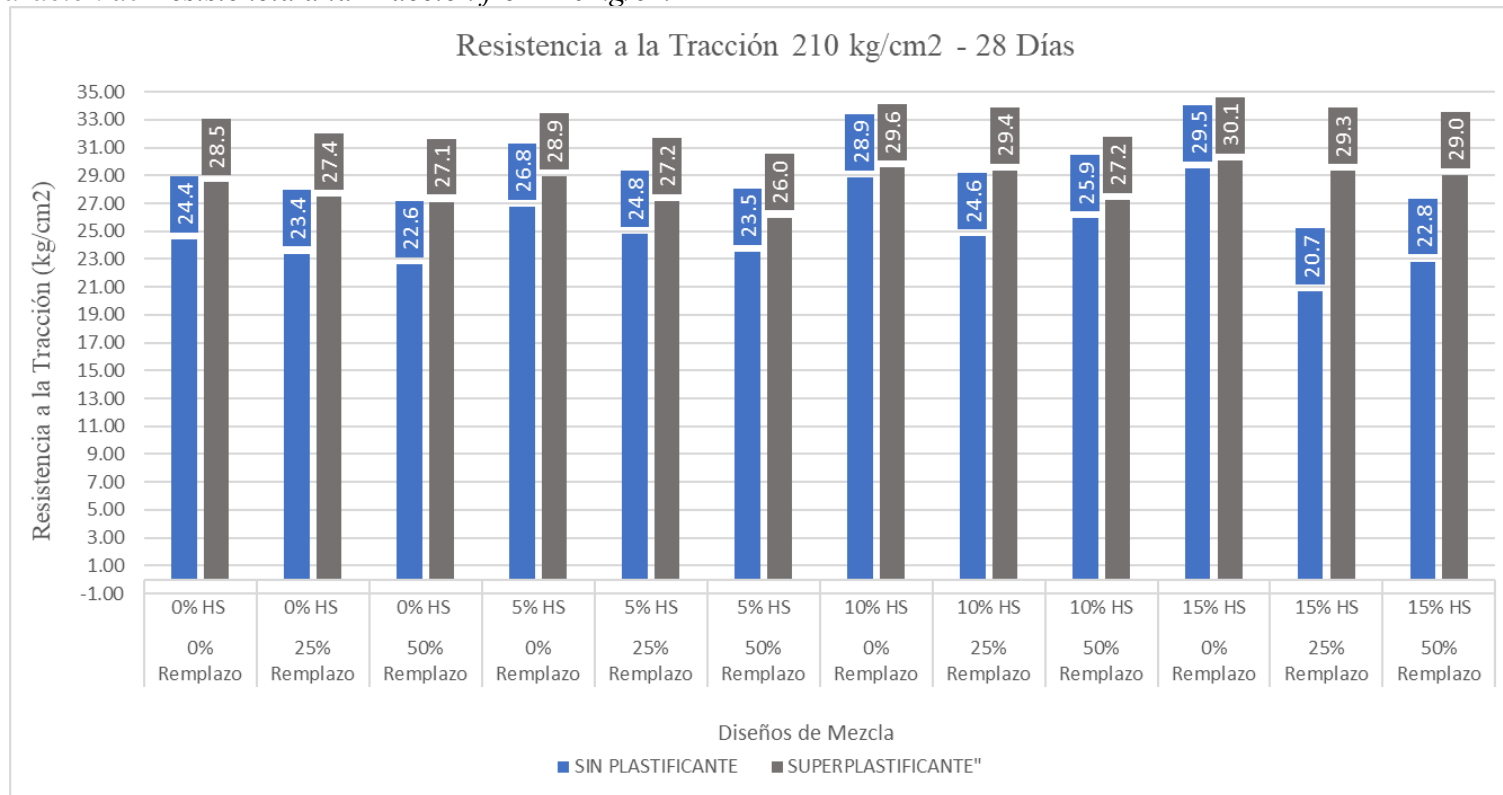
Resultados de la Resistencia a la Tracción  $f'_c=210\text{ kg/cm}^2$

DISEÑO	CODIGO	TRACCIÓN INDIRECTA		
		$f_c$ (kgf)	$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_c$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
D1	210-R0-SP-HS0	7412	23.59	24.42
		6567	20.90	
		9035	28.76	
D2	210-R25-SP-HS0	7246	23.06	23.39
		7719	24.57	
		7083	22.55	
D3	210-R50-SP-HS0	7216	22.97	22.65
		7034	22.39	
		7093	22.58	
D4	210-R0-SP-HS5	8522	27.13	26.77
		8260	26.29	
		8450	26.90	
D5	210-R25-SP-HS5	7920	25.21	24.79
		7815	24.88	
		7628	24.28	
D6	210-R50-SP-HS5	7726	24.59	23.52
		7568	24.09	
		6875	21.88	
D7	210-R0-SP-HS10	8994	28.63	28.86
		8191	26.07	
		10016	31.88	
D8	210-R25-SP-HS10	7756	24.69	24.63
		7969	25.37	
		7486	23.83	
D9	210-R50-SP-HS10	8184	26.05	25.93
		8299	26.42	
		7956	25.32	
D10	210-R0-SP-HS15	8898	28.32	29.52
		9162	29.16	
		9766	31.09	
D11	210-R25-SP-HS15	6999	22.28	20.66
		6025	19.18	
		6450	20.53	
D12	210-R50-SP-HS15	8074	25.70	22.81
		5973	19.01	
		7454	23.73	
D13	210-R0-CP-HS0	9359	29.79	28.51
		8428	26.83	
		9083	28.91	
D14	210-R25-CP-HS0	9121	29.03	27.45
		8334	26.53	
		8415	26.79	
D15	210-R50-CP-HS0	8028	25.55	27.10
		8659	27.56	
		8858	28.20	
D16	210-R0-CP-HS5	9488	30.20	28.90
		8912	28.37	
		8840	28.14	
D17	210-R25-CP-HS5	8864	28.21	27.18
		7504	23.89	
		9249	29.44	
D18	210-R50-CP-HS5	7645	24.33	25.98
		8258	26.29	
		8582	27.32	
D19	210-R0-CP-HS10	9655	30.73	29.57
		9196	29.27	
		9018	28.71	
D20	210-R25-CP-HS10	9838	31.32	29.36
		8719	27.75	
		9116	29.02	
D21	210-R50-CP-HS10	9381	29.86	27.25
		7182	22.86	
		9115	29.01	
D22	210-R0-CP-HS15	9853	31.36	30.08
		9845	31.34	
		8649	27.53	
D23	210-R25-CP-HS15	9235	29.40	29.33
		9521	30.31	
		8888	28.29	
D24	210-R50-CP-HS15	9226	29.37	29.04
		9006	28.67	
		9138	29.09	

Nota. Resultados de Resistencia a la Tracción del diseño  $f'_c=210\text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Figura 60**

*Comparación de Resistencia a la Tracción  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Tracción del diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

2.2.2. Resistencia a la Tracción  $f'c=280\text{kg/cm}^2$

**Tabla 63**

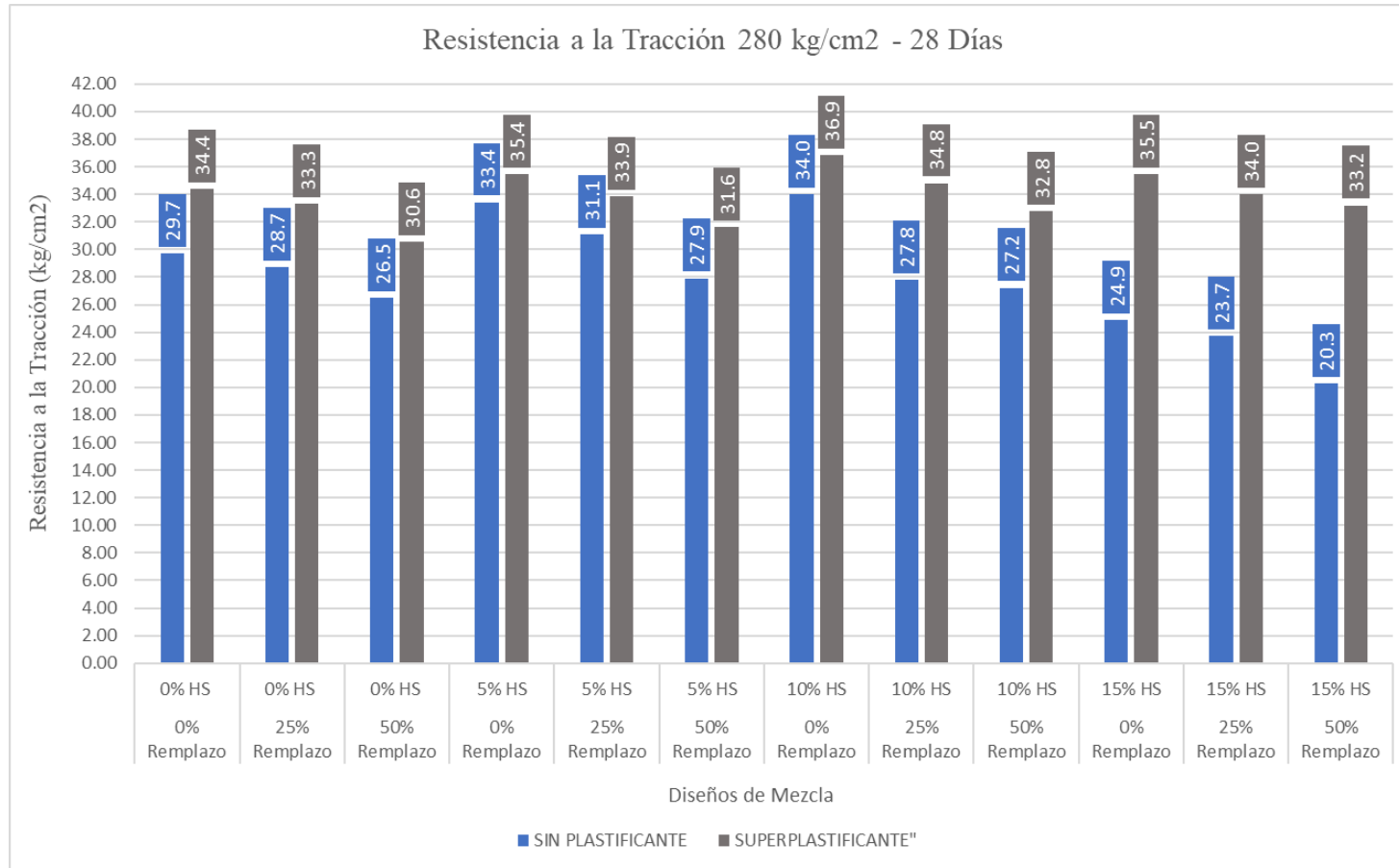
Resultados de la Resistencia a la Tracción  $f'c=280\text{ kg/cm}^2$

DISEÑO	CODIGO	f'c (kgf)	TRACCIÓN INDIRECTA	
			f'c (kg/cm2)	f'c Prom (kg/cm2)
D25	280-R0-SP-HS0	9365	29.81	29.72
		9081	28.91	
		9561	30.43	
D26	280-R25-SP-HS0	9066	28.86	28.74
		9359	29.79	
		8662	27.57	
D27	280-R50-SP-HS0	8615	27.42	26.52
		8219	26.16	
		8160	25.97	
D28	280-R0-SP-HS5	10526	33.51	33.42
		10213	32.51	
		10763	34.26	
D29	280-R25-SP-HS5	9680	30.81	31.12
		9756	31.05	
		9894	31.49	
D30	280-R50-SP-HS5	8568	27.27	27.92
		9271	29.51	
		8475	26.98	
D31	280-R0-SP-HS10	10833	34.48	34.03
		10773	34.29	
		10467	33.32	
D32	280-R25-SP-HS10	8562	27.25	27.78
		9030	28.74	
		8589	27.34	
D33	280-R50-SP-HS10	8495	27.04	27.22
		8269	26.32	
		8889	28.29	
D34	280-R0-SP-HS15	7789	24.79	24.90
		7722	24.58	
		7959	25.33	
D35	280-R25-SP-HS15	7941	25.28	23.74
		7193	22.90	
		7236	23.03	
D36	280-R50-SP-HS15	5211	16.59	20.28
		8782	27.95	
		5121	16.30	
D37	280-R0-CP-HS0	11451	36.45	34.40
		10654	33.91	
		10315	32.83	
D38	280-R25-CP-HS0	11085	35.28	33.34
		10225	32.55	
		10111	32.18	
D39	280-R50-CP-HS0	9848	31.35	30.57
		10308	32.81	
		8659	27.56	
D40	280-R0-CP-HS5	10714	34.10	35.45
		11280	35.91	
		11413	36.33	
D41	280-R25-CP-HS5	10781	34.32	33.87
		10686	34.01	
		10452	33.27	
D42	280-R50-CP-HS5	10370	33.01	31.60
		9561	30.43	
		9854	31.37	
D43	280-R0-CP-HS10	11388	36.25	36.85
		11653	37.09	
		11691	37.21	
D44	280-R25-CP-HS10	10367	33.00	34.80
		11905	37.89	
		10527	33.51	
D45	280-R50-CP-HS10	10388	33.07	32.77
		9971	31.74	
		10525	33.50	
D46	280-R0-CP-HS15	11720	37.31	35.47
		10659	33.93	
		11050	35.17	
D47	280-R25-CP-HS15	11829	37.65	34.00
		10044	31.97	
		10172	32.38	
D48	280-R50-CP-HS15	10919	34.76	33.20
		10275	32.71	
		10093	32.13	

Nota. Resultados de Resistencia a la Tracción del diseño  $f'c=280\text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

**Figura 61**

*Comparación de Resistencia a la Tracción  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Resultados de Resistencia a la Tracción del diseño  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  para las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

### 2.3. Profundidad de Carbonatación

**Tabla 64**

*Profundidad de Carbonatación ( $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ )*

Diseño de Mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			Diseño de Mezcla $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
Código	Diseño de Mezcla	Resultado (dk max en cm)	Código	Diseño de Mezcla	Resultado (dk max en cm)
D13 (1)	210-R0-CP-HS0	4.21	D25 (1)	280-R0-SP-HS0	15.6
D13 (2)	210-R0-CP-HS0	15.6	D25 (2)	280-R0-SP-HS0	15.6
D13 (3)	210-R0-CP-HS0	4.58	D25 (3)	280-R0-SP-HS0	0.65
D18 (1)	210-R50-CP-HS5	0	D42 (1)	280-R50-CP-HS5	1.75
D18 (2)	210-R50-CP-HS5	2.83	D42 (2)	280-R50-CP-HS5	5.2
D18 (3)	210-R50-CP-HS5	0.84	D42 (3)	280-R50-CP-HS5	1.34

*Nota.* Resultados de la profundidad de carbonatación para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  realizado en los laboratorios de la Universidad Nacional San Agustín (UNSA)

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En cuanto a los resultados los ensayos a los agregados comparamos el agregado grueso natural y el agregado grueso reciclado:

- Según la tabla 24 el agregado natural tiene 1.01 de absorción, mientras que agregado reciclado obtuvo 6.29, esto representa una diferencia porcentual de 84%, esto se atribuye a la absorción extra que le da el mortero impregnado en el agregado.
- Según la tabla 22 el agregado natural tiene 1512.74  $\text{kg/m}^3$  de peso unitario suelto, mientras que el agregado reciclado obtuvo 1237.13  $\text{kg/m}^3$ , esto representa una diferencia porcentual de 18.2%.
- Según la tabla 23 el agregado natural tiene 1609.74  $\text{kg/m}^3$  de peso unitario compactado, mientras que el agregado reciclado obtuvo 1339.59  $\text{kg/m}^3$ , esto representa una diferencia porcentual de 16.78%.
- Según la tabla 26 el agregado natural tiene 15.68% de desgaste, mientras que el agregado reciclado obtuvo 31.8%, lo que representa prácticamente el doble, este ensayo merece especial relevancia debido a que como se puede apreciar en la figura 44 y lo experimentado en la máquina de abrasión de los ángeles, debido a que el mortero adherido es más frágil, se genera una cantidad considerable de polvo en el agregado reciclado.

En cuanto a los resultados del concreto en estado fresco tenemos:

- Respecto al asentamiento del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ 
  - De la tabla 44 se observa que el remplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado afecta negativamente el asentamiento de la mezcla reduciendo su trabajabilidad en 21.7% y 40.8% para remplazos del 25% y 50% respectivamente (comparado con el concreto patrón) esto sucede debido a que el agregado reciclado tiene impregnado en su superficie mortero de cemento como se puede observar en el anexo 2: panel fotográfico; ello implica una mayor absorción del agua de la mezcla.
  - De la figura 46 se observa que los concretos elaborados sin reemplazo de agregado grueso y sin la inclusión de humo de sílice resultan con mayor trabajabilidad, ésta va disminuyendo conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo y la adición de humo de sílice en sus respectivas dosificaciones hasta prácticamente tener 0 pulgadas de asentamiento. Estos resultados reafirman lo recopilado en los antecedentes, Valencia (2018), señala que existe una relación inversamente proporcional entre el agregado grueso reciclado – humo de sílice y el asentamiento, es decir, con mayores dosificaciones de ambos componentes obtenemos menor asentamiento. Sin embargo, este problema se ve resuelto con el aditivo superplastificante, que además de hacer la mezcla mucho más fluida, aumenta las resistencias a compresión.
- Respecto al asentamiento del concreto  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ :
  - De la tabla 45 se observa que el remplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado afecta negativamente el asentamiento de la mezcla reduciendo su trabajabilidad en 30.4% y 54.2% para remplazos del 25% y 50% respectivamente (comparado con el concreto patrón) esto sucede debido a que el agregado reciclado tiene impregnado en su superficie mortero de cemento como se puede observar en el anexo 2: panel fotográfico; ello implica una mayor absorción del agua de la mezcla. (Cáceres & Valencia, 2018)
  - De la figura 47 se observa que el comportamiento es similar al del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , sin embargo, al incluir el aditivo superplastificante no es suficiente para cumplir el Slump requerido, dejando de cumplir desde el diseño de mezcla D45 (50% de reemplazo y 10% de humo de sílice).

- Respecto a la temperatura  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  y  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ 
  - De las figuras 49 y 51 se observa que no hay una tendencia clara que relacione los niveles de reemplazo de agregado grueso reciclado, las dosificaciones de humo de sílice y la inclusión de aditivo superplastificante.
- Respecto al rendimiento  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ 
  - De la figura 53 se observa que los porcentajes de reemplazo de agregado grueso reciclado y el humo de sílice no muestran una tendencia clara de incidencia en el rendimiento como si lo hace el aditivo superplastificante que incrementa en promedio 1.9% respecto al concreto sin superplastificante.

- Respecto al rendimiento  $f'c=280\text{kg/cm}^2$

De la figura 54 se observa que los porcentajes de reemplazo de agregado grueso reciclado y el humo de sílice no muestran una tendencia clara de incidencia en el rendimiento como si lo hace el aditivo superplastificante que incrementa en promedio 1.4% respecto al concreto sin superplastificante.

En cuanto a los resultados del concreto en estado endurecido tenemos:

- Respecto a la resistencia a la compresión  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ :

De la figura 57 podemos observar que el aditivo superplastificante mejora la resistencia en todos los diseños de mezcla elaborados, en cuanto al porcentaje de reemplazo de agregado reciclado tenemos una relación inversamente proporcional, es decir a mayor reemplazo menor resistencia. Respecto al humo de sílice, su inclusión hasta en un 10% con 50% de reemplazo de agregado reciclado afecta positivamente la resistencia final, sin embargo, en dosificaciones del 15% comienza a disminuir.

- Respecto a la resistencia a la compresión  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ :

De la figura 60 podemos observar que el aditivo superplastificante mejora la resistencia en todos los diseños de mezcla elaborados, en cuanto al porcentaje de reemplazo de agregado reciclado seguimos con la relación inversamente proporcional que se presenta también en el concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , es decir a mayor reemplazo menor resistencia. Respecto al humo de sílice, su inclusión hasta en un 10% con 25% de reemplazo de agregado reciclado afecta positivamente la resistencia final, sin embargo, en dosificaciones del 15% ni con la ayuda del aditivo superplastificante se logra obtener una muestra trabajable, presentando cangrejas que disminuyen drásticamente su resistencia.

- Respecto a la tracción indirecta  $f'c=210\text{kg/cm}^2$

De acuerdo con la figura 61 la adición de humo de sílice y aditivo superplastificante incrementan las resistencias, sin embargo, la mejora con humo de sílice en 15% ya no es significativa. En cuanto al agregado grueso reciclado se aprecia que afecta negativamente en la resistencia.

- Respecto a la tracción indirecta  $f'c=280\text{kg/cm}^2$

De acuerdo con la figura 62 la adición de humo de sílice y aditivo superplastificante incrementan las resistencias, sin embargo, en dosis de humo de sílice al 15% las resistencias disminuyen. En cuanto al agregado grueso reciclado se aprecia que afecta negativamente en la resistencia.

- Respecto a la resistencia a la determinación de la profundidad de carbonatación  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  y  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , como se observa los valores en los diseños seleccionados como óptimos presentan una menor susceptibilidad a la carbonatación. Esto debido a que este fenómeno depende generalmente del contenido de humedad, concentración de  $\text{CO}_2$  y de la permeabilidad del concreto. Tanto el diseño D18 y D42 al contener humo de sílice que actúa como filler reduciendo la permeabilidad y porosidad del concreto, impide y retarda la interacción del  $\text{CO}_2$  del ambiente con el concreto.

#### 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se muestra un resumen gráfico de los pasos ejecutados durante la presente investigación desde su inicio a fin.

**Figura 62**  
*Diagrama de Flujo del Método de Investigación*



*Nota.* Diagrama de Flujo de la Investigación “Análisis de la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución de agregado reciclado, Arequipa 2024”

## 5. TRIANGULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

**Tabla 65**

*Triangulación de la Investigación*

Tema	Resultados de Investigaciones Anteriores	Resultados de la Presente Investigación
Porcentaje de reemplazo del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado	Los autores concluyen que para que un concreto reciclado trabaje de forma adecuada el porcentaje de reemplazo no debe exceder el 50%. El % óptimo de reemplazo oscila entre 20% - 40%. (Muñoz et al.,2021)	El porcentaje de reemplazo óptimo varía de acuerdo con la resistencia requerida. Si bien es cierto, el agregado reciclado presenta una mayor absorción, sumado a esto las partículas finas del humo de sílice reducen la fluidez de la mezcla, todo esto, se ve compensado con el aditivo superplastificante, obteniendo así el % óptimo de reemplazo para concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> y $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> de 50%.
Propiedades del Agregado Grueso Reciclado	El agregado grueso tiene 12% más de superficie específica, 21% menos de peso unitario suelto, 18% menos de peso unitario compactado y 993% más de absorción que el agregado grueso natural. (Cipriano, 2019)	El agregado reciclado presenta un 83.9% más de absorción que el agregado natural. Respecto al peso unitario suelto se observó que el agregado natural presenta un 18.2% más con respecto al agregado reciclado. Para el peso unitario compactado el agregado reciclado es 16.8% menor al agregado natural. Con relación al desgaste del agregado grueso, se determinó que el agregado reciclado obtuvo un desgaste de 31.8%, mientras que el agregado natural obtuvo un desgaste de 15.7%.
Costo del concreto convencional y el concreto con agregado reciclado	Se concluye que para el concreto $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> con agregado reciclado tiene un costo de S/194.81 (con IGV), mientras que para el convencional su costo se eleva a S/211.08 (con IGV), lo que representa una diferencia porcentual del 8%. (Erazo, 2018)	Se concluye que para el diseño óptimo D18 con agregado reciclado con humo de sílice y aditivo superplastificante de $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> tiene un costo de S/401.57 (sin IGV), mientras que para el convencional su costo se eleva a S/292.89 (sin IGV), lo que representa una diferencia porcentual del 37.11%.
Concreto convencional con adición de humo de sílice	Se concluye que al incorporar al concreto convencional $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> humo de sílice en dosificaciones del 9%, 10% y 11% presenta una mejoría en su resistencia a compresión de 19.32%, 31.86% y 23.53% respectivamente. También se resalta el incremento del costo de elaboración en más del 50% con respecto al concreto patrón. (Gamboa, 2020)	Para concreto endurecido $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> aumenta su resistencia a la compresión en 3.7%, 5.4% y 3.8% para dosificaciones de Humo de Sílice de 5%, 10% y 15% respectivamente.
Concreto con agregado reciclado con adición de humo de sílice	El porcentaje de reemplazo de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado fue de 50%, también incluyó las dosificaciones de microsílíce en 8, 9 y 10%. Concluye que el porcentaje óptimo de inclusión microsílíce es 8% del peso del cemento, con esta dosificaron llega a resistencias muy similares a la de un concreto convencional. (Valencia, 2018)	Para concreto $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> se obtuvo un aumento en su resistencia a la compresión de 2.5% para dosificaciones de humo de sílice de 5% mientras que para dosificaciones de 10% y 15% se vio reducida la resistencia en 0.9% y 25.3%, esto debido a que el humo de sílice, al ser partículas muy finas absorben más agua y por ende reducen la fluidez de la mezcla (no cumple con el asentamiento)
Concreto convencional con aditivo plastificante	Posibilita un incremento de las resistencias mecánicas a la compresión del orden de más del 15%. (Sika Informaciones Tecnicas, 2021)	El aditivo plastificante incrementa la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> en 6.2% y su fluidez de la mezcla en 70.64%. Para $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> incrementa la resistencia a la compresión en 14.3% y su fluidez de la mezcla en 54.96%.
Concreto con aditivo plastificante y humo de sílice	Se concluye su dosificación óptima para concreto convencional con relación agua/cemento igual a 0.38, 1.5% de superplastificante y 10% de microsílíce (ambos son porcentajes del peso de cemento) obteniendo un slump de 5" y peso unitario de 2376 kg/cm <sup>3</sup> . (Anicama, 2020)	La dosificación óptima para concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> es el diseño D18 (50% de reemplazo de agregado reciclado, con aditivo superplastificante 500ml y 5% de humo de sílice). La dosificación óptima para concreto $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> es el diseño D42 (50% de reemplazo de agregado reciclado, con aditivo superplastificante 500ml y 5% de humo de sílice)

*Nota.* Análisis comparativo entre los resultados obtenidos durante la presente investigación y antecedentes expuestos en el estado del arte.



## 1. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

### 1.1. Costo de habilitación del Agregado Grueso Reciclado

Para poder cuantificar el costo de producción del agregado reciclado se realizó el análisis de costo unitario, en donde se evaluó el acarreo, selección, acopio, trituración, tamizado, limpieza y empaquetado del material. El costo de producción es por m<sup>3</sup> de agregado reciclado y se consideró rendimientos de 100 y 970 m<sup>3</sup>/día para mano de obra y equipos respectivamente.

**Tabla 66**

*Análisis de Costo Unitario de Producción de Agregado Reciclado*

HABILITACIÓN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO					
Rendimiento:M3/DIA	MO:	100	EQ:	970	Costo Unitario por m3: S/ 9.98
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.1	0.008	S/ 34.06	S/ 0.27
PEÓN	HH	2	0.16	S/ 20.21	S/ 3.23
					Mano de obra: S/ 3.51
<b>MATERIALES</b>					
PETROLEO D-2	GLN	-	0.1667	S/ 14.35	S/ 2.39
					Materiales: S/ 2.39
<b>EQUIPOS</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.05	S/ 3.51	S/ 0.18
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 160 - 195 HP 3.5 YD3	HM	1	0.0082	S/ 121.50	S/ 1.00
TRITURADORA TESAB 623CT	HM	1	0.0082	S/ 221.35	S/ 1.83
CAMION VOLQUETE DE 15 M3	HM	1	0.0082	S/ 130.55	S/ 1.08
					Equipo: S/ 4.08

*Nota.* Análisis de costo unitario de producción por m<sup>3</sup> de agregador reciclado.

### 1.2. Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Con el fin de realizar un análisis comparativo entre el costo de producción de 1m<sup>3</sup> de concreto, se realizó el análisis de costo unitario de cada diseño de mezcla propuesto en la investigación. Se determinó el precio y cantidades de los materiales utilizados por m<sup>3</sup> de acuerdo a la dosificación de los diseños de mezcla obtenidos con códigos D1 al D24.

**Tabla 67**

*Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D1	210-R0-SP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 292.89	-
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D2	210-R25-SP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 283.52	-3.20%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D3	210-R50-SP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 274.15	-6.40%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D4	210-R0-SP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 382.71	30.67%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		
D5	210-R25-SP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 373.34	27.47%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		
D6	210-R50-SP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 363.97	24.27%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		

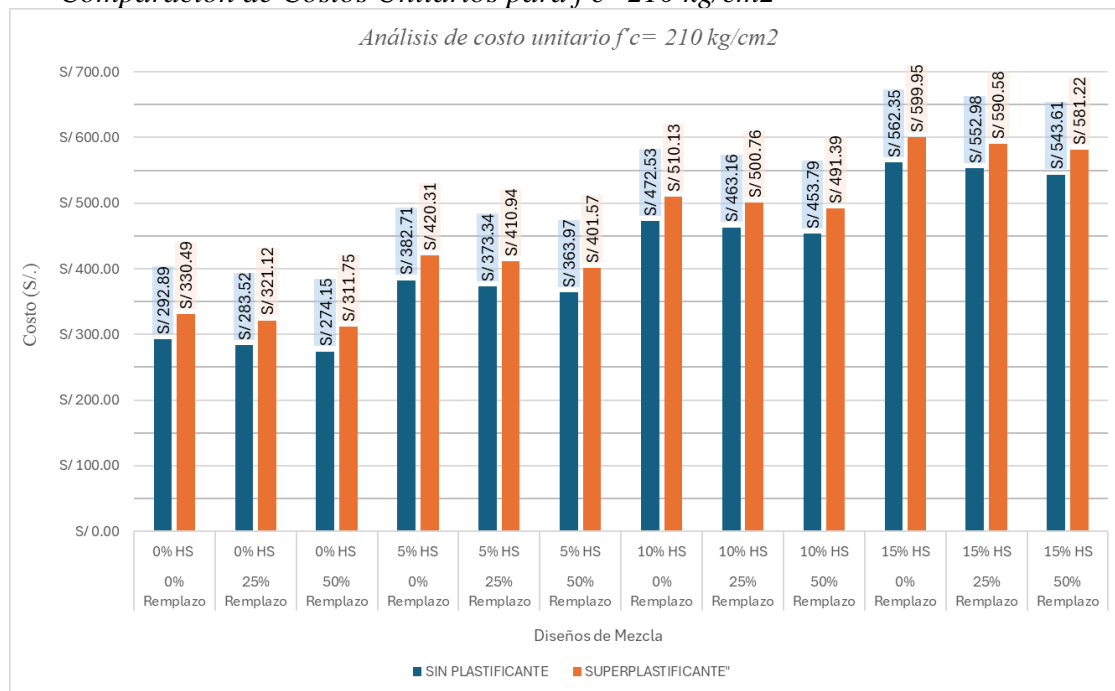
Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D7	210-R0-SP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 472.53	61.33%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D8	210-R25-SP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 463.16	58.14%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D9	210-R50-SP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 453.79	54.94%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D10	210-R0-SP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 562.35	92.00%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		
D11	210-R25-SP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 552.98	88.80%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		
D12	210-R50-SP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 543.61	85.60%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D13	210-R0-CP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 330.49	12.84%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D14	210-R25-CP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 321.12	9.64%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D15	210-R50-CP-HS0	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 311.75	6.44%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D16	210-R0-CP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 420.31	43.51%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		
D17	210-R25-CP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 410.94	40.31%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		
D18	210-R50-CP-HS5	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 401.57	37.11%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	19.34	kg	S/ 4.64	S/ 89.82		

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D19	210-R0-CP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 510.13	74.17%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D20	210-R25-CP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 500.76	70.97%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D21	210-R50-CP-HS10	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 491.39	67.78%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	38.68	kg	S/ 4.64	S/ 179.64		
D22	210-R0-CP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 599.95	104.84%
		Ag Grueso	0.59	m3	S/ 75.35	S/ 44.72		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		
D23	210-R25-CP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 590.58	101.64%
		Ag Grueso	0.45	m3	S/ 75.35	S/ 33.54		
		Ag Reciclado	0.18	m3	S/ 9.98	S/ 1.81		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		
D24	210-R50-CP-HS15	Cemento	9.10	bls	S/ 24.52	S/ 223.17	S/ 581.22	98.44%
		Ag Grueso	0.30	m3	S/ 75.35	S/ 22.36		
		Ag Reciclado	0.36	m3	S/ 9.98	S/ 3.62		
		Ag Fino	0.48	m3	S/ 49.15	S/ 23.59		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.14	gln	S/ 33.05	S/ 37.60		
		Humo de Silice	58.02	kg	S/ 4.64	S/ 269.46		

Nota. Análisis de costo unitario de producción por m3 de concreto ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

**Figura 63**  
*Comparación de Costos Unitarios para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Costo Unitario para Diseños de mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Del gráfico se puede observar que el costo de producción del concreto para los diseños de mezcla con resistencia a la compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  decrece mientras se va incrementando los niveles de remplazo del agregado reciclado.

Sin embargo, el costo de producción del concreto para los diseños de mezcla con resistencia a la compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  presenta un incremento cuando se utiliza las adiciones planteadas como el aditivo plastificante y el humo de sílice. Este incremento se puede justificar evaluando los beneficios a las propiedades físicas que dichas adiciones proporcionan al concreto con agregado reciclado.

### 1.3. Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$

Se determinó el precio y cantidades de los materiales utilizados por  $\text{m}^3$  de acuerdo a la dosificación de los diseños de mezcla obtenidos con códigos D25 al D48.

**Tabla 68**

*Análisis de costo unitario para los diseños de mezcla  $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$*

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D25	280-R0-SP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 335.55	-
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D26	280-R25-SP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 325.91	-2.87%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D27	280-R50-SP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 316.27	-5.74%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D28	280-R0-SP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 443.18	32.08%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		
D29	280-R25-SP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 433.54	29.20%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		
D30	280-R50-SP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 423.90	26.33%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		

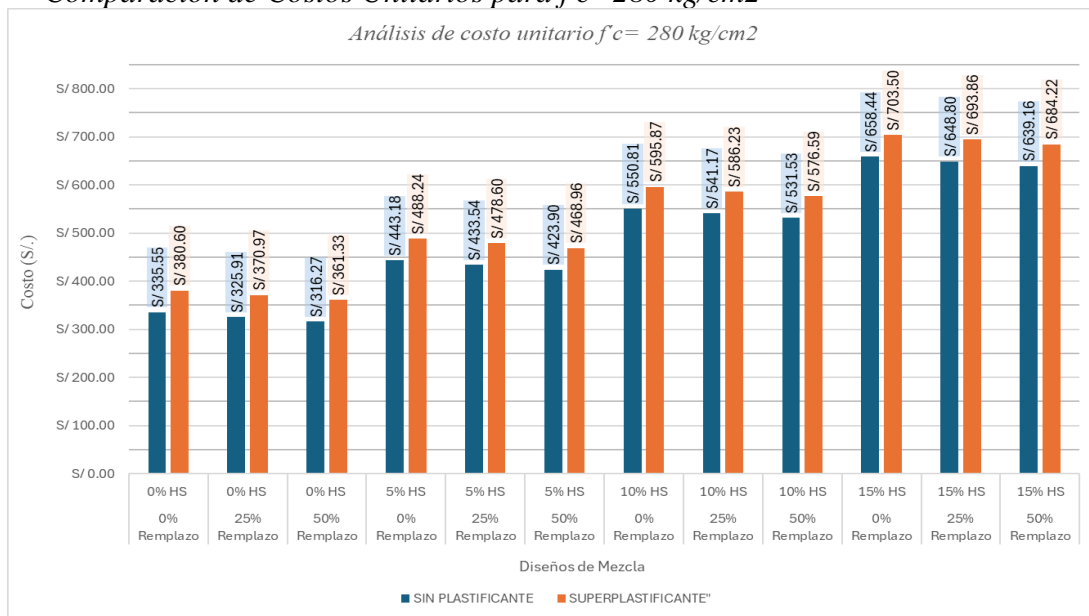
Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D31	280-R0-SP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 550.81	64.15%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D32	280-R25-SP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 541.17	61.28%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D33	280-R50-SP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 531.53	58.41%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D34	280-R0-SP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 658.44	96.23%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		
D35	280-R25-SP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 648.80	93.36%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		
D36	280-R50-SP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 639.16	90.48%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	0.00	gln	S/ 33.05	S/ 0.00		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo Total (S/.)	Diferencia (%)
D37	280-R0-CP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 380.60	13.43%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D38	280-R25-CP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 370.97	10.56%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D39	280-R50-CP-HS0	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 361.33	7.68%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	0.00	kg	S/ 4.64	S/ 0.00		
D40	280-R0-CP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 488.24	45.50%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		
D41	280-R25-CP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 478.60	42.63%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		
D42	280-R50-CP-HS5	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 468.96	39.76%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	23.18	kg	S/ 4.64	S/ 107.63		

Código	Diseño de Mezcla	Material	Cantidad	Unidad	P.U (S./)	Costo Parcial (S./)	Costo Total (S./)	Diferencia (%)
D43	280-R0-CP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 595.87	77.58%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D44	280-R25-CP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 586.23	74.71%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D45	280-R50-CP-HS10	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 576.59	71.84%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	46.35	kg	S/ 4.64	S/ 215.26		
D46	280-R0-CP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 703.50	109.66%
		Ag Grueso	0.61	m3	S/ 75.35	S/ 46.00		
		Ag Reciclado	0.00	m3	S/ 9.98	S/ 0.00		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		
D47	280-R25-CP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 693.86	106.78%
		Ag Grueso	0.46	m3	S/ 75.35	S/ 34.50		
		Ag Reciclado	0.19	m3	S/ 9.98	S/ 1.86		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		
D48	280-R50-CP-HS15	Cemento	10.91	bls	S/ 24.52	S/ 267.42	S/ 684.22	103.91%
		Ag Grueso	0.31	m3	S/ 75.35	S/ 23.00		
		Ag Reciclado	0.37	m3	S/ 9.98	S/ 3.72		
		Ag Fino	0.42	m3	S/ 49.15	S/ 20.72		
		Agua	0.23	m3	S/ 6.14	S/ 1.41		
		Plastificante	1.36	gln	S/ 33.05	S/ 45.06		
		Humo de Silice	69.53	kg	S/ 4.64	S/ 322.89		

*Nota.* Análisis de costo unitario de producción por m3 de concreto ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ).

**Figura 64**  
*Comparación de Costos Unitarios para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*



*Nota.* Comparativa de Costo Unitario para Diseños de mezcla  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con las diferentes adiciones y niveles de remplazo.

Del grafico se puede observar que el costo de producción del concreto para los diseños de mezcla con resistencia a la compresión  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  decrece mientras se va incrementando los niveles de remplazo del agregado reciclado.

Sin embargo, el costo de producción del concreto para los diseños de mezcla con resistencia a la compresión  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  presenta un incremento cuando se utiliza las adiciones planteadas como el aditivo plastificante y el humo de sílice. Este incremento se puede justificar evaluando los beneficios a las propiedades físicas que dichas adiciones proporcionan al concreto con agregado reciclado.

## 2. ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

Para poder determinar el beneficio de cada diseño de mezcla planteado en la investigación, se compararon los resultados del concreto en estado fresco y endurecido, más específicamente se compararon las propiedades de asentamiento y de la resistencia a la compresión a los 28 días. Se determinó el beneficio dando como 100% a los parámetros de diseño, el incremento o reducción de dicho porcentaje indican que el diseño de mezcla supero o no alcanzó las expectativas respectivamente.

Además, se ponderó los beneficios obtenidos del asentamiento, resistencia a la compresión y niveles de remplazo con el fin de obtener un beneficio global significativo, se otorgó un 10%, 60% y 30% respectivamente.

## 2.1. Análisis Costo-Beneficio para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

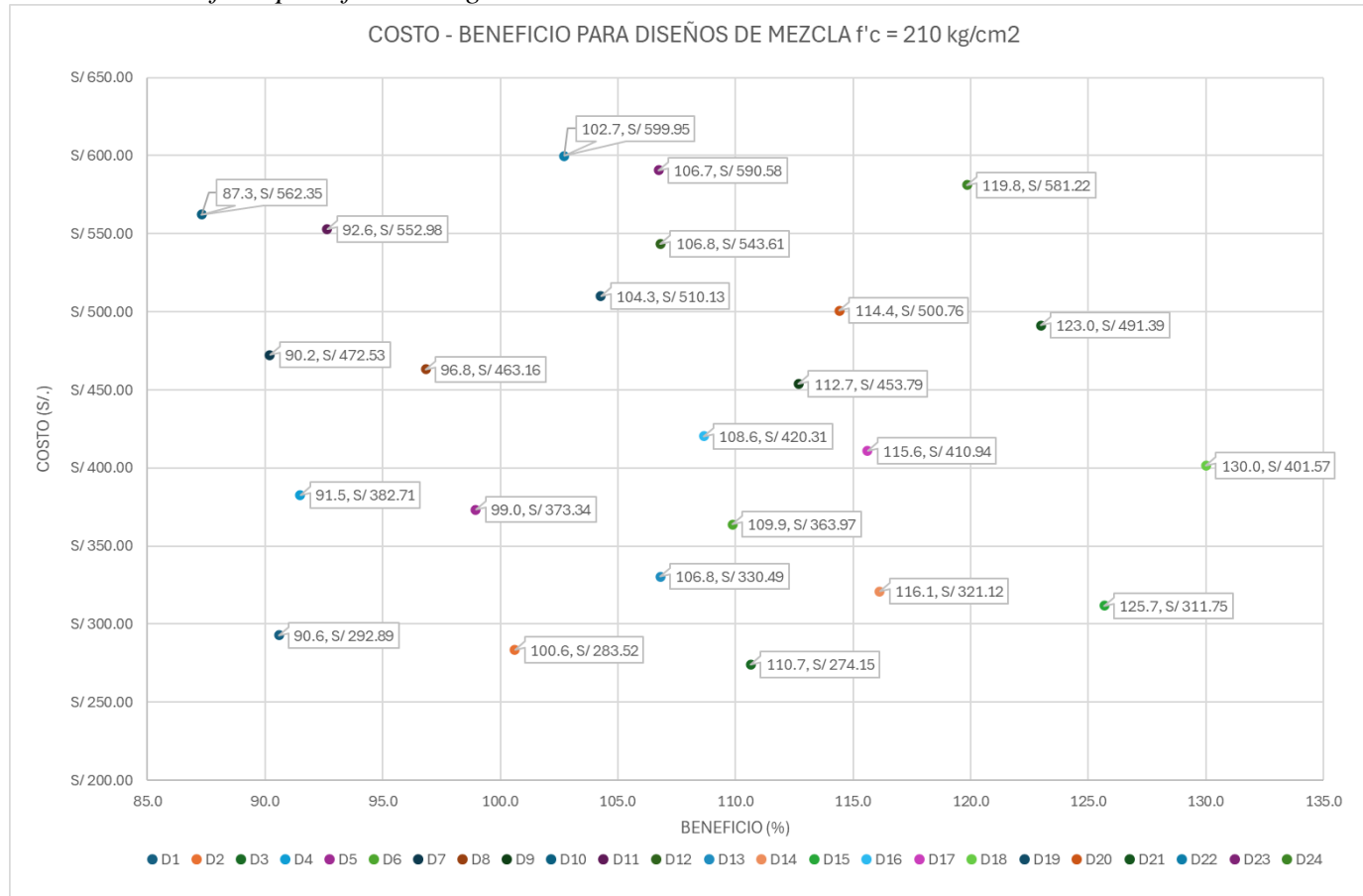
**Tabla 69**

*Análisis Costo-Beneficio para los diseños de mezcla  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

Codigo	Diseño de Mezcla	Slump (pulg)	$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Reemplazo (%)	Beneficio Slump (%)	Beneficio $f'c$ (%)	Beneficio Reemplazo (%)	Beneficio General (%)	Costo (S/.)
D1	210-R0-SP-HS0	4.00	282.03	0.00	100.0	134.3	0.0	90.6	S/ 292.89
D2	210-R25-SP-HS0	3.70	267.28	25.00	92.5	127.3	50.0	100.6	S/ 283.52
D3	210-R50-SP-HS0	3.30	253.41	50.00	82.5	120.7	100.0	110.7	S/ 274.15
D4	210-R0-SP-HS5	3.40	290.45	0.00	85.0	138.3	0.0	91.5	S/ 382.71
D5	210-R25-SP-HS5	2.00	276.36	25.00	50.0	131.6	50.0	99.0	S/ 373.34
D6	210-R50-SP-HS5	1.50	266.41	50.00	37.5	126.9	100.0	109.9	S/ 363.97
D7	210-R0-SP-HS10	2.30	295.57	0.00	57.5	140.7	0.0	90.2	S/ 472.53
D8	210-R25-SP-HS10	1.50	273.27	25.00	37.5	130.1	50.0	96.8	S/ 463.16
D9	210-R50-SP-HS10	1.30	278.01	50.00	32.5	132.4	100.0	112.7	S/ 453.79
D10	210-R0-SP-HS15	0.50	301.16	0.00	12.5	143.4	0.0	87.3	S/ 562.35
D11	210-R25-SP-HS15	0.30	269.14	25.00	7.5	128.2	50.0	92.6	S/ 552.98
D12	210-R50-SP-HS15	0.00	268.83	50.00	0.0	128.0	100.0	106.8	S/ 543.61
D13	210-R0-CP-HS0	8.50	299.44	0.00	212.5	142.6	0.0	106.8	S/ 330.49
D14	210-R25-CP-HS0	8.00	283.95	25.00	200.0	135.2	50.0	116.1	S/ 321.12
D15	210-R50-CP-HS0	7.00	273.62	50.00	175.0	130.3	100.0	125.7	S/ 311.75
D16	210-R0-CP-HS5	8.30	307.63	0.00	207.5	146.5	0.0	108.6	S/ 420.31
D17	210-R25-CP-HS5	7.00	290.91	25.00	175.0	138.5	50.0	115.6	S/ 410.94
D18	210-R50-CP-HS5	6.80	290.51	50.00	170.0	138.3	100.0	130.0	S/ 401.57
D19	210-R0-CP-HS10	6.00	312.45	0.00	150.0	148.8	0.0	104.3	S/ 510.13
D20	210-R25-CP-HS10	5.50	299.84	25.00	137.5	142.8	50.0	114.4	S/ 500.76
D21	210-R50-CP-HS10	3.50	294.80	50.00	87.5	140.4	100.0	123.0	S/ 491.39
D22	210-R0-CP-HS15	5.00	315.76	0.00	125.0	150.4	0.0	102.7	S/ 599.95
D23	210-R25-CP-HS15	4.00	286.04	25.00	100.0	136.2	50.0	106.7	S/ 590.58
D24	210-R50-CP-HS15	3.40	284.68	50.00	85.0	135.6	100.0	119.8	S/ 581.22

*Nota.* Análisis Costo-Beneficio para Diseños de Mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  considerando asentamiento, resistencia a la compresión y niveles de reemplazo.

**Figura 65**  
*Comparación de Costo-Beneficio para  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de Costo-Beneficio para Diseños de mezcla  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

De la gráfica se puede observar que el diseño de mezcla que brinda mayor beneficio es el D18 con 130% de beneficio y un costo de S/. 401.57.

En comparación con el diseño patrón D1 el costo del diseño D18 se incrementa en un 37.11%, mientras que el beneficio aumenta un 39.4%.

## 2.2. Análisis Costo-Beneficio para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

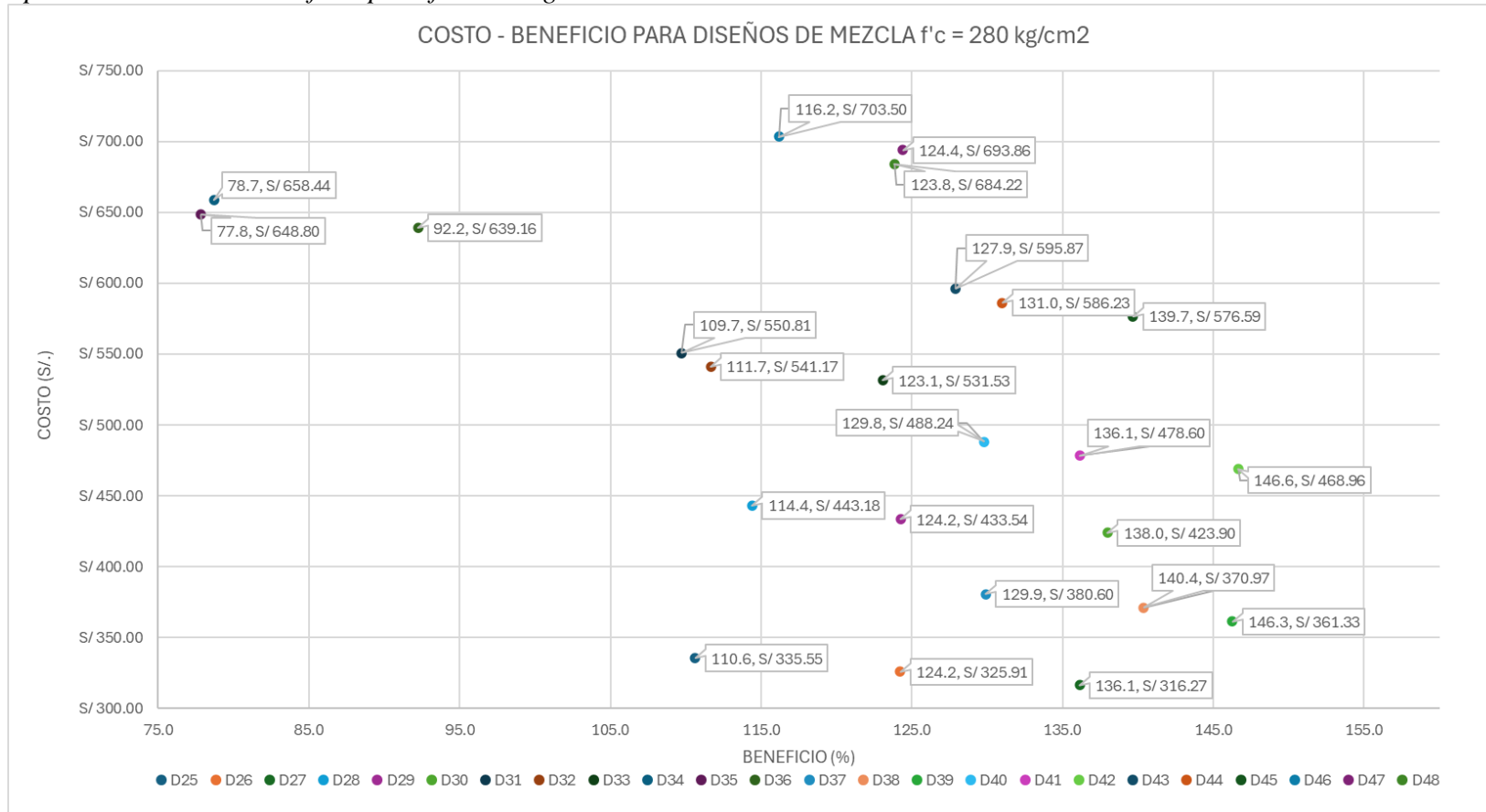
**Tabla 70**

*Análisis Costo-Beneficio para los diseños de mezcla  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$*

Codigo	Diseño de Mezcla	Slump (pulg)	$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Reemplazo (%)	Beneficio Slump (%)	Beneficio $f'c$ (%)	Beneficio Reemplazo (%)	Beneficio General (%)	Costo (S/.)
D25	280-R0-SP-HS0	4.00	352.15	0.00	100.0	167.7	0.0	110.6	S/ 335.55
D26	280-R25-SP-HS0	4.00	347.33	25.00	100.0	165.4	50.0	124.2	S/ 325.91
D27	280-R50-SP-HS0	3.50	340.81	50.00	87.5	162.3	100.0	136.1	S/ 316.27
D28	280-R0-SP-HS5	3.80	367.15	0.00	95.0	174.8	0.0	114.4	S/ 443.18
D29	280-R25-SP-HS5	3.50	351.72	25.00	87.5	167.5	50.0	124.2	S/ 433.54
D30	280-R50-SP-HS5	3.10	350.82	50.00	77.5	167.1	100.0	138.0	S/ 423.90
D31	280-R0-SP-HS10	2.50	362.20	0.00	62.5	172.5	0.0	109.7	S/ 550.81
D32	280-R25-SP-HS10	2.00	320.80	25.00	50.0	152.8	50.0	111.7	S/ 541.17
D33	280-R50-SP-HS10	1.00	316.97	50.00	25.0	150.9	100.0	123.1	S/ 531.53
D34	280-R0-SP-HS15	0.50	271.09	0.00	12.5	129.1	0.0	78.7	S/ 658.44
D35	280-R25-SP-HS15	0.00	219.94	25.00	0.0	104.7	50.0	77.8	S/ 648.80
D36	280-R50-SP-HS15	0.00	217.84	50.00	0.0	103.7	100.0	92.2	S/ 639.16
D37	280-R0-CP-HS0	9.00	375.90	0.00	225.0	179.0	0.0	129.9	S/ 380.60
D38	280-R25-CP-HS0	8.50	364.50	25.00	212.5	173.6	50.0	140.4	S/ 370.97
D39	280-R50-CP-HS0	5.00	363.18	50.00	125.0	172.9	100.0	146.3	S/ 361.33
D40	280-R0-CP-HS5	7.50	388.71	0.00	187.5	185.1	0.0	129.8	S/ 488.24
D41	280-R25-CP-HS5	6.00	371.42	25.00	150.0	176.9	50.0	136.1	S/ 478.60
D42	280-R50-CP-HS5	4.50	368.87	50.00	112.5	175.7	100.0	146.6	S/ 468.96
D43	280-R0-CP-HS10	6.00	395.16	0.00	150.0	188.2	0.0	127.9	S/ 595.87
D44	280-R25-CP-HS10	3.50	375.38	25.00	87.5	178.8	50.0	131.0	S/ 586.23
D45	280-R50-CP-HS10	2.50	361.95	50.00	62.5	172.4	100.0	139.7	S/ 576.59
D46	280-R0-CP-HS15	2.90	381.26	0.00	72.5	181.6	0.0	116.2	S/ 703.50
D47	280-R25-CP-HS15	1.50	369.79	25.00	37.5	176.1	50.0	124.4	S/ 693.86
D48	280-R50-CP-HS15	0.00	328.45	50.00	0.0	156.4	100.0	123.8	S/ 684.22

*Nota.* Análisis Costo-Beneficio para Diseños de Mezcla  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  considerando asentamiento, resistencia a la compresión y niveles de reemplazo.

**Figura 66**  
*Comparación de Costo-Beneficio para  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>*



*Nota.* Comparativa de Costo-Beneficio para Diseños de mezcla  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>.

De la gráfica se puede observar que el diseño de mezcla que brinda mayor beneficio es el D42 con 146.6% de beneficio y un costo de S/. 468.96.

En comparación con el diseño patrón D25 el costo del diseño D42 se incrementa en un 39.76%, mientras que el beneficio aumenta un 36.0%.

## CONCLUSIONES

- Se comprobó que la inclusión de humo de sílice con aditivo plastificante influye de manera positiva en la resistencia a la compresión y tracción del concreto con sustitución de agregado reciclado, tanto para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  como para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ . Los ensayos realizados permitieron identificar diseños óptimos con mejoras significativas respecto al concreto patrón.
  - Para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , el diseño D18 (50% de reemplazo de agregado reciclado, aditivo superplastificante 500 ml y 5% de humo de sílice) alcanzó una resistencia a la compresión de  $291 \text{ kg/cm}^2$ , 3% superior al diseño patrón D1, y una resistencia a la tracción de  $26 \text{ kg/cm}^2$ , 6% mayor.
  - Para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , el diseño D42 (50% de reemplazo de agregado reciclado, aditivo superplastificante 500 ml y 5% de humo de sílice) obtuvo una resistencia a la compresión de  $369 \text{ kg/cm}^2$ , 5% superior al diseño patrón D25, y una resistencia a la tracción de  $32 \text{ kg/cm}^2$ , 6% mayor.

Estos resultados demuestran que es factible la incorporación de agregados reciclados junto con humo de sílice y aditivo plastificante, obteniendo concretos con resistencias incluso superiores a los diseños convencionales.

- Se determinó que el humo de sílice, debido a su finura y reactividad puzolánica, en dosificaciones por el rango de 10% mejora la resistencia a compresión, particularmente para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  la mejora fue de hasta un 30%. Sin embargo, su adición en porcentajes mayores al 15% afecta la trabajabilidad del concreto, reduciendo el asentamiento en un rango del 30%. Por su parte el aditivo plastificante permitió mejorar la fluidez de la mezcla y en estado endurecido aumenta las resistencias a compresión en sus primeros días comparado a los concretos elaborados convencionalmente.
- Los ensayos realizados evidenciaron que el agregado reciclado presenta una absorción 6.2 veces más que el del agregado grueso de SUPERMIX. Respecto a los ensayos de peso unitario suelto se tiene que el agregado grueso reciclado presenta un peso unitario suelto 18% menor. Para el peso unitario compactado el agregado reciclado es 17% menor al agregado natural, además, el peso específico del agregado grueso natural es 3.3% más alto que el peso específico del agregado reciclado. Además, el desgaste en la prueba de abrasión de Los Ángeles se determinó que el agregado reciclado obtuvo un desgaste dos veces mayor que el agregado grueso natural.

Estos resultados confirman la necesidad de combinar el agregado reciclado con humo de sílice y aditivos plastificantes para mitigar sus efectos negativos en la resistencia del concreto.

- Al realizar los ensayos en concreto fresco; asentamiento, rendimiento y temperatura, se concluyó que:
  - Respecto a la trabajabilidad, para el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  se ve reducida con la adición de humo de sílice al 5%, 10% y 15%, en el rango de 15% al 88%. De igual manera por los niveles de remplazo del agregado grueso de 25% y 50% la trabajabilidad se reduce en 8% y 18% respectivamente, sin embargo, para el concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  se ve reducida con la adición de humo de sílice al 5%, 10% y 15%, en el rango de 5% al 87%. De igual manera por los niveles de remplazo del agregado grueso de 25% y 50% la trabajabilidad se reduce en 0% y 13% respectivamente.
  - La densidad del concreto para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con el aditivo superplastificante supera en promedio 4% al concreto patrón y para el concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  supera en promedio 1% respecto a su patrón.
  - En cuanto a la temperatura del concreto; de los resultados se concluyó que no hay un patrón claro que indique la influencia de la adición de humo de sílice, el aditivo plastificante y del porcentaje de remplazo del agregado reciclado.
- Respecto a los ensayos de resistencia a la compresión, se concluyó que el remplazo de agregado grueso reciclado del 25% y 50% disminuyó la resistencia en el rango de 6% y 11% para concretos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Por su parte el aditivo superplastificante mejora en promedio un 6% dichas resistencias. Sin embargo, es importante señalar:
  - Para concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  la inclusión del humo de sílice incrementa las resistencias en un rango de 3% y 6%, sin embargo, para dosificaciones del 15% las mejoras ya no son significativas.
  - Para concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  la inclusión 5% del humo de sílice incrementa las resistencias en un rango de 3% y 4%, sin embargo, para dosificaciones del 10% y 15% las resistencias disminuyen por efecto de la baja trabajabilidad de la mezcla.

- Respecto a los ensayos de resistencia a la tracción indirecta, se concluyó que el reemplazo de agregado grueso reciclado del 25% y 50% disminuyó la resistencia en el rango de 4% y 12% para concretos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Por su parte el aditivo superplastificante mejora en promedio un 14% dichas resistencias. Sin embargo, es importante señalar:
  - Para concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  la inclusión del humo de sílice incrementa las resistencias en un rango de 9% y 17%, sin embargo, para dosificaciones del 15% las mejoras ya no son significativas.
  - Para concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  la inclusión del humo de sílice incrementa las resistencias en un rango de 11% y 13%, sin embargo, para dosificaciones del 15% las resistencias disminuyen.
- Al analizar la influencia de las 2 adiciones: humo de sílice y aditivo plastificante en el concreto, se concluyó que ambas adiciones pueden compensar las deficiencias mecánicas del agregado grueso reciclado, mejorando la resistencia a compresión hasta en un 11% y la resistencia a tracción hasta en un 19%. Sin embargo, un exceso de humo de sílice (como sucedió para el concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y 15% de humo de sílice) reduce la trabajabilidad obteniendo un asentamiento nulo y la resistencia a compresión se reduce hasta en un 7%.

La profundidad de carbonatación se redujo en un 85% en los diseños óptimos con humo de sílice, lo que indica una mayor durabilidad del concreto respecto a los concretos convencionales.

## RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda a los ingenieros, empresas productoras de concreto y/o a los investigadores el uso de dosificaciones de hasta 10% de humo de sílice, si en caso se requiera mayores porcentajes de dicho aditivo, incluir aditivos plastificantes de alto rango o similares.
- SEGUNDA:** Se recomienda a las empresas productoras de agregados y/o investigadores que para el uso de agregados reciclados se implemente un sistema de limpieza y tratamiento para poder eliminar la pasta de cemento adherida a los agregados reciclados.
- TERCERA:** Se recomienda a los ingenieros, empresas productoras de concreto y/o a los investigadores que se verifique periódicamente los valores de contenido de humedad y absorción de los agregados ya que estos pueden variar y afectan significativamente en los resultados al concreto en estado fresco y endurecido.
- CUARTA:** Se recomienda a los investigadores comparar diferentes agregados reciclados provenientes de la demolición de concretos elaborados para diferentes usos y resistencias.
- QUINTA:** Se recomienda a los ingenieros, empresas productoras de concreto y/o a los investigadores el correcto almacenaje de los componentes para evitar cualquier contaminación y alteraciones a sus propiedades ya que esto repercutirá en los resultados de los ensayos.
- SEXTA:** Se propone a los investigadores indagar la influencia del aditivo plastificante y humo de sílice para remplazos de agregado fino por agregado producto de la demolición.
- SEPTÍMA:** Se recomiendo a los ingenieros, empresas productoras de concreto y/o a los investigadores realizar estudios socio-ambientales para la implementación de plantas productoras de agregados reciclados en la ciudad de Arequipa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto#>
- ACI Committee 211. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute. Obtenido de [https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211\\_1\\_91.pdf](https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211_1_91.pdf)
- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2009). Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño. *DSpace.espol*, 8. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso%20de%20s%C3%ADlice%20en%20hormigones%20de%20alto%20desempe%C3%B1o.pdf>
- Anicama Rosas, L. C. (2020). *Aplicación de Aditivo Microsílice, y Superplastificante Para el Diseño de Mezclas de Concreto de Alto Desempeño*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Apaza, I. K., & Ysarbe, R. J. (2016). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas y características físicas del concreto patrón y concreto reciclado, evaluando su comportamiento en estado fresco y endurecido*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Determinación de la Profundidad de Carbonatación en Hormigones Endurecidos y Puestos en Servicio*. Madrid: AENOR.
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero. (Diciembre de 2016). [www.anfah.org](http://www.anfah.org). Obtenido de <https://www.coatz.org/wp-content/uploads/2016/12/1.-Aditivos-superfluidificantes-y-reductores-de-agua.pdf>
- Bazalar, L., & Cadenillas, M. (2019). *Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar\\_L\\_PL.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar_L_PL.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Benito, F., Parra, C., Valcuende, M., Miñano, I., & Rodríguez, C. (2015). Método para Cuantificar la Segregación en Hormigones Autocompactantes. *Concreto y Cemento*.

*Investigación y Desarrollo*, 49. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361235333003>

Borja Suarez, M. (2012). *Metodología de la investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo.

Cáceres, E., & Valencia, V. (2018). *Estudio de la influencia del tipo y porcentaje de reemplazo de los agregados reciclados en las propiedades del concreto, para diseños de  $f'c$  175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>, en la ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8200>

Caycho, T., & Espinoza, D. (2019). *Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito la molina*. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2726>

Cemento YURA. (2023). *Ficha Técnica Yura IP*. Obtenido de Ficha Técnica Yura IP: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-ip.pdf](https://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-ip.pdf)

CEMEX. (19 de Junio de 2019). Obtenido de Hablando de Cementos Portland: <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>

CEMEX. (Abril de 2020). Obtenido de La Construcción en el Perú: Industria Segura y Esencial: <https://www.cemex.com.pe/documents/46808606/49746377/cemex-peru-postura-construccion-industria-segura-y-esencial.pdf/bf517ad7-cc70-710c-2536-b1bcd52b42d8#:~:text=La%20construcci%C3%B3n%20es%20esencial%20ahora,los%20efectos%20de%20la%20pandemia>.

CEMEX México. (2021). [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com). Obtenido de [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com): <https://www.cemexmexico.com/productos/concreto>

Cholán, T. (2022). *Propiedades del Concreto Endurecido*. Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de Propiedades del Concreto en Estado Endurecido: <https://es.scribd.com/document/234713759/Propiedades-Del-Concreto-en-Estado-Endurecido>

- Cipriano , F. (2019). *Concreto Elaborado con Agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Reciclados*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/19519>
- Claros, E. (2018). *360 en concreto*. Obtenido de 360 en concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/normatividad/191cual-debe-ser-la-temperatura-maxima-del-concreto-fresco>
- El Comercio. (25 de Febrero de 2016). El 70% de Comunas Provinciales No Trata los Residuos que Recoge. *El comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/70-comunas-provinciales-trata-residuos-recoge-276778-noticia/>
- ElDiario. (4 de Marzo de 2019). Obtenido de Cemento: el material más destructivo de la Tierra: [https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/cemento-material-destructivo-tierra\\_1\\_1675968.html](https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/cemento-material-destructivo-tierra_1_1675968.html)
- Erazo, E. (2018). *Evaluación del diseño de concreto  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando agregados naturales y reciclados para su aplicación en elementos no estructurales*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2554>
- Escarza, B. (2018). *Agregados en la construcción*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/58373108/AGREGADOS-EN-LA-CONSTRUCCION>
- Gamboa, J. (2020). *Evaluación de la mejora técnica y económica del concreto  $f'c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando humo de sílice, Lima – 2020*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66996>
- García Kriete, L. G. (2018). *Concreto de Alto Desempeño Utilizando Hormigón con Adición de Microsílice y Superplastificante en la Ciudad de Huancayo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Giaccio, G. (1999). Exudación del hormigón: Efecto de la incorporación de cenizas volantes. *Repositorio Institucional de la*, 53-54. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/7ad61f83-01f3-4fd0-a84d-97c223868f9e/content>
- Gutierrez, L. (2003). *El Concreto y Otros Materiales Para la Construcción*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

- Hernandez , R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F.: McGrawHill. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hinojosa , A. (2016). *Estudio de los Aspectos Económicos y Ambientales de la Gestión de Residuos Sólidos de Actividades de Construcción y Demolición de la Municipalidad Distrital de Miraflores, Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. <https://doi.org/https://doi.org/10.36901/illustro.v9i0.1219>
- Hinojosa, A., & Meza, P. (2016). Estudio de los Aspectos Económicos y Ambientales de la Gestión de Residuos Sólidos de Actividades de Construcción y Demolición en la Municipalidad Distrital de Miraflores, Arequipa. *RevistasUCSP*, 6.
- Iman, A., Kumar, V., & Srivastava, V. (2018). Estudio Sobre el Efecto del Humo de Sílice Sobre las Propiedades Frescas y Endurecidas del Concreto. *Techno-Press*, 145-157.
- IMCYC. (2012). *Problemas, causas y soluciones*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- INACAL. (2008). *NTP 339.046 Peso Unitario y Rendimiento del Concreto*. Lima: INDECOPI.
- INACAL. (2012). *NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple, por compresión diametral de una probeta cilíndricas*. Lima.
- INACAL. (2019). *NTP 339.088. Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos*. Lima.
- INACAL. (2020). *NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. Lima: INDECOPI.
- INACAL. (2021). *NTP 339.185. AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición*. Lima: INDECOPI.
- INACAL. (2021). *NTP 400.022. AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición*. Lima: INDECOPI.

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2011). *El humo de sílice como adición al concreto estructural*. Mexico D.F.: IMCYC.
- Instituto Nacional de Calidad. (1999). *NTP 400.050 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Generalidades*. Lima. Obtenido de <https://servilex.pe/documents/ambiente/400.050.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (1999). *NTP 400.053 Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción. Reciclaje de concreto de demolición*. Lima. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/462061381/NTP-400-053>
- Instituto Nacional de Calidad. (2001). *NTP 400.012 Análisis Granulométrico del Agregado Fino, Grueso y Global*. Lima: INDECOPI. Obtenido de <https://es.slideshare.net/williamhuachacatorres/norma-tecnica-peruana-agregadoa-400012>
- Instituto Nacional de Calidad. (2008). *NTP 400.011 Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)*. Lima: INDECOPI. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/resistencia-de-materiales/ntp-400011-agregados-definicion-y-clasificacion/8804956>
- Instituto Nacional de Calidad. (2013). *NTP 339.185 Método de Ensayo Normalizado para Contenido de Humedad Total Evaporable de Agregados por Secado*. Lima: INDECOPI. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/375184167/NTP-339-185-CONTENIDO-DE-HUMEDAD-DE-AGREGADOS-pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2017). *NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple, por compresión diametral de una probeta cilíndricas*. Lima: INDECOPI. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/546156051/NTP-339-084-2012-2017>
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 400.021 Método de Ensayo Normalizado para la Densidad, la Densidad Relativa (peso específico) y Absorción del Agregado Grueso*. Lima: INDECOPI. Obtenido de <https://es.slideshare.net/FrancozCanalesPea/ntp-400021-2013-densidad-relativa-peso-especifico-y-absorcin-agreg-grueso-grupo-4>

- Manrique, C. (2020). *Modelo de Gestión de Residuos Generados en la Demolición de Obras de Edificación Residencial en Arequipa Metropolitana*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e9728cc2-2872-4018-be2b-e131451305dc>
- Martínez, P. (2000). *El Concreto Con Agregados Reciclados Como Proyecto De Sostenibilidad Urbana*. Santa Marta: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Martínez, W., Torres, A., Alonso, E., Chávez, H., Hernández, H., Lara, C., . . . González, F. (2015). Concreto Reciclado: Una revisión. *ALCONPAT*, 234-247. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352015000300235#aff2](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235#aff2)
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos*. Obtenido de Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5\\_%20DEC RETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5_%20DEC RETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (20 de Julio de 2000). *Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos*. Lima. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Ministerio del Ambiente. (Octubre de 2008). Obtenido de Informe de la Situación Actual de la Gestión de Residuos Sólidos no Municipales: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20101021014236.pdf>
- Miñan, A. M. (2012). *Materiales Sostenibles en la Edificación*. Ancona: Universidad Politécnica de Marche.
- Muñoz Pérez, P., Sócrates, Reyes, B., Junior, M., Santisteban, Y., & Ricardo, J. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 100-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.46480/esj.5.2.90>
- Muñoz, S., Bayona, M., & Yovera, J. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 100-106.
- Muñoz, S., Díaz, D., Gamarra, E., & Chaname, J. (2021). La influencia de los RCD en reemplazo de los agregados para la elaboración de concreto: Una revisión literatur.

*Ecuadorian Science Journal*, 107-120.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.46480/esj.5.2.111>

Nedeljkovic, M., Visser, J., Savija, B., Valcke, S., & Schlangen, E. (2021). Use of fine recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. *Elsevier*, 9-12.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102196>

NRMCA. (2023). Obtenido de National Ready Mixed Concrete Association:  
<https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

Pacheco, L. (2017). *Propiedades del Concreto en Estado Fresco y Endurecido*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.

Rivva, E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima: Universidad Nacional de Ingenierías. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/958/dise-o-de-mezclas-enrique-rivva-lopez>

Rivva, E. (2007). *Diseño de Mezclas*. Lima: HOZLO S.C.R.L.

Rodrich, S., & Silva, J. (2018). *Influencia Del Agregado De Concreto Reciclado Sobre Las Propiedades Mecánicas En Un Concreto Convencional, Trujillo 2018*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.

Rodriguez, J. (2020). *Aditivo Plastificante en las Propiedades Físicas y Mecánicas de un Concreto Convencional para Edificaciones Urbanas" Una Revisión Sistemática entre 2009 - 2019"*. Trujillo: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/27092>

Rodriguez, A., & Ruiz, J. (2018). *Influencia Del Aditivo Plastificante En Las Propiedades Del Concreto En Edificaciones Unifamiliares En Huancayo*. Huancayo: Universidad Peruana los Andes.

Romero, H. (2019). *Estudio Comparativo de 3 Métodos de Diseño de Mezclas en la Resistencia de Compresión del Concreto*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

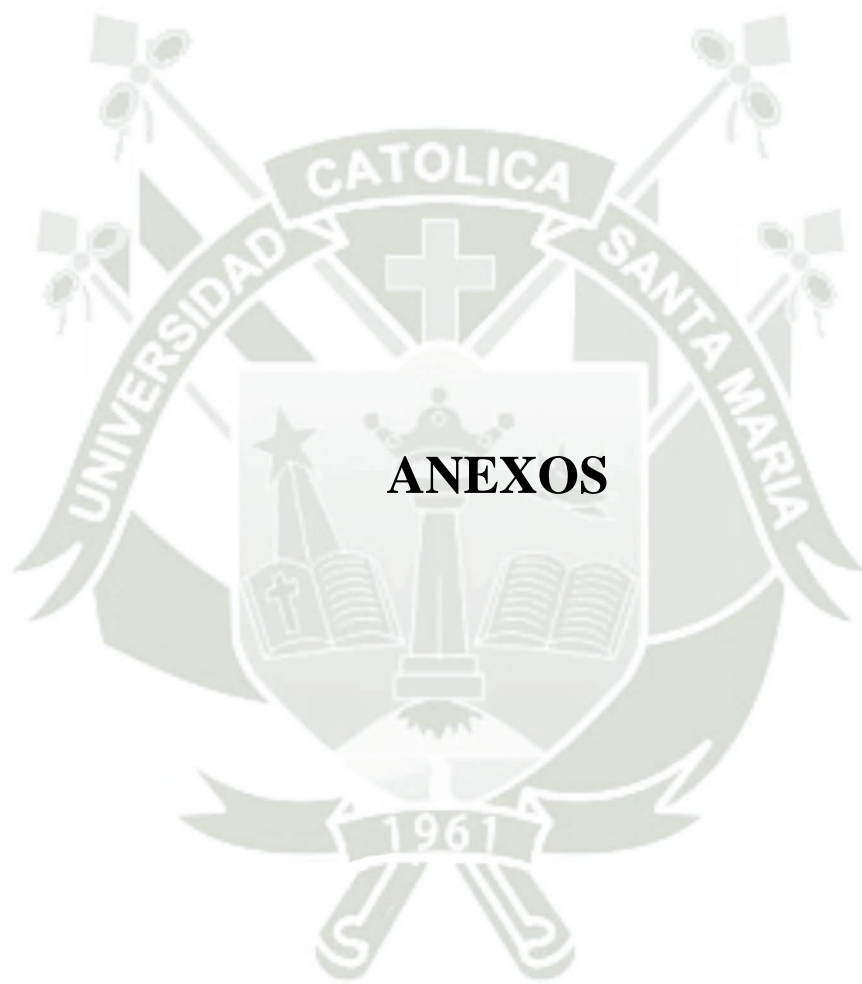
Sanchez, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá: BHANDAR EDITORES LTDA. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=frontcover&source=gbs\\_atb#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=frontcover&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false)

Sika Informaciones Técnicas. (2019). *Sika Fume*. Lima: Sika Perú.

Sika Informaciones Técnicas. (2021). *SikaCem Plastificante*. Lima: Sika Perú.

- Sika Perú. (2021). Obtenido de Sika Perú: <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-autoconstruccion/plasticantes-concreto/sikacem-plasticante.html>
- Silica Fume Association. (2005). *Manual de Usuario de Humo de Sílice*. Silica Fume Association. Obtenido de <https://www.silicafume.org/pdf/silicafume-users-manual.pdf>
- TESAB - Crusher Product Range. (2023). Obtenido de Tesab 623CT - Ficha técnica & Especificaciones: <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/reciclaje-eliminacion-de-desechos/plantas-de-reciclaje-de-escombros-tesab/623ct-11694858>
- Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de [https://www.academia.edu/11718754/TECNOLOGIA\\_DEL\\_CONCRETO](https://www.academia.edu/11718754/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO)
- Torres, N. (18 de Febrero de 2016). Obtenido de Impactos Ambientales que Generan las Edificaciones – Reflexiones y Propuestas para el Sector de la Construcción: <https://soslegal.com.pe/impactos-ambientales-que-generan-las-edificaciones-reflexiones-y-propuestas-para-el-sector-de-la-construccion/>
- Ulloa, V., Uribe, M., Paz, D., Alvarado, Y., Torres, B., & Gasch, I. (2018). Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados. *SciELO*, 34-41. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092018000200034&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092018000200034&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Universidad Internacional de Valencia. (21 de Marzo de 2018). *Pasos del Método Científico*. Obtenido de Pasos del Método Científico: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/pasos-del-metodo-cientifico-de-la-observacion-la-ley>
- Universidad Politécnica de Valencia. (23 de Marzo de 2013). Obtenido de ¿Qué es una trituradora de impactos?: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/03/23/que-es-una-trituradora-de-impactos/>
- Valencia Puma, J. F. (2018). *Análisis del Concreto Elaborado con Agregado Reciclado Producto de la Demolición de Veredas de Concreto Adicionado con Humo de Sílice frente a Esfuerzos de Compresión para el Reuso en Veredas en la Ciudad del Cusco*. Cusco: Universidad Alas Peruanas.

- Vargas, J., & Peralta, C. (2020). *Análisis Comparativo De Nuevas Canteras En Proceso Inicial De Explotación Elaborando Concretos con cemento tipo IP, TIPO I Y TIPO HE PARA  $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ , PARA TMN  $\frac{1}{2}$ " Y  $\frac{3}{4}$ " en la ciudad de arequipa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/665ae81d-2a58-4e57-b439-8aee3fd8f5a5>
- Vega Castro, E. A. (2019). *Evaluación Experimental del Uso de Microsílice para la Elaboración de Concreto de Alta Resistencia*. Piura: Universidad de Piura.
- Vidau, I., Castaño, T., & Vidau, E. (2013). Concreto Sustentable, ¿Mito o Realidad? *Construcción y Tecnología en Concreto*, 20-21.
- Zapatero, J. (2010). *Fundamentos de Investigación para estudiantes de Ingeniería*. Mexico: Tercer Escalón. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/248563587/Fundamentos-De-Investigacion-Para-Ingenierias-Zapatero-2010>
- Zega, C. J., & Di Maio, A. A. (1 de abril de 2023). *Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigon*. . Obtenido de Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigon. : [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0376-723X2007000200001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200001&lng=es&tlng=es).



**Anexo 1**

*Matriz De Consistencia*

Problemas	Objetivos		Variables
Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variable Independiente:
¿Cuál es la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con sustitución de agregado reciclado?	Analizar la influencia del humo de sílice con aditivo plastificante en la resistencia a la compresión y tracción del concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con sustitución de agregado reciclado.	La inclusión del humo de sílice y aditivo plastificante en la fabricación del concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con sustitución de agregado reciclado, mejorará su resistencia a la compresión y tracción.	*Nivel de reemplazo del agregado de concreto reciclado. *Propiedades del agregado reciclado y natural. *Aditivo plastificante. *Humo de sílice.
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Especifica:	Variable Dependiente:
¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del humo de sílice y aditivo plastificante, para su correcta dosificación en la elaboración de concreto reciclado de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ ?	Analizar las propiedades físico-mecánicas del humo de sílice y aditivo plastificante, para su correcta dosificación en la elaboración de concreto reciclado de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ .	Al determinar las proporciones de los componentes se podrá elaborar un diseño de mezcla para concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .	Propiedades del concreto fresco y endurecido.
¿Cómo se realiza los ensayos correspondientes para determinar las características de los materiales?	Realizar los ensayos correspondientes para determinar las características de los materiales.	Al realizar los ensayos correspondientes se logrará determinar las características de los materiales. Al añadir humo de sílice con aditivo plastificante en concretos de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con sustitución de agregado reciclado, se podrá determinar su influencia en los ensayos del concreto en estado fresco.	
¿Cómo se realiza los ensayos del concreto en estado fresco?	Realizar los ensayos del concreto en estado fresco.		
¿Cómo influye en el ensayo a compresión las proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ ?	Realizar el ensayo a compresión con proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ .	Al incluir proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, de aditivo plastificante de 0.0% y 0.7% y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , se podrá realizar el ensayo a compresión.	
¿Cómo influye en el ensayo a tracción indirecta las proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ ?	Realizar el ensayo a tracción indirecta con proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, la adición de 500ml de aditivo plastificante por cada 42.5 kg de cemento y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ .	Al incluir proporciones de humo de sílice de 0%, 5%, 10% y 15%, de aditivo plastificante de 0.0% y 0.7% y de agregado reciclado de 0%, 25% y 50% para concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , se podrá realizar el ensayo a tracción indirecta.	
¿Cuál es la influencia de los componentes adicionados en la resistencia a la compresión y tracción del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ ?	Identificar la influencia de los componentes adicionados en la resistencia a la compresión y tracción del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ .	Al realizar los ensayos a compresión y tracción del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , se podrá identificar la influencia de los componentes adicionados.	

## Anexo 2

### Panel Fotográfico

Acumulación de escombros previo al chancado.



Trituración del escombros con ayuda de una excavadora.



Triturado del material en la chancadora Tesab 623CT



Agregado reciclado obtenido de la trituración.



Acumulación de material obtenido de la trituración.



Tamizado del material triturado por la malla N°04.



Agregado grueso reciclado obtenido del tamizado



Lavado del material para su posterior empaquetado.



Empaquetado del agregado grueso reciclado.



Elaboración de probetas de 10 cm x 20 cm



Curado de probetas de 10 cm x 20 cm.



Desmoldado de probetas de 10 cm x 20 cm.



Rotura a compresión de probetas de 10 cm x 20 cm.



Rotura a tracción de probetas de 10 cm x 20 cm.



**Anexo 3**

*Ensayo De Carbonatación Para Diseños Patrones Y Óptimos*



**UNSA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de  
Investigación y Servicios  
LABINVSERV

**INFORME DE ENSAYOS**

**N° DE REPORTE:** 25655-25

**CLIENTE:** DIEGO ANTONIO ARAOZ MARIN.

**DIRECCIÓN:** AREQUIPA

**ENSAYO SOLICITADO:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

**PRODUCTO:** PROBETAS DE CONCRETO

**CANTIDAD DE MUESTRA:** 12

**FECHA DE RECEPCIÓN:** Lunes, 10 de febrero de 2025

**CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:** CAJA DE CARTÓN

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** Viernes, 14 de febrero de 2025

**REFERENCIA:** MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

**PROCEDENCIA:** LABORATORIO - ELABORACION PROPIA.

**CÓDIGO DE MUESTRA:** 32147

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



**INFORME DE ENSAYOS**

**REPORTE N°: 25655-25**

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Carbonatación	dkmax cm	D13	4,21	Método Norma Española une 112011.
		D13	15,6	
		D13	4,58	
		D18-4	0,0	
		D18-4	2,83	
		D18-4	0,84	
		D25	15,60	
		D25	15,60	
		D25	0,65	
		D42	1,75	
		D42	5,20	
D42	1,34			

**OBSERVACIONES:** COLOR ROSADO.

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 14 de febrero de 2025.

  
Dra. Miriam Vilma María Málaga Carrojo  
Coordinadora(e) del Laboratorio  
RCQP - 259



  
Lic. Qqfm. Fredy Agustín Valdovinos Peña  
Químico Responsable  
RCQP - 892