

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EFFECTOS DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN
LAS PROPIEDADES DE CONCRETO CON AGREGADO
FINO RECICLADO, A/C 0.65 y 0.70**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
WINS MEL COMETIVOS CLAUDIO**

**ASESOR
Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN**

LIMA- PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres y a mi esposa por el apoyo que me brindaron durante todo el desarrollo de mi investigación, ya que gracias a ellos logré tener la motivación para alcanzar mi meta propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Max Huaynalaya por ser mi asesor de tesis, a mis colegas de trabajo, al Laboratorio de Ensayo de Materiales y a la Universidad Nacional de Ingeniería por compartirme los conocimientos necesarios para desarrollar mi tesis.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
PRÓLOGO	9
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 GENERALIDADES	16
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.3 PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.3.1 Problema General.....	18
1.3.2 Problemas Específicos.....	18
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5.1 Hipótesis general.....	19
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	19
1.6 MARCO METODOLÓGICO.....	20
1.6.1 Tipo de Investigación.....	20
1.6.2 Nivel de Investigación.....	20
1.6.3 Diseño de Investigación.....	20
1.6.4 Enfoque de Investigación.....	20
1.6.5 Población, Muestra y Muestreo.....	21
1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN.....	21
1.8 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	23
1.8.1 Antecedentes Nacionales.....	23
1.8.2 Antecedentes Internacionales.....	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	28
2.1 CONCRETO.....	28
2.2 AGUA.....	28
2.3 AGUA RESIDUAL TRATADA.....	28
2.4 AGREGADOS.....	28
2.5 AGREGADO RECICLADO.....	29

2.6 ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS	29
2.7 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	30
2.8 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	30
2.9 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.....	30
2.10 REQUISITOS DEL AGUA PARA MEZCLA DE CONCRETO	31
2.11 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO	31
2.12 PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO	31
2.13 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO	32
2.14 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO	32
2.15 TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO	33
2.16 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO	33
2.17 RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	33
2.18 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS.....	34
2.19 RESISTENCIA DE CONCRETO ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA.....	35
2.20 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN	35
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO	37
3.1 COMPONENTES DEL CONCRETO.....	37
3.1.1 Agua	37
3.1.2 Cemento	37
3.1.3 Agregados	37
3.2 ENSAYOS AL AGUA RESIDUAL TRATADA	38
3.3 ENSAYOS EN AGREGADOS.....	39
3.3.1 Ensayo Granulométrico.....	39
3.3.2 Peso Específico y Absorción.....	45
3.3.3 Peso Unitario	47
3.3.4 Contenido de Humedad	49
3.3.5 Proporción entre Agregados	50
3.4 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	51
3.5 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO.....	54
3.5.1 Asentamiento.....	54
3.5.2 Peso Unitario	56
3.5.3 Contenido de Aire	57
3.5.4 Tiempo de Fraguado.....	60
3.5.5 Temperatura	65

3.6 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO.....	67
3.6.1 Resistencia a Compresión	67
3.6.2 Resistencia a Tracción.....	79
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
4.1 ANÁLISIS DE ENSAYOS AL AGUA RESIDUAL TRATADA	90
4.2 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN AGREGADOS	90
4.2.1 Análisis Granulométrico	90
4.2.2 Peso Específico y Absorción.....	91
4.2.3 Peso Unitario	92
4.2.4 Contenido de Humedad	92
4.3 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO	92
4.3.1 Asentamiento.....	92
4.3.2 Peso Unitario	94
4.3.3 Contenido de Aire	96
4.3.4 Tiempo de Fraguado.....	98
4.3.5 Temperatura	100
4.4 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO	101
4.4.1 Resistencia a Compresión	101
4.4.2 Resistencia a Tracción.....	105
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS	117

RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad estudiar el efecto de reemplazar agua potable por agua residual tratada (obtenida de CITRAR-UNI, en Lima), en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades de concretos con agregado fino reciclado (comprado una empresa especializada en Villa El Salvador - Lima).

A partir de los resultados obtenidos por investigaciones pasadas acerca del uso de agregados reciclados, que indicaron que con un reemplazo de hasta 50% de agregado fino natural por agregado fino reciclado el concreto mantiene resistencias similares, se decidió usar mezclas patrón con 50% de agregado fino natural y 50% de agregado fino reciclado. Las mezclas variantes se obtuvieron tras el reemplazo de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100% en las mezclas patrón de a/c de 0.65 y 0.70.

Los componentes del concreto fueron cemento tipo I, agregados naturales (fino y grueso), agregado fino reciclado, agua potable y agua residual tratada.

El agua residual tratada utilizada para las mezclas cumple con las especificaciones de la NTP 339.088:2021 (que trata sobre el agua para mezcla de concreto).

Los ensayos realizados en concreto fresco dieron como resultado que el reemplazo de agua potable por agua residual tratada hizo que el asentamiento aumentara en promedio 51.83%; mientras que el peso unitario, contenido de aire, tiempo de fraguado y temperatura disminuyeran en 1.15%, 30.53%, 12.08% (a/c de 0.70) y 5.45% en promedio respectivamente.

Los ensayos realizados en concreto endurecido fueron los ensayos de resistencia a compresión y tracción a edades de 7 y 28 días, los cuales se realizaron en probetas de cilíndricas de 10 cm x 20 cm. El reemplazo de agua potable por agua residual tratada hizo que la resistencia a compresión a 28 días disminuyera en 11.47% en promedio, mientras que la resistencia a tracción a 28 días aumentara en 12.93% en promedio.

ABSTRACT

The purpose of the research was to study the effect of replacing drinking water with treated wastewater (obtained from CITRAR-UNI, in Lima), in percentages of 50% and 100%, on the properties of concrete with recycled fine aggregate (purchased from a specialized company in Villa El Salvador - Lima).

From the results obtained by past investigations about the use of recycled aggregates, which indicated that with a replacement of up to 50% natural fine aggregate by recycled fine aggregate, concrete maintains similar resistances, it was decided to use standard mixes with 50% natural fine aggregate and 50% recycled fine aggregate. The variant mixtures were obtained after the replacement of drinking water by treated wastewater in percentages of 50% and 100% in the standard mixtures of w/c of 0.65 and 0.70.

The concrete components were type I cement, natural aggregates (fine and coarse), recycled fine aggregate, drinking water, and treated wastewater.

The treated wastewater used for mixing complies with the specifications of NTP 339.088:2021 (which deals with water for concrete mixing).

The tests carried out on fresh concrete gave as a result that the replacement of drinking water by treated wastewater caused the settlement to increase on average 51.83%; while the unit weight, air content, setting time and temperature decreased in 1.15%, 30.53%, 12.08% (w/c of 0.70) and 5.45% on average respectively.

The tests carried out on hardened concrete were the compressive and tensile strength tests at ages of 7 and 28 days, which were carried out in 10 cm x 20 cm cylindrical specimens. The replacement of potable water by treated wastewater caused the compressive strength at 28 days to decrease by 11.47% on average, while the tensile strength at 28 days increased by 12.93% on average.

PRÓLOGO

El uso de agregados reciclados en la elaboración de concreto viene siendo estudiado desde hace algunos años, investigaciones iniciales se enfocaban en el proceso a seguir para la obtención de estos, de acuerdo al método usado se obtenía un agregado reciclado de mayor o menor calidad. Tras los hallazgos de esas investigaciones, se dio importancia a los procesos de selección y trituración de los residuos de concreto a partir de los cuales se obtendrían los agregados reciclados.

Con métodos correctos de selección y trituración de residuos de concreto, el concreto a reciclar no estará contaminado por cerámicos, vidrios, restos de tuberías de PVC u otros materiales de construcción, obteniendo así agregados reciclados de buena calidad, con los cuales se podía obtener un concreto que cumplía, hasta cierto punto, con las mismas exigencias de un concreto elaborado con agregados naturales, puesto que la resistencia a compresión para reemplazos de hasta 50% por agregados reciclados disminuía hasta un valor menor a 14.9%.

Usando los resultados de antecedentes investigativos que indicaban un porcentaje de reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados hasta el cual la resistencia del concreto mantenía valores similares (Kou et. Al. en 2012, Ponce en 2014, y Caycho y Espinoza en 2019), el investigador usó un porcentaje de reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado de 50% para diseñar el concreto patrón.

Para elaborar este concreto patrón, con un reemplazo óptimo de agregado fino natural por agregado fino reciclado (comprado una empresa especializada), se usó agua potable; y para las mezclas variante elaboradas a partir de las mezclas patrón se realizó el reemplazo de agua potable por agua residual tratada (obtenida de CITRAR-UNI) en porcentajes de 50% y 100%.

La investigación pretende ayudar a promover el uso de materiales reciclados (agregados y/o agua), en distintas proporciones, en mezclas de concreto.

Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN
ASESOR

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de consistencia y operacionalización.	22
Tabla 2 Resultados de ensayos al agua residual tratada de CITRAR-UNI.	39
Tabla 3 Ensayo granulométrico del agregado fino natural.	39
Tabla 4 Ensayo granulométrico del agregado grueso.	41
Tabla 5 Ensayo granulométrico del agregado fino reciclado.	44
Tabla 6 Módulo de fineza del agregado fino natural.	44
Tabla 7 Módulo de fineza del agregado fino reciclado.	45
Tabla 8 Peso específico y Absorción del agregado fino natural.	45
Tabla 9 Peso específico y Absorción del agregado grueso.	46
Tabla 10 Peso específico y Absorción del agregado fino reciclado.	47
Tabla 11 Peso unitario del agregado fino natural.	47
Tabla 12 Peso unitario del agregado grueso.	48
Tabla 13 Peso unitario del agregado fino reciclado.	49
Tabla 14 Contenido de humedad del agregado fino natural.	49
Tabla 15 Contenido de humedad del agregado grueso.	49
Tabla 16 Contenido de humedad del agregado fino reciclado.	50
Tabla 17 PUC de la combinación entre agregados.	51
Tabla 18 Diseños de mezclas con a/c de 0.65.	53
Tabla 19 Diseños de mezclas con a/c de 0.70.	53
Tabla 20 Asentamiento de las mezclas con a/c = 0.65.	54
Tabla 21 Asentamiento de las mezclas con a/c de 0.70.	55
Tabla 22 Peso unitario de las mezclas con a/c = 0.65.	56
Tabla 23 Peso unitario de las mezclas con a/c de 0.70.	56
Tabla 24 Contenido de aire de las mezclas con a/c = 0.65.	58
Tabla 25 Contenido de aire de las mezclas con a/c de 0.70.	58
Tabla 26 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-0%ART.	60
Tabla 27 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-50%ART.	60
Tabla 28 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-100%ART.	61
Tabla 29 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-0%ART.	62
Tabla 30 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-50%ART.	63
Tabla 31 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-100%ART.	64
Tabla 32 Temperatura de las mezclas con a/c = 0.65.	65
Tabla 33 Temperatura de las mezclas con a/c de 0.70.	66
Tabla 34 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.	67

Tabla 35	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.	68
Tabla 36	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.	69
Tabla 37	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.	70
Tabla 38	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.	71
Tabla 39	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.	72
Tabla 40	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.	73
Tabla 41	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.	74
Tabla 42	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.	75
Tabla 43	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.	76
Tabla 44	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.	77
Tabla 45	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.	78
Tabla 46	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.	80
Tabla 47	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.	81
Tabla 48	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.	81
Tabla 49	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.	82
Tabla 50	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.	83
Tabla 51	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.	84
Tabla 52	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.	84
Tabla 53	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.	85
Tabla 54	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.	86
Tabla 55	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.	87
Tabla 56	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.	87
Tabla 57	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.	88
Tabla 58	Análisis de ensayos al agua residual tratada.	90
Tabla 59	Variación de los asentamientos.	92
Tabla 60	Variación de los pesos unitarios.	94
Tabla 61	Variación de los contenidos de aire.	96
Tabla 62	Variación de los tiempos de fraguado.	99
Tabla 63	Variación de las temperaturas.	100
Tabla 64	Variación de la resistencia a compresión a 7 días.	102
Tabla 65	Variación de la resistencia a compresión a 28 días.	104
Tabla 66	Variación de la resistencia a tracción a 7 días.	105
Tabla 67	Variación de la resistencia a tracción a 28 días.	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Planta de producción del agregado reciclado.....	38
Figura 2	Curva granulométrica del agregado fino natural.....	40
Figura 3	Equipo para el ensayo granulométrico de agregado fino.....	40
Figura 4	Agregado fino natural de la cantera de Trapiche, Lima.	41
Figura 5	Curva granulométrica del agregado grueso.....	42
Figura 6	Equipo para el ensayo granulométrico de agregado grueso.....	42
Figura 7	Agregado grueso de la cantera de UNICON, Lima.....	43
Figura 8	Curva granulométrica del agregado fino reciclado.....	43
Figura 9	Agregado fino reciclado.....	44
Figura 10	Peso específico y absorción del agregado fino natural.....	46
Figura 11	Peso específico y absorción del agregado fino grueso.....	47
Figura 12	PUS del agregado fino natural.	48
Figura 13	Ensayo de contenido de humedad de los agregados.	50
Figura 14	PUC vs %Piedra – mezcla patrón.	51
Figura 15	Asentamiento de las mezclas con a/c de 0.65.....	54
Figura 16	Asentamiento de mezclas con a/c de 0.70.	55
Figura 17	Asentamiento del concreto fresco.	55
Figura 18	Peso unitario de las mezclas con a/c de 0.65.....	56
Figura 19	Peso unitario de mezclas con a/c de 0.70.	57
Figura 20	Peso unitario del concreto fresco.	57
Figura 21	Contenido de aire de las mezclas con a/c de 0.65.	58
Figura 22	Contenido de aire de mezclas con a/c de 0.70.....	59
Figura 23	Contenido de aire del concreto fresco.	59
Figura 24	Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-0%ART.....	60
Figura 25	Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-50%ART.....	61
Figura 26	Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-100%ART.....	62
Figura 27	Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-0%ART.....	63
Figura 28	Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-50%ART.....	64
Figura 29	Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-100%ART.....	65
Figura 30	Temperatura de las mezclas con a/c de 0.65.....	66
Figura 31	Temperatura de mezclas con a/c de 0.70.....	66
Figura 32	Resistencia a compresión del concreto.	67
Figura 33	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.....	68
Figura 34	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.....	69

Figura 35	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.....	70
Figura 36	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.....	71
Figura 37	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.....	72
Figura 38	Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.....	73
Figura 39	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.....	74
Figura 40	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.....	75
Figura 41	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART....	76
Figura 42	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.....	77
Figura 43	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.....	78
Figura 44	Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART....	79
Figura 45	Resistencia a tracción del concreto.....	79
Figura 46	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.....	80
Figura 47	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.....	81
Figura 48	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.....	82
Figura 49	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.....	83
Figura 50	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.....	83
Figura 51	Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.....	84
Figura 52	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.....	85
Figura 53	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.....	86
Figura 54	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.....	86
Figura 55	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.....	87
Figura 56	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.....	88
Figura 57	Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.....	89
Figura 58	Curvas del ensayo granulométrico de los agregados finos.....	91
Figura 59	Variación del asentamiento (")......	93
Figura 60	Variación porcentual del asentamiento (%).	93
Figura 61	Variación del peso unitario (kg/m ³).....	95
Figura 62	Variación porcentual del peso unitario (%).	95
Figura 63	Variación del contenido de aire (%)......	97
Figura 64	Variación porcentual del contenido de aire (%).	97
Figura 65	Tiempo de fraguado de mezclas con a/c de 0.65.	98
Figura 66	Tiempo de fraguado de mezclas con a/c de 0.70.	99
Figura 67	Variación de la temperatura (°C).	100
Figura 68	Variación porcentual de la temperatura (%).	101
Figura 69	Variación de la resistencia a compresión a 7 días (kgf/cm ²).....	102

Figura 70	Variación porcentual de la resistencia a compresión a 7 días (%)... 103
Figura 71	Variación de la resistencia a compresión a 28 días (kgf/cm ²)..... 104
Figura 72	Variación porcentual de la resistencia a compresión a 28 días (%). 105
Figura 73	Variación de la resistencia a tracción a 7 días (kgf/cm ²)..... 106
Figura 74	Variación porcentual de la resistencia a tracción a 7 días (%)...... 106
Figura 75	Variación de la resistencia a tracción a 28 días (kgf/cm ²)..... 107
Figura 76	Variación porcentual de la resistencia a tracción a 28 días (%)...... 108

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a/c	:	Relación agua cemento.
ACI	:	Instituto Americano del Concreto.
AFN	:	Agregado Fino Natural.
AFR	:	Agregado Fino Reciclado.
AG	:	Agregado Grueso.
ART	:	Agua Residual Tratada.
ASTM	:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
CITRAR	:	Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales.
f _c	:	Resistencia a compresión.
f _t	:	Resistencia a tracción.
GCCA	:	Asociación Global de Cemento y Concreto.
INDECOPI	:	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
LABICER	:	Laboratorio de Investigación y Certificaciones.
LEM	:	Laboratorio N°01 de Ensayo de Materiales.
NTP	:	Norma Técnica Peruana.
PTAR	:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
PUC	:	Peso Unitario Compactado.
PUS	:	Peso Unitario Suelto.
SEDAPAL	:	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado.
SUNASS	:	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
TF	:	Tiempo de fraguado.
UNI	:	Universidad Nacional de Ingeniería.
UNICON	:	Unión de Concreteras S.A.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La industria de la demolición puede ser tan rentable como la industria de la construcción, tan solo en Lima se producen 19 mil toneladas de residuos de construcción y demolición diariamente; y para el caso de demoliciones, se asocian costos de la propia demolición, por el transporte de ese material y por el permiso de dejar el material en un botadero autorizado. En el Perú, uno de los principales problemas de la construcción formal e informal es la contaminación que se genera en las áreas a los botaderos (Caycho y Espinoza, 2019). Otro de los principales problemas a nivel nacional viene a ser la escasez de agua potable en las grandes ciudades, como Lima, por el crecimiento desordenado y la explosión demográfica (Aliaga, 2017).

Es por ello que el reciclaje de los insumos necesarios para la industria de la construcción se está promoviendo a nivel mundial, buscando reducir el impacto negativo que se produce en el medio ambiente (GCCA, 2021).

Se han realizado un número significativo de investigaciones nacionales e internacionales acerca del uso de agregados obtenidos de residuos de construcción y demolición, denominados agregados reciclados. Se puede mencionar los trabajos de Kou et. al (2012), donde obtuvieron que con 50% de reemplazo de agregado natural por agregado reciclado comercial (de buena calidad) la resistencia a compresión a 28 días solo disminuyó en 2.07%; Ponce (2014), donde obtuvo que con un reemplazo de 100% la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 14.90%; y Caycho y Espinoza (2019), donde obtuvieron que con un reemplazo de 50% la resistencia a compresión a 28 días solo disminuyó en 5.50%.

Entonces, los resultados de estas investigaciones son alentadores, puesto que señalan que reemplazando hasta 50% de agregado reciclado por agregado natural la resistencia a compresión, si bien disminuye, logra mantener resistencias similares a las de un concreto elaborado con agregados naturales. Razón por la cual para esta investigación se realizó un concreto patrón que tiene un reemplazo de 50% de agregado reciclado por agregado natural.

Así mismo, en investigaciones acerca del uso de agua residual tratada (ART) en mezclas de concreto se encontró que puede ser otra alternativa al uso de insumos reciclados en nuevas estructuras de concreto. Aliaga (2017) obtuvo que usando el ART de la PTAR de Concepción la resistencia a compresión

representó un 97.46% de la mezcla patrón; y Verde y Aranibar (2021) obtuvieron que con ART de la PTAR de Santa Clara la resistencia a compresión aumentó en 0.54%, también obtuvieron que la resistencia a tracción usando ART de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara aumentó en 2.78%, 0.51% y 10.84% respectivamente.

Entonces, lo que se hizo en esta investigación fue diseñar las mezclas de un concreto patrón con agregado fino reciclado (elaborado con agua potable, piedra natural, 50% de arena natural y 50% de arena reciclada) para a/c de 0.65 y 0.70. En los concretos patrones se consideró un reemplazo de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, para estudiar los efectos que se producía en algunas de las propiedades del concreto.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La cantidad de residuos de construcción y demolición que se reciclan a nivel mundial representan la octava parte del total (Medina, 2022). Sin embargo, en países como Dinamarca, Japón, Reino Unido, EEUU, México y Brasil la cantidad de residuos sólidos de construcción que se recicla, llega a porcentajes que superan el 40% (Ponce, 2014).

Caso similar se tiene con el agua, la cantidad de agua usada que se recicla a nivel mundial representa aproximadamente la décima parte del total. Aunque en ciertas zonas del Medio Oriente, África del Norte y Europa Occidental esta cifra se eleva hasta 16% (Diario El Ágora, 2021).

A nivel local, en Perú, la contaminación que se produce por los residuos de construcción y demolición es significativa, puesto que solo en Lima se producen 19 mil toneladas diariamente y el 70% de estos residuos termina en el mar o en los ríos (Medina, 2022).

En Lima se generan aproximadamente 670,218 m³ de agua residual al año; sin embargo, de forma contraria a los residuos de construcción, la cantidad de agua residual que es tratada representa aproximadamente un 78% del total, usándose en gran medida para regar los parques (SUNASS, 2022).

Entonces, se tiene que la industria de la construcción es una de las que más impactos genera en el medio ambiente, puesto que es una de las industrias que consume más agregados y agua (Naik et. al, 2005). Además, un país desarrollado no es aquel genera una gran cantidad de residuos, sino aquel que trata, reusa o recicla la mayor cantidad de residuos (Ponce, 2014).

Por lo mencionado anteriormente, se evidencia que a nivel local se tiene un problema con el tratamiento de los residuos de construcción y demolición, planteándose en esta investigación el diseño de un concreto patrón que incluya arena reciclada en proporción de 50% del total de arena, puesto que investigaciones anteriores concluyen que hasta ese porcentaje de uso de agregados reciclados la resistencia disminuye hasta en 2.07% (Kou et. al, 2012) o hasta en 5.50% (Caycho y Espinoza, 2019).

Al concreto patrón diseñado en esta investigación se le reemplazó agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%. Con el objetivo de conocer los efectos que produce el uso de agua residual tratada en las propiedades del concreto con agregado reciclado (en este caso particular, solo arena reciclada).

Esta investigación se enfocó concretos de baja a mediana resistencia, por lo que las relaciones agua cemento usadas fueron de 0.65 y 0.70.

1.3 PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema General

- ¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada (obtenida de CITRAR-UNI), en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades de concretos con agregado fino reciclado (adquirido de una empresa especializada en producción de agregados reciclados)?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Las características del agua residual tratada cumplirán con la Norma Técnica Peruana relacionada al agua para mezcla de concreto?
- ¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades físicas de concretos con agregado fino reciclado?
- ¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades mecánicas de concretos con agregado fino reciclado?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

- Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades de concretos con agregado fino reciclado.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Verificar si las características del agua residual tratada cumplen con la Norma Técnica Peruana relacionada al agua para mezcla de concreto.
- Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades físicas de concretos con agregado fino reciclado.
- Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades mecánicas de concretos con agregado fino reciclado.

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis general

- El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará efectos en las propiedades del concreto.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- El agua residual tratada cumplirá con los límites máximos permisibles establecidos en la NTP 339.088:2021.
- El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto positivo en las propiedades físicas del concreto en estado fresco elaborado con agregado fino reciclado.
- El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto negativo en las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido elaborado con agregado fino reciclado.

1.6 MARCO METODOLÓGICO

1.6.1 Tipo de Investigación

Según Hernández et. al (2014), una investigación de tipo experimental se caracteriza porque el investigador fija todas las condiciones para realizar la investigación y manipula a conveniencia la variable independiente para ver los efectos sobre la variable dependiente. Esta investigación fue experimental porque se manipuló la cantidad de reemplazo de agua potable por agua residual tratada en concretos con arena reciclada para ver los efectos sobre algunas de las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.6.2 Nivel de Investigación

Según Hernández et. al (2014), una investigación de nivel descriptivo se caracteriza porque busca especificar cualquier característica o propiedad que se analice, recolectando información de manera independiente. Esta investigación fue descriptiva porque se buscó especificar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de concreto con arena reciclada en el cual se reemplazó agua potable por agua residual tratada en proporciones de 50% y 100%.

1.6.3 Diseño de Investigación

Según Hernández et. al (2014), una investigación de diseño experimental se caracteriza porque se tiene como objetivo encontrar los posibles efectos que se producen al manipular o modificar intencionalmente una causa. Esta investigación fue experimental porque se busca conocer los efectos en algunas de las propiedades del concreto al modificar la cantidad de agua residual tratada en la mezcla (reemplazo de 50% y 100% de agua potable por agua residual tratada).

1.6.4 Enfoque de Investigación

Según Hernández et. al (2014), una investigación de enfoque cuantitativo se caracteriza porque permite universalizar los resultados que se obtienen en los experimentos donde se busca conocer la incidencia o los efectos producidos. Esta investigación fue cuantitativa porque se buscó generalizar o encontrar una tendencia de algunas de las propiedades del concreto con arena reciclada al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%.

1.6.5 Población, Muestra y Muestreo

Según Hernández et. al (2014), una población es el grupo de todos los casos con ciertas características o propiedades en común cuyo análisis servirá para generalizar los resultados del experimento. La población de esta investigación fue el concreto elaborado con agregados de la zona de Lima Metropolitana; agregado fino natural de la cantera de Trapiche, agregado grueso natural de la cantera de UNICON, agregado fino reciclado adquirido de una empresa especializada en producción de agregados reciclados, agua potable de la red de SEDAPAL y agua reciclada (agua residual tratada) de CITRAR-UNI.

Cabe mencionar que la arena natural y la arena reciclada se usaron en la misma proporción para toda la población.

Según Hernández et. al (2014), una muestra es un subgrupo de la población con sus propias características en común cuyo análisis favorecerá a la realización de la investigación. La muestra de esta investigación fue 15 mezclas de concreto fresco (para 15 ensayos en concreto fresco) y 162 probetas de 10 cm x 20 cm (126 para ensayos a compresión y 36 para ensayos a tracción).

Según Hernández et. al (2014), el muestreo no probabilístico implica una selección dirigida u orientada por las características del experimento y no por algún criterio estadístico. El muestreo de esta investigación fue de tipo no probabilístico porque la muestra fue escogida directamente por las características de la investigación, sin tomar en cuenta algún criterio estadístico.

1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN

En la Tabla 1 se muestra la matriz de consistencia con los problemas, objetivos e hipótesis (generales y específicas), la matriz de operacionalización con las variables independientes y dependientes (con sus respectivas dimensiones e indicadores), y un resumen del marco metodológico.

Tabla 1

Matriz de consistencia y operacionalización.

PROBLEMAS Problema General	OBJETIVOS Objetivo General	HIPÓTESIS Hipótesis General	OPERACIONALIZACIÓN			MARCO METODOLÓGICO	
			Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores		
¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades de concretos con agregado fino reciclado?	Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades de concretos con agregado fino reciclado.	El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará efectos en las propiedades del concreto.	VI1. Agregados naturales y reciclados.	Granulometría	Porcentaje (%)	Tipo de Investigación: Cuantitativa experimental.	
				Peso Específico	g/cm ³		
				Absorción	Porcentaje (%)		
				Peso Unitario	kg/m ³		
				Contenido de humedad	Porcentaje (%)		
			Proporción entre agregados por máxima compacidad	Porcentaje (%)	Nivel de investigación: Descriptivo.		
			VI2. Agua potable y agua residual tratada.	Peso Específico			g/cm ³
	Proporción	Porcentaje (%)	Enfoque de investigación: Cuantitativo.				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	
1. ¿Las características del agua residual tratada cumplirán con la Norma Técnica Peruana relacionada al agua para mezcla de concreto?	1. Verificar si las características del agua residual tratada cumplen con la Norma Técnica Peruana relacionada al agua para mezcla de concreto.	1. El agua residual tratada cumplirá con los límites máximos permisibles establecidos en la NTP 339.088:2021.		VD1. Cantidad de cloruros, sulfatos, sólidos totales por masa y álcalis en el agua residual tratada.	Contenido de cloruros	mg/l o ppm	Población: Concretos con arena natural, arena reciclada, agua potable y agua residual tratada.
					Contenido de sulfatos	mg/l o ppm	
			Contenido de sólidos totales por masa		mg/l o ppm		
			Contenido de álcalis		mg/l o ppm		
2. ¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades físicas de concretos con agregado fino reciclado?	2. Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades físicas de concretos con agregado fino reciclado.	2. El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto positivo en las propiedades físicas del concreto en estado fresco elaborado con agregado fino reciclado.	VD2. Propiedades físicas del concreto en estado fresco y propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.	Asentamiento	Centímetros (cm)	Muestra: -Para ensayos al agua: Se ensayó una muestra de agua potable y una de agua residual tratada. -Para ensayos físicos: Se hicieron 12 en agregados y 15 en concreto fresco. -Para ensayos mecánicos: 162 probetas.	
				Peso Unitario	kg/m ³		
3. ¿Cuál será el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades mecánicas de concretos con agregado fino reciclado?	3. Determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades mecánicas de concretos con agregado fino reciclado.	3. El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto negativo en las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido elaborado con agregado fino reciclado.		Contenido de aire	Porcentaje (%)	Muestreo: No probabilístico.	
				Tiempo de fraguado	Minutos (min)		
				Temperatura	Grados celsius (°C)		
				Resistencia a compresión	kgf/cm ²		
				Resistencia a tracción	kgf/cm ²		

Nota 1. "NTP" significa Norma Técnica Peruana.

Nota 2. El reemplazo de agua potable por agua residual tratada se realizó en porcentajes de 50% y 100%.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

1.8 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.8.1 Antecedentes Nacionales

En la investigación “Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I”, realizada por Ponce en 2014; se tuvo como objetivo calcular la variación de las resistencias a compresión y tracción entre un concreto con agregados naturales y otro con agregados reciclados, cabe recalcar que los diseños de mezcla tuvieron como requisito alcanzar un valor de asentamiento de entre 3” y 4”. Las relaciones agua cemento usadas fueron de 0.80, 0.70 y 0.60 para el concreto con agregados naturales y de 0.87, 0.77 y 0.66 para el concreto con agregados reciclados. Además, el reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados se dio de forma total (100% de reemplazo). Para el concreto patrón obtuvo resistencias a compresión de 202 kg/cm², 258 kg/cm² y 313 kg/cm² (para relaciones a/c de 0.80, 0.70 y 0.60 respectivamente) a los 28 días, y usando los agregados reciclados obtuvo resistencias a compresión de 196 kg/cm², 238 kg/cm² y 266 kg/cm² (para relaciones a/c de 0.87, 0.77 y 0.66 respectivamente) a los 28 días, lo que implica una disminución de dicha resistencia de hasta 14.9%. Para la resistencia a tracción a 28 días, encontró que las resistencias de concretos con agregados reciclados son menores hasta en un 14.0% respecto a las resistencias de concretos con agregados naturales.

En la investigación “Influencia del agua tratada sobre las propiedades físicas del concreto para las provincias de Concepción, Chupaca y Jauja”, realizada por Aliaga en 2017; se analizaron las propiedades de asentamiento, peso unitario y resistencia a compresión (a edades de 7, 14 y 28 días), comparando estas propiedades entre un concreto elaborado con agua potable y tres concretos elaborados con agua residual tratada. Para los concretos elaborados con agua residual tratada, se usaron las aguas de las PTAR de las provincias de Concepción, Chupaca y Jauja. El método del diseño de mezcla fue el del módulo de fineza y tuvo como objetivo obtener un asentamiento de entre 3” a 4” y una resistencia a la compresión a 28 días de 210 kgf/cm². La resistencia a compresión a 28 días obtenida para la mezcla con agua potable fue de 354.25 kgf/cm² y para las mezclas con agua de las PTAR de Jauja, Chupaca y Concepción fueron de 324.00 kgf/cm², 324.75 kgf/cm² y 345.25 kgf/cm² (91.46%, 91.67% y 97.46%) respecto de la resistencia de la mezcla con agua potable.

En la investigación “Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año-2019”, realizada por Caycho y Espinoza en 2019; se hizo la investigación con el objetivo de determinar un porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado (obtenido del chancado de probetas con $f'c$ de 280 kgf/cm² y 350 kgf/cm² del Laboratorio de Materiales de la Universidad Ricardo Palma) por agregado grueso natural que optimice las resistencias mecánicas del concreto. Usaron relaciones agua cemento de 0.53 y 0.60, el tipo de cemento fue de tipo HS, y los porcentajes de reemplazo de agregado grueso reciclado por agregado grueso natural fueron de 25%, 50%, 75% y 100%. Concluyeron que a mayor porcentaje de agregado grueso reciclado usado, las resistencias a compresión, tracción y flexión disminuyen; sin embargo, también concluyeron que la mezcla que optimiza las propiedades del concreto es una mezcla con 25% de agregado grueso reciclado debido a que se obtienen resistencias similares al diseño patrón (uso exclusivo de agregado natural, es decir, 0% de agregado grueso reciclado). El caso más crítico que tuvieron fue al usar 100% de agregado grueso reciclado, en el cual las resistencias a los ensayos antes mencionados disminuyeron en 16% (en promedio) con respecto a las resistencias obtenidas por el diseño patrón, es decir usando 0% de agregado grueso reciclado (estos resultados los obtuvieron para una relación a/c de 0.53). Cabe mencionar que usaron $f'c$ mayores o iguales a 280 kg/cm².

En la investigación “Efecto del agregado fino reciclado en las propiedades del concreto $f'c$ 210 kg/cm²”, realizada por Urbina (2019); reemplazó agregado fino natural por agregado fino reciclado obtenido de la empresa CICLO en proporciones de 0%, 15%, 25%, 35% y 50% para elaborar concreto de 210 kgf/cm². Para el diseño de las mezclas de concreto usó cemento tipo I, agregados naturales (fino y grueso) comprados en Sodimac Homecenter del Open Plaza de Atocongo; además, usó ACI como método de diseño. Obtuvo que las resistencias a compresión a 28 días fueron en promedio de 300.23 kgf/cm², 370.30 kgf/cm², 328.50 kgf/cm², 332.50 kgf/cm² y 341.77 kgf/cm² (100.00%, 123.34%, 109.42%, 110.75% y 113.84%) y las resistencias a tracción fueron en promedio de 23.00 kgf/cm², 28.53 kgf/cm², 26.47 kgf/cm², 26.80 kgf/cm² y 27.57 kgf/cm² (100.00%, 124.04%, 115.09%, 116.52% y 119.87%) para los reemplazos de 0%, 15%, 25%, 35% y 50% respectivamente.

En la investigación “Influencia del concreto reciclado como agregado fino en las características mecánicas del concreto en la ciudad de Juliaca – 2021”, realizada por Escoque (2021); reemplazó agregado fino natural por agregado fino reciclado obtenido de la trituración en una planta chancadora de material extraído de la demolición de la Institución Educativa José Antonio Encinas de la ciudad de Juliaca en proporciones de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Para el diseño de las mezclas de concreto usó cemento Portland Rumi tipo I, agregados naturales (fino y grueso) de la cantera Unocolla ubicada en Juliaca; además, se enfocó en diseñar concreto con $f'c$ de 210 kgf/cm^2 usando el método ACI. Obtuvo que las resistencias a compresión a 7 días fueron de 155.95 kgf/cm^2 , 148.45 kgf/cm^2 , 141.84 kgf/cm^2 , 139.09 kgf/cm^2 y 134.31 kgf/cm^2 (100.00%, 95.19%, 90.95%, 89.19% y 86.12%) y las resistencias a compresión a 28 días fueron de 221.34 kgf/cm^2 , 212.57 kgf/cm^2 , 208.82 kgf/cm^2 , 202.41 kgf/cm^2 y 195.40 kgf/cm^2 (100.00%, 96.04%, 94.34%, 91.45% y 88.28%) para los reemplazos de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.

En la investigación “Propuesta del uso de agua residual de las plantas de tratamiento de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara para elaboración de concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y disminución del uso de agua potable en Lima Metropolitana”, realizada por Verde y Aranibar (2021); usaron agua potable (para el diseño patrón) y ART de las tres PTAR mencionadas para elaborar concreto de 210 kgf/cm^2 . Obtuvieron que la resistencia a compresión de las mezclas elaboradas con ART de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara disminuyó en 9.00%, disminuyó en 3.18% y aumentó en 0.54% respectivamente. También obtuvieron que la resistencia a tracción de las mezclas elaboradas con ART de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara aumentó en 2.78%, aumentó en 0.51% y aumentó en 10.84% respectivamente. Además, obtuvieron que la resistencia a flexión de las mezclas elaboradas con ART de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara disminuyó en 8.00%, disminuyó en 0.30% y aumentó en 2.83% respectivamente. Respecto al asentamiento, el diseño patrón lo realizaron para un valor entre 4” y 6”, obteniéndose 5.25”; y los asentamientos obtenidos para las mezclas con ART de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara fueron de 5.50”, 5.75” y 5.75”.

1.8.2 Antecedentes Internacionales

En la investigación “Propiedades de concreto preparado con agregados reciclados de baja calidad”, realizada por Kou, Poon y Wan en 2012; se analizaron las propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados de tres tipos (dos de baja calidad y otro comercial), por medio de comparación con las propiedades obtenidas por un concreto con agregados naturales. Los agregados reciclados se usaron en porcentajes de reemplazo de 20%, 50% y 100% respecto de la cantidad de agregados total. Concluyeron que las resistencias a compresión a 28 días de concretos con agregados naturales y de concretos con agregados reciclados de buena calidad (o comercial) son mayores a las resistencias obtenidas con agregados reciclados de baja calidad. Para la relación a/c de 0.55, las resistencias a compresión a 28 días obtenidas con el agregado comercial fueron de 442.6 kgf/cm², 461.9 kgf/cm², 433.4 kgf/cm² y 388.5 kgf/cm² (100.00%, 104.36%, 97.92% y 87.88%); con el primer tipo de agregado reciclado de baja calidad fueron de 442.6 kgf/cm², 404.8 kgf/cm², 345.7 kgf/cm² y 329.4 kgf/cm² (100.00%, 91.46%, 78.11% y 74.42%); y con el segundo tipo de agregado reciclado de baja calidad fueron de 442.6 kgf/cm², 401.8 kgf/cm², 385.4 kgf/cm² y 284.5 kgf/cm² (100.00%, 90.78%, 87.08% y 64.28%); para porcentajes de reemplazo de 0%, 20%, 50% y 100% respectivamente. También concluyeron que las resistencias a tracción a 28 días obtenidas en concretos con entre 20% y 50% de agregado reciclado fueron mayores que las obtenidas para concretos con agregados naturales. Además, concluyeron que se tendrá un agregado reciclado de mejor calidad, mientras mejor sea el concreto primario.

Entonces, según los antecedentes, se tiene que Kou et. al (2012) obtuvieron que con 50% de reemplazo de agregado natural por agregado reciclado comercial (de buena calidad) la resistencia a compresión a 28 días solo disminuyó en 2.07%; de la misma forma, Ponce (2014) obtuvo que con un reemplazo de 100% la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 14.9%; Caycho y Espinoza (2019) obtuvieron que al hacer un reemplazo de 50% la resistencia a compresión a 28 días solo disminuyó en 5.5%; Urbina (2019) obtuvo que con un reemplazo de 50% la resistencia a compresión a 28 días aumentó en 13.84%; y Escoque (2021) obtuvo que la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 5.66%. Lo que implica que con un reemplazo de hasta 50% de agregado natural por agregado reciclado el concreto resultante logra mantener resistencias similares a las de un concreto elaborado con agregados naturales.

Por tanto, esta investigación tuvo un concreto patrón elaborado con agregado fino reciclado, que será el 50% del agregado fino total. En el cual se analizaron los efectos de reemplazar agua potable por agua residual tratada.

Es decir, se planteó un reemplazo de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de reemplazo de 50% y 100%, en concretos elaborados con agregado fino reciclado. Cabe recalcar que el agregado fino reciclado se usó como un 50% del agregado fino total.

Además, este trabajo se realizó en concretos con relaciones a/c de 0.65 y 0.70 usando cemento portland tipo I, agregado fino reciclado, agregado fino natural, agregado grueso natural, agua potable y agua residual tratada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 CONCRETO

Abanto, F. (2017) mencionó que el concreto es la mezcla de agua, agregado fino, agregado grueso y cemento en ciertas proporciones. También señaló que el concreto tiene como principal característica su elevada resistencia a compresión.

2.2 AGUA

Abanto, F. (2017) mencionó que el agua, junto con el cemento, es uno de los materiales ligantes que componen al concreto. Para su uso en la elaboración de concreto, el agua no debe tener aceites, sales, ácidos, materiales orgánicos u otras sustancias en cantidades perjudiciales; para cada una de estas sustancias existe valores máximos permisibles que definen si algún tipo de agua se puede usar o no en la elaboración de concreto.

2.3 AGUA RESIDUAL TRATADA

Verde, S. y Aranibar, A. (2021) señalaron que el agua residual tratada viene a ser el agua cuya composición fue cambiada producto de actividades humanas, tras lo cual pasó por algún tipo de tratamiento para poder ser reutilizada o poder ser vertida en un sistema de alcantarillado, río, o el mar.

Los requisitos que debe cumplir el agua que será usada en la elaboración de concreto están contenidos en la NTP 339.088:2019 "CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 5ª Edición". Para elaborar concreto, la norma establece que no es necesario hacer ensayos al agua potable, pero en caso sea otro tipo de agua (como agua residual tratada) se deben hacer ensayos para verificar que cumpla con ciertos valores máximos permisibles de algunas sustancias que pueden ser perjudiciales para el concreto.

2.4 AGREGADOS

Abanto, F. (2017) mencionó que son áridos inertes que, al ser combinados con materiales ligantes, como el agua y concreto, componen al concreto. Los agregados se pueden clasificar de acuerdo al tamaño de sus partículas en agregados finos y agregados gruesos. Los agregados deben cumplir con todos los requisitos establecidos en las NTP 400.012:2021 y NTP 400.037:2021.

2.5 AGREGADO RECICLADO

El Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México (2020) mencionó que este tipo de agregados son producto de restos de construcción y demolición que pasan por un proceso de selección (para ver su calidad) y trituración (para reducir su tamaño a partículas similares a la de los agregados) para poder ser usados como agregados en la elaboración de concreto.

2.6 ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

La NTP 400.012:2021 "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4ª Edición" y la NTP 400.037:2021 "AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5ª Edición" estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. Para el agregado fino la norma ofrece un solo huso que debe contener la gráfica de la curva granulométrica, mientras que para el agregado grueso ofrece varios husos de los cuales se debe seleccionar el más adecuado según la gráfica de la curva granulométrica.

- Módulo de fineza

En la NTP 400.012:2021 también se indica el método para calcular el módulo de fineza de los agregados. Cabe mencionar que, si bien este valor se puede calcular para el agregado fino y para el agregado grueso, este valor toma mayor relevancia para agregados finos porque su importancia radica en indicar si es que un agregado tiene partículas más finas que otro.

La forma de calcular el módulo de fineza es sumar los porcentajes acumulados retenidos en las mallas normalizadas desde la malla N°100 hasta 1 1/2" o mayores (incrementando el tamaño de las mallas en relación de 2 a 1) y dividir el resultado entre 100.

La ecuación a usar tendría la siguiente forma:

$$\frac{\sum \text{Porcentajes acumulado retenidos (N}^\circ 100, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 4, \frac{3}{8} \text{", } \frac{3}{4} \text{", } 1 \frac{1}{2} \text{", } \dots)}{100}$$

- Tamaño Máximo

En la NTP 400.037:2021 se indica cual es el Tamaño Máximo de una muestra. Viene a ser la malla más pequeña por la que pasa toda la muestra de agregado. Lo que quiere decir que en esta malla no se tendrá ningún peso retenido.

- Tamaño Máximo Nominal

La NTP 400.037:2021 también indica cual es el Tamaño Máximo de una muestra. Viene a ser la malla más grande en la que se obtiene el primer peso retenido.

2.7 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

La NTP 400.022:2021 “AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo en el agregado fino y la NTP 400.021:2020 “AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. 4ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo en el agregado grueso.

El valor de peso específico establece cuanto pesa el agregado para un volumen conocido y usualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). El valor de la absorción establece cuánta agua puede absorber el agregado y usualmente se expresa en porcentaje (%).

2.8 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

La NTP 400.017:2020 “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 4ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. Hay dos tipos de pesos unitarios, suelto y compactado; la diferencia radica en que uno se pesa con el material vertido en un recipiente y el otro se pesa con el material compactado por 25 golpes en cada una de las tres capas a compactar. El valor del peso unitario suelto (PUS) y del peso unitario compactado (PUC) usualmente se expresan en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

2.9 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

La NTP 339.185:2021 “AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. Este valor nos ofrece cuánta agua tienen los agregados al momento en que llegan del lugar de obtención (sea cantera o planta de producción), este valor usualmente se expresa en porcentaje (%).

2.10 REQUISITOS DEL AGUA PARA MEZCLA DE CONCRETO

La NTP 339.088:2021 “CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4ª Edición”, en su sección 5.1.1 estableció que el agua de mezcla que no sea potable debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- La resistencia a compresión a 7 días de la muestra con agua no potable, respecto a la muestra de control (elaborada con agua potable), debe ser como mínimo de 90%.
- El tiempo de fraguado de la muestra con agua no potable, respecto a la muestra de control (elaborada con agua potable), puede darse desde 60 min más temprano o hasta 90 min más tarde.

La NTP 339.088:2021, en su sección 5.4 estableció que el agua de mezcla que no sea potable debe cumplir con los siguientes límites químicos:

- Concentración máxima de cloruros (mg/l o ppm): 500.00
- Concentración máxima de sulfatos (ppm): 3,000.00
- Concentración máxima de álcalis (ppm): 600.00
- Concentración máxima de sólidos totales por masa (ppm): 50,000.00

2.11 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO

Abanto, F. (2017) mencionó que el ensayo de asentamiento (slump) mide la consistencia del concreto, que caracteriza el grado de humedecimiento del concreto fresco. La NTP 339.035:2022 “CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de Ensayo. 5ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo.

De acuerdo con el valor del asentamiento, la consistencia del concreto se puede clasificar en seca (0” a 2”), plástica (3” a 4”) o fluida (5” a más). Usualmente este valor se expresa en pulgadas (”) o centímetros (cm).

2.12 PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

La NTP 339.046:2019 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El valor del peso unitario del concreto establece el peso de concreto que está contenido en un volumen definido, usualmente ese valor se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

2.13 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO

La NTP 339.046:2019 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El valor del contenido de aire del concreto establece el volumen de aire que está contenido en un volumen definido de concreto, su valor se expresa en porcentaje (%).

2.14 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO

La NTP 339.082:2017 “CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El valor del tiempo de fraguado del concreto establece el tiempo que tarda el concreto fresco en ofrecer cierta resistencia a la penetración de agujas. En este ensayo hay dos valores fundamentales, el tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final que se alcanzan cuando la resistencia a la penetración alcanza los valores de 500 lb/pulg² y 4000 lb/pulg² respectivamente. Usualmente los valores de este ensayo, para cada resistencia a la penetración, se registran en minutos (min).

Para iniciar el ensayo, se debe separar la pasta de la mezcla de concreto, tras lo cual se debe esperar el tiempo que sea necesario hasta que el equipo del ensayo pueda registrar un valor de resistencia a la penetración usando la primera aguja de área conocida. Tras esto se registrarán cinco lecturas más (siendo un total de seis agujas de área conocida las que se usan) cada 20 o 30 minutos; este tiempo dependerá de la temperatura del ambiente puesto que mientras mayor sea la temperatura más rápido fraguará el concreto y el tiempo de espera entre lecturas debe ser menor si es que se quiere obtener seis lecturas antes de que el concreto llegue a fraguar.

Al realizar este ensayo se registran seis valores de resistencia a la penetración, por lo que se puede obtener una gráfica de resistencia a la penetración versus el tiempo desde que el agua y el cemento de la mezcla de concreto a analizar entran en contacto.

Al usar agua residual tratada en reemplazo de agua potable, podría haber componentes orgánicos que puedan provocar un aumento de la temperatura de la mezcla, acelerando el fraguado.

2.15 TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO

La NTP 339.184:2021 “CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. 3ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El valor de la temperatura del concreto establece el valor de la temperatura del concreto fresco recién elaborado. Usualmente este valor se expresa en grados Celsius (°C).

Al usar agua residual tratada, un aumento de la temperatura de la mezcla podría indicar presencia orgánica, puesto que la actividad biológica disminuye a bajas temperaturas (MINAM, s.f.).

2.16 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

La NTP 339.034:2021 “CONCRETO. Determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El ensayo consiste en tomar mediciones de las probetas cilíndricas, poner cada probeta en el equipo de ensayo de forma que esté vertical y la carga se aplique de forma axial, ensayar las probetas hasta que se produzca la falla, momento en que se registra la fuerza de rotura. A la fuerza de rotura obtenida se le divide entre el área de la sección transversal de la probeta para obtener la resistencia a compresión del concreto (f_c), usualmente este valor se expresa en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2).

2.17 RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

La NTP 339.084:2012 “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª Edición” estableció el procedimiento a seguir para realizar este ensayo. El ensayo consiste en tomar mediciones de las probetas cilíndricas, poner cada probeta en el equipo de forma que esté horizontal y la carga se aplique a lo largo de toda la probeta, ensayar las probetas hasta que se produzca la falla, momento en que se registra la fuerza de rotura. A la fuerza de rotura obtenida se le divide entre el área de la sección longitudinal de la probeta para obtener la resistencia a tracción del concreto (f_t), usualmente este valor se expresa en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2).

2.18 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS

Con los resultados obtenidos por otros investigadores, se puede tener una noción de cómo es que el reemplazo de agregados reciclados por agregados naturales, generalmente, produce una disminución de la resistencia a compresión de las mezclas de concreto.

Entonces, de los antecedentes investigativos presentados, respecto a la resistencia a compresión a 28 días se puede resumir lo siguiente:

- Kou, Poon y Wan (2012) obtuvieron que reemplazando 20%, 50% y 100% de agregados naturales por agregados reciclados de buena calidad, la resistencia a compresión a 28 días aumentó en 4.4% y disminuyó en 2.1% y 12.1% respectivamente.
- Caycho (2019) obtuvo que reemplazando 25%, 50%, 75% y 100% del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, la resistencia a compresión a 28 días aumentó en 1.0% y disminuyó en 5.5%, 11.0% y 16.0% respectivamente.
- Urbina (2019) obtuvo que reemplazando 15%, 25%, 35% y 50% del agregado fino natural por agregado fino reciclado, la resistencia a compresión a 28 días aumentó en 23.34%, 9.42%, 10.75% y 13.8%.
- Escoque (2021) obtuvo que reemplazando 25%, 50%, 75% y 100% del agregado fino natural por agregado fino reciclado, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 4.0%, 5.7%, 8.6% y 11.7%.

De los resultados presentados anteriormente se deduce que el reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados en mezclas de concreto tuvo como consecuencia una disminución de la resistencia a compresión (sin importar si el tipo de agregado a reemplazar fuera fino o grueso). Esto se puede explicar porque los agregados reciclados son menos densos (según los resultados que se obtuvieron de los ensayos en agregados) y por ende menos resistentes que los agregados naturales, provocando que el concreto obtenido disminuya su resistencia.

Sin embargo, se puede deducir que el reemplazo de hasta 50% de agregados naturales por agregados reciclados, tuvo como consecuencia más desfavorable una disminución de la resistencia a compresión de 5.7% (Escoque, 2021) y como consecuencia más favorable un aumento de 13.8% (Urbina, 2019); por lo que se podría concluir que, hasta ese porcentaje de reemplazo, el concreto

resultante tiene resistencias a compresión similares a las de un concreto convencional.

2.19 RESISTENCIA DE CONCRETO ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA

Con los resultados obtenidos por otros investigadores, se puede tener una noción de cómo es que el reemplazo de agua potable por agua residual tratada influye en las resistencias a compresión y tracción de las mezclas de concreto.

- Aliaga (2017) obtuvo que reemplazando 100% del agua potable por agua residual tratada de las PTAR de Jauja, Chupaca y Concepción, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 8.5%, 8.3% y 2.5% respectivamente.
- Verde y Aranibar (2021) obtuvieron que reemplazando 100% del agua potable por agua residual tratada de las PTAR de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 9.0%, 3.2% y aumentó en 0.5% respectivamente; y la resistencia a tracción a 28 días aumentó en 2.8%, 0.5% y 10.8% respectivamente.

De los resultados presentados anteriormente se deduce que el reemplazo de agua potable por agua residual tratada tuvo como consecuencia una disminución de la resistencia a compresión. Sin embargo, los reemplazos fueron totales y la disminución máxima fue de 9.0% (Verde y Aranibar, 2021). Además, este reemplazo tuvo como consecuencia un aumento de la resistencia a tracción de hasta un máximo de 10.8% (Verde y Aranibar, 2021). Por ende, la resistencia a tracción tendió a variar (incrementar o disminuir), pero esas variaciones son poco significativas dependiendo del porcentaje de reemplazo.

Entonces, se podría concluir que debe haber un porcentaje de reemplazo de agua potable por agua residual tratada en el cual las resistencias a compresión y tracción mantengan valores similares a los de un concreto convencional.

2.20 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Para analizar los grupos de resultados de los ensayos de resistencia a compresión y tracción se usaron los valores estadísticos de desviación estándar y coeficiente de variación.

La desviación estándar sirve para dar un valor a la dispersión que existe entre las muestras de un grupo. La fórmula que se usó para calcular la desviación estándar fue la siguiente:

$$\text{Desviación Estándar} = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde x son los valores del grupo, \bar{x} es el promedio de los valores del grupo y n es el tamaño muestral.

El coeficiente de variación mide la variabilidad de los datos de un grupo de muestras respecto a la media de los valores del grupo. La fórmula que se usó para calcular el coeficiente de variación fue la siguiente:

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{Desviación estándar} \times 100}{\bar{x}}$$

Tanto para la desviación estándar como para el coeficiente de variación, mientras menor sea su valor, los valores del grupo (o muestras) tendrán menor variabilidad.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

En el desarrollo de este trabajo se usaron las instalaciones del Laboratorio N°01 de Ensayo de Materiales (LEM-UNI) para todos los ensayos relacionados al concreto, tanto en estado fresco como endurecido; para los ensayos realizados en el agua residual tratada se mandó muestras al Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER-UNI).

3.1 COMPONENTES DEL CONCRETO

3.1.1 Agua

Se usó agua potable de la red de SEDAPAL y agua residual tratada de la planta de tratamiento CITRAR-UNI.

Para realizar el diseño patrón, se consideró que el agua potable tenía un peso específico de 1000 g/cm^3 .

Para calcular el valor del peso específico del agua residual tratada se pesó tres muestras de 1 litro del agua residual tratada, tras lo cual se tomó el promedio y se obtuvo el valor de 997.4 g/l (gramos por litro) que tras una conversión de unidades es 997.4 g/cm^3 .

El diseño patrón se realizó solo con agua potable con un peso específico de 1000 g/cm^3 , para la primera variación que tuvo un 50% de reemplazo de agua potable por agua residual tratada el peso específico fue de 998.7 g/cm^3 (valor obtenido como el promedio de los pesos específicos del agua potable y del agua residual tratada) y para la segunda variación que tuvo un 100% de reemplazo de agua potable por agua residual tratada el peso específico fue de 997.4 g/cm^3 .

3.1.2 Cemento

Se usó cemento Sol (portland TIPO I). La ficha técnica de este componente se encuentra en el Anexo N°02.

3.1.3 Agregados

Los agregados usados en esta investigación fueron agregado grueso, agregado fino natural y agregado fino reciclado (estos dos últimos usados en la misma cantidad en todas las mezclas).

La Figura 1 muestra una foto tomada en la planta de producción del agregado reciclado (la ficha técnica de este agregado se presenta en el Anexo

N°01), se puede ver como el material de demoliciones está siendo clasificado para después pasar por el proceso de trituración. La empresa vende agregado fino reciclado, agregado grueso reciclado y otros elementos elaborados con estos materiales reciclados tales como adoquines, ladrillos, entre otros.



Figura 1 Planta de producción del agregado reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

Los lugares de obtención de los agregados fueron los siguientes: el agregado fino natural se consiguió de la cantera de Trapiche (Comas, Lima), el agregado grueso se consiguió de la cantera de UNICON (Lurigancho-Chosica, Lima) y el agregado fino reciclado se adquirió de una empresa especializada en producción de agregados reciclados (empresa ubicada en Villa El Salvador, con razón social FOMENTO OBRAS Y CONTRATAS S.A.C.) de residuos de Lima.

3.2 ENSAYOS AL AGUA RESIDUAL TRATADA

Los límites químicos con los que debió cumplir el agua para mezcla que no sea potable (en este caso agua residual tratada) según la normativa peruana (NTP 339.088:2021) fueron dados para los contenidos de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos totales por masa.

Se enviaron muestras del agua residual tratada al Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER-UNI) para obtener esos datos, los resultados fueron los contenidos en la Tabla 2:

Tabla 2

Resultados de ensayos al agua residual tratada de CITRAR-UNI.

Parámetro	Concentración
Contenido de cloruros (mg/l p ppm)	105.14
Contenido de sulfatos (mg/l p ppm)	337.25
Contenido de álcalis (mg/l p ppm)	157.90
Contenido de sólidos totales por masa (mg/l p ppm)	815.00

Nota. Fuente: Elaboración propia.

El agua residual tratada cumplió con los límites establecidos en la NTP 339.088:2021.

3.3 ENSAYOS EN AGREGADOS

3.3.1 Ensayo Granulométrico

Los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino natural se muestran en la Tabla 3 y Figura 2.

Tabla 3

Ensayo granulométrico del agregado fino natural.

Tamiz mm	(pulgadas)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
9.50	3/8"	0.00	0.00	100.00	100
4.75	N°4	1.96	1.96	98.04	95 - 100
2.38	N°8	13.25	15.21	84.79	80 - 100
1.19	N°16	24.33	39.54	60.46	50 - 85
0.60	N°30	25.00	64.54	35.46	25 - 60
0.30	N°50	16.96	81.50	18.50	5 - 30
0.15	N°100	10.27	91.76	8.24	0 - 10
FONDO		8.24	100.00	0.00	0 - 3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que la NTP 400.037:2021, norma técnica que trata sobre los ensayos de granulometría del agregado fino y agregado grueso, indica que hay un huso granulométrico para el agregado fino.

El huso está formado por valores que corresponden a los porcentajes de agregado fino que pasan las distintas mallas (3/8" a N°100), al dibujar los porcentajes que pasan las mallas se forma una curva que debe estar contenida en el huso.

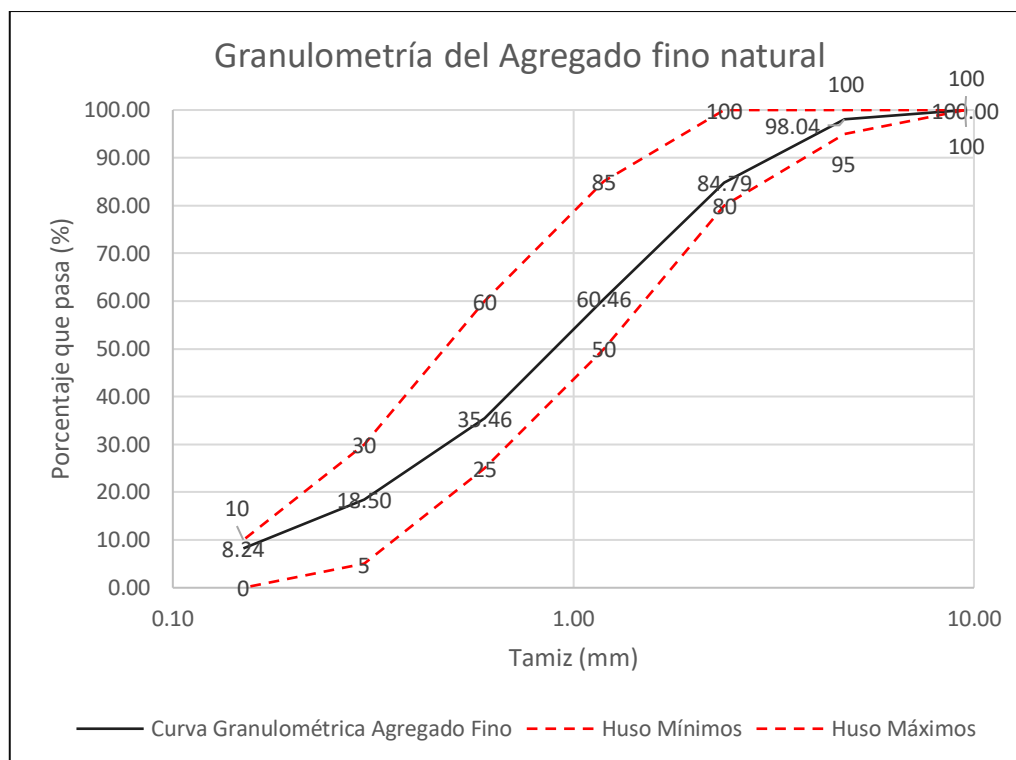


Figura 2 Curva granulométrica del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra la parte del ensayo en la que se enciende el equipo con los tamices ordenados, luego de que el equipo vibre por aproximadamente dos minutos, las partículas quedarán retenidas según su tamaño (de mayor a menor).



Figura 3 Equipo para el ensayo granulométrico de agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra al agregado fino natural de la cantera de Trapiche en el recipiente para el ensayo de peso unitario.



Figura 4 Agregado fino natural de la cantera de Trapiche, Lima.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo granulométrico de la piedra se muestran en la Tabla 4 y Figura 5. Se usaron los valores del huso 57.

Tabla 4

Ensayo granulométrico del agregado grueso.

Tamiz mm	(pulg)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
38.10	1 1/2"	0.00	0.00	100.00	100
25.40	1"	0.00	0.00	100.00	95 - 100
19.05	3/4"	19.16	19.16	80.84	
12.70	1/2"	29.35	48.51	51.49	25 - 60
9.50	3/8"	14.82	63.33	36.67	
4.75	N°4	29.65	92.98	7.02	0 - 10
FONDO		7.02	100.00	0.00	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Para el agregado grueso, la NTP 400.037:2021, indica que la curva granulométrica obtenida de graficar los porcentajes que pasan las mallas puede estar contenida en distintos husos granulométricos.

De los 15 husos que indica la norma, según el tamaño máximo nominal del agregado grueso, que en esta investigación ese valor fue de 3/4", se selecciona una cantidad menor de posibles husos, que según los valores de porcentajes que pasan las mallas normalizadas se debe seleccionar el que más se ajuste a la muestra de agregado.

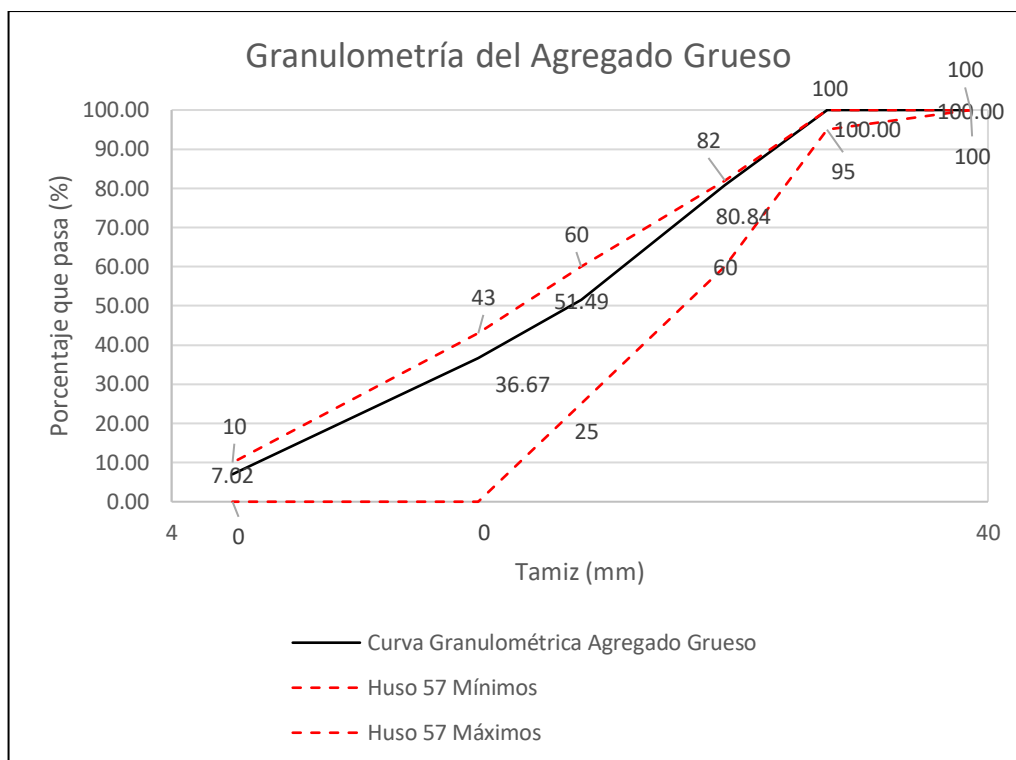


Figura 5 Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 muestra cómo se colocó el agregado grueso en el aparato para el ensayo granulométrico del agregado grueso; en la máquina se coloca el peso requerido para que después de que el aparato vibre, las partículas queden atrapadas en las mallas normalizadas de acuerdo a su tamaño en las mallas.



Figura 6 Equipo para el ensayo granulométrico de agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

El peso mínimo requerido para realizar el ensayo está especificado en la NTP 400.012:2021, este peso depende del tamaño máximo nominal del agregado

grueso. Para 3/4" le corresponde un mínimo de 5 kg de material para realizar el ensayo.

La Figura 7 muestra al agregado grueso usado en la investigación.

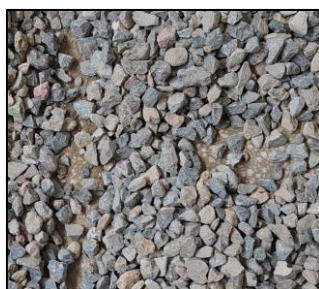


Figura 7 Agregado grueso de la cantera de UNICON, Lima.

Fuente: Elaboración propia.

La curva granulométrica obtenida para el agregado fino reciclado se muestra en la Figura 8. Como ya se mencionó anteriormente, la NTP 400.37:2021 indica un solo huso para el agregado fino.

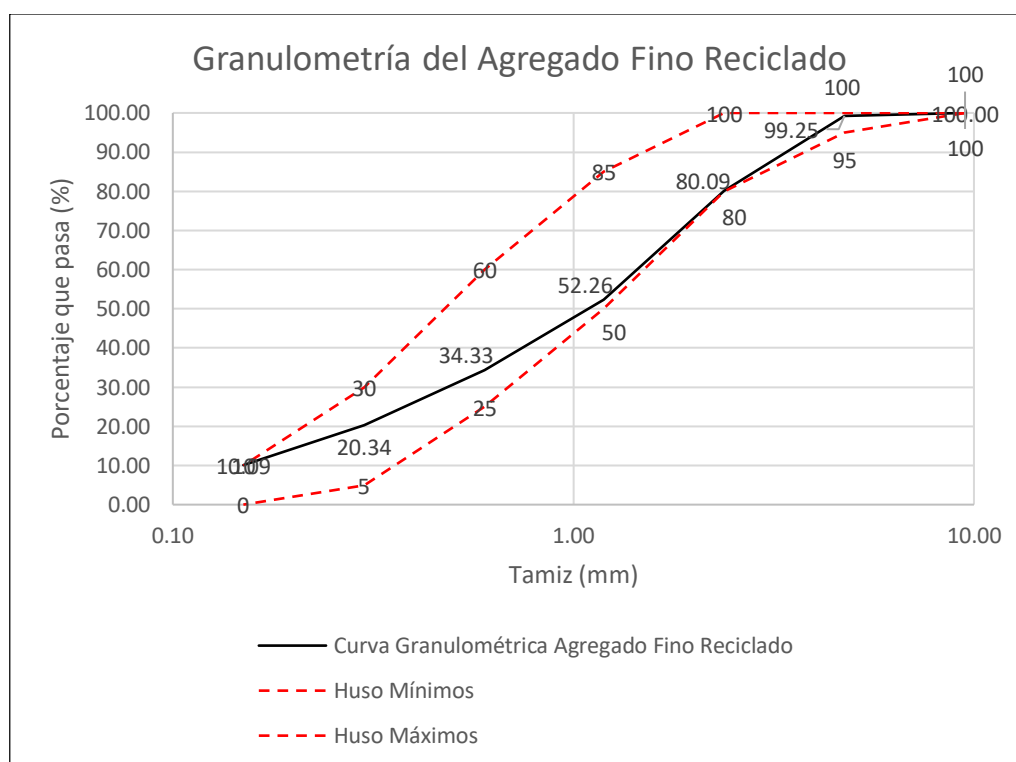


Figura 8 Curva granulométrica del agregado fino reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

Además, de igual forma que para el agregado grueso, la norma indica un peso mínimo para poder realizar el ensayo. Para el agregado fino la norma técnica indica que el peso mínimo de la muestra para realizar los ensayos granulométricos es de 500 gramos.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino reciclado.

Tabla 5

Ensayo granulométrico del agregado fino reciclado.

Tamiz mm	(pulg)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
9.50	3/8"	0.00	0.00	100.00	100
4.75	N°4	0.75	0.75	99.25	95 - 100
2.38	N°8	19.16	19.91	80.09	80 - 100
1.19	N°16	27.83	47.74	52.26	50 - 85
0.60	N°30	17.92	65.67	34.33	25 - 60
0.30	N°50	13.99	79.66	20.34	5 - 30
0.15	N°100	10.25	89.91	10.09	0 - 10
FONDO		10.09	100.00	0.00	0 - 3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 muestra al agregado fino reciclado.

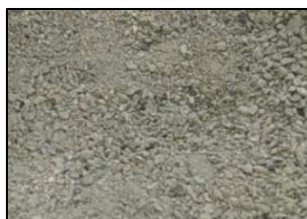


Figura 9 Agregado fino reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

En la NTP 400.012:2021 se mencionó que para agregados artificiales (como los reciclados) se recomienda calcular el módulo de fineza de estos, para tener un indicador de que tan finas tiene sus partículas. El módulo de fineza se calculó para los agregados finos (natural y reciclado).

En la Tabla 6 se muestra el procedimiento de cálculo del módulo de fineza del agregado fino natural según el procedimiento descrito en la sección 2.6.

Tabla 6

Módulo de fineza del agregado fino natural.

Malla	% Retenido	%Retenido Acumulado
3/8"	0.00	0.00
N°4	1.96	1.96
N°8	13.25	15.21
N°16	24.33	39.54
N°30	25.00	64.54
N°50	16.96	81.50
N°100	10.27	91.76

SUMA =	294.52
Módulo de Fineza del agregado fino natural =	2.95

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra el procedimiento de cálculo del módulo de fineza del agregado fino reciclado.

Tabla 7

Módulo de fineza del agregado fino reciclado.

Malla	% Retenido	%Retenido Acumulado
3/8"	0.00	0.00
N°4	0.75	0.75
N°8	19.16	19.91
N°16	27.83	47.74
N°30	17.92	65.67
N°50	13.99	79.66
N°100	10.25	89.91
	SUMA =	303.64
Módulo de Fineza del agregado fino reciclado =		3.04

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Peso Específico y Absorción

Los resultados de los ensayos de Peso específico y Absorción del agregado fino natural, el agregado grueso y el agregado fino reciclado se muestran en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 respectivamente.

Tabla 8

Peso específico y Absorción del agregado fino natural.

	MUESTRA:		
	1	2	3
Peso de la muestra superficialmente seca (g)	500	500	500
Peso de la muestra superficialmente seca + picnómetro + agua (g)	1000.1	996.5	1001.2
Peso del picnómetro (g)	193.1		
Peso del agua (g)	307	303.4	308.1
Peso de la muestra seca al horno (g)	491.8	488.5	489.5
Volumen del picnómetro (ml)		500	
Peso específico de masa (g/cm ³)		2.53	
Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm ³)		2.58	
Peso específico aparente (g/cm³)		2.67	
Absorción (%)		2.06	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 10 muestra el picnómetro con 500 g del agregado fino natural en estado saturado superficialmente seco lleno de agua hasta un nivel que asegura

que el volumen sea 500 ml. Luego de esto se procedió a pesar el picnómetro con la muestra, para después meter la muestra al horno.



Figura 10 Peso específico y absorción del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Peso específico y Absorción del agregado grueso.

	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra secada al horno (kg)		3.96	3.94	3.94
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (kg)		4.01	4.01	4.01
Peso de la muestra sumergida en agua (kg)		2.51	2.51	2.50
Peso específico de masa (g/cm ³)			2.630	
Peso específico de masa saturado superficialmente seco (g/cm ³)			2.670	
Peso específico aparente (g/cm³)			2.740	
Absorción (%)			1.522	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra cómo se pone la muestra del agregado grueso en estado saturado superficialmente seco en una canastilla de metal que se sumerge en agua, se pesa y después se lleva la muestra al horno.



Figura 11 Peso específico y absorción del agregado fino grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Peso específico y Absorción del agregado fino reciclado.

MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra superficialmente seca (g)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra superficialmente seca + picnómetro + agua (g)	975.70	974.70	971.25
Peso del picnómetro (g)		193.10	
Peso del agua (g)	282.60	281.60	278.15
Peso de la muestra seca al horno (g)	467.60	467.40	464.55
Volumen del picnómetro (ml)		500	
Peso específico de masa (g/cm ³)		2.13	
Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm ³)		2.28	
Peso específico aparente (g/cm³)		2.51	
Absorción (%)		7.18	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Peso Unitario

Los resultados del ensayo de Peso Unitario se muestran en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 para el agregado fino natural, agregado grueso y agregado fino reciclado respectivamente.

Tabla 11

Peso unitario del agregado fino natural.

PUS DEL AGREGADO FINO NATURAL			
MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)	6.32	6.39	6.37
Peso del recipiente (kg)		1.57	

EFFECTOS DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN LAS PROPIEDADES DE CONCRETO CON AGREGADO FINO REICLADO, A/C 0.65 y 0.70

Peso del agregado (kg)	4.75	4.82	4.80
Volumen del recipiente (m3)	0.0028		
PUS (kg/m3)	1710.71		
PUC DEL AGREGADO FINO NATURAL			
	MUESTRA:		
	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)	6.77	6.77	6.78
Peso del recipiente (kg)	1.57		
Peso del agregado (kg)	5.2	5.2	5.21
Volumen del recipiente (m3)	0.0028		
PUC (kg/m3)	1858.33		

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 muestra cómo se enrasa el recipiente que contiene el agregado fino natural, luego de eso se pesa para obtener el valor del PUS.



Figura 12 PUS del agregado fino natural.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Peso unitario del agregado grueso.

PUS DEL AGREGADO GRUESO			
	MUESTRA:		
	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)	17.18	17.2	17.15
Peso del recipiente (kg)	4.34		
Peso del agregado (kg)	12.84	12.86	12.81
Volumen del recipiente (m3)	0.0093		
PUS (kg/m3)	1380.29		
PUC DEL AGREGADO GRUESO			
	MUESTRA:		
	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)	18.54	18.53	18.57
Peso del recipiente (kg)	4.34		
Peso del agregado (kg)	14.2	14.19	14.23

Volumen del recipiente (m ³)	0.0093
PUC (kg/m³)	1527.60

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Peso unitario del agregado fino reciclado.

PUS DEL AGREGADO FINO RECICLADO				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)		5.50	5.54	5.49
Peso del recipiente (kg)			1.57	
Peso del agregado (kg)		3.93	3.97	3.92
Volumen del recipiente (m ³)			0.0028	
PUS (kg/m³)			1407.14	
PUC DEL AGREGADO FINO RECICLADO				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)		5.68	5.72	5.74
Peso del recipiente (kg)			1.57	
Peso del agregado (kg)		4.11	4.15	4.17
Volumen del recipiente (m ³)			0.0028	
PUC (kg/m³)			1479.76	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Contenido de Humedad

Los resultados del ensayo de Contenido de Humedad se muestran en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 para el agregado fino natural, agregado grueso y agregado fino reciclado respectivamente.

Tabla 14

Contenido de humedad del agregado fino natural.

	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		500.8	501.8	500.2
Peso de la muestra seca (g)		490.0	491.5	492.2
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		10.8	10.3	7.9
Contenido de Humedad (%)			1.96	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Contenido de humedad del agregado grueso.

	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		5008.8	5006.5	5000.4
Peso de la muestra seca (g)		4938.0	4937.3	4937.7
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		70.8	69.3	62.7

Contenido de Humedad (%)	1.37
---------------------------------	-------------

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Contenido de humedad del agregado fino reciclado.

	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		500.3	500.8	500.4
Peso de la muestra seca (g)		467.3	468.3	464.4
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		33.0	32.5	36.0
Contenido de Humedad (%)		7.24		

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra la colocación de las muestras de agregado en el horno, una vez estén secas se pesará el material para conocer por una resta cuánta agua había en el agregado.



Figura 13 Ensayo de contenido de humedad de los agregados.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Proporción entre Agregados

El método usado fue la máxima compacidad del peso unitario de la combinación de los agregados.

La proporción entre agregados a usar se obtuvo usando los tres tipos de agregado usados (agregado fino natural, agregado grueso y agregado fino reciclado) en los ensayos. Como la investigación estuvo enfocada en concretos donde el agregado fino natural fue reemplazado al 50% por agregado fino reciclado, se mezcló al agregado grueso con partes iguales de agregado fino natural y agregado fino reciclado.

Los resultados del PUC entre los distintos porcentajes usados de agregado grueso (AG) y partes iguales del agregado fino natural (AFN) y agregado fino reciclado (AFR) se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

PUC de la combinación entre agregados.

Muestra	%AFN	% AFR	% AG	PUC (kg/m ³)
1	21.25	21.25	57.50	1844.09
2	22.50	22.50	55.00	1851.61
3	23.75	23.75	52.50	1836.56
4	25.00	25.00	50.00	1796.77
5	26.25	26.25	47.50	1786.02
6	27.50	27.50	45.00	1777.42

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra la gráfica de los resultados de la Tabla 16.

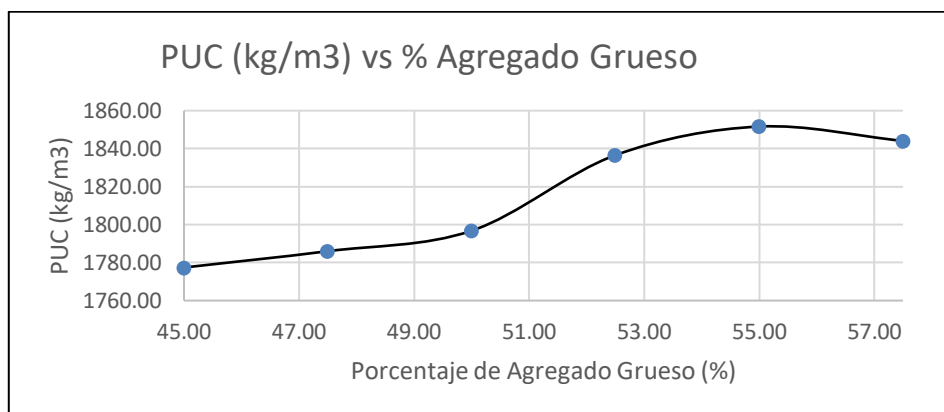


Figura 14 PUC vs %Piedra – mezcla patrón.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo la máxima compactación usando la proporción entre agregados de 22.50% de agregado fino natural, 22.50% de agregado fino reciclado y 55.00% de agregado grueso. La mezcla patrón se diseñó usando esta proporción entre los agregados.

3.4 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Para el diseño de las mezclas patrón se debió tener en cuenta que estas mezclas contuvieron agua potable, cemento tipo I, piedra natural, arena natural y arena reciclada (ambos tipos de arena en cantidades iguales).

El método usado fue el recomendado por ACI 211; sin embargo, para la proporción entre agregados no se usó la tabla proporcionada por ese método, en cambio se usó la hallada experimentalmente por la máxima compactación del peso

unitario de la combinación de agregados (detallada en la sección 3.3.5) usada en todas las mezclas (patrón y sus variaciones), el resultado fue de 22.50% de agregado fino natural, 22.50% de agregado fino reciclado y 55.00% de agregado grueso.

Para elegir las relaciones a/c a usar, se tomó en cuenta las aplicaciones actuales del concreto con agregados reciclados.

El concreto con agregados reciclados se viene usando para la fabricación de prefabricados no estructurales como adoquines o ladrillos no estructurales, si esta investigación concluyera que las resistencias no disminuyen significativamente, el uso conjunto de agregado fino reciclado y agua residual tratada en el proceso de producción de estos prefabricados podría llevarse a cabo. Colaborando así a la obtención de un concreto que provoca menos impactos negativos que un concreto convencional que, al no usarse en elementos estructurales puede ser de baja resistencia. Las relaciones a/c elegidas (0.65 y 0.70) corresponden a un concreto de baja resistencia.

Los diseños patrón de las mezclas de relaciones a/c de 0.65 y 0.70 se identificarán en adelante con 0.65-0%ART y 0.70-0%ART respectivamente.

Los ensayos realizados en los agregados proporcionaron los datos para realizar los diseños patrón. En los cuales se consideró que el peso específico del agua potable fue de 1 g/cm³.

A partir de las mezclas patrón, se hicieron nuevas mezclas donde se reemplazó el agua potable por agua residual tratada (ART) en porcentajes de 50% y 100%; estas mezclas se identificaron como 0.65-50%ART y 0.65-100%ART para las mezclas con a/c de 0.65, y como 0.70-50%ART y 0.70-100%ART para las mezclas con a/c de 0.70.

El peso específico del agua usada en las mezclas con 50% de ART fue de 0.9987 g/cm³, mientras que para las mezclas con 100% de ART el peso específico del agua fue de 0.9974 g/cm³. La obtención de estos valores se explicó en la sección 3.1.1.

A continuación, se explica el procedimiento que se siguió para diseñar las mezclas.

- Se recopilaron todos los resultados de los ensayos realizados en los agregados, del cemento y del cálculo del valor de peso específico del agua a usar según el porcentaje de reemplazo de agua potable por agua residual tratada.

- Se definieron el Volumen unitario de agua y el Contenido de aire según el método ACI 211, usando como datos el rango de asentamiento escogido (3" a 4") y el TMN de la piedra obtenido (3/4").
- Se definió la cantidad de cemento según el método ACI, usando como datos los valores de la relación agua cemento (para este caso se tenían los valores de 0.65 y 0.70) y el Volumen unitario de agua.
- Usando la proporción entre agregados descrita anteriormente (en la sección anterior) se procedió a calcular el peso seco y el volumen del cemento, el agua y los agregados (agregado grueso, agregado fino natural y agregado fino reciclado).
- Usando los valores del Contenido de humedad de los agregados, se corrigieron los pesos obtenidos en el paso anterior.
- Para finalizar, se obtuvieron los pesos de todos los componentes del concreto por metro cúbico de mezcla.

La Tabla 18 muestra los diseños obtenidos para las mezclas con a/c de 0.65. Cabe recordar que el diseño patrón se identificó como 0.65-0%ART y las variaciones de esta mezcla como 0.65-50%ART y 0.65-100%ART para los reemplazos de 50% y 100% de agua potable por agua residual tratada respectivamente.

Tabla 18

Diseños de mezclas con a/c de 0.65

Identificador	Cemento	Agua potable	Agua residual tratada	Agregado fino natural	Agregado fino reciclado	Agregado grueso
(-)	(kg/m ³)	(l/m ³)	(l/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
0.65-0%ART	369.23	241.52	0.00	380.90	400.63	925.70
0.65-50%ART	361.54	118.27	118.27	385.28	405.23	936.35
0.65-100%ART	356.92	0.00	233.55	387.84	407.92	942.56

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Diseños de mezclas con a/c de 0.70

Identificador	Cemento	Agua potable	Agua residual tratada	Agregado fino natural	Agregado fino reciclado	Agregado grueso
(-)	(kg/m ³)	(l/m ³)	(l/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
0.70-0%ART	348.57	245.53	0.00	382.49	402.30	929.57
0.70-50%ART	341.43	120.27	120.27	386.76	406.79	939.95

EFFECTOS DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN LAS PROPIEDADES DE CONCRETO CON AGREGADO FINO RECYCLADO, A/C 0.65 y 0.70

0.70-100%ART	341.43	0.00	240.54	386.57	406.59	939.48
--------------	--------	------	--------	--------	--------	--------

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 19 muestra los diseños obtenidos para las mezclas con a/c de 0.70. Cabe recordar que el diseño patrón se identificó como 0.70-0%ART y las variaciones de esta mezcla como 0.70-50%ART y 0.70-100%ART para los reemplazos de 50% y 100% de agua potable por agua residual tratada respectivamente.

3.5 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

3.5.1 Asentamiento

La Tabla 20 muestra los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.65.

Tabla 20

Asentamiento de las mezclas con a/c = 0.65.

Identificador	Asentamiento (")
0.65-0%ART	3.3
0.65-50%ART	3.9
0.65-100%ART	4.9

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.65.

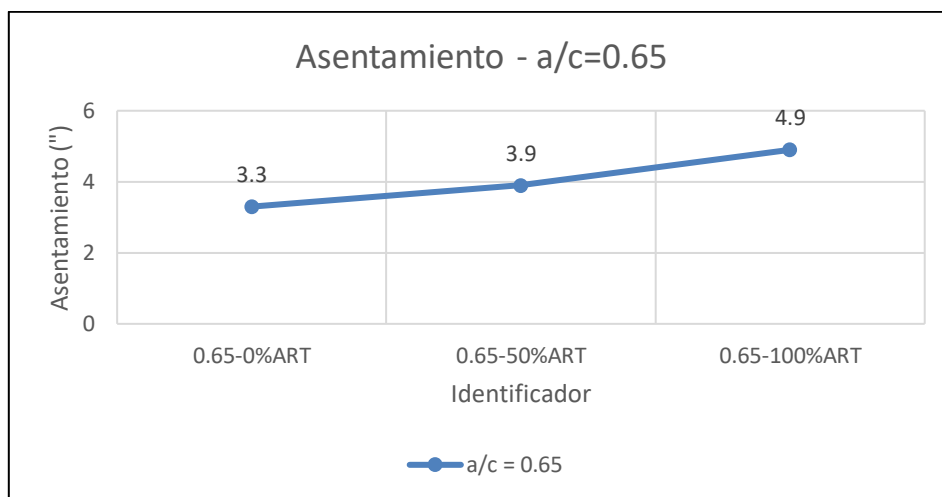


Figura 15 Asentamiento de las mezclas con a/c de 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 21 muestra los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.70.

Tabla 21

Asentamiento de las mezclas con a/c de 0.70.

Identificador	Asentamiento (")
0.70-0%ART	3.2
0.70-50%ART	4.8
0.70-100%ART	6.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 16 muestra los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.70.

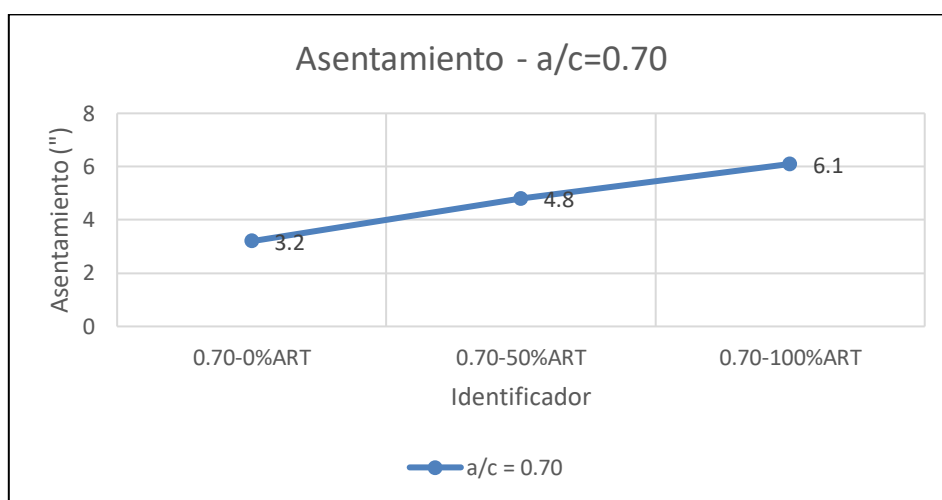


Figura 16 Asentamiento de mezclas con a/c de 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra cómo realiza la medición del asentamiento del concreto fresco, se pone la varilla en el borde superior del cono de Abrams y se registra la altura desde el centro de la muestra de concreto hasta el borde inferior de la varilla.



Figura 17 Asentamiento del concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Peso Unitario

La Tabla 22 muestra los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.65.

Tabla 22

Peso unitario de las mezclas con a/c = 0.65.

Identificador	Peso unitario (kg/m ³)
0.65-0%ART	1701.08
0.65-50%ART	1683.87
0.65-100%ART	1682.80

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.65.

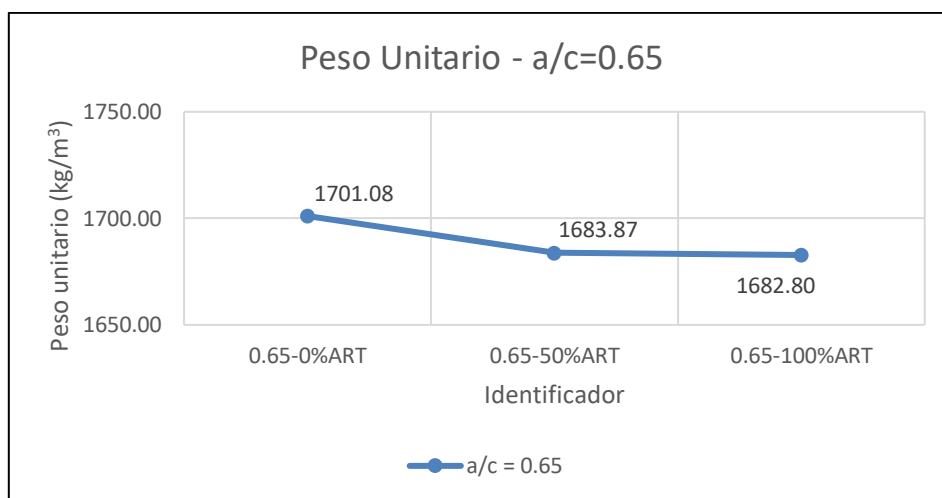


Figura 18 Peso unitario de las mezclas con a/c de 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 23 muestra los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.70.

Tabla 23

Peso unitario de las mezclas con a/c de 0.70.

Identificador	Peso unitario (kg/m ³)
0.70-0%ART	1676.34
0.70-50%ART	1658.06
0.70-100%ART	1652.69

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19 muestra los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.70.

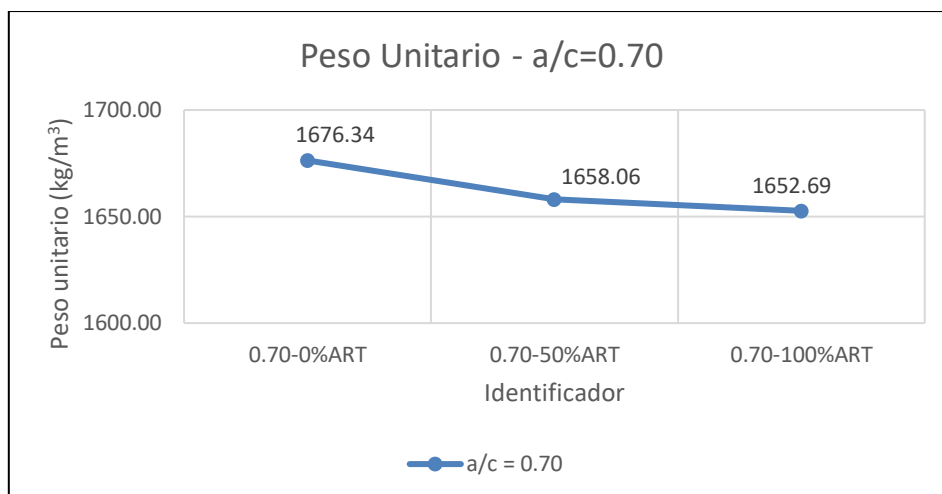


Figura 19 Peso unitario de mezclas con a/c de 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 muestra el proceso de compactación de la segunda capa usando una varilla, de un total de tres capas, de concreto fresco. Se aplicaron 25 golpes por capa con la varilla de diámetro de 5/8". Luego se obtiene el peso del concreto fresco compactado en el recipiente de volumen conocido.



Figura 20 Peso unitario del concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Contenido de Aire

La Tabla 24 muestra los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.65. Además, la Figura 21 muestra los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.65.

Tabla 24

Contenido de aire de las mezclas con $a/c = 0.65$.

Identificador	Contenido de aire (%)
0.65-0%ART	1.45
0.65-50%ART	1.10
0.65-100%ART	0.85

Nota. Fuente: Elaboración propia.

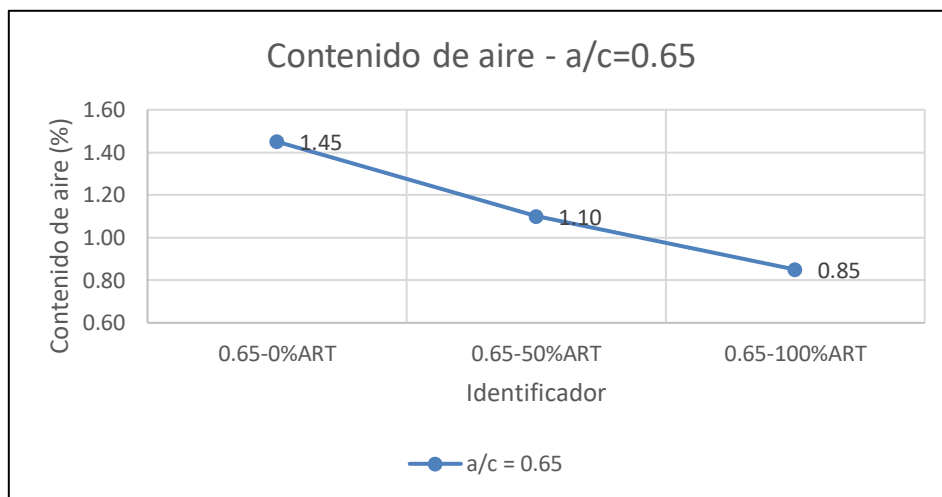


Figura 21 Contenido de aire de las mezclas con a/c de 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 25 muestra los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.70.

Tabla 25

Contenido de aire de las mezclas con a/c de 0.70.

Identificador	Contenido de aire (%)
0.70-0%ART	3.80
0.70-50%ART	3.00
0.70-100%ART	2.45

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 22 muestra los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.70.

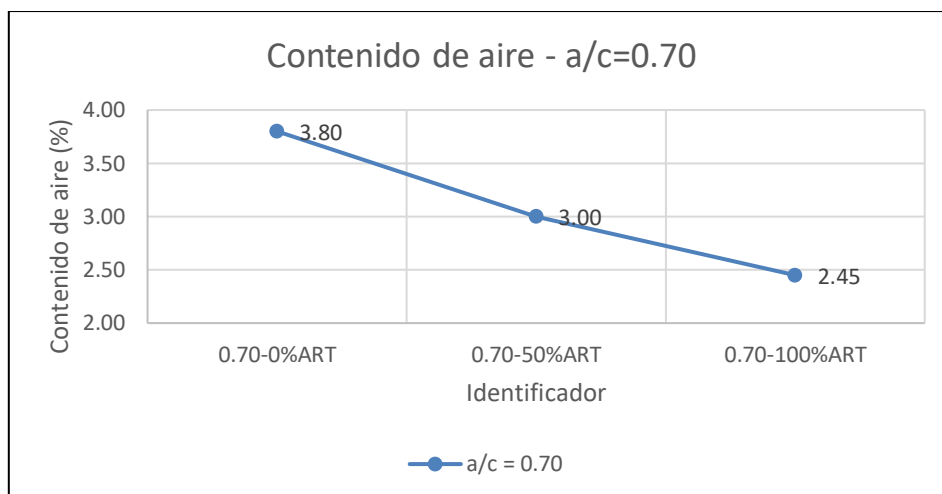


Figura 22 Contenido de aire de mezclas con a/c de 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

Para el ensayo de contenido de aire, obtenida la mezcla de concreto en estado fresco, se debe separar la pasta (retirando la piedra de la mezcla con ayuda de una malla), tras lo cual se llena la olla de Washington hasta aproximadamente una pulgada antes de llegar al ras del recipiente, luego se le pone la tapa y se asegura herméticamente. La Figura 23 la preparación de la tapa de la olla Washington que contiene la pasta de concreto fresco, al igual que para el peso unitario se realizó una compactación de tres capas de 25 golpes en cada capa.



Figura 23 Contenido de aire del concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Tiempo de Fraguado

La Tabla 26 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 26

Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-0%ART.

Tiempo (min)	320	335	365	380	395	440
Fuerza (lb)	152	164	154	148	112	126
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	152	328	616	1480	2240	5040
Tiempo de fraguado inicial (min):	353	Tiempo de fraguado final (min):				424

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 24 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

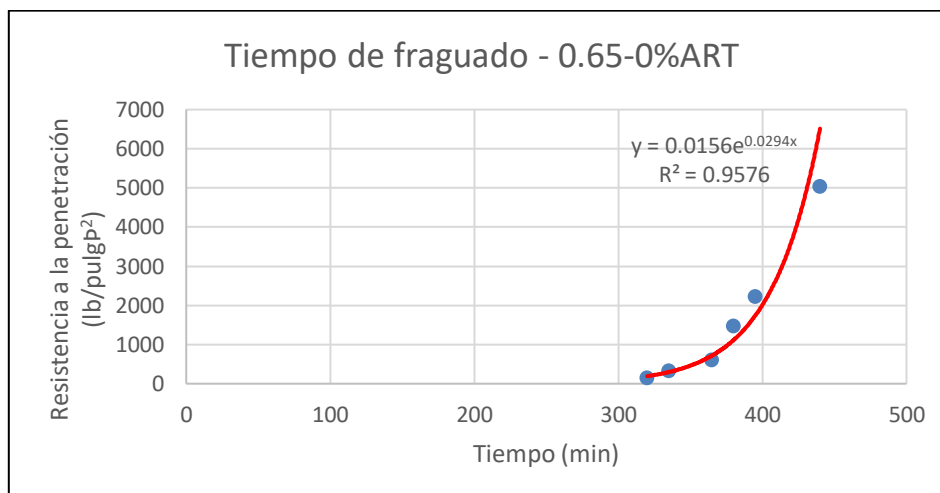


Figura 24 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 27 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 27

Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-50%ART.

Tiempo (min)	240	270	300	360	380	390
Fuerza (lb)	170	107	127	170	140	132
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	170	214	508	1700	2800	5280
Tiempo de fraguado inicial (min):	298	Tiempo de fraguado final (min):				390

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 25 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

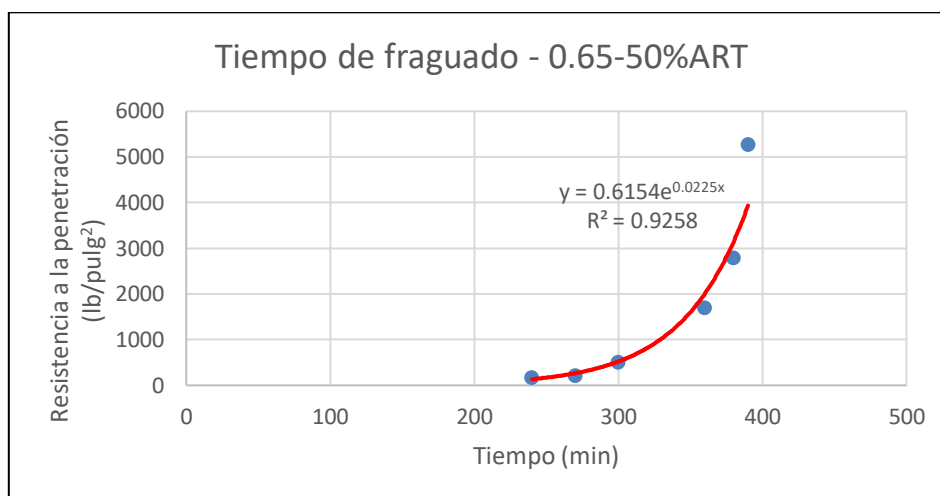


Figura 25 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 28 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 28

Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-100%ART.

Tiempo (min)	350	370	400	430	445	480
Fuerza (lb)	138	102	106	180	172	110
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	138	204	424	1800	3440	4400
Tiempo de fraguado inicial (min):	396		Tiempo de fraguado final (min):			466

Nota. Fuente: Elaboración propia.

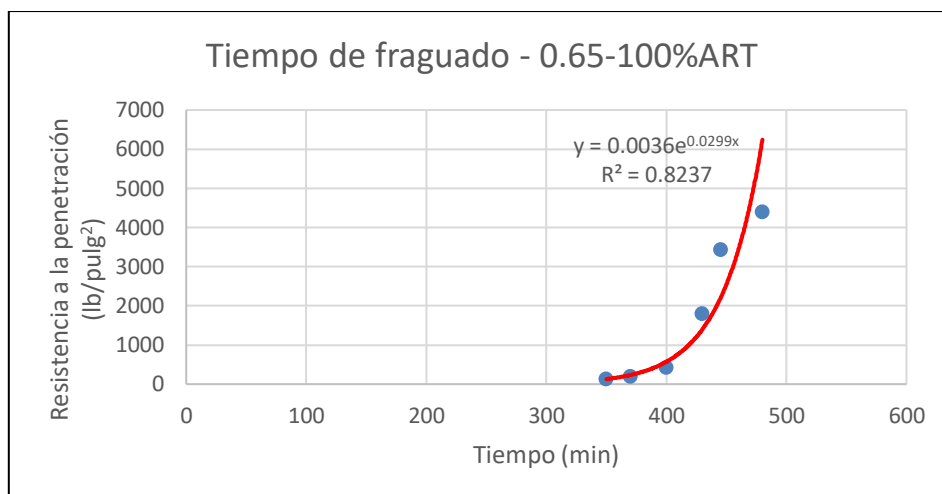


Figura 26 Tiempo de fraguado de mezcla 0.65-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 26 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

La Tabla 29 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 29

Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-0%ART.

Tiempo (min)	300	350	370	390	410	440
Fuerza (lb)	110	194	166	160	136	124
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	110	388	664	1600	2720	4960
Tiempo de fraguado inicial (min):		356	Tiempo de fraguado final (min):			429

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

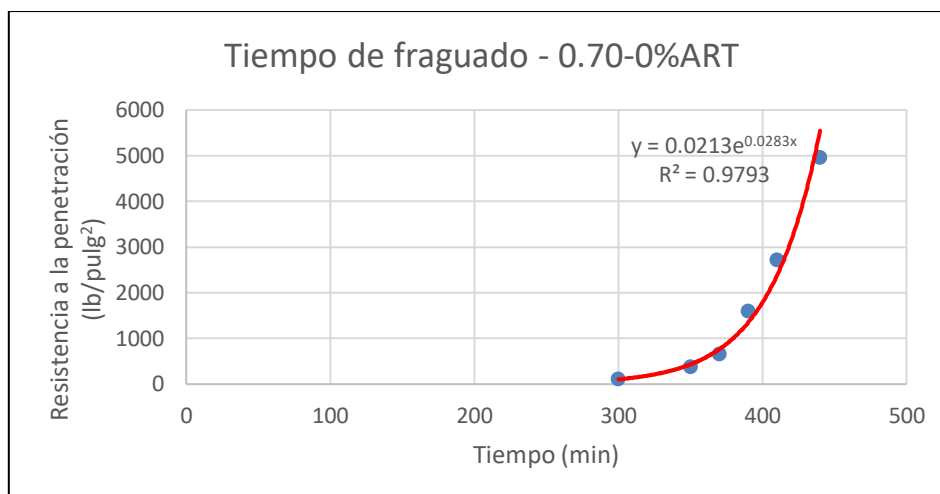


Figura 27 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 30 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 30

Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-50%ART.

Tiempo (min)	280	295	310	335	395	425
Fuerza (lb)	172	130	104	82	135	115
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	172	260	416	820	2700	4600
Tiempo de fraguado inicial (min):	321		Tiempo de fraguado final (min):			414

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 28 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

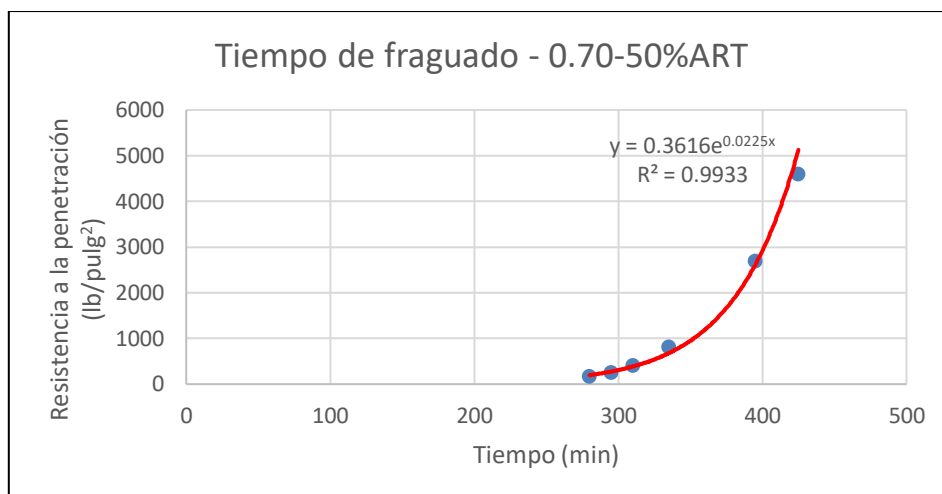


Figura 28 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 31 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 31

Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-100%ART.

Tiempo (min)	270	290	310	325	360	390
Fuerza (lb)	170	162	150	100	105	100
Área de aguja (pulg ²)	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)	170	324	600	1000	2100	4000
Tiempo de fraguado inicial (min):	305		Tiempo de fraguado final (min):			385

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en la mezcla patrón con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

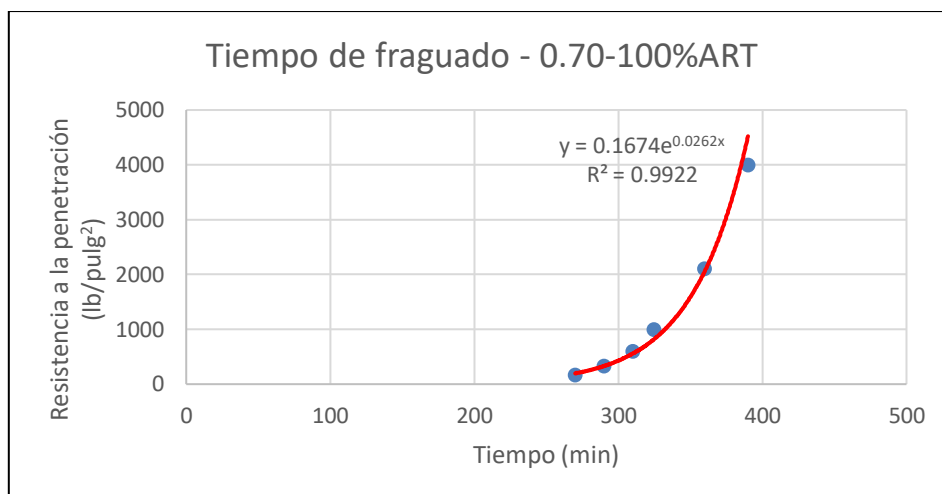


Figura 29 Tiempo de fraguado de mezcla 0.70-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Temperatura

La temperatura del concreto se midió con un equipo que permite el registro de la temperatura en una profundidad mínima de 7.5 cm, se sumergió el equipo por aproximadamente 4 minutos (la norma indica un rango de entre 2 minutos a 5 minutos) y se registró la temperatura indicada.

Cabe mencionar que el día en los días que se realizaron los ensayos de temperatura, la temperatura promedio del medio ambiente fue de 24.5°C.

La Tabla 32 muestra las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.65.

Tabla 32

Temperatura de las mezclas con a/c = 0.65.

Identificador	Temperatura (°C)
0.65-0%ART	25.80
0.65-50%ART	24.10
0.65-100%ART	23.80

Nota. Fuente: Elaboración propia.

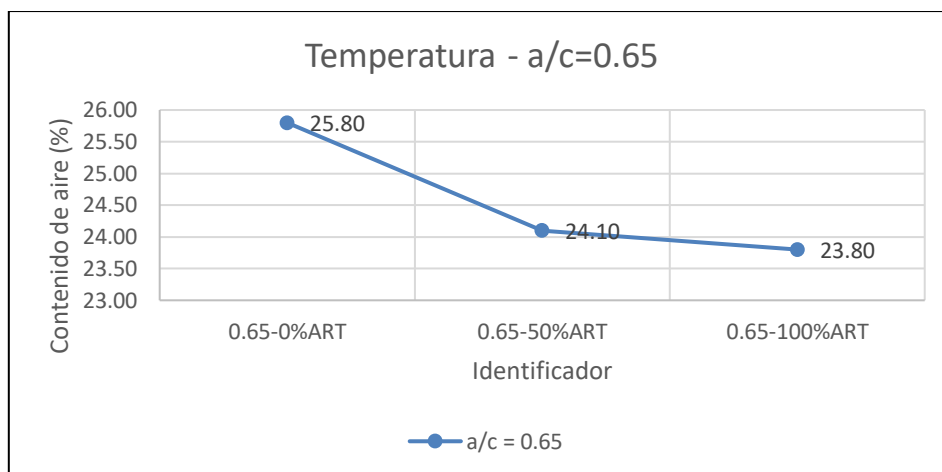


Figura 30 Temperatura de las mezclas con a/c de 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 30 muestra las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.65.

La Tabla 33 muestra las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.70.

Tabla 33

Temperatura de las mezclas con a/c de 0.70.

Identificador	Temperatura (°C)
0.70-0%ART	24.20
0.70-50%ART	23.50
0.70-100%ART	23.10

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 31 muestra las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.70.

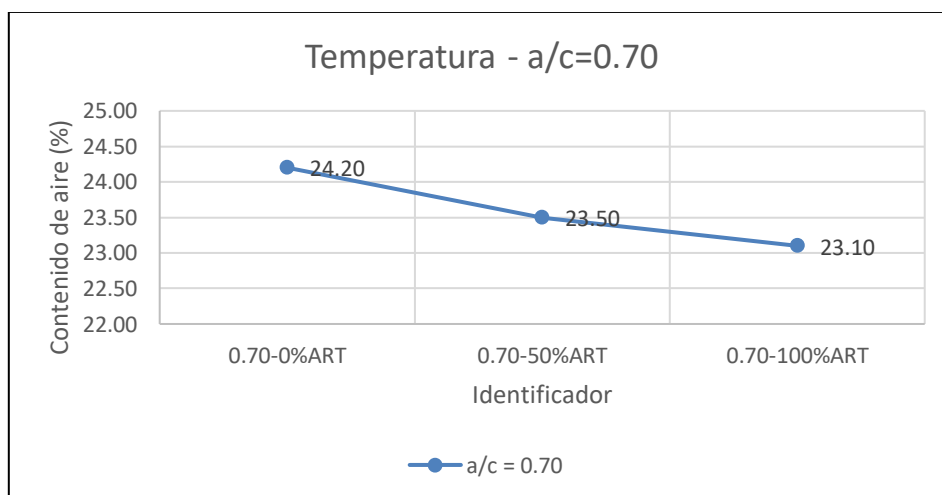


Figura 31 Temperatura de mezclas con a/c de 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

3.6.1 Resistencia a Compresión

Se realizaron dos diseños patrón, en cada uno de los cuales se reemplazó el agua de mezcla (agua potable) por agua residual tratada (de CITRAR-UNI) en porcentajes de 50% y 100%. Entonces, se tuvo un total de 6 mezclas, para cada una de las cuales se ensayaron 6 probetas a 7 días y 15 probetas a 28 días.

En la Figura 32 se muestra la colocación de una de las probetas de forma vertical en el equipo para realizar el ensayo a compresión del concreto.



Figura 32 Resistencia a compresión del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- Resistencia a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65

La Tabla 34 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 34

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	9.98	9.96	18153	232.5
2	9.99	10.01	17309	220.4
3	9.96	10.01	18006	229.9
4	9.94	9.97	18014	231.4
5	9.98	9.98	18239	233.2
6	9.97	9.96	18026	231.1
f'c promedio (kgf/cm ²):				229.8
Desviación Estándar: 4.7 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 2.1%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

D1 y D2 son los diámetros de la probeta, la Fuerza es la carga registrada en el equipo de ensayo y $f'c$ es la resistencia a compresión.

La fórmula utilizada para calcular la resistencia a compresión fue la división de la Fuerza en kgf/cm^2 de rotura de la probeta (valor indicado por el equipo de ensayo) entre el área de la sección transversal de la probeta en cm^2 .

$$f'c = \frac{\text{Fuerza}}{\frac{\pi \left(\frac{D1 + D2}{2}\right)^2}{4}}$$

La Figura 33 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

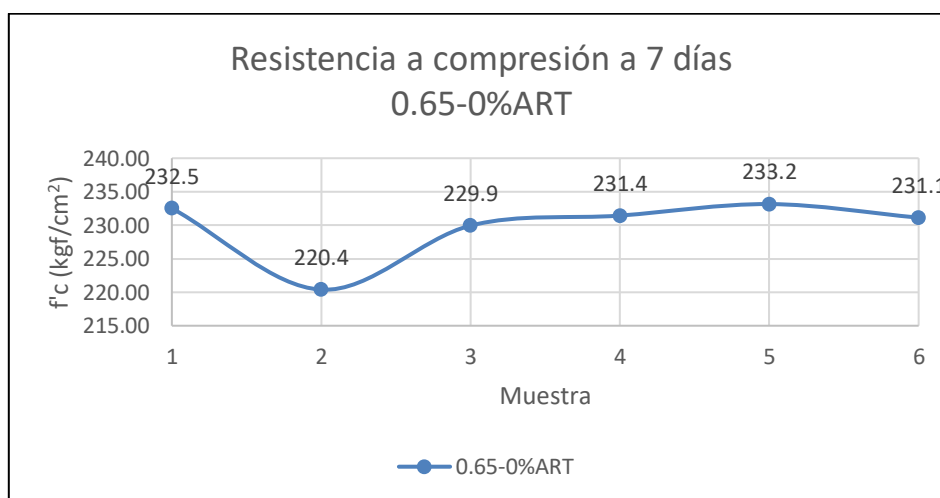


Figura 33 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 35 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 35

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm²)
1	10.00	9.96	17483	223.5
2	10.00	9.95	17723	226.8
3	9.98	9.97	17871	228.7
4	10.00	9.97	17059	217.9
5	9.99	9.96	17520	224.2
6	9.94	9.96	17774	228.6
f'c promedio (kgf/cm²):				224.9
Desviación Estándar: 4.1 kgf/cm²			Coeficiente de variación: 1.8%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 34 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

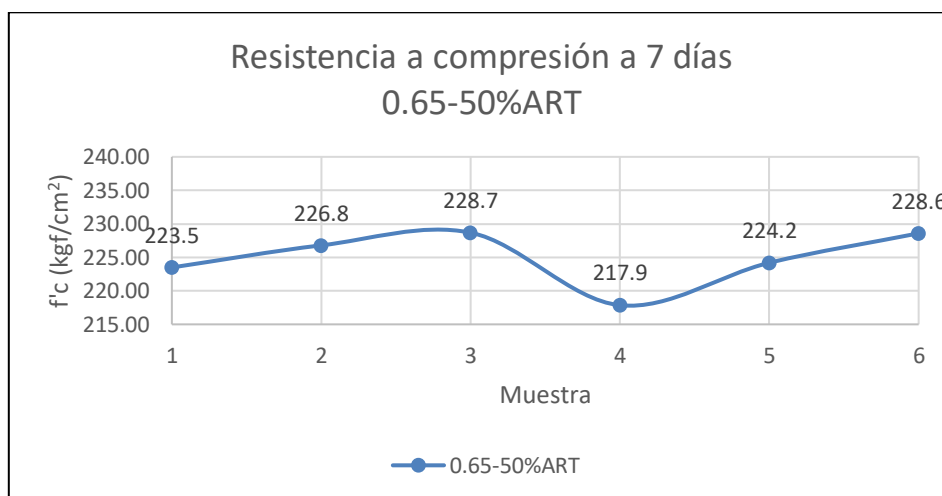


Figura 34 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 36 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 36

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	9.95	9.92	17151	221.2
2	9.94	9.96	17918	230.4
3	9.98	9.99	17402	222.2
4	9.93	9.96	16976	218.5
5	9.95	10.00	17724	226.8
6	9.99	9.96	17574	224.9
f'c promedio (kgf/cm ²):				224.0
Desviación Estándar: 4.3 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 1.9%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 35 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

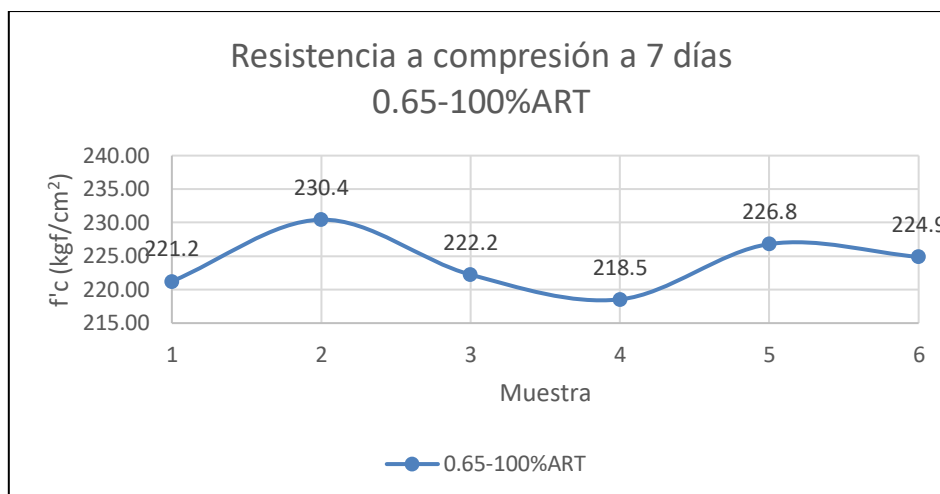


Figura 35 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 fueron 229.8 kgf/cm², 224.9 kgf/cm² y 224.0 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70

La Tabla 37 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 37

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	10.00	9.95	17763	227.3
2	9.92	9.96	18010	232.1
3	9.97	9.98	17864	228.6
4	9.93	9.96	17512	225.4
5	9.99	9.94	17994	230.7
6	9.96	9.96	17269	221.6
f'c promedio (kgf/cm ²):				227.6
Desviación Estándar: 3.8 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 1.7%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 36 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

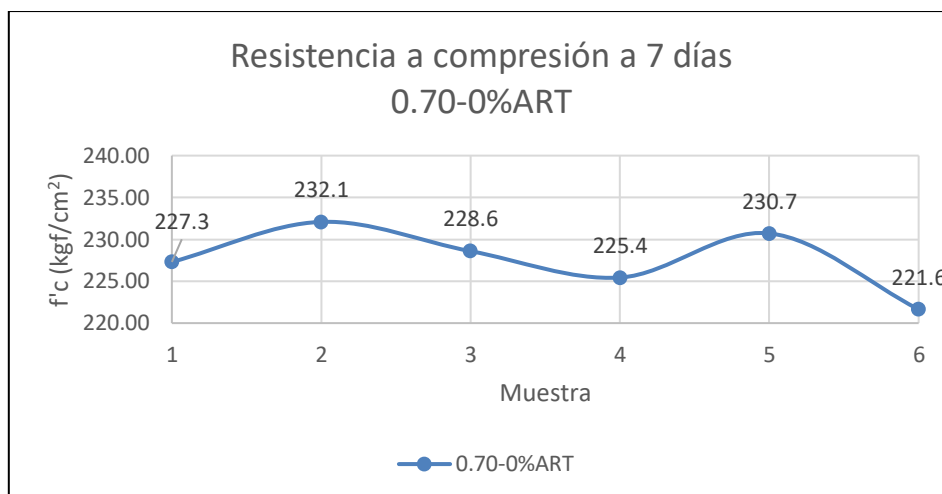


Figura 36 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 38 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 38

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	10.00	9.95	15568	199.2
2	9.97	10.00	16930	216.2
3	9.97	10.03	15867	202.0
4	9.94	9.95	15902	204.7
5	9.98	9.94	16228	208.3
6	9.96	9.99	16465	210.7
f'c promedio (kgf/cm ²):				206.9
Desviación Estándar: 6.2 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 3.0%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 37 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

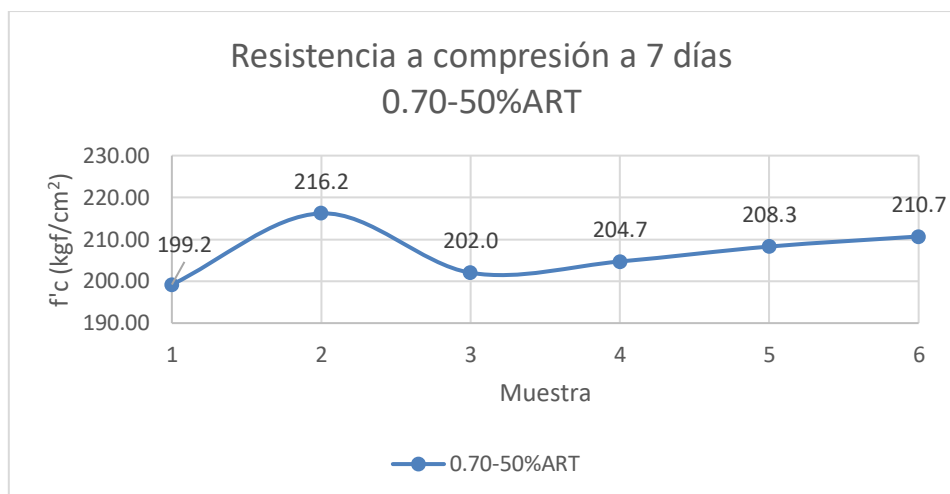


Figura 37 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 39 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 39

Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	9.95	9.99	16142	206.8
2	9.92	9.96	15998	206.2
3	9.96	9.95	15759	202.5
4	9.93	9.93	15138	195.5
5	9.98	9.95	15234	195.3
6	9.95	10.00	15922	203.7
f'c promedio (kgf/cm ²):				201.7
Desviación Estándar: 5.1 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 2.5%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 38 muestra las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

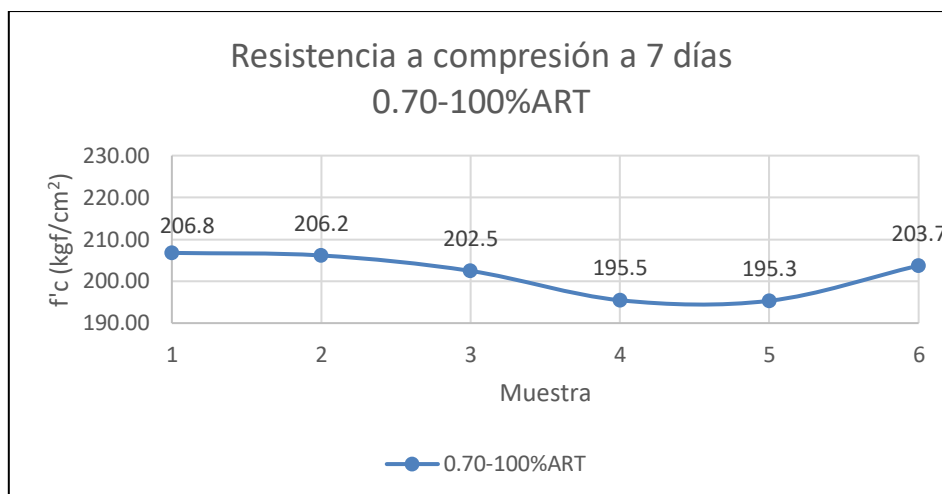


Figura 38 Resistencia a compresión a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 fueron 227.6 kgf/cm², 206.9 kgf/cm² y 201.7 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65

La Tabla 40 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 40

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	9.95	9.99	23592	302.2
2	10.00	9.98	23610	301.2
3	9.90	10.00	23145	297.7
4	9.90	10.00	24571	316.0
5	9.97	10.00	23599	301.4
6	10.00	9.92	23149	297.1
7	10.00	9.95	24232	310.1
8	9.92	9.92	23589	305.2
9	9.95	9.97	23617	303.1
10	9.95	9.94	23590	303.7
11	10.00	9.98	23987	306.0
12	9.92	9.91	24674	319.6
13	9.99	10.00	24871	317.0
14	9.98	9.98	23612	301.8
15	10.00	9.98	23605	301.1
f'c promedio (kgf/cm ²):				305.6
Desviación Estándar: 7.0 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 2.3%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 39 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

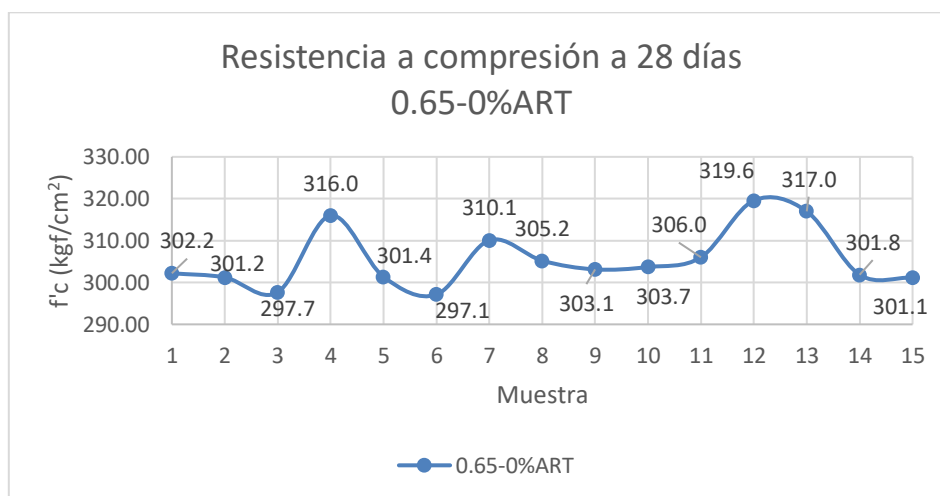


Figura 39 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 41 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 41

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm²)
1	9.96	10.00	22800	291.5
2	9.95	9.99	20549	263.2
3	9.95	9.96	21506	276.3
4	9.99	9.97	20897	267.1
5	9.93	9.95	21562	277.9
6	9.95	10.00	22235	284.5
7	9.94	9.94	21458	276.5
8	9.98	9.99	20965	267.7
9	10.00	9.95	21536	275.6
10	9.95	9.99	21369	273.7
11	10.00	9.98	22355	285.2
12	10.00	9.94	22796	292.0
13	9.97	10.00	20487	261.6
14	9.90	9.98	22698	292.5
15	10.00	9.90	21544	277.1
f'c promedio (kgf/cm²):				277.5
Desviación Estándar: 10.1 kgf/cm²			Coeficiente de variación: 3.6%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 40 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

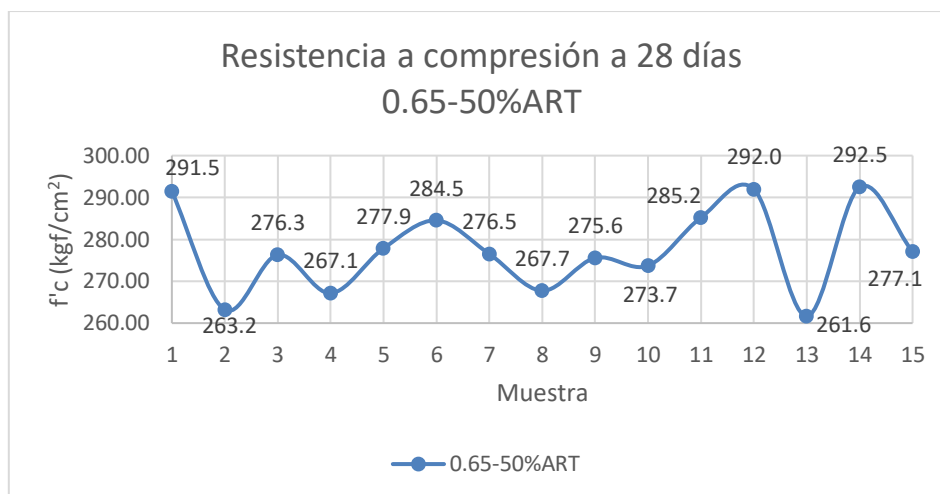


Figura 40 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 42 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 42

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	10.00	10.00	20548	261.6
2	9.91	9.92	20896	270.6
3	9.95	9.94	20154	259.5
4	9.99	9.90	20892	269.0
5	9.90	9.95	20114	260.0
6	10.00	9.90	20694	266.1
7	9.94	9.94	20357	262.3
8	10.00	9.97	20888	266.8
9	10.00	9.95	21558	275.9
10	9.95	9.99	21444	274.7
11	10.00	9.90	19996	257.2
12	9.96	9.94	20441	262.9
13	10.00	10.00	20111	256.1
14	9.90	9.98	21003	270.7
15	9.94	10.00	20900	267.7
f'c promedio (kgf/cm ²):				265.4
Desviación Estándar: 6.1 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 2.3%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 41 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

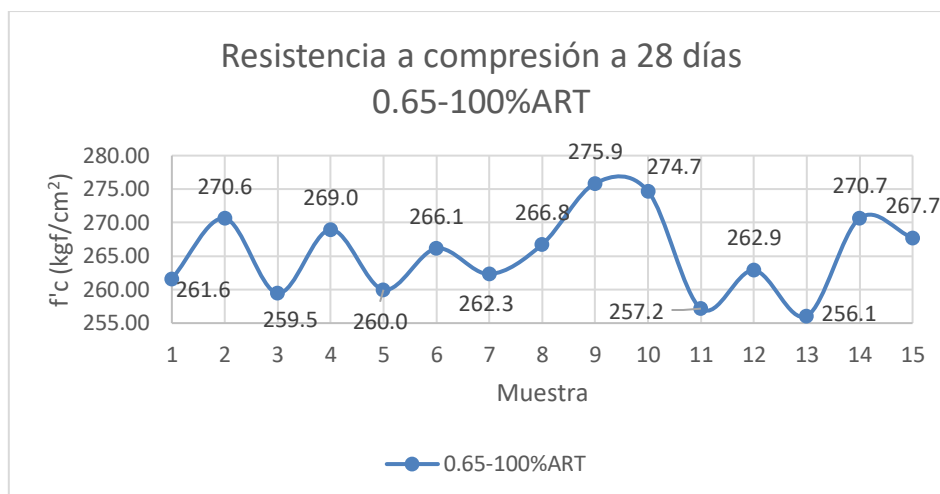


Figura 41 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 fueron 305.6 kgf/cm², 277.5 kgf/cm² y 265.4 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70

La Tabla 43 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 43

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	10.00	9.99	23568	300.4
2	9.95	9.99	22998	294.6
3	10.00	9.90	23417	301.2
4	9.94	9.94	23896	307.9
5	9.97	10.00	22989	293.6
6	9.90	9.98	23417	301.8
7	10.00	9.92	22979	294.9
8	9.95	9.97	23854	306.2
9	10.00	9.90	22698	291.9
10	9.92	10.00	22458	288.2
11	10.00	9.94	23981	307.2
12	9.92	9.91	23510	304.5
13	10.00	10.00	23230	295.8
14	9.93	9.92	23110	298.7
15	10.00	9.95	22540	288.4
f'c promedio (kgf/cm ²):				298.4
Desviación Estándar: 6.5 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 2.2%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 43 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

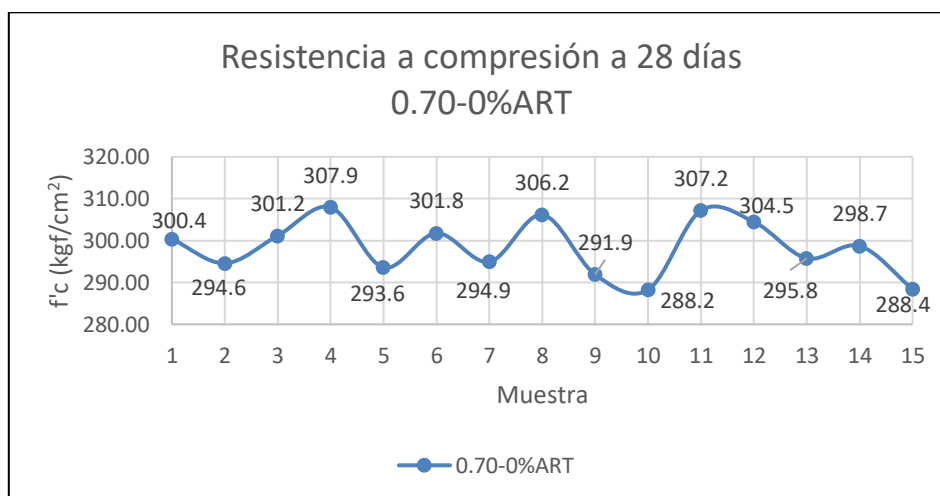


Figura 42 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 44 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 44

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	9.98	10.00	21383	272.8
2	9.95	9.99	19526	250.1
3	9.90	9.92	21787	282.5
4	9.92	9.97	20136	259.2
5	10.00	10.00	21592	274.9
6	9.99	10.00	21570	274.9
7	9.94	9.95	21582	277.8
8	9.91	9.93	21590	279.3
9	9.90	10.00	20145	259.1
10	10.00	9.95	19284	246.8
11	10.00	9.94	21670	277.6
12	9.99	9.91	21554	277.2
13	9.93	9.99	20894	268.2
14	10.00	9.99	21456	273.5
15	10.00	9.99	19981	254.7
f'c promedio (kgf/cm ²):				268.6
Desviación Estándar: 11.5 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 4.3%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 43 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

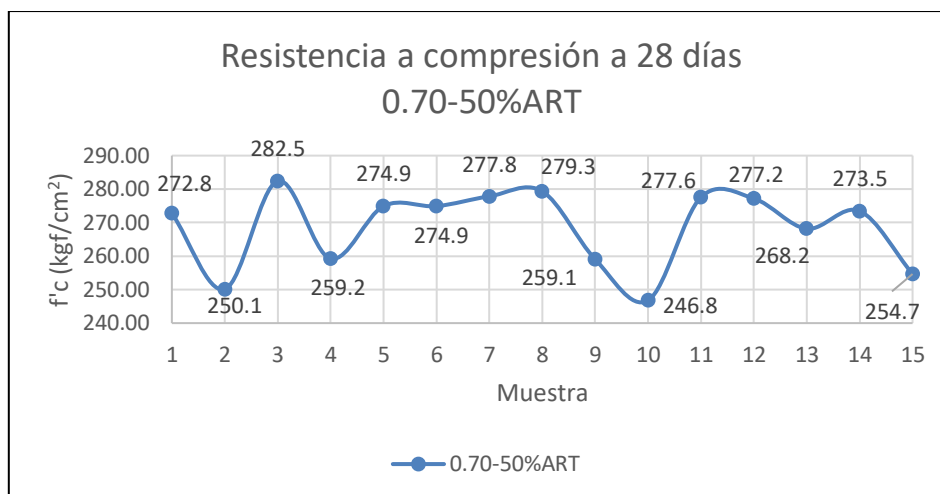


Figura 43 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 45 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 45

Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	Fuerza (kgf)	f'c (kgf/cm ²)
1	10.00	9.92	18593	238.6
2	9.93	9.96	21347	274.8
3	9.92	9.98	19235	247.4
4	9.95	10.00	20785	266.0
5	9.97	10.00	20142	257.2
6	9.93	10.00	21115	270.7
7	9.94	9.95	19547	251.6
8	9.90	9.93	20589	266.7
9	9.90	9.90	19235	249.9
10	9.90	9.99	20555	264.6
11	9.90	9.94	19777	255.9
12	9.92	9.97	18996	244.5
13	10.00	9.95	20681	264.6
14	10.00	9.99	20203	257.5
15	9.91	10.00	20123	258.5
f'c promedio (kgf/cm ²):				257.9
Desviación Estándar: 10.2 kgf/cm ²			Coeficiente de variación: 4.0%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 44 muestra las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

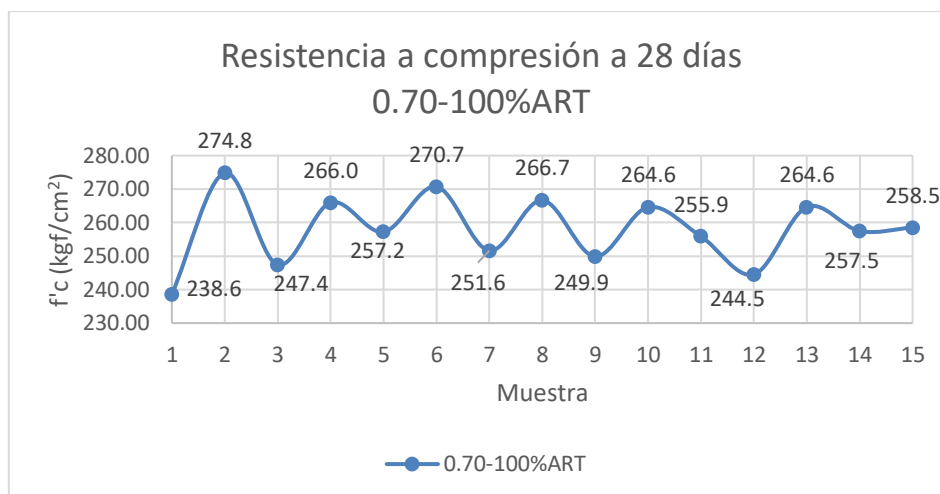


Figura 44 Resistencia a compresión a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 fueron 298.4 kgf/cm², 268.6 kgf/cm² y 257.9 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

3.6.2 Resistencia a Tracción



Figura 45 Resistencia a tracción del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45 se muestra la colocación cuidadosa de la probeta de forma horizontal en el equipo para realizar el ensayo a tracción por compresión diametral del concreto.

Se realizaron dos diseños patrón, en cada uno de los cuales se reemplazó el agua de mezcla (agua potable) por agua residual tratada (de CITRAR-UNI) en

porcentajes de 50% y 100%. Entonces, se tuvo un total de 6 mezclas, para cada una de las cuales se ensayaron 3 probetas a 7 días y 3 probetas a 28 días.

- Resistencia a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65

La Tabla 46 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 46

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8
2	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
3	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
f't promedio (kgf/cm ²):							17.8
Desviación Estándar: 1.0 kgf/cm ²				Coeficiente de variación: 5.6%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

D1, D2 y D3 son los diámetros de la probeta, H1 y H2 son las alturas de la probeta, F es la carga registrada en el equipo de ensayo y f't es la resistencia a tracción.

La fórmula utilizada para calcular la resistencia a tracción fue la división de la fuerza de rotura de la probeta (valor indicado por el equipo de ensayo) en kgf/cm² entre el área longitudinal de la sección de la probeta en cm², que sería π multiplicado por el diámetro promedio y por la altura promedio dividido entre 2.

$$f't = \frac{F}{\pi \left(\frac{D1 + D2 + D3}{3} \right) \left(\frac{H1 + H2}{2} \right)}$$

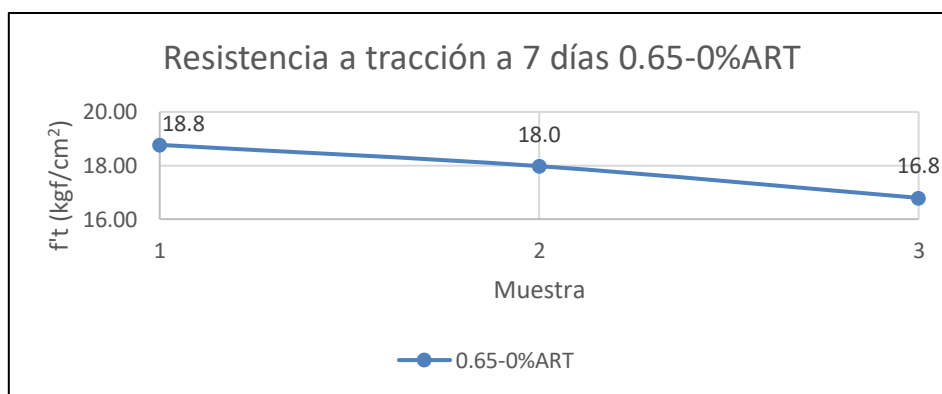


Figura 46 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 46 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

La Tabla 47 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 47

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.92	9.97	10.03	20.78	20.75	7997	24.6
2	9.87	9.97	10.05	20.71	20.75	8260	25.5
3	9.92	10.00	10.06	20.59	20.55	7845	24.3
f't promedio (kgf/cm ²):							24.8
Desviación Estándar: 0.6 kgf/cm ²						Coeficiente de variación: 2.4%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

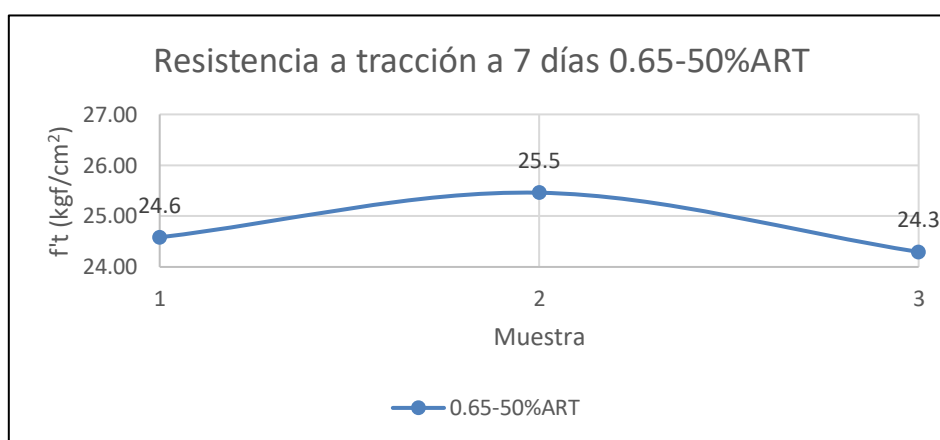


Figura 47 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 47 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 48

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.87	9.97	10.05	20.69	20.69	8879	27.4
2	9.80	9.89	9.98	20.71	20.76	8521	26.5
3	9.85	9.93	10.01	20.65	20.70	9732	30.2
f't promedio (kgf/cm ²):							28.0
Desviación Estándar: 1.9 kgf/cm ²						Coeficiente de variación: 6.9%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 48 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

La Figura 48 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

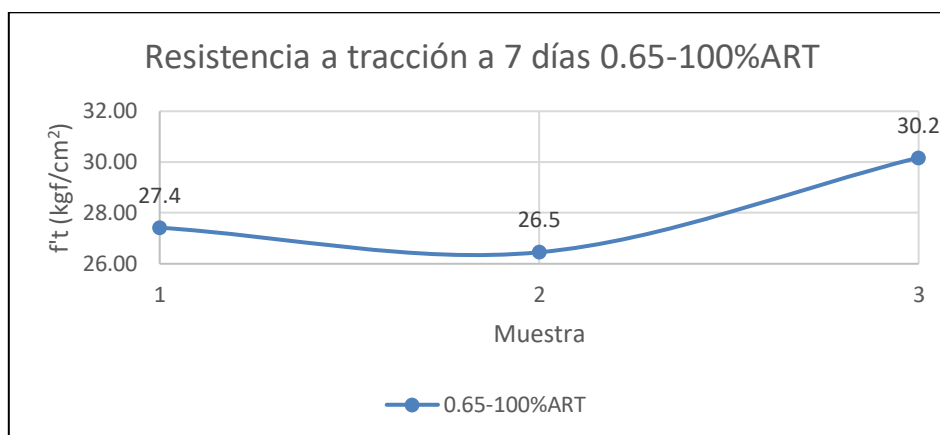


Figura 48 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 fueron 17.9 kgf/cm², 24.8 kgf/cm² y 28.0 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70

La Tabla 49 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 49

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
2	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9
3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
f't promedio (kgf/cm ²):							17.1
Desviación Estándar: 1.1 kgf/cm ²				Coeficiente de variación: 6.5%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 49 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

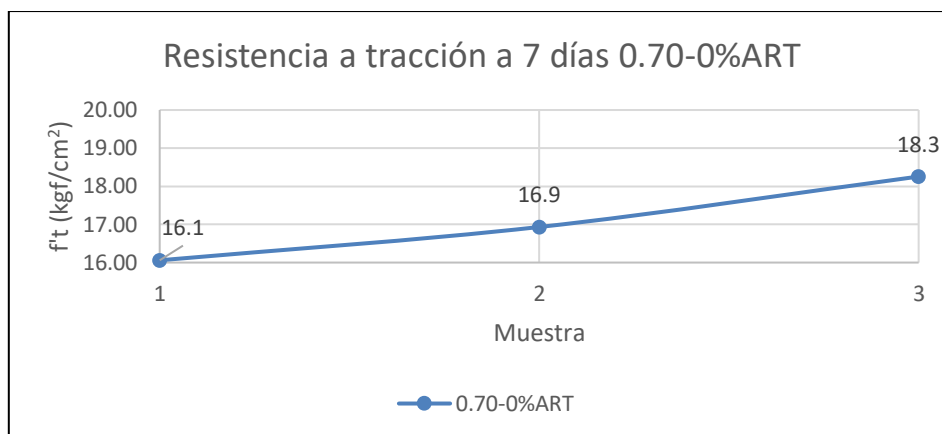


Figura 49 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 50 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 50

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm²)
1	9.90	10.00	10.07	20.51	20.49	7898	24.6
2	9.87	9.96	10.04	20.65	20.70	7770	24.0
3	9.96	10.02	10.10	20.63	20.59	7760	23.9
f't promedio (kgf/cm²):							24.2
Desviación Estándar: 0.3 kgf/cm²				Coeficiente de variación: 1.4%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

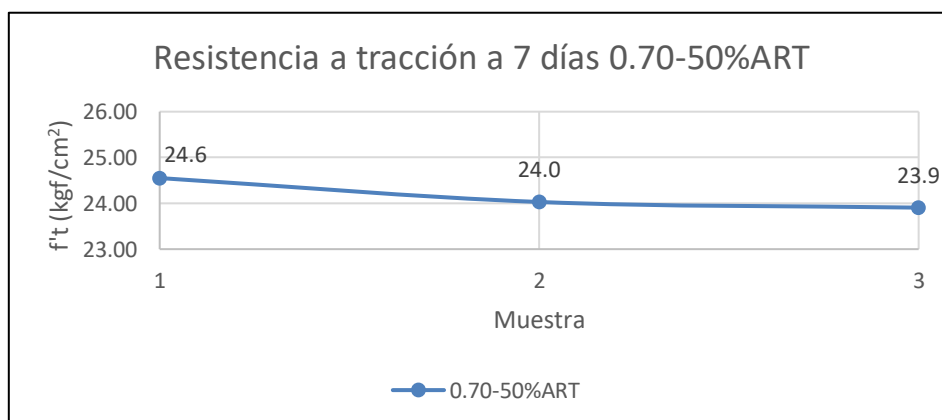


Figura 50 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 50 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

La Tabla 51 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 51

Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.75	9.95	9.88	20.66	20.69	8606	26.9
2	10.08	9.99	9.87	20.68	20.61	8175	25.3
3	9.76	9.88	10.18	20.60	20.66	8024	24.9
f't promedio (kgf/cm ²):							25.7
Desviación Estándar: 1.0 kgf/cm ²				Coeficiente de variación: 4.1%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 51 muestra las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

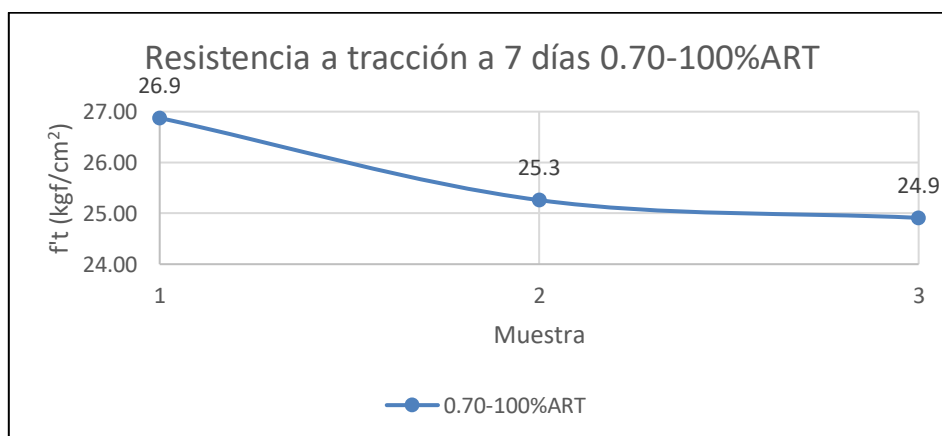


Figura 51 Resistencia a tracción a 7 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.70 fueron 17.1 kgf/cm², 24.2 kgf/cm² y 25.7 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65

La Tabla 52 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 52

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.70	9.92	10.25	20.70	20.70	8766	27.1
2	9.71	9.90	10.22	20.62	20.70	8772	27.2
3	9.73	9.95	10.20	20.60	20.61	8769	27.2

$f't$ promedio (kgf/cm ²):	27.2
Desviación Estándar: 0.1 kgf/cm ²	Coefficiente de variación: 0.2%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 52 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0% de agua residual tratada.

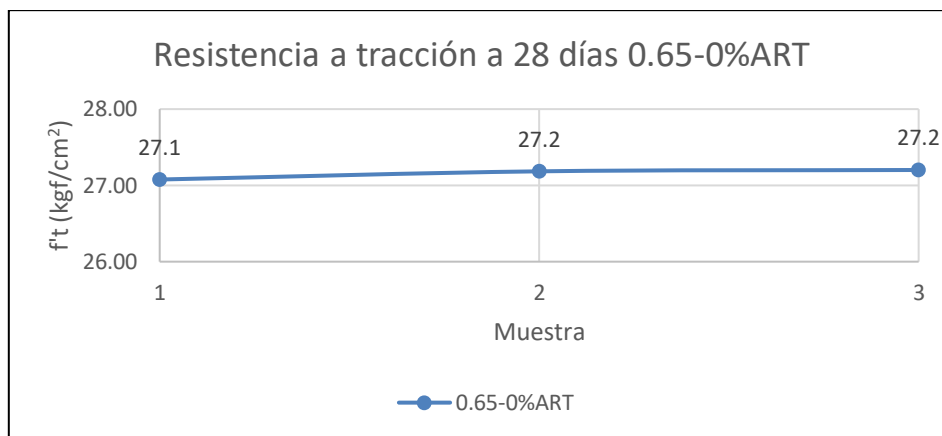


Figura 52 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 53 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 53

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.70	9.99	10.29	20.68	20.66	9367	28.9
2	9.71	10.00	10.23	20.61	20.65	9368	29.0
3	9.75	10.00	10.25	20.60	20.60	9370	29.0
$f't$ promedio (kgf/cm ²):							28.9
Desviación Estándar: 0.1 kgf/cm ²						Coefficiente de variación: 0.2%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 53 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 50% de agua residual tratada.

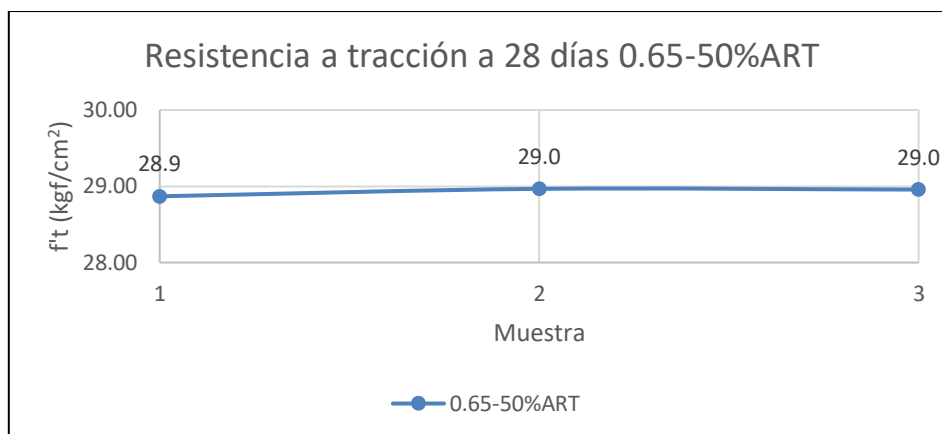


Figura 53 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 54 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 54

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm²)
1	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6
2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
3	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8
f't promedio (kgf/cm²):							34.5
Desviación Estándar: 0.3 kgf/cm²				Coeficiente de variación: 0.8%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

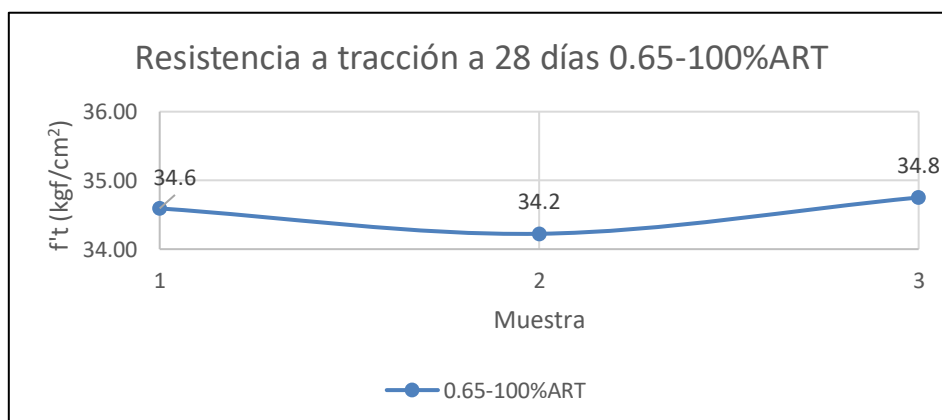


Figura 54 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.65-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 54 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 100% de agua residual tratada.

Entonces, los promedios de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 fueron 27.2 kgf/cm², 28.9 kgf/cm² y 34.5 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

- Resistencia a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70

La Tabla 55 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

Tabla 55

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
2	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
3	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
f't promedio (kgf/cm ²):							26.1
Desviación Estándar: 0.1 kgf/cm ²				Coeficiente de variación: 0.2%			

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 55 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 0% de agua residual tratada.

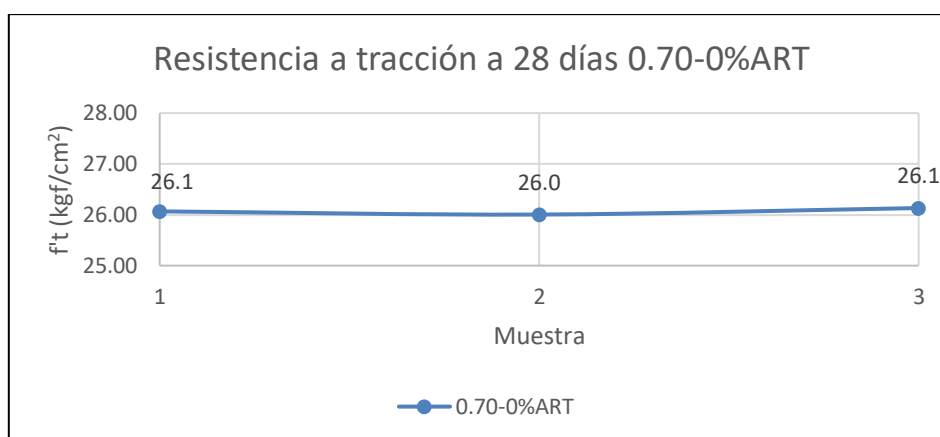


Figura 55 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-0%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 56 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

Tabla 56

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm ²)
1	9.71	9.96	10.28	20.69	20.59	8701	26.9
2	9.75	9.95	10.24	20.68	20.68	8709	26.9
3	9.71	9.90	10.22	20.62	20.60	8702	27.0

$f't$ promedio (kgf/cm ²):	26.9
Desviación Estándar: 0.1 kgf/cm ²	Coefficiente de variación: 0.3%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 56 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 50% de agua residual tratada.

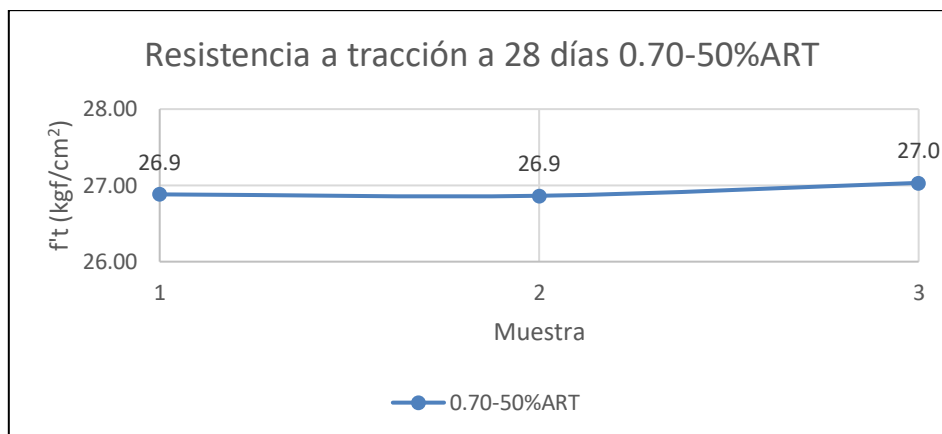


Figura 56 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-50%ART.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 57 especifica los valores obtenidos de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

Tabla 57

Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	F (kgf)	$f't$ (kgf/cm ²)
1	9.75	9.95	10.19	20.68	20.66	9675	29.9
2	9.70	10.00	10.25	20.66	20.65	9670	29.9
3	9.72	9.93	10.25	20.64	20.60	9672	30.0
$f't$ promedio (kgf/cm ²):							29.9
Desviación Estándar: 0.1 kgf/cm ²						Coefficiente de variación: 0.2%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 57 muestra las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 y 100% de agua residual tratada.

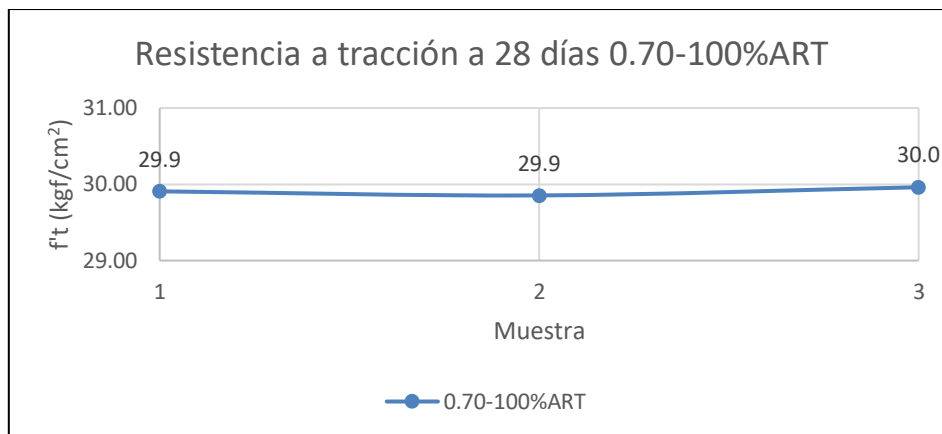


Figura 57 Resistencia a tracción a 28 días de la mezcla 0.70-100%ART.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, los promedios de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.70 fueron 26.1 kgf/cm², 26.9 kgf/cm² y 29.9 kgf/cm² para los porcentajes de uso de agua residual tratada de 0%, 50% y 100%.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE ENSAYOS AL AGUA RESIDUAL TRATADA

La Tabla 58 muestra los límites químicos de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos totales por masa en el agua para mezcla de concreto según la NTP 339.088:2021; también muestra los resultados obtenidos del contenido de estas sustancias en el agua residual tratada (ART).

Tabla 58

Análisis de ensayos al agua residual tratada.

Sustancia	Límite según NTP (mg/l o ppm)	Contenido en ART (mg/l o ppm)
Cloruros	500.00	105.14
Sulfatos	3,000.00	337.25
Álcalis	600.00	157.90
Sólidos totales por masa	50,000.00	815.00

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Según lo indicado en la tabla anterior, el contenido de estas sustancias en el agua residual tratada cumple con los límites establecidos según la norma.

4.2 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN AGREGADOS

4.2.1 Análisis Granulométrico

Las curvas obtenidas del ensayo granulométrico de los agregados finos (natural y reciclado) mostraron que el agregado fino natural cumple con el huso establecido por la norma, mientras que el agregado fino reciclado no cumplió con porcentaje de peso retenido en la malla N°100, puesto que se obtuvo 10.09% siendo 10.00% el valor máximo según el huso establecido por la norma.

Para el agregado grueso (natural) se seleccionó el huso 57, la curva obtenida del ensayo granulométrico estuvo contenida por completo en ese huso.

Según la NTP 400.010, los tamaños máximos y tamaños máximos nominales de los agregados finos (natural y reciclado) fueron 4.75 mm (malla N°4) y 2.38 mm (malla N°8), mientras que del agregado grueso fueron de 25.40 mm (1") y 19.05 mm (3/4").

El módulo de fineza del agregado fino natural fue 2.95, menor que el del agregado fino reciclado que fue de 3.04, por lo que este último tuvo un mayor contenido de finos.

A continuación, en la Figura 58, se compara las curvas obtenidas del ensayo granulométrico de los agregados finos natural y reciclado.

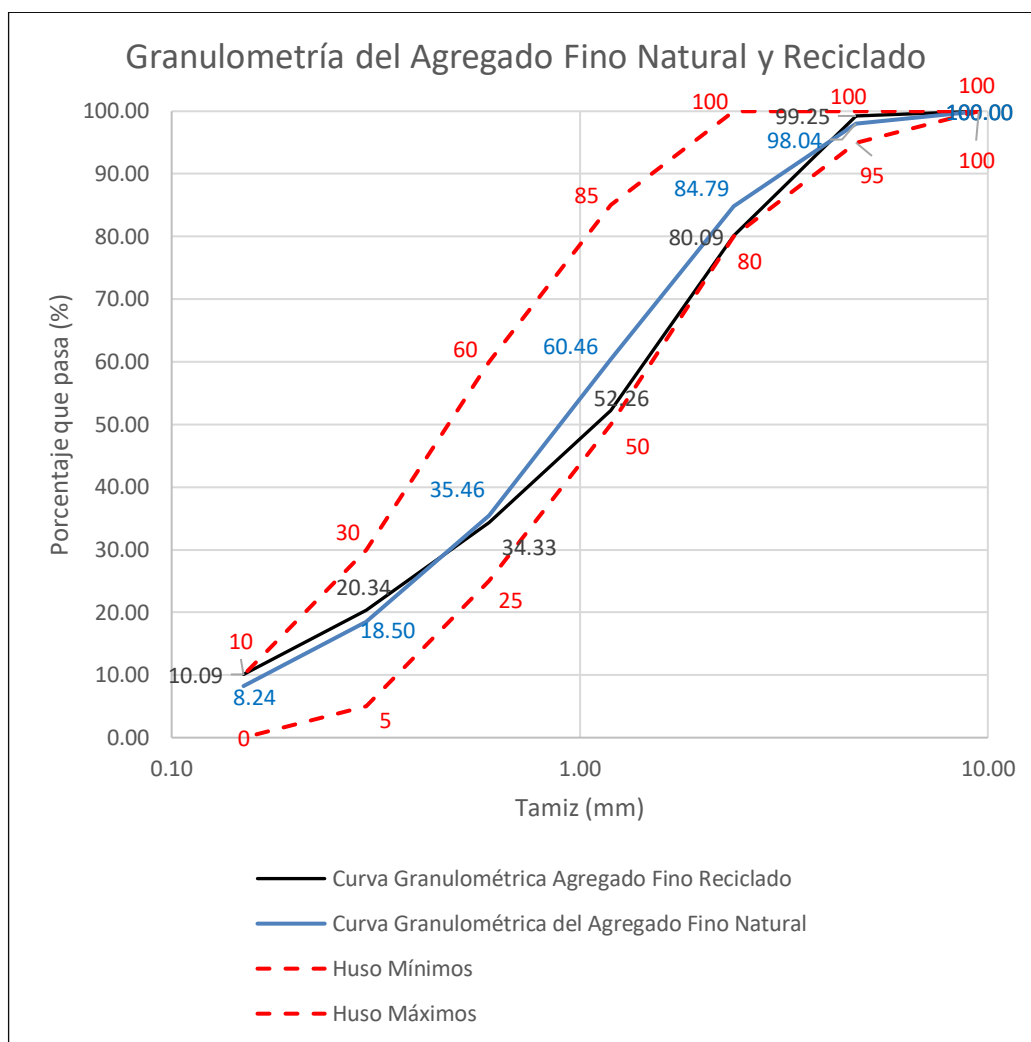


Figura 58 Curvas del ensayo granulométrico de los agregados finos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Peso Específico y Absorción

Los pesos específicos obtenidos para el agregado fino natural, el agregado fino reciclado y el agregado grueso fueron de 2.67 g/cm^3 , 2.51 g/cm^3 y 2.74 g/cm^3 . Por tanto, las partículas del agregado fino natural fueron más pesadas que las del agregado fino reciclado.

Los valores de absorción obtenidos para el agregado fino natural, el agregado fino reciclado y el agregado grueso fueron de 2.06%, 7.18% y 1.52%. Por tanto, la absorción del agregado fino reciclado fue casi 3.5 veces la del agregado fino natural.

4.2.3 Peso Unitario

Los pesos unitarios sueltos obtenidos para el agregado fino natural, el agregado fino reciclado y el agregado grueso fueron de 1710.71 kg/m³, 1407.14 kg/m³ y 1380.29 kg/m³. Mientras que los pesos unitarios compactados obtenidos para el agregado fino natural, el agregado fino reciclado y el agregado grueso fueron de 1858.33 kg/m³, 1479.76 kg/m³ y 1527.60 kg/m³.

Por tanto, el PUS y PUC del agregado fino natural fueron mayores que los del agregado fino reciclado en 21.57% y 25.58%.

4.2.4 Contenido de Humedad

Los valores de contenido de humedad obtenidos para el agregado fino natural, el agregado fino reciclado y el agregado grueso fueron de 1.96%, 7.24% y 1.37%. Por tanto, el contenido de humedad del agregado fino reciclado fue casi 3.7 veces la del agregado fino natural.

4.3 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

4.3.1 Asentamiento

La Tabla 59 muestra la variación de los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% (50%ART) y 100% (100%ART), respecto de sus diseños patrón (0%ART). El símbolo “Δ” hace referencia a una variación.

Tabla 59

Variación de los asentamientos.

Identificador	Asentamiento (")	Δ Asentamiento (%)
0.65-0%ART	3.3	100.00%
0.65-50%ART	3.9	118.18%
0.65-100%ART	4.9	148.48%
0.70-0%ART	3.2	100.00%
0.70-50%ART	4.8	150.00%
0.70-100%ART	6.1	190.63%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 59 se muestra la variación de los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

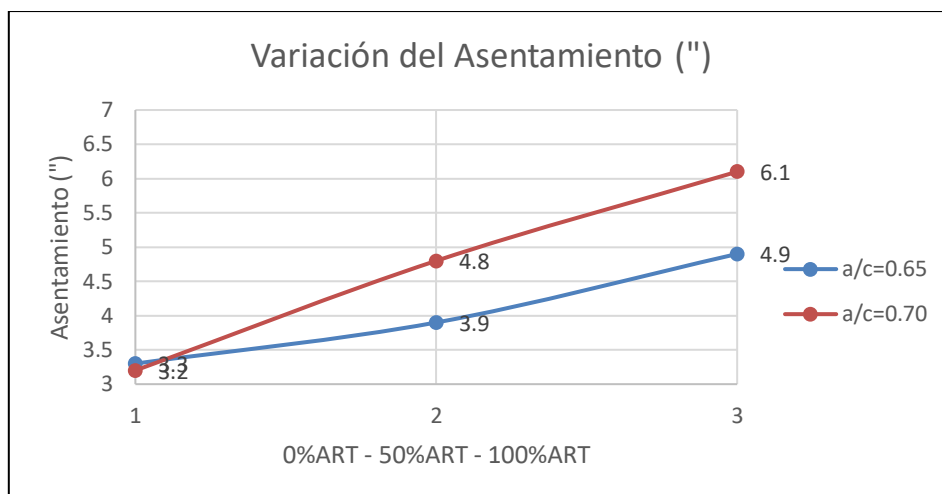


Figura 59 Variación del asentamiento (").

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, el asentamiento aumentaba.

En la Figura 60 se muestra la variación porcentual de los asentamientos de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

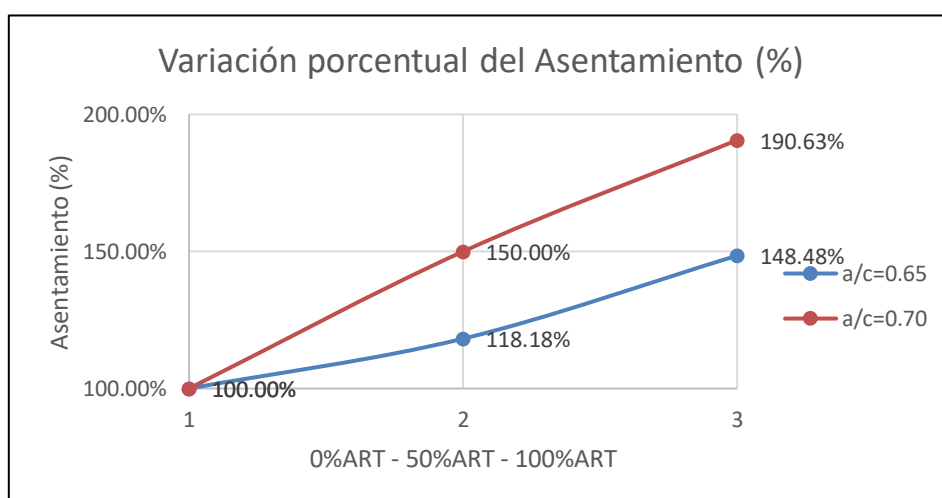


Figura 60 Variación porcentual del asentamiento (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el asentamiento aumentó en 50.00% y 90.63% para las mezclas con a/c de 0.65 y aumentó en 18.18% y 48.48% para las mezclas con a/c de 0.70.

Los resultados obtenidos indicaron que mientras mayor sea el reemplazo de agua potable por agua residual tratada, mayor será el asentamiento del concreto; lo cual podría darse por alguno de los componentes del agua residual tratada. Esto se obtuvo para las dos relaciones a/c con las que se trabajó (0.65 y 0.70); además de que para un reemplazo de agua potable por agua residual tratada de 50%, el asentamiento aumentó entre un 18% y un 48%; mientras que, para un reemplazo total de agua potable por agua residual tratada, el asentamiento aumentó entre un 48% y un 90%.

4.3.2 Peso Unitario

La Tabla 60 muestra la variación de los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% (50%ART) y 100% (100%ART), respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Tabla 60

Variación de los pesos unitarios.

Identificador	Peso unitario (kg/m ³)	Δ Peso unitario (%)
0.65-0%ART	1701.08	100.00%
0.65-50%ART	1683.87	98.99%
0.65-100%ART	1682.80	98.93%
0.70-0%ART	1676.34	100.00%
0.70-50%ART	1658.06	98.91%
0.70-100%ART	1652.69	98.59%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 61 se muestra la variación de los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

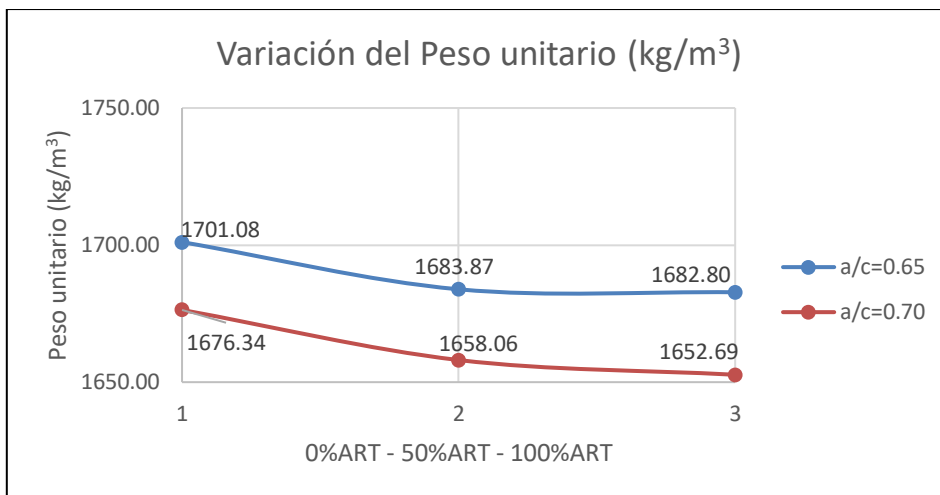


Figura 61 Variación del peso unitario (kg/m³).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, el peso unitario disminuía.

En la Figura 62 se muestra la variación porcentual de los pesos unitarios de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

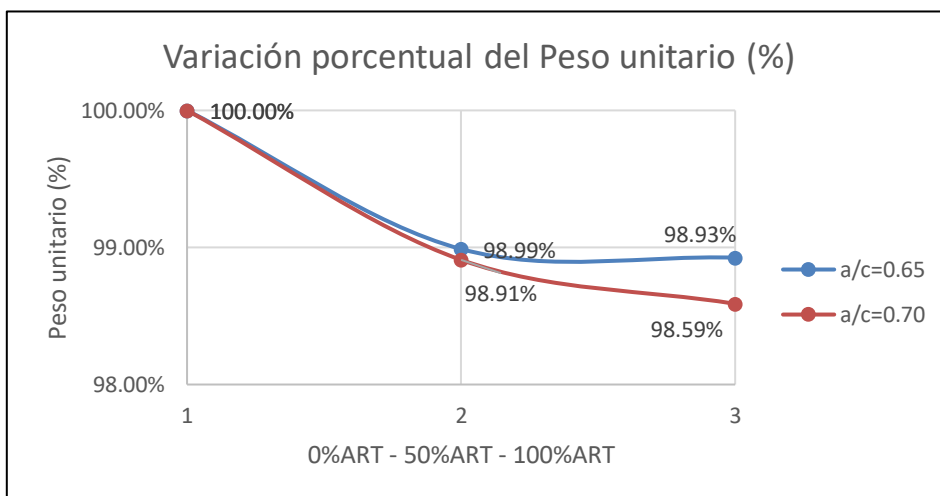


Figura 62 Variación porcentual del peso unitario (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el peso unitario disminuyó en 1.01% y 1.07% para las mezclas con a/c de 0.65 y disminuyó en 1.09% y 1.41% para las mezclas con a/c de 0.70.

Los resultados obtenidos indicaron que mientras mayor sea el reemplazo de agua potable por agua residual tratada, menor será el peso unitario del concreto, aunque la disminución no es significativa. Esto se obtuvo para las dos relaciones a/c con las que se trabajó (0.65 y 0.70) puesto que las disminuciones no llegaron ni a un 2% del valor inicial.

4.3.3 Contenido de Aire

La Tabla 61 muestra la variación de los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% (50%ART) y 100% (100%ART), respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Cabe mencionar que el aparato de ensayo, la olla de Washington, tomó medidas con una precisión de 0.1%.

Tabla 61

Variación de los contenidos de aire.

Identificador	Contenido de aire (%)	Δ Contenido de aire (%)
0.65-0%ART	1.45	100.00%
0.65-50%ART	1.10	75.86%
0.65-100%ART	0.85	58.62%
0.70-0%ART	3.80	100.00%
0.70-50%ART	3.00	78.95%
0.70-100%ART	2.45	64.47%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 63 se muestra la variación de los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

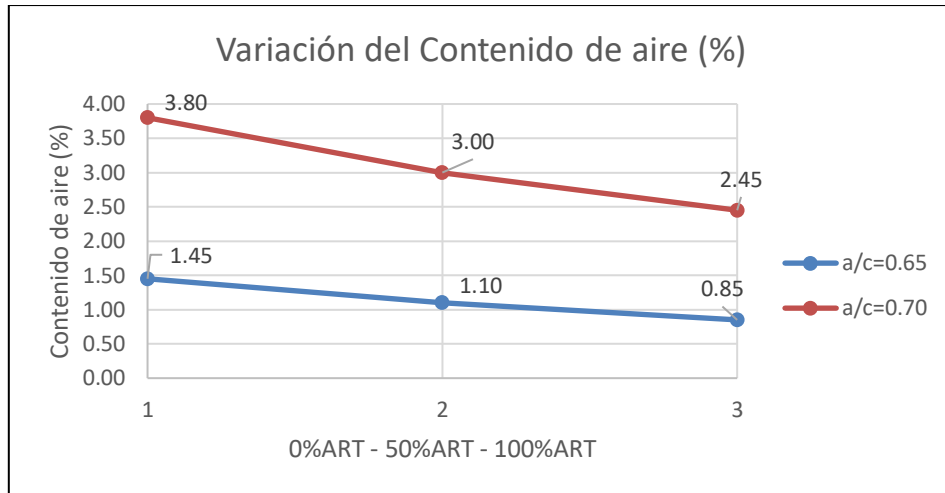


Figura 63 Variación del contenido de aire (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, el contenido de aire disminuía.

En la Figura 64 se muestra la variación porcentual de los contenidos de aire de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

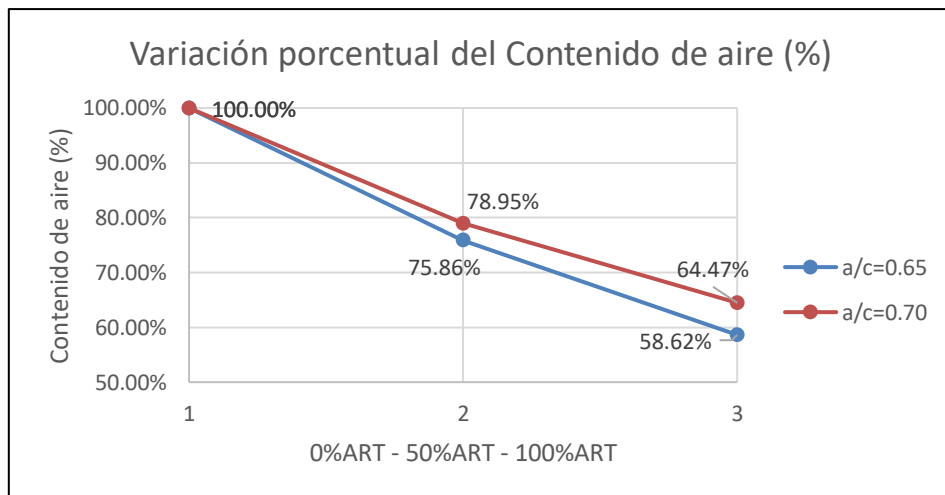


Figura 64 Variación porcentual del contenido de aire (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el contenido de aire disminuyó en 24.14% y 41.38% para las mezclas con a/c de 0.65 y disminuyó en 21.05% y 35.53% para las mezclas con a/c de 0.70.

Los resultados obtenidos indicaron que mientras mayor sea el reemplazo de agua potable por agua residual tratada, menor será el contenido de aire del concreto. Esto se obtuvo para las dos relaciones a/c con las que se trabajó (0.65 y 0.70); además de que para un reemplazo de agua potable por agua residual tratada de 50%, el asentamiento disminuyó entre un 24% y un 40%; mientras que, para un reemplazo total de agua potable por agua residual tratada, el asentamiento aumentó entre un 58% y un 65%.

Cabe mencionar que, en mezclas de concreto, una disminución del contenido de aire puede contribuir a que las resistencias se incrementen, puesto que el concreto resultante tendrá una menor cantidad de vacíos.

4.3.4 Tiempo de Fraguado

La Figura 65 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en las mezclas con a/c de 0.65.

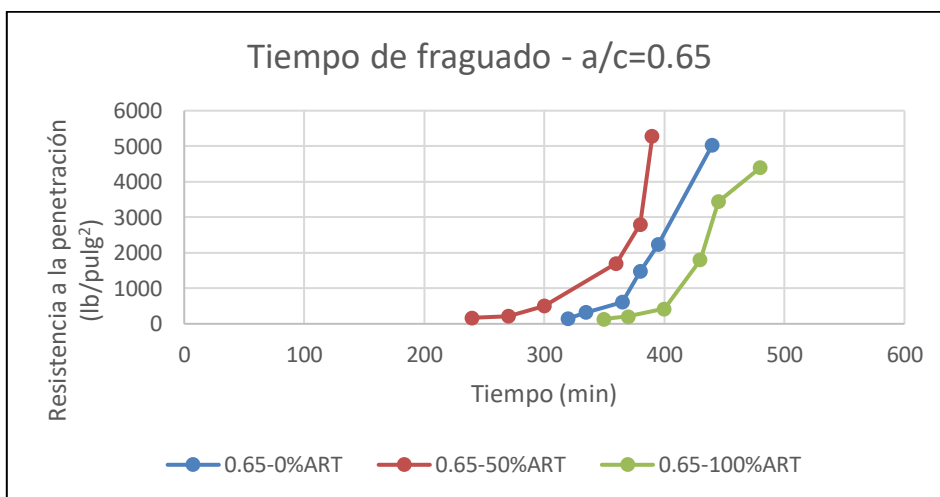


Figura 65 Tiempo de fraguado de mezclas con a/c de 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura anterior, para las mezclas con a/c de 0.65 no se encontró una tendencia definida; puesto que respecto a la mezcla con 0%ART, con 50%ART se obtuvo un tiempo de fraguado menor y con 100%ART se obtuvo un tiempo de fraguado mayor.

La Figura 66 muestra la gráfica de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado en las mezclas con a/c de 0.70.

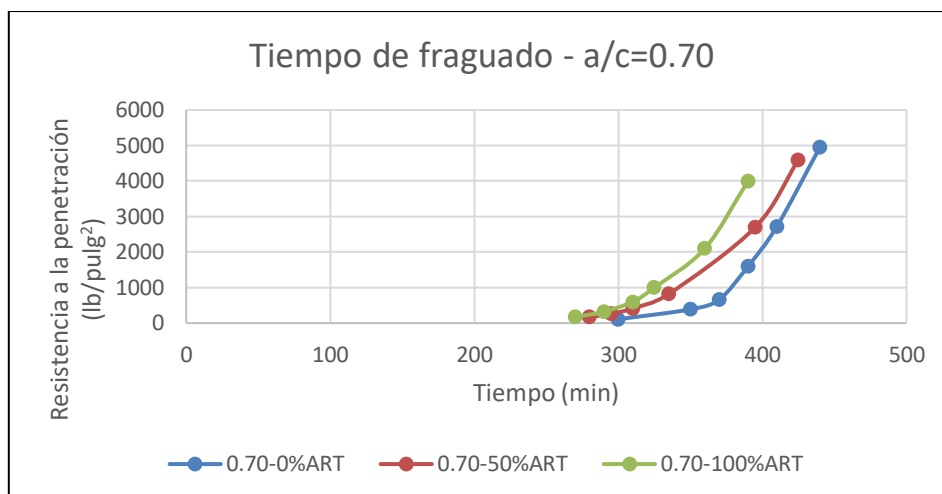


Figura 66 Tiempo de fraguado de mezclas con a/c de 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura anterior, para las mezclas con a/c de 0.70 si se encontró una tendencia definida; puesto que respecto a la mezcla con 0%ART, con 50%ART se obtuvo un tiempo de fraguado menor y con 100%ART se obtuvo un tiempo de fraguado aún menor.

La Tabla 62 muestra las variaciones porcentuales de los tiempos de fraguado (inicial y final) de las mezclas variante respecto de las mezclas patrón.

Tabla 62

Variación de los tiempos de fraguado.

Identificador	T.F. inicial (min)	Δ T.F. inicial (%)	T.F. final (min)	Δ T.F. final (%)
0.65-0%ART	353	100.00%	424	100.00%
0.65-50%ART	298	84.42%	390	91.98%
0.65-100%ART	396	112.18%	466	109.91%
0.70-0%ART	356	100.00%	429	100.00%
0.70-50%ART	321	90.17%	414	96.50%
0.70-100%ART	305	85.67%	385	89.74%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Según los valores obtenidos, para las mezclas con a/c de 0.65 no se encontró una tendencia definida frente al reemplazo de agua potable por agua residual tratada; mientras que para las mezclas con a/c de 0.70 se encontró que con un mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada el tiempo de fraguado disminuye.

Según la NTP 339.088:2021 el tiempo de fraguado de mezclas que no usen agua potable debió darse desde 60 min más temprano o hasta 90 min más

tarde respecto de mezclas que si usaron agua potable. Esto se cumplió para todas las mezclas (a/c de 0.65 y 0.70).

4.3.5 Temperatura

Tabla 63

Variación de las temperaturas.

Identificador	Temperatura (°C)	Δ Temperatura (%)
0.65-0%ART	25.80	100.00%
0.65-50%ART	24.10	93.41%
0.65-100%ART	23.80	92.25%
Identificador	Temperatura (°C)	Δ Temperatura (%)
0.70-0%ART	24.20	100.00%
0.70-50%ART	23.50	97.11%
0.70-100%ART	23.10	95.45%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 63 muestra la variación de las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% (50%ART) y 100% (100%ART), respecto de sus diseños patrón (0%ART). El aparato de ensayo tomó medidas con una precisión de 0.1°C.

En la Figura 67 se muestra la variación de las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

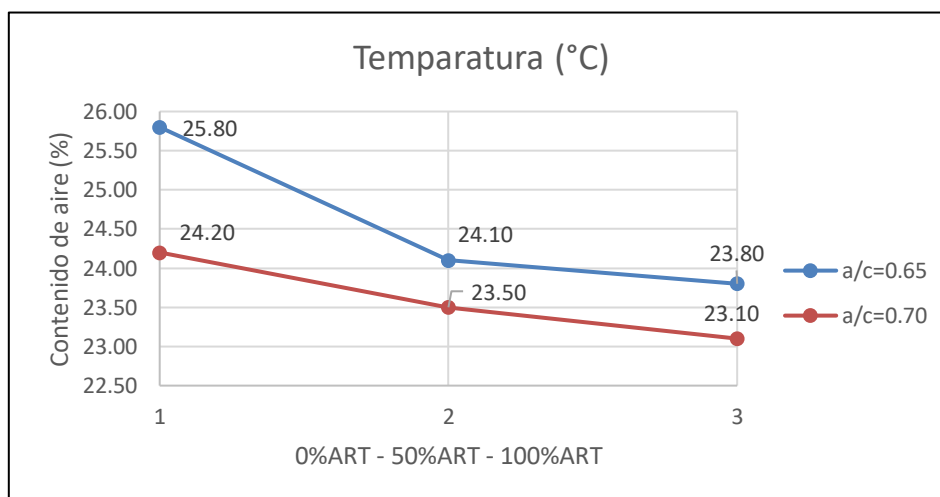


Figura 67 Variación de la temperatura (°C).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, la temperatura disminuía.

En la Figura 68 se muestra la variación porcentual de las temperaturas de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

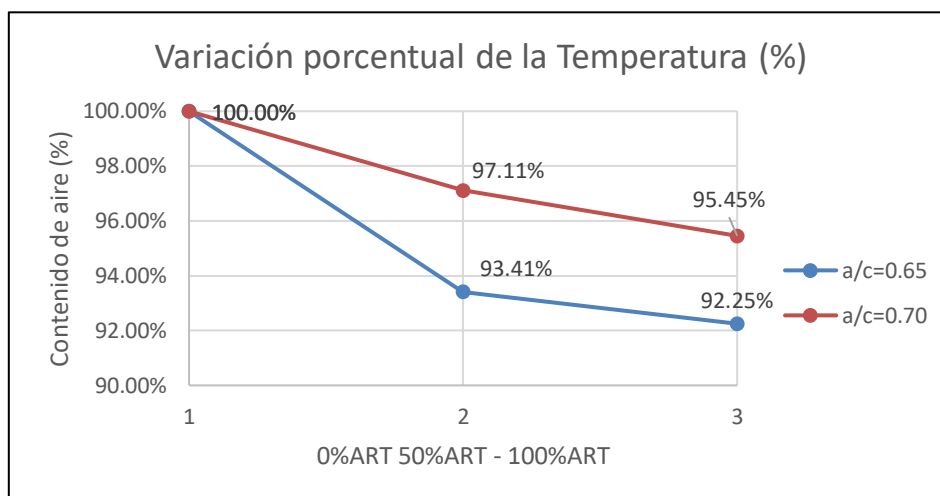


Figura 68 Variación porcentual de la temperatura (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la temperatura disminuyó en 6.59% y 7.75% para las mezclas con a/c de 0.65 y disminuyó en 2.89% y 4.55% para las mezclas con a/c de 0.70.

Tal como se mencionó en la sección 2.15, si se registraba un aumento de la temperatura de la mezcla, podría ser una señal de presencia orgánica; sin embargo, para ambas relaciones a/c se registró una disminución, aunque esta disminución no fue significativa porque el valor máximo obtenido tras el reemplazo total de agua potable por agua residual tratada en la mezcla con relación a/c de 0.65 fue de apenas 7%.

4.4 ANÁLISIS DE ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

4.4.1 Resistencia a Compresión

▪ Resistencia a compresión a 7 días

La Tabla 64 muestra la variación de las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Tabla 64

Variación de la resistencia a compresión a 7 días.

Identificador	f'c promedio (kgf/cm ²)	f'c promedio (%)
0.65-0%ART	229.8	100.00%
0.65-50%ART	224.9	97.90%
0.65-100%ART	224.0	97.50%
0.70-0%ART	227.6	100.00%
0.70-50%ART	206.9	90.87%
0.70-100%ART	201.7	88.59%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 69 se muestra la variación de las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

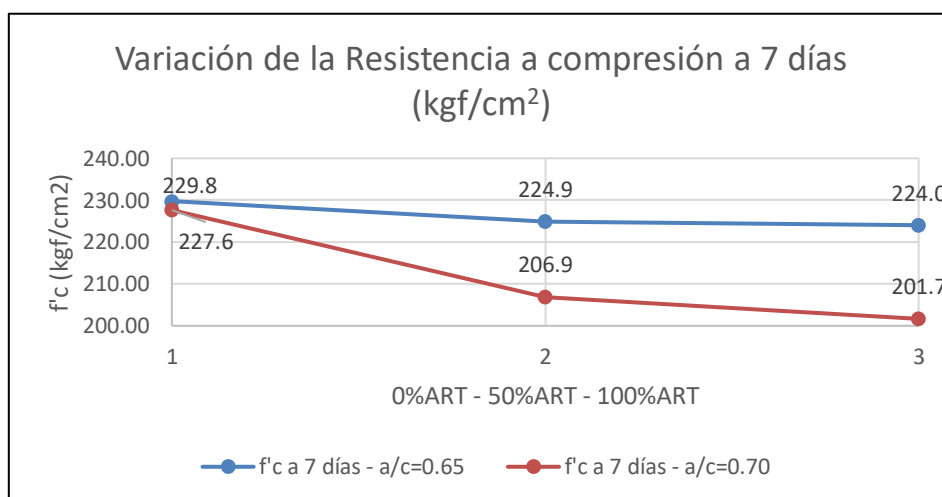


Figura 69 Variación de la resistencia a compresión a 7 días (kgf/cm²).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura también se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, la resistencia a compresión a 7 días disminuía.

En la Figura 70 se muestra la variación porcentual de las resistencias a compresión a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

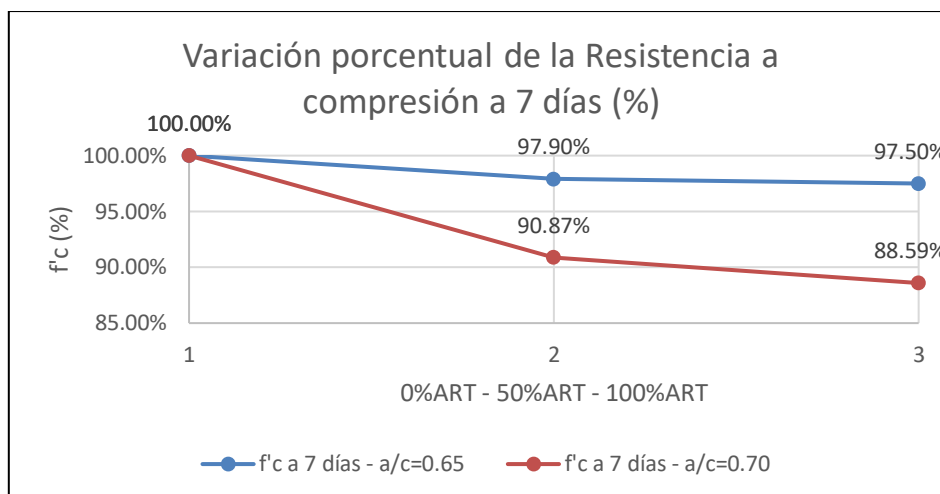


Figura 70 Variación porcentual de la resistencia a compresión a 7 días (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a compresión a 7 días disminuyó en 2.10% y 2.50% para las mezclas con a/c de 0.65 y disminuyó en 9.13% y 11.41% para las mezclas con a/c de 0.70.

Según la NTP 339.088:2021 la resistencia a compresión a 7 días de mezclas que no usen agua potable debió ser como mínimo el 90% de mezclas que si usaron agua potable. Esto se cumplió hasta un 50% de reemplazo de agua residual potable por agua residual tratada, para el reemplazo de 100% cumplió la mezcla con a/c de 0.65, pero no la mezcla con a/c de 0.70.

Esta disminución debe tener como causa raíz el uso de agua residual tratada, puesto que como ya se mencionó en la sección 2.18, el uso de agregado fino reciclado en mezclas de concreto se ha estudiado en algunas investigaciones, concluyendo que hasta un 50% de reemplazo por el agregado fino natural solo genera una disminución de hasta 6% en las resistencias (incluso registrándose en algunas investigaciones un aumento de las resistencias). Razón por la cual se eligió un concreto patrón que tuviera agregado fino reciclado en una cantidad fija de 50% de la cantidad total de agregado fino.

▪ Resistencia a compresión a 28 días

La Tabla 65 muestra la variación de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Tabla 65

Variación de la resistencia a compresión a 28 días.

Identificador	f'c promedio (kgf/cm ²)	f'c promedio (%)
0.65-0%ART	305.5	100.00%
0.65-50%ART	277.5	90.82%
0.65-100%ART	265.4	86.86%
0.70-0%ART	298.3	100.00%
0.70-50%ART	268.6	90.02%
0.70-100%ART	257.9	86.45%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 71 se muestra la variación de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

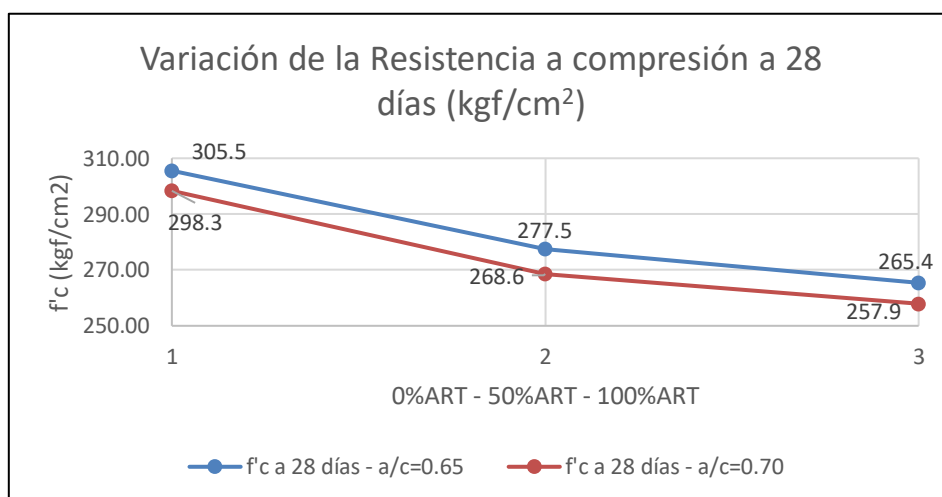


Figura 71 Variación de la resistencia a compresión a 28 días (kgf/cm²).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, la resistencia a compresión a 28 días disminuía.

En la Figura 72 se muestra la variación porcentual de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

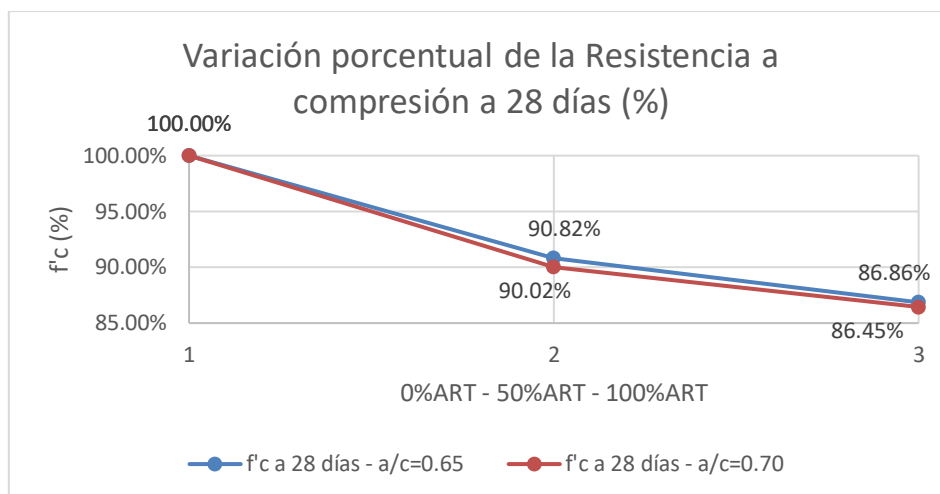


Figura 72 Variación porcentual de la resistencia a compresión a 28 días (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en 9.18% y 13.14% para las mezclas con a/c de 0.65 y disminuyó en 9.98% y 13.55% para las mezclas con a/c de 0.70.

4.4.2 Resistencia a Tracción

▪ Resistencia a tracción a 7 días

La Tabla 66 muestra la variación de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Tabla 66

Variación de la resistencia a tracción a 7 días.

Identificador	f't promedio (kgf/cm ²)	f't promedio (%)
0.65-0%ART	17.8	100.00%
0.65-50%ART	24.8	138.85%
0.65-100%ART	28.0	156.99%
Identificador	f't promedio (kgf/cm ²)	f't promedio (%)
0.70-0%ART	17.1	100.00%
0.70-50%ART	24.2	141.44%
0.70-100%ART	25.7	150.34%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 73 se muestra la variación de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

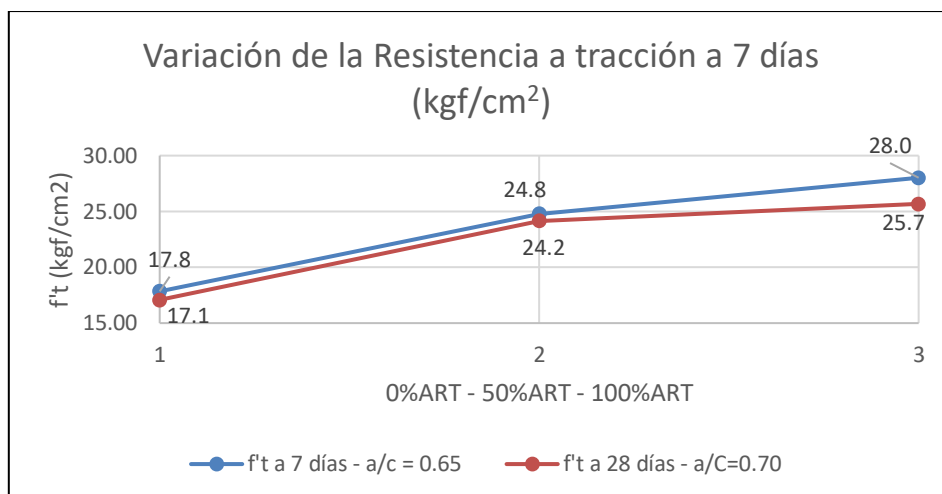


Figura 73 Variación de la resistencia a tracción a 7 días (kgf/cm²).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, la resistencia a tracción a 7 días aumentaba.

En la Figura 74 se muestra la variación porcentual de las resistencias a tracción a 7 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

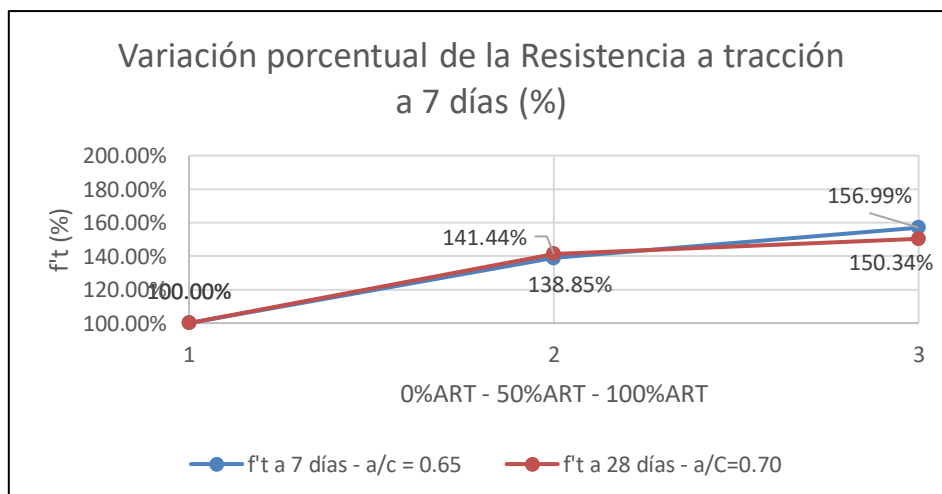


Figura 74 Variación porcentual de la resistencia a tracción a 7 días (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a tracción a 7 días aumentó en 38.85% y 56.99% para las mezclas con a/c de 0.65 y aumentó en 41.44% y 50.34% para las mezclas con a/c de 0.70.

▪ **Resistencia a tracción a 28 días**

La Tabla 67 muestra la variación de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70 al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

Tabla 67

Variación de la resistencia a tracción a 28 días.

Identificador	f't promedio (kgf/cm ²)	f't promedio (%)
0.65-0%ART	27.2	100.00%
0.65-50%ART	28.9	106.54%
0.65-100%ART	34.5	127.14%
0.70-0%ART	26.1	100.00%
0.70-50%ART	26.9	103.29%
0.70-100%ART	29.9	114.73%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 75 se muestra la variación de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

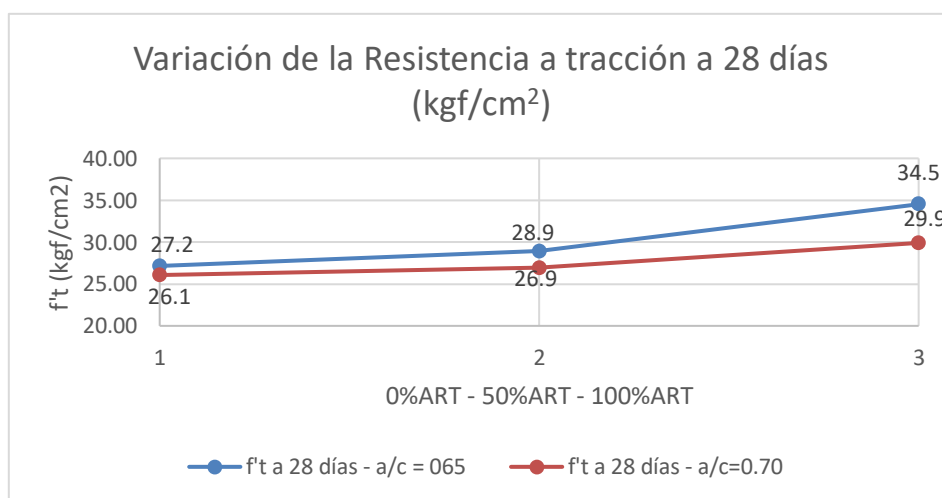


Figura 75 Variación de la resistencia a tracción a 28 días (kgf/cm²).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para las relaciones a/c de 0.65 y 0.70, a mayor reemplazo de agua potable por agua residual tratada, la resistencia a tracción a 28 días aumentaba.

En la Figura 76 se muestra la variación porcentual de las resistencias a tracción a 28 días de las mezclas con a/c de 0.65 y 0.70, respecto de sus diseños patrón (0%ART).

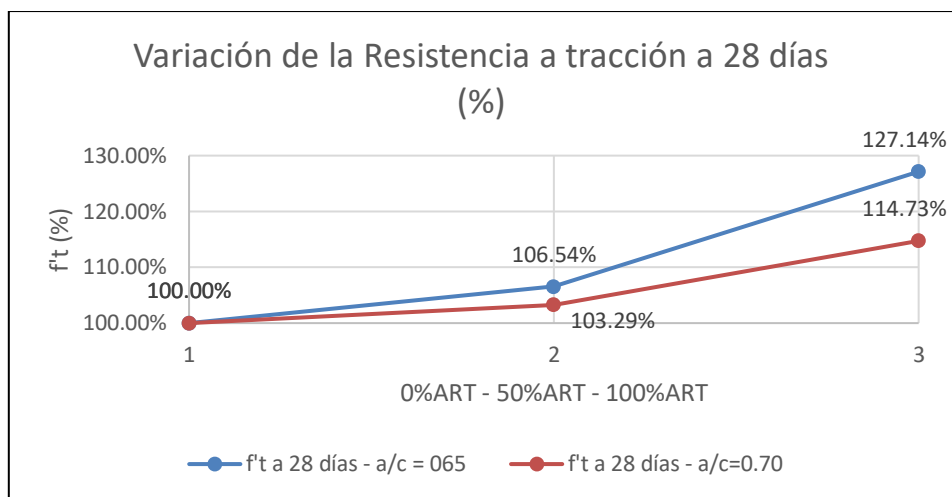


Figura 76 Variación porcentual de la resistencia a tracción a 28 días (%).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede ver que para los reemplazos de agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a tracción a 28 días aumentó en 6.54% y 27.14% para las mezclas con a/c de 0.65 y aumentó en 3.29% y 14.73% para las mezclas con a/c de 0.70.

De acuerdo a las referencias desarrolladas en la sección 2.19, se vio que, con el reemplazo de agua potable por agua residual tratada, si bien la resistencia tiende a disminuir, hay antecedentes donde se obtuvo que la resistencia a tracción aumentaba, aunque tanto los incrementos o disminuciones de resistencia no fueron muy considerables.

CONCLUSIONES

Los objetivos de la investigación se llegaron a cumplir puesto que se llegó a verificar si las características del agua residual tratada cumplen con la Norma Técnica Peruana relacionada al agua para mezcla de concreto, además de determinar el efecto del reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, en las propiedades físicas y mecánicas de concretos con agregado fino reciclado.

Se planteó una hipótesis para cada objetivo específico de la investigación. A continuación, se contrastará los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas.

- Hipótesis 1: “El agua residual tratada cumplirá con los límites máximos permisibles establecidos en la NTP 339.088:2021”

Resultado: Se cumplió la hipótesis. Tras los ensayos del agua residual tratada de CITRAR-UNI en LABICER-UNI, se comprobó que esta agua cumple con los parámetros dados por la NTP 339.088:2021 que trata acerca de los requisitos del agua para mezcla de concreto.

- Hipótesis 2: “El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto positivo en las propiedades físicas del concreto en estado fresco elaborado con agregado fino reciclado”

Resultado: Se cumplió la hipótesis. Si bien al preparar una mezcla de concreto, dependiendo del caso podría ser beneficioso que una propiedad disminuya o aumente, se puede realizar el siguiente análisis. El asentamiento aumentó, haciendo a la mezcla más trabajable; el contenido de aire disminuyó, por lo que se obtuvo una mezcla con menor cantidad de vacíos; además de que propiedades como peso unitario, tiempo de fraguado y temperatura no tuvieron grandes variaciones, pudiendo decir que se mantuvieron cercanas al valor de un concreto elaborado con agregado fino reciclado (con agua potable, sin agua residual tratada).

- Hipótesis 3: “El reemplazo de agua potable por agua residual tratada, en porcentajes de 50% y 100%, causará un efecto negativo en las

propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido elaborado con agregado fino reciclado”

Resultado: Se cumplió parcialmente la hipótesis. Según los antecedentes, el uso de agregado fino reciclado tiende a disminuir (aunque en poca medida) las resistencias del concreto, y respecto al uso de agua residual tratada no se tenía una tendencia clara. Razón por la cual se escogió como hipótesis que el reemplazo de agua potable por agua residual tratada disminuiría las resistencias. Sin embargo, la resistencia de compresión disminuyó en 9.6% y 13.4% para los reemplazos de 50% y 100%; mientras que la resistencia a tracción aumentó en 4.9% y 20.9% para los reemplazos de 50% y 100%.

CONCLUSIONES DEL AGUA RESIDUAL TRATADA:

- El contenido de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos totales por masa en el agua residual tratada fue menor que el límite dado por la NTP 339.088:2021, por lo que cumple la norma.
- Si bien el agua residual tratada cumplió la NTP, mientras mayor fue el reemplazo por agua potable, la variación de las resistencias a compresión disminuyó y la tracción aumentó.

CONCLUSIONES DEL CONCRETO FRESCO:

- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el asentamiento aumentó en promedio 34.09% y 69.56%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el peso unitario disminuyó en promedio 1.05% y 1.24%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, el contenido de aire disminuyó en promedio 22.60% y 38.46%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, los tiempos de fraguado inicial y final disminuyeron 9.83% y 14.33% para la relación a/c de 0.70.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la temperatura disminuyó en promedio 4.74% y 6.15%.

CONCLUSIONES DEL CONCRETO ENDURECIDO:

- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a compresión a 7 días disminuyó en promedio 5.62% y 6.96%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en promedio 9.58% y 13.35%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a tracción a 7 días aumentó en promedio 40.15% y 53.67%.
- Al reemplazar agua potable por agua residual tratada en porcentajes de 50% y 100%, la resistencia a tracción a 28 días aumentó en promedio 4.92% y 20.94%.

CONCLUSIONES GENERALES:

- El agua residual tratada cumplió con los límites máximos permisibles establecidos en la NTP 339.088:2021.
- El asentamiento del concreto aumentó conforme mayor era el reemplazo de agua potable por agua residual tratada, por lo que se obtuvo un concreto de mayor trabajabilidad.
- El peso unitario, contenido de aire, tiempo de fraguado y temperatura del concreto disminuyeron conforme mayor era el reemplazo de agua potable por agua residual tratada. Al disminuir el contenido de aire se obtuvo un concreto que contuvo una menor cantidad de vacíos.
- La resistencia a compresión disminuyó conforme mayor era el reemplazo de agua potable por agua residual tratada.
- La resistencia a tracción aumentó conforme mayor era el reemplazo de agua potable por agua residual tratada.

RECOMENDACIONES

Tras el desarrollo del presente trabajo de investigación, respecto al tema tratado, se puede recomendar lo siguiente:

- Se recomienda realizar una investigación que analice las reacciones químicas que se producen en la elaboración de concreto con agua residual tratada, puesto que su uso hace que las resistencias a compresión y tracción varíen, aun cuando este tipo de agua cumple con la NTP.
- Para promover el reúso o reciclaje en la industria de la construcción se recomienda realizar investigaciones acerca del uso de agua residual tratada como agua de curado de especímenes de concreto.
- Se recomienda realizar investigaciones acerca de elementos prefabricados no estructurales donde los agregados y el agua usada para la conformación de la mezcla sean reciclados. Aumentando así la cantidad de componentes reciclados, colaborando a reducir el impacto negativo que produce la industria de la construcción.
- Se recomienda realizar una investigación acerca de los efectos que podría haber en los concretos elaborados con aditivos químicos cuando se use agua residual tratada como agua de mezcla, con la finalidad de conocer posibles los efectos en las propiedades del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Abanto, F. (2017). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- [2]. Aliaga, J. (2017). *Influencia del agua tratada sobre las propiedades físicas del concreto para las provincias de Concepción, Chupaca y Jauja* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana Los Andes <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/264>
- [3]. Caycho, T. y Espinoza, D. (2019). *Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año – 2019* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2726>
- [4]. Diario El Ágora. (9 de febrero de 2021). *Crece hasta el 50% las aguas residuales en el mundo*. <https://www.elagoradiario.com/agua/crecen-50-aguas-residuales-tratadas/>
- [5]. Escoque, H. (2021). *Influencia del concreto reciclado como agregado fino en las características mecánicas del concreto en la ciudad de Juliaca – 2021* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio de la Universidad César Vallejo https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73620/Escoque_HH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6]. GCCA (Asociación Global de Cemento y Concreto). (s.f.). *Consumo y Producción Responsables*. <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/the-un-sustainable-development-goals/sdg-12-responsible-consumption-and-production/>
- [7]. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*, sexta edición, Editorial: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V., México.
- [8]. INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones*. 5ª Edición, NTP 400.037.
- [9]. INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo*. 4ª Edición (NTP 400.012).

- [10]. INDECOPI. (2020). *AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. 4ª Edición* (NTP 400.021).
- [11]. INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Edición* (NTP 400.022).
- [12]. INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición* (NTP 339.185).
- [13]. INDECOPI. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 4ª Edición* (NTP 400.017).
- [14]. INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4ª Edición* (NTP 339.088).
- [15]. INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. 3ª Edición* (NTP 339.184).
- [16]. INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5ª Edición* (NTP 339.034).
- [17]. INDECOPI. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de Ensayo. 5ª Edición* (NTP 339.035).
- [18]. INDECOPI. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª Edición* (NTP 339.084).
- [19]. INDECOPI. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición* (NTP 339.046).
- [20]. INDECOPI. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Edición* (NTP 339.082).
- [21]. Kou, S., Poon, C. y Wan, H. (2012). Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 36, 881-889.

- [22]. Medina, A. (2022). *Influencia de la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado, en las propiedades mecánicas a compresión y flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ – Abancay 2021* [Tesis de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Repositorio digital institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/342>
- [23]. MINAM (Ministerio del Ambiente). (s.f.). *Tratamiento y reúso de agua residuales*. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- [24]. Naik, T., Dhir, R., Dyer, T. y Newlands, M. (2005). *Sustainability of the cement and concrete industries: Sustainable construction materials and Technologies*, 141-150. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1680/asic.34044.0017>
- [25]. Ponce, C. (2014). *Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I* [Tesis de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3643>
- [26]. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal. (2020). *Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México (PROY-NADF-007-RNAT-2019)*.
- [27]. SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). (8 de junio de 2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020*. <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>
- [28]. Urbina, E. (2019). *Efecto del agregado fino reciclado en las propiedades del concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$* [Tesis de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2086>
- [29]. Verde, S. y Aranibar, A. (2021). *Propuesta del uso de agua residual de las plantas de tratamiento de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara para elaboración de concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y disminución del uso de agua potable en Lima Metropolitana* [Tesis de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Repositorio académico de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/658495?locale-attribute=es>

ANEXOS

ANEXO N°01: FICHA TÉCNICA DEL AGREGADO FINO RECICLADO.





PRODUCTO	Agregado G / Arena gruesa
CARACTERÍSTICAS	Agregado Ecológico Grueso. Obtenido por la trituración artificial de material reciclado (gravas, concreto). Muy importante para la elaboración del concreto. Ideal para la construcción
PESO	Saco de 33 Kg / A pedido por metro cúbico (m ³)
COLOR	Marrón
USO Y APLICACIONES	Ideal como agregado para solados, falsas zapatas, sobrecimientos, falso piso, entrepisos, veredas, muros de contención, mejoramiento de sub base, mejoramiento de base y pavimentos, entre otros
TIPO	Áridos a granel

ANEXO N°02: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO TIPO I SOL.

CEMENTO SOL


FICHA TÉCNICA /

CEMENTO SOL

DESCRIPCIÓN:

- Es un cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de clínker y yeso.

BENEFICIOS:

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en shotcrete.
- Excelente desarrollo en resistencias a la compresión.
- Buena trabajabilidad.

USOS:

- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:





- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- Bolsas de 42.5 kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y big bags.



ANEXO N°03: INFORME TÉCNICO DE RESULTADOS AL AGUA RESIDUAL TRATADA.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE CIENCIAS LABORATORIO LABICER ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN																						
INFORME TÉCNICO N° 0317 – 23 – LABICER																							
1. DATOS DEL CLIENTE																							
1.1	NOMBRE / RAZÓN SOCIAL	: WINS MEL COMETIVOS CLAUDIO																					
1.2	D.N.I / R.U.C.	: 46606058																					
1.3	DIRECCIÓN	: -																					
2. CRONOGRAMA DE FECHAS																							
2.1	FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: 13 / 03 / 2023																					
2.2	FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO	: 21 / 03 / 2023																					
2.3	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	: 27 / 03 / 2023																					
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE AGUA																							
4. DATOS DE LA MUESTRA																							
4.1	TIPO DE MUESTRA	: AGUA																					
4.2	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	: 01 MUESTRA DE AGUA																					
4.3	DESCRIPCIÓN	: TÍTULO DE TESIS																					
		: "EFECTO DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN LAS PROPIEDADES DE CONCRETO CON AGREGADO FINO RECICLADO, A/C 0.65 Y 0.70"																					
4.4	OBSERVACIONES (SI APLICA)	: --																					
5. LUGAR DE RECEPCIÓN Y ANÁLISIS : LABORATORIO LABICER - UNI																							
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 22.6 °C; Humedad relativa: 59%																							
7. RESULTADOS																							
<table border="1"><thead><tr><th>PARÁMETRO</th><th>RESULTADOS</th><th>UNIDADES</th><th>MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾</th></tr></thead><tbody><tr><td>Cloruros solubles (Cl⁻)</td><td>105.14</td><td>mg/L</td><td>NTP 214.021</td></tr><tr><td>Sulfatos solubles (SO₄²⁻)</td><td>337.25</td><td>mg/L</td><td>NTP 214.023</td></tr><tr><td>Total de sólidos disueltos (TSD)</td><td>815.00</td><td>mg/L</td><td>NTP 339.152</td></tr><tr><td>Álcalis (Na₂O + K₂O)</td><td>157.90</td><td>ppm</td><td>ASTM C114</td></tr></tbody></table>				PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾	Cloruros solubles (Cl ⁻)	105.14	mg/L	NTP 214.021	Sulfatos solubles (SO ₄ ²⁻)	337.25	mg/L	NTP 214.023	Total de sólidos disueltos (TSD)	815.00	mg/L	NTP 339.152	Álcalis (Na ₂ O + K ₂ O)	157.90	ppm	ASTM C114
PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾																				
Cloruros solubles (Cl ⁻)	105.14	mg/L	NTP 214.021																				
Sulfatos solubles (SO ₄ ²⁻)	337.25	mg/L	NTP 214.023																				
Total de sólidos disueltos (TSD)	815.00	mg/L	NTP 339.152																				
Álcalis (Na ₂ O + K ₂ O)	157.90	ppm	ASTM C114																				
<small>(1) Método de ensayo de referencia o técnica aceptada por el cliente.</small>																							
8. VALIDEZ DEL INFORME DE ENSAYO																							
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas, descrita(s) en el ítem 4 del presente documento.																							
 Bach. Natálie Quispe G. Analista LABICER - UNI		 M.Sc. Ily Mariú Maza Mejía Jefe de Laboratorio CQP 1149																					
NOTAS:																							
1. LABICER-UNI no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.																							
2. LABICER-UNI no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, incluidos en los ítems 1 y del 4.1 al 4.3 del presente documento.																							
3. Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.																							
4. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes.																							
INFORME DE ENSAYO N° 0317-23- LABICER		Página 1 de 1																					
<small>Prohibida la alteración o uso indebido del presente informe. Prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de LABICER-UNI. Av. Túpac Amaru 210, Rimac-Lima-Perú. Teléfonos: (511) 481 1070 Anexo: 5018 / (511) 382 0500. E-mail: labicer@uni.edu.pe</small>																							