

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA
RESISTENCIA ELABORADO CON AGUA RESIDUAL
TRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO I”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

EDSON VLADIMIR ROJAS MAMANI

ASESOR:

Mag. Ing. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN

Lima- Perú

2023

©2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

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

Rojas Mamani, Edson Vladimir

evrojasm@uni.pe

995321824

DEDICATORIA

A mi madre y mi padre por el cariño infinito y la fortaleza que me han brindado en el transcurso de mi carrera y en la elaboración de la presente tesis.

A mis hermanos y mi enamorada por darme los ánimos y estar pendientes de cada uno de mis logros y desaciertos, por ser consejeros y confidentes.

A mi alma mater por la buena enseñanza brindada y por la cálida acogida que me brindo durante todo mi proceso formativo como profesional ético y capacitado.

A mis maestros que siempre buscaron hacer de cada estudiante UNI un orgullo para el país, enseñando sus valiosos conocimientos y formando a través de cada una de las generaciones profesionales con sólidos principios y valores.

AGRADECIMIENTO

Al Mag. Ing. Max Huaynalaya, por toda la paciencia, asesoría, enseñanza y el tiempo brindado en el desarrollo de la presente tesis.

A los encargados y técnicos del Laboratorio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los cuales me brindaron el uso de sus instalaciones además de un acompañamiento técnico con el cual pude realizar cada uno de los ensayos realizados en la presente tesis.

A los encargados y técnicos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes me brindaron las instalaciones y el conocimiento técnico para desarrollar los ensayos realizados en la presente tesis.

A los encargados de CITRAR UNI, por brindarme el uso del agua residual tratado para la elaboración de la presente tesis.

A mi familia por ser el constante motor y motivo para cumplir cada uno de mis propósitos, por brindarme esa fortaleza y por su apoyo continuo en cada una de mis decisiones.

A la comunidad LEM UNI que formamos con diferentes tesis ya que me facilitaron información y contactos necesarios para culminar satisfactoriamente la presente tesis.

A mis amigos que siempre me tendieron la mano y me apoyaron en el transcurso de mi carrera.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme acogido durante toda mi formación académica.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE IMÁGENES	12
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 ANTECEDENTES	16
1.1.1 Antecedentes Internacionales.....	16
1.1.2 Antecedentes Nacionales	17
1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	18
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3.1 Problema general	19
1.3.2 Problemas específicos.....	19
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.	19
1.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	20
1.5.1 Hipótesis General.....	20
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	21
2.1 EL CONCRETO.....	21
2.1.1 Concretos de alta resistencia.....	21
2.2 EL CEMENTO	22
2.3 AGREGADOS	22

2.3.1	Clasificación de los agregados	23
2.3.2	Propiedades de los agregados	23
2.4	AGUA.....	26
2.5	PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	26
2.5.1	Propiedades del concreto en estado fresco	26
2.5.2	Propiedades del concreto en estado endurecido	27
CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....		29
3.1	CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO	29
3.1.1	Cemento usado en la investigación	29
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	29
3.2.1	Resumen de las características generales de los agregados	29
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.....	32
3.3.1	Agua usada para la investigación	32
CAPÍTULO IV: AGUA PARA EL CONCRETO.....		33
4.1	EL AGUA.....	33
4.1.1	Definición.....	33
4.1.2	Ciclos del Agua.....	33
4.1.3	Tipos de agua.....	36
4.2	CALIDAD DEL AGUA.....	37
4.2.1	Calidad del agua potable	37
4.2.2	Calidad del agua residual tratada	37
4.3	EL AGUA PARA EL USO DEL CONCRETO	38
4.3.1	Definición.....	38
4.3.2	Importancia y beneficios del agua en el concreto	38
4.3.3	Calidad del agua para el concreto	39
4.3.4	Efecto de las impurezas sobre las propiedades del concreto.....	42
CAPÍTULO V: USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....		45
5.1	AGUA RESIDUAL TRATADA (ART).....	45

5.1.1	Definición.....	45
5.1.2	Planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR.....	45
5.1.3	Características del agua residual tratada.....	48
5.1.4	Beneficios del ART al medio ambiente	49
5.2	USO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (ART)	50
5.2.1	Definición.....	50
5.2.2	Déficit hídrico.....	50
5.2.3	Usos del ART	52
5.2.4	El ART en el concreto.....	57
5.3	PROCESO DE FILTRADO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (AF) ...	58
CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLAS		59
6.1	GENERALIDADES	59
6.2	MÉTODO DE DISEÑO	59
6.3	DISEÑO DE CONCRETO PATRÓN.....	59
6.4	DISEÑO DE CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA.....	65
6.5	DISEÑO DE CONCRETO CON AGUA FILTRADA.....	65
CAPÍTULO VII: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....		66
CAPÍTULO VIII: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....		68
CAPÍTULO IX: CUADRO DE RESULTADOS Y GRÁFICOS		70
9.1	AGREGADOS	70
9.1.1	Granulometría	70
9.2	AGUA DE MEZCLA.....	73
9.3	CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	73
9.3.1	Consistencia.....	74
9.3.2	Fluidez.....	74
9.3.3	Exudación.....	75
9.3.4	Peso unitario	76
9.3.5	Contenido de aire	76

9.3.6	Tiempo de fraguado	77
9.3.7	Temperatura	78
9.4	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	79
9.4.1	Resistencia a la compresión	79
9.4.2	Resistencia a tracción - compresión diametral.....	85
CAPÍTULO X: ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS		86
10.1	AGREGADOS	86
10.1.1	Agregado fino	86
10.1.2	Agregado grueso	86
10.1.3	Agregado global	86
10.2	AGUA PARA LA MEZCLA	86
10.3	CONCRETO EN ESTADO FRESCO	87
10.3.1	Consistencia	87
10.3.2	Fluidez.....	87
10.3.3	Exudación.....	88
10.3.4	Peso Unitario.....	88
10.3.5	Contenido de aire	88
10.3.6	Tiempo de fraguado	89
10.3.7	Temperatura.....	90
10.4	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	90
10.4.1	Resistencia a la Compresión	90
10.4.2	Resistencia a la tracción – compresión diametral	92
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES.....		96
BIBLIOGRAFÍA		97
ANEXOS		104

RESUMEN

En diversas partes del Perú, el agua es un recurso escaso, donde la demanda supera la oferta y esto conlleva a la competencia por el acceso a este recurso para su uso en diferentes sectores, siendo el sector de la construcción el principal consumidor. Por ello, existen investigaciones, que buscan otras fuentes de recurso hídrico alternativas, con el fin de racionalizar su uso.

En el mundo, el 80% de aguas residuales son vertidas al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. En Perú, el 68% de aguas residuales no recibe ningún tipo de tratamiento, generando problemas a la salud pública y el medio ambiente.

En base a ello, el presente estudio plantea convertir el agua residual tratada (ART) en una fuente alternativa de recurso hídrico, elaborando concreto de mediana a alta resistencia usando ART (para relaciones agua/cemento de 0.55, 0.50 y 0.45) y determinar la factibilidad de su uso por medio de ensayos experimentales. Además, se evaluó la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido para el concreto patrón elaborado con agua potable, el concreto elaborado con 100% de ART y el concreto de 50% de ART y 50% agua potable.

Respecto a las propiedades del concreto en estado fresco, los concretos con 50% ART y 100% ART, presentan mayores asentamientos y exudaciones, respecto al concreto patrón, además, no evidencian variación respecto al contenido de aire y peso unitario. Respecto al tiempo de fraguado, el concreto con 100% ART presenta mayores valores y el concreto con 50% ART, valores ligeramente mayores respecto al concreto patrón, estableciendo comportamientos ligeramente retardantes, producto de la materia orgánica del ART debido a concentraciones mayores a los Límites Máximos Permisibles.

La variación de la resistencia a la compresión del concreto con 50% ART y 100% ART es menor al 5% y la variación de la resistencia a compresión diametral es en promedio menor a 7% respecto al concreto patrón y a medida que se reduce la relación a/c se observa menor variación.

Finalmente, se realizó un proceso de tratamiento para disminuir las concentraciones de materia orgánica y sedimentos, por medio del proceso de filtración obteniéndose agua filtrada (AF) con menor concentración de materia orgánica y como resultado valores de resistencia promedio menores al 3% respecto al concreto patrón.

ABSTRACT

In various parts of Peru, water is a scarce resource, where demand exceeds supply and this leads to competition for access to this resource for use in different sectors, with the construction sector being the main consumer. For this reason, there is research that seeks other alternative sources of water resources in order to rationalize its use.

In the world, 80% of wastewater is discharged into the environment without adequate treatment. In Peru, 68% of wastewater does not receive any type of treatment, generating problems for public health and the environment.

Based on this, the present study proposes to convert treated wastewater (ART) into an alternative source of water resources, making medium to high-strength concrete using ART (for water/cement ratios of 0.55, 0.50 and 0.45) and determining the feasibility of its use by means of experimental trials. In addition, the variation of concrete properties in the fresh and hardened state was evaluated for the standard concrete made with potable water, the concrete made with 100% ART, and the concrete made with 50% ART and 50% potable water.

Regarding the properties of fresh concrete, the 50% ART and 100% ART concretes presented higher slump and exudation, with respect to the standard concrete, and did not show any variation in air content and unit weight. Regarding the setting time, the concrete with 100% ART presents higher values and the concrete with 50% ART, slightly higher values compared to the standard concrete, establishing slightly retarding behaviors, product of the organic matter of the ART due to concentrations higher than the Maximum Permissible Limits.

The variation of the compressive strength of the concrete with 50% ART and 100% ART is less than 5% and the variation of the diametral compressive strength is on average less than 7% with respect to the standard concrete, and as the w/c ratio is reduced, less variation is observed.

Finally, a treatment process was carried out to reduce the concentrations of organic matter and sediments by means of the filtration process, obtaining filtered water (AF) with a lower concentration of organic matter and as a result, average resistance values of less than 3% with respect to the standard concrete.

PRÓLOGO

El agua es un material importante en la elaboración de concreto al igual que el cemento, ya que participa en la formación de un gel o pasta de cemento a través de una reacción química. Tal aglutinante llena los espacios vacíos y recubre la superficie de los agregados uniéndolos mientras se realiza el proceso del fraguado, formando una masa compacta endurecida a lo largo del tiempo (edad).

Además, el tipo de agua empleado en la elaboración del concreto influye en las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido, siendo los componentes y sustancias químicas presentes en el agua las que generarían diversos resultados para un mismo diseño de mezcla.

El tipo de agua empleado en la elaboración de concreto puede ser natural (usado en obras alejadas de la ciudad) y potable (usado en obras cerca de un centro poblado); no obstante, también es factible el uso de aguas tratadas que buscan una calidad y un uso específico, como es las aguas residuales tratadas, procedentes de una PTAR.

La presente investigación plantea el uso del Agua Residual Tratada como una fuente alternativa de recurso hídrico, utilizándolo en la elaboración de concreto. Para esto, se estudió la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido usando agua residual tratada en proporciones de 50% y 100% en reemplazo del agua potable, a fin de conservar, ampliar y liberar recursos de agua de calidad (agua potable) para otros usos y contar en un futuro con otras fuentes de agua en la elaboración de concreto, asimismo se busca contribuir a la sostenibilidad en el uso de este recurso vital y cooperar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Mag. Ing. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN

Asesor

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de las características del agregado fino.	30
Cuadro 2. Resumen de las características del agregado grueso.	31
Cuadro 3. Resumen de características los diferentes tipos de agua usado en la investigación.	32
Cuadro 4. Parámetros de calidad organoléptica.	40
Cuadro 5. Requisitos de calidad de agua establecidos en la NTP 339.088.....	41
Cuadro 6. Requisitos de normas internacionales, agua para el concreto. Unidades en p.p.m.	41
Cuadro 7. Criterios de aceptación para fuentes de agua.	42
Cuadro 8. Límites y efecto de sustancias sobre las propiedades del concreto...	43
Cuadro 9. Usos del agua residual tratada.	52
Cuadro 10. Usos del ART en el mundo.....	52
Cuadro 11. Reglas y/o regulaciones de la EPA para la reutilización de ART.	55
Cuadro 12. Efecto de sustancias del ART sobre las propiedades del concreto..	57
Cuadro 13. P.U.C. de la combinación de agregado fino y grueso.	60
Cuadro 14. Porcentaje de agregados y P.U.C. máx.....	60
Cuadro 15. Resistencias a la compresión (14 días) para un a/c de 0.45, variación del P.U.C.máx. en más, menos 3%.....	62
Cuadro 16. Porcentaje de agregados y resistencia compresión máxima para un a/c de 0.45. Elaboración Propia.....	62
Cuadro 17. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.45.....	63
Cuadro 18. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.50.....	64
Cuadro 19. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.55.....	64
Cuadro 20. Resumen de propiedades del concreto patrón en estado fresco.	66
Cuadro 21. Resumen de propiedades del concreto con 50% ART en estado fresco.	66
Cuadro 22. Resumen de propiedades del concreto con 100% ART en estado fresco.	67
Cuadro 23. Resumen de propiedades del concreto patrón en estado endurecido.	68
Cuadro 24. Resumen de propiedades del concreto con 50% ART en estado endurecido.	68

Cuadro 25. Resumen de propiedades del concreto con 100% ART en estado endurecido.	69
Cuadro 26. Granulometría de la arena.....	70
Cuadro 27. Granulometría de la piedra.....	71
Cuadro 28. Granulometría de la arena.....	72
Cuadro 29. Comparación de parámetros de los diferentes tipos de agua, empleados para la elaboración de concreto.	73
Cuadro 30. Asignación de colores de los diferentes concretos elaborados según el tipo de agua empleado.	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Determinación de P.U.C. máx.	61
Gráfico 2. Superposición de graficas de P.U.C. - % de arena – resistencia a la compresión (14 días) para a/c de 0.45.	63
Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino – arena.	70
Gráfico 4. Curva granulométrica del agregado grueso – piedra.	71
Gráfico 5. Curva granulométrica del agregado global.	72
Gráfico 6. Asentamiento en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	74
Gráfico 7. Fluidez en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	74
Gráfico 8. Volumen de exudación acumulada en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	75
Gráfico 9. Porcentaje de exudación en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	75
Gráfico 10. Peso unitario en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	76
Gráfico 11. Contenido de aire en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	76
Gráfico 12. Tiempo de fragua en función (tipo de agua empleado, relación a/c, tiempo), agrupado por la relación a/c.	77
Gráfico 13. Tiempo de fragua en función (tipo de agua empleado, relación a/c, tiempo), agrupado por el tipo de agua empleado.	78
Gráfico 14. Temperatura función (tipo de agua empleado, relación a/c).	78
Gráfico 15. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.45.	79
Gráfico 16. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.50.	80
Gráfico 17. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.55.	80
Gráfico 18. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con AP.	81
Gráfico 19. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con 50% ART.	81
Gráfico 20. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con 100% ART.	82

Gráfico 21. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).....	83
Gráfico 22. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.45.	83
Gráfico 23. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.50.	84
Gráfico 24. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.55.	84
Gráfico 25. Resistencia a tracción - compresión diametral a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).....	85
Gráfico 26. Porcentaje de relación entre la resistencia a la tracción compresión diametral y resistencia a la compresión a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).	85

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1.	Ciclo del agua.	34
Imagen 2.	Ciclo urbano del agua.	35
Imagen 3.	Distribución de agua en la Tierra.....	36
Imagen 4.	Esquema del flujo contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado.....	47
Imagen 5.	Se presenta el 100% ART, 50% ART, AF (agua filtrada) y AP, asignándoles los diferentes colores, según a la calidad del agua..	49
Imagen 6.	<i>Proceso de filtración adicional al agua residual de tratamiento secundario</i>	58

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a/c	:	Relación de agua/cemento.
AP	:	Agua potable del Laboratorio Central de la Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones proveniente de SEDAPAL.
ART	:	Agua residual tratada proveniente de la laguna facultativa de tratamiento secundario de la (PTAR) del Centro de Investigaciones de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR - UNI).
100% ART	:	Reemplazo del 100% de AP en volumen en la elaboración de concreto por 100% de ART.
50% ART	:	Reemplazo del 100% de AP en volumen en la elaboración de concreto por la combinación de 50% de ART y 50% de AP.
AF	:	Agua Filtrada, obtenida de un proceso de filtración adicional realizado al ART.
PTAR	:	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PTAP	:	Planta de tratamiento de agua potable.
LMP	:	Límites máximo permisible.
ECA	:	Estándares de calidad ambiental.
EPA	:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
CSH	:	Silicato cálcico hidratado.
NTP	:	Norma técnica peruana.
EPS	:	Empresa prestadora de servicio de saneamiento.
O&M	:	Operación y mantenimiento.
MMC	:	Millones de metros cúbicos.
MGD	:	Millones de galones por día.
T.M.	:	Tamaño máximo.
T.M.N.	:	Tamaño máximo nominal.
PSA	:	Plan de seguridad del agua.

ACI	:	American Concrete Institute.
T.F.	:	Tiempo de fraguado.
%P	:	Porcentaje que pasa la malla N° 200.
%W	:	Contenido de humedad
CD	:	Compresión diametral
DBO _{5,20}	:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
VOCs	:	Compuestos orgánicos volátiles.
f'c	:	Resistencia a la compresión
J/g	:	Joule por gramo
kg/cm ²	:	Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado
mg/l	:	Miligramo por litro.
MF	:	Módulo de finura
mg/l	:	Miligramo por litro
ml	:	Mililitro.
µm	:	Micrómetro
µmho/cm	:	Micromho por centímetro
PL	:	Partículas ligeras
PU	:	Peso unitario
PUS	:	Peso unitario suelto
P.U.C	:	Peso unitario compactado
PE	:	Peso específico de masa
S.S.T.	:	Sólidos suspendidos totales
UCV	:	Unidad de color verdadero
Pt/Co	:	Platino - cobalto
UNT	:	Unidad nefelométrica de turbiedad
V _{ex}	:	Exudación
p.p.m.	:	Partes por millón.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad en diversas partes del mundo, el agua es un recurso hídrico escaso, ello conlleva a buscar otras fuentes de recursos hídrico-alternativos, que liberen el agua de calidad (agua potable), para otros usos o conservar y ampliar suministros de agua y buscar la sostenibilidad de tal recurso.

La presente investigación plantea el uso del agua residual como recurso hídrico alternativo en la elaboración de concretos de mediana a alta resistencia, a fin de determinar su viabilidad a través de comparaciones de propiedades en estado fresco y endurecido entre los concretos elaborados con 50% ART, 100% ART y el concreto patrón elaborado con agua potable.

Para ello la presente investigación es desarrollada en los siguientes capítulos: Capítulo II, introduce los conceptos teóricos de los componentes para la elaboración del concreto y las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido; el capítulo III, presenta las características físicas y químicas de los componentes usados en la elaboración de concreto; el capítulo IV, brinda el alcance del agua empleado en la elaboración del concreto, el ciclo natural y su modificación, los requisitos de calidad del agua para la elaboración de concreto en base a algunas normativas; el agua residual tratada y su efecto de impurezas sobre las propiedades del concreto; el capítulo V, presenta conceptos teóricos acerca del agua residual tratada, procesos de tratamiento, calidad y características del agua residual usada para la elaboración de concreto, usos del agua residual tratada y otros procesos de tratamiento de ART; el capítulo VI, presenta el procedimiento de diseño de mezcla realizada, para obtener las dosificaciones finales empleando agua potable, agua residual tratada y el agua filtrada; capítulo VII, presenta el resumen de resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco; capítulo VIII, presenta el resumen de resultados de los ensayos realizados al concreto en estado endurecido; capítulo IX, presenta todos los resultados y gráficos de los ensayos realizados a los agregados, al agua, al concreto en estado fresco y endurecido, además en base al concreto, variaciones de las relaciones de agua/cemento y empleo de los diferentes tipos de calidades de agua usada; el capítulo X, en base a los resultados y gráficos obtenidos, presenta las comparaciones y análisis de resultados. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación, asimismo, los anexos, dando un mayor alcance a los resultados de la investigación.

Respecto a investigaciones en varios países, sobre el uso del ART en la elaboración de concreto simple, demuestran que es posible obtener concreto de buena calidad utilizando para su elaboración ART en reemplazo de agua potable, inclusive casos en los cuales las resistencias fueron superiores al concreto elaborado con agua potable. En base a ello es necesario, ampliar la investigación de la afectación del ART en la elaboración de concretos de mediana a alta resistencia.

En vista a ello el propósito planteado por la presente investigación es evaluar la variación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto de mediana a alta resistencia elaborado con 100% ART y 50% ART, comparado respecto al concreto patrón elaborado con agua potable.

Debido a la amplitud de la investigación existen muchos temas pendientes por investigar, en este caso, no se analizó a profundidad los procesos ni métodos para disminuir las concentraciones de los componentes presentes en el ART que afecten las propiedades del concreto respecto al concreto patrón.

1.1 ANTECEDENTES

Los diferentes estudios realizados evalúan la variación de propiedades de concretos de baja a mediana resistencia usando diferentes calidades de agua residual tratada respecto al concreto patrón elaborado con agua potable.

Por otra parte, es preciso evaluar la variación de propiedades en estado fresco y endurecido del concreto empleando agua residual tratada en concretos de mediana a alta resistencia a fin de lograr un estudio completo de concretos elaborados con agua residual tratada. Si es factible, validaría la búsqueda de otras fuentes alternativas de agua en la elaboración de concreto, contribuyendo al desarrollo sostenible y a liberar agua de calidad (agua potable) para otros usos.

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Se muestra investigaciones realizadas:

- “Concreto confeccionado con aguas lluvia: un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción”.

Este estudio plantea el uso del agua de lluvia para la mezcla de concreto, a fin de evitar el consumo excesivo de este recurso, basándose en pruebas de laboratorio con el fin de validar el uso de aguas de lluvia en la

elaboración de concreto, se obtuvo como resultado que el concreto con agua de lluvia es idéntica al concreto convencional y no modifica su resistencia (Medina, 2013).

- “Comparación entre concretos elaborados con agua potable y concretos fabricados con agua residual tratada en Azcapotzalco”.

Este estudio evaluó la posibilidad de sustituir del agua potable en la elaboración de concreto, utilizando agua de diferentes PTAR; concluye que la mayoría de las muestras no presenta efectos negativos en resistencia a compresión, por el contrario, presenta incrementos entre el 10% a 40% a 28 días. (Vásquez et. al, 2001).

- “Los efectos en la resistencia de concreto simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) Cañaveralejo”.

Este estudio realizó una comparación entre muestras elaboradas con agua residual tratada y muestras realizadas con agua potable. La resistencia de la muestra elaborada con agua residual tratada diluida al 50% con agua potable alcanzó un 100% de resistencia a los 28 días respecto a muestras con agua potable (muestra patrón), la muestra elaborada con 100% de agua residual tratada obtuvo resistencia de 90% a 28 días, respectivamente. El agua residual tratada diluida evidencia un potencial uso a futuro. (Calderón y Cerón, 2016).

1.1.2 Antecedentes Nacionales

- “Análisis de las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia elaborado con agua residual tratada”.

En este estudio se elaboró concreto con agua residual tratada – tratamiento primario (ART-1) y agua residual – tratamiento secundario (ART-2), el ART fue procedente de la PTAR de CITRAR – UNI. Se estudió las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido respecto al concreto con agua potable. Como resultado el concreto con ART presenta incrementos de asentamiento, tiempo de fraguado y disminución de valores de compresión axial respecto al concreto patrón (Sáenz, 2021).

1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La industria de la construcción es un importante consumidor de grandes cantidades de materiales como el agua (Naik, 2007).

El Perú tiene un gran desafío respecto a la disponibilidad hídrica y la distribución de su población, se sabe que la Región Hidrográfica del Atlántico tiene el 97.7% de disponibilidad de agua y 33.3% de la población del país, la región Hidrográfica del Titicaca tiene el 0.5% de disponibilidad de agua y 4.1% de la población y la Región Hidrográfica del Pacífico posee solo el 1.8% de disponibilidad de agua y una gran población, alrededor del 62.5%. (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015). Esto evidencia una problemática a ser analizada y plantear alternativas de solución.

El uso del agua potable en la industria de la construcción, debido al crecimiento económico del país, produjo 3.81 millones de metros cúbicos (m³) en el año 2015, haciendo un total de 630,173.5 m³ de agua potable usada al año. (Ministerio de la Producción [PRODUCE], 2015).

El déficit hídrico es actualmente una gran preocupación en muchas áreas Urbanas debido al crecimiento rápido de la población, planificación inadecuada, contaminación, pobreza y demandas que compiten por el recurso. Todo ello contribuye al déficit hídrico, por ello el consumo de agua en zonas urbanas es probable que se duplique para el año 2025. Se espera que el cambio climático cauce cambios significativos en los patrones de precipitación, lo cual afectara la disponibilidad hídrica y provocara mayores desastres relacionados con el agua. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2021). Lima es la segunda ciudad más grande asentada sobre un desierto; actualmente, es una ciudad considerada en déficit hídrico.

Es válido realizar una búsqueda de fuentes alternativas de agua (agua residual tratada) que reemplacen el agua de calidad.

En Perú no existe indicios de investigaciones en esta materia, pero se viene desarrollando diferentes normativas internacionales (ACI, OMS, entre otros) y de otros países (Venezuela, Colombia, México, Australia, Estados Unidos, entre otros), donde se establece los límites permisibles de los parámetros para la fabricación de concreto. Debido a que no existe un desarrollo del uso generalizado

del ART en forma masiva para las industrias u otros usos, estas normativas se reflejan en la normativa actual peruana.

Por tales motivos es necesario la investigación del uso potencial del ART como alternativa de solución frente al déficit hídrico en aquellos lugares del Perú donde el recurso de agua escasea y de esta manera contribuir al desarrollo sostenible en el sector de construcción. El aporte del presente estudio es evaluar la calidad del concreto elaborado con agua residual tratada y evaluar su factibilidad de su uso potencial en la producción de concreto.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Problema general

- ¿En qué medida varían las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto de mediana a alta resistencia elaborado con agua residual tratada respecto al concreto elaborado con agua potable?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia empleando 100% de agua residual tratada variarán respecto a las propiedades del concreto elaborado con agua potable?
- ¿Las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia empleando 50% de agua residual tratada con 50% de agua potable variarán respecto a las propiedades del concreto elaborado solo con agua potable?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la variación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto de mediana a alta resistencia elaborado con agua residual tratada respecto al concreto elaborado con agua potable.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar la variación de las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia empleando 100% de agua residual tratada respecto al concreto elaborado con agua potable.

- Evaluar la variación de las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia, empleando 50% de agua residual tratada con 50% de agua potable respecto al concreto elaborado con agua potable.

1.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

Los concretos de mediana y/o alta resistencia elaborados con agua residual tratada presentan propiedades, tanto en estado fresco como en estado endurecido, similares al concreto elaborado con agua potable.

1.5.2 Hipótesis Específicas.

- Con el empleo del 100% de agua residual tratada en la fabricación de concreto de mediana a alta resistencia variará las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido respecto al concreto elaborado con agua potable.
- Con el empleo del 50% de agua residual tratada y 50% de agua potable en la fabricación de concreto de mediana a alta resistencia variará las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido respecto al concreto elaborado con agua potable.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Con el desarrollo urbano creciente a lo largo del tiempo, se utilizaron diferentes tipos de materiales de construcción predominando y surgiendo el concreto frente a las necesidades de la infraestructura moderna del siglo XX. Consecuencia de ello es que actualmente la industria del concreto sea un gran consumidor de recursos naturales tales como el agua, arena, grava y roca triturada, esto implica buscar el uso eficiente y sostenible de dichos recursos.

2.1 EL CONCRETO

Es un material compuesto de material granular (agregado) incrustado en una matriz dura de material (cemento o aglutinante) que llena los espacios vacíos entre las partículas de los agregados y las aglutina, (Li, 2011); según norma el aglutinante se forma con la mezcla de cemento y agua, (Norma Técnica Peruana [NTP], 2021).

El concreto es elaborado por la mezcla de material cementante, agua, agregados y algunas veces aditivos en proporciones requeridas (peso o volumen), al culminarse el mezclado y la colocación se deja curar, se endurece y se vuelve más fuerte a causa de la reacción química entre el agua y el cemento a lo largo del tiempo (edad). En la mezcla de concreto, el material cementante y el agua forman una pasta o aglutinante, que además de llenar los espacios vacíos, recubre la superficie de los agregados finos y gruesos y los une mientras cura, cementando así las partículas de agregado formando una masa compacta. Las propiedades del concreto son adaptables a cualquier requerimiento en particular por medio de las proporciones de los materiales integrantes. (Neville y Brooks, 1987).

Es necesario conocer las propiedades de los materiales empleados en las proporciones requeridas (peso o volumen), dado que la calidad de tales materiales influye en forma significativa en la calidad de la obtención de concreto.

2.1.1 Concretos de alta resistencia

Según National Ready Mixed Concrete Association (US) el concreto de alta resistencia es un tipo de concreto de alto desempeño que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especificada de 40 Mpa (400 kg/cm²) o más.

La producción de concreto de alta resistencia requiere un mayor estudio así como un control de calidad más exigente en comparación con el concreto convencional. Entre las principales aplicaciones de este tipo de concreto tenemos, en base a las propiedades de durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión y flexión, la construcción de presas, cubiertas de graderías, cimentaciones marinas, estacionamientos, pisos industriales de tráfico pesado, etc. (Molina y Chara, 2017)

2.2 EL CEMENTO

Es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, que une los fragmentos minerales en todo un compacto; tal definición abarca gran variedad de materiales cementantes. (Rajput, 2000).

En términos de ingeniería, "cemento" hace referencia al "cemento hidráulico"; según norma es un cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia debido a la reacción química (hidratación) con el agua y es capaz de hacerlo bajo agua, siendo el gel de hidrato de silicato de calcio (gel CSH) y la cal entre los principales componentes de tal reacción. (NTP, 2022), (Claisse, 2016).

Entre los cementos hidráulicos se tiene al cemento Portland, término dado por Joseph Aspdin, debido al parecido con el material de canteras de Portland (Inglaterra), (Gambhir, 2006). Tal cemento es obtenido mezclando proporciones determinadas de materiales calcáreos (piedra caliza o tiza) materia prima principal, normalmente en 80% de la mezcla en bruto y materiales arcillosos (pizarra o arcilla) materia prima secundaria u otros materiales, que contienen sílice, alúmina y óxido de hierro (Newman y Choo, 2003). La materia prima debe tener una composición uniforme en tamaño requerido, para que las reacciones entre los componentes puedan completarse en el horno rotatorio, quemados a temperatura Clinker 1450°C, (Neville y Brooks, 1987), (Li, 2011), posteriormente, el Clinker resultante de (5 a 25 mm) se enfría y se muele con la adición de 3% a 5% de yeso (CaSO₄), hasta la obtención de polvo fino gris de finura requerida, conocido como cemento Portland (Shetty y Jain, 2019). El Anexo N°01, muestra la composición química del cemento Portland ordinario y sus diferentes tipos.

2.3 AGREGADOS

Es un material granular que se obtiene de forma natural en canteras; estas pueden ser expuestas a procesos de chancado; por lo cual, se considera que

también se obtiene de forma artificial. Anteriormente, los agregados eran considerados materiales químicamente inertes, no obstante, algunos agregados son químicamente activos, puesto que exhiben un enlace químico en la interfaz del agregado y la pasta. Los agregados ocupan entre el 70 - 80 por ciento del volumen del concreto aproximadamente. (Shetty & Jain, 2019).

2.3.1 Clasificación de los agregados

2.3.1.1 Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8") y retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200); en cumplimiento de los límites establecidos según NTP 400.037.

2.3.1.2 Agregado grueso

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) es proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, a fin de cumplir con los límites establecidos en la NTP 400.037.

2.3.1.3 Agregado global

Material compuesto de agregado fino y agregado grueso cuya combinación produciría un concreto de máxima compacidad.

2.3.2 Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados son determinadas por medio de diferentes ensayos, por consiguiente, se detalla las propiedades de los agregados y la respectiva normativa:

2.3.2.1 Peso unitario suelto (PUS)

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo es según la NTP 400.017. Esta propiedad mide el peso seco del agregado sin ningún tipo de compactación por unidad de volumen.

$$PUS = \frac{\text{Masa seca suelta del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

2.3.2.2 Peso unitario compactado (PUC)

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo es dado en la NTP 400.017. Esta propiedad mide el peso seco compactado del agregado por unidad de volumen.

$$PUC = \frac{\text{Masa seca compactada del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

2.3.2.3 Peso específico de masa

El procedimiento del ensayo esta dado según NTP 400.021 y NTP 400.022, para agregado grueso y agregado fino respectivamente. Esta propiedad mide el peso seco del agregado por unidad de volumen neto, a diferencia del peso unitario, para este ensayo se rellenan los poros de la muestra con agua a fin de que, al secarse, el volumen ocupado por el agregado sea un volumen neto, sin volumen de vacíos.

$$PE = \frac{\text{Masa de la muestra secada al horno en aire}}{\text{Volumen Neto}}$$

2.3.2.4 Porcentaje de absorción

El procedimiento del ensayo se realiza conforme a la NTP 400.021 y NTP 400.022 para agregado grueso y agregado fino respectivamente. Esta propiedad mide la cantidad de agua que puede absorber una muestra hasta llegar al punto de encontrarse saturada respecto a la masa de la muestra secada al horno en aire.

$$\%Absorcion = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno en aire en gramos.

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire en gramos.

2.3.2.5 Contenido de humedad

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.185. Esta propiedad mide el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

$$\%W = \frac{\text{Masa de la muestra húmeda} - \text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra seca}} \times 100$$

2.3.2.6 Porcentaje que pasa la malla N°200

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 400.018. Esta propiedad mide por vía húmeda el contenido de polvo o material que pasa el tamiz normalizado N°200.

$$\%P = \frac{\text{Masa seca de la muestra original} - \text{Masa seca de la muestra ensayada}}{\text{Masa seca de la muestra original}} \times 100$$

2.3.2.7 Modulo de finura

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 400.037. Esta propiedad representa un tamaño promedio ponderado de la muestra de agregado.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (6", 3", 1\frac{1}{2}", \frac{3}{4}", \frac{3}{8}", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}}{100}$$

2.3.2.8 Porcentaje de desgaste

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 400.019. Esta propiedad determina la resistencia a la degradación del material.

$$\% \text{desgaste} = \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa Inicial}} \times 100$$

2.3.2.9 Granulometría

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 400.012. Esta propiedad indica la distribución del tamaño de los granos del agregado.

Tamaño Máximo (T.M.) = Menor Tamiz con 0% de agregado retenido

Tamaño Máximo Nominal (T.M.N) = Primer tamiz con agregado retenido

2.4 AGUA

El agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, es un componente esencial en la preparación de concretos y morteros ya que este permite al cemento desarrollar propiedades ligantes. El uso de agua para la fabricación de concretos y productos similares se rige a través de la NTP 339.088. Se presenta el "Capítulo IV: Agua para el concreto" a mayor detalle.

2.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las propiedades del concreto se obtienen a través de diferentes ensayos, se detalla cada una de las propiedades de los agregados y normativa correspondiente, que rige el ensayo:

2.5.1 Propiedades del concreto en estado fresco

2.5.1.1 Consistencia

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.035. Esta propiedad determina el asentamiento del concreto fresco.

$$\text{Slump}(\text{"}) = \text{Altura del molde} - \text{Altura del cono deformado}$$

2.5.1.2 Fluidez

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.046. Esta propiedad precisa la resistencia del concreto a la rotura o deformación.

2.5.1.3 Exudación

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.077. Esta propiedad determina la cantidad de agua que se separa de una muestra de concreto fresco por decantación.

$$\% \text{Exudación} = \frac{D}{C} \times 100$$

Donde:

D: Masa del agua de exudación, en gr. (volumen total extraído de la muestra de ensayo, en ml, multiplicado por 1 gr./ml).

C: Masa del agua en la muestra de ensayo, en gr.

2.5.1.4 Peso unitario

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.046. Esta propiedad calcula la densidad del concreto fresco.

$$PU(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{\text{Masa Total} - \text{Masa del recipiente}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

2.5.1.5 Contenido de aire

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.083. Esta propiedad mide el porcentaje de volumen de aire contenido en el concreto.

2.5.1.6 Tiempo de fraguado

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.082. Esta propiedad calcula el tiempo de fraguado del concreto, pérdida de la plasticidad del concreto, por medio de la medida de la resistencia a la penetración de un mortero tamizado del concreto.

2.5.1.7 Temperatura

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.184. Esta propiedad evalúa la temperatura del concreto en estado fresco, a través de un termómetro de 0.5°C de precisión, sumergido como mínimo 2 minutos y máximo 5 minutos, hasta obtener una lectura permanente sin variación de la lectura.

2.5.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

2.5.2.1 Compresión axial

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.034. Esta propiedad calcula la máxima resistencia a la compresión de una muestra de concreto frente a una carga axial.

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima de rotura (kg)}}{\text{Área de la cara sometida a la carga (cm}^2\text{)}}$$

2.5.2.2 Compresión diametral

Los materiales, equipos, características de la muestra a usar y procedimiento del ensayo se encuentran en la NTP 339.084. Esta propiedad calcula la máxima resistencia a la compresión de una muestra de concreto frente a carga diametral.

$$CD = \frac{2 \times \text{Carga máxima de rotura (kg)}}{\pi \times \text{Altura de probeta} \times \text{diámetro de la probeta (cm}^2\text{)}}$$

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

3.1.1 Cemento usado en la investigación

Se utilizo para la presente investigación el cemento Portland Tipo I marca Sol, cuyas características físicas cumplen los requisitos de la NTP 334.009 y la ASTM C 150 mostrado en el Anexo N°1.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

3.2.1 Resumen de las características generales de los agregados

Se presenta los siguientes Cuadro 1 y Cuadro 2 en donde se resume las características generales de los agregados fino y grueso respectivamente. En el Anexo N°2 se detalla los cálculos de las propiedades de los agregados:

Cuadro 1. Resumen de las características del agregado fino.
Elaboración Propia.

Descripción	Unidad	Agregado Fino	Especificación NTP 400.037 (2021)
1. Cantera	-	Jicamarca	-
2. Peso unitario suelto	kg/m ³	1630	-
3. Peso unitario compactado	kg/m ³	1775	-
4. Peso específico de masa	kg/m ³	2674	-
5. Porcentaje de absorción	%	1.09	-
6. Contenido de humedad	%	0.76	-
7. Porcentaje que pasa la malla N°200	%	2.79	3 (máx.)
8. Módulo de finura	-	2.95	Entre 2.3 a 3.1
9. Partículas ligeras	%	0.02	1 (máx.)
10. Inalterabilidad por medio de sulfato de magnesio	%	5.60	15 (máx.)

Cuadro 2. Resumen de las características del agregado grueso.
Elaboración Propia.

Descripción	Unidad	Agregado Grueso	Especificación NTP 400.037 (2021)
1. Cantera	-	Jicamarca	-
2. Peso unitario suelto	kg/m ³	1477	-
3. Peso unitario compactado	kg/m ³	1642	-
4. Peso específico de masa	kg/m ³	2754	-
5. Porcentaje de absorción	%	1.04	-
6. Contenido de humedad	%	0.44	-
7. Porcentaje que pasa la malla N°200	%	0.97	1 (máx.)
8. Módulo de finura	-	6.70	-
9. Partículas ligeras	%	0.005	1 (máx.)
10. Inalterabilidad por medio de sulfato de magnesio	%	2.03	18 (máx.)
11. Porcentaje de desgaste	%	19.71	50 (máx.)
12. Tamaño máximo	-	1"	-
13. Tamaño máximo nominal	-	3/4"	-
14. Huso apropiado	-	ASTM - 67	-

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

3.3.1 Agua usada para la investigación

En la presente investigación se emplearon diferentes calidades de agua, como muestra el Cuadro 3, en la elaboración de concreto; estas calidades son: agua potable (AP) para la elaboración del concreto patrón, agua residual tratada en la elaboración de concreto en diferentes proporciones de reemplazo del agua potable. Tales proporciones son: reemplazo por 100% de agua residual tratada, reemplazo combinando 50% de agua residual tratada y 50% de agua potable, adicionalmente agua filtrada (AF) que se presenta a mayor detalle en el capítulo V: 5.3 PROCESO DE FILTRADO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (AF). El agua residual tratada (ART) usada es procedente de las lagunas facultativas de tratamiento secundario de la PTAR de CITRAR - UNI que capta las aguas residuales de las localidades El Ángel y El Milagro del distrito de Independencia, por medio de la red de alcantarillado de SEDAPAL, además se utilizó agua potable en el curado.

Cuadro 3. Resumen de características los diferentes tipos de agua usado en la investigación. Elaboración propia. Fuente: NTP 339.088, (2021).

Parámetro	Unidad	NTP 339.088 (2021)	AP	50% ART	100% ART	AF
Solidos en suspensión	p.p.m.	5000	0.4	17.20	33.60	34.80
Sulfatos (SO₄⁼)	p.p.m.	600	39.71	38.39	48.11	87.04
Cloruros (Cl)	p.p.m.	1000	31.56	51.12	80.28	150.95
Alcalinidad	p.p.m.	1000	101.32	171.83	220.39	153.15
Materia orgánica	p.p.m.	3	15.00	60.00	75.00	1.54
pH		5 a 8	7.29	7.10	7.31	6.78
Nitratos	p.p.m.	-	0.82	0.41	0.36	0.04

CAPÍTULO IV: AGUA PARA EL CONCRETO

4.1 EL AGUA

4.1.1 Definición

En términos generales el agua es un compuesto transparente, inodoro e insípido, compuesto por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrogeno (H_2O). El agua se congela a $0^{\circ}C$ y hierve a $100^{\circ}C$ a presión de 1 atmosfera. Al estar en un estado más o menos impuro, constituye: la lluvia, los océanos, los lagos, los ríos y otras masas de aguas superficiales; además, se muestra en estado sólido, líquido o gaseoso. Está presente en la litosfera, la hidrósfera y la atmósfera, en composición con otros materiales sólidos, gaseosos o líquidos en solución o suspensión (McTigue, 2013).

El agua cubre las dos terceras partes del planeta, donde el 97 % del total se encuentra en los océanos. El 90% del agua dulce está congelada en los polos (norte y sur), glaciares y menos del 1% de agua dulce es disponible para el consumo, ya que la mayor parte se encuentra en acuíferos subterráneos (Lerner, 2005).

4.1.2 Ciclos del Agua

Es el ciclo hidrológico del agua (ciclo natural) y el ciclo antrópico del agua.

4.1.2.1 *Ciclo natural del agua o ciclo hidrológico del agua*

El agua está en constante movimiento debido a la energía del Sol y la gravedad que impulsa el ciclo hidrológico este incluye: (Lerner, 2005).

- **Evaporación.** - es el proceso de paso de líquido (masa de agua en la Tierra) a gas (vapor de agua en la atmosfera) a causa del Sol. Aporte de 80% por océanos, 10% por transpiración de plantas y 10% mares, lagos y ríos.
- **Condensación.** – es la conversión del agua de gas a líquido, se da cuando el aire con moléculas de agua se eleva a la atmosfera, se enfría y el movimiento de moléculas se ralentiza, acumulando vapor de agua en el aire ascendente, formando gotas de agua líquida que se agrupa en nubes.
- **Convección.** – es la circulación de agua (flujos de corriente) a gran magnitud en la atmosfera y océanos, a través de vientos, lluvias y corrientes oceánicas.

- **Precipitación.** - Transferencia de agua de la atmosfera a la superficie en forma de lluvia, nieve y granizo, debido a que las gotas de agua o cristales de hielo en la nube se vuelve demasiado pesado y cae al suelo.
- **Congelación y fusión.** – es la transformación entre el agua líquida y sólida. Gran parte del proceso ocurre en la atmosfera, donde el vapor de agua condensado forma cristales de hielo en las nubes, formando, glaciares.
- **Flujo de agua subterránea.** - movimiento de agua líquida a través de poros (aberturas) en los suelos y cavidades de las rocas.
- **Escorrentía.** – es la transferencia de agua de la superficie a los océanos y la precipitación que no se evapora a la atmosfera.

Tales procesos desarrollados son presentados en la Imagen 1, ciclo del agua.

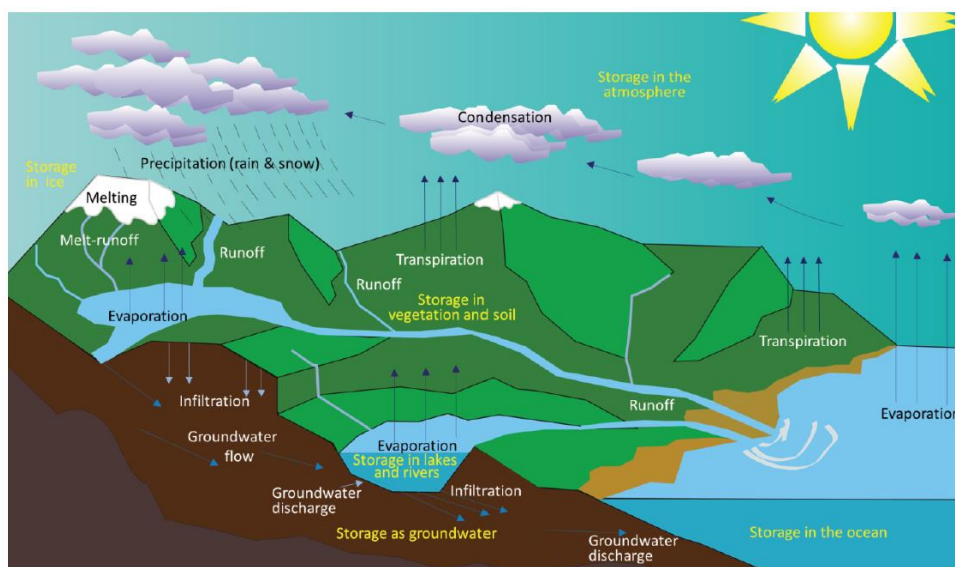


Imagen 1. Ciclo del agua.
Fuente: (Lerner & Lerner, 2005).

4.1.2.2 Ciclo antropico y sostenibilidad del agua

Es la modificación del ciclo hidrológico del agua por efectos de urbanización, industrialización y crecimiento de la población que afecta el medio ambiente y la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas como muestra la Imagen 2. Ello implica que el ciclo sea más complejo por las influencias e intervenciones de la necesidad de brindar servicios de agua a la población tales como suministro de agua, drenaje, recolección, manejo, gestión de aguas residuales y usos beneficiosos de las aguas receptoras (Marsalek, y otros, 2008).

También cabe mencionar, que 1,000 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable y más de 2,500 millones no tienen acceso a un saneamiento adecuado. (Gupta, 2019), y el 80% de las aguas residuales del mundo son vertidas al medio ambiente sin un tratamiento adecuado, (Rodríguez et. al, 2020). Por ello, es necesario un sistema de gestión del agua más eficiente y plantear soluciones alternativas.

A fin de dar, inicio a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) definido como un “proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales”. (Partnership, 2009) .

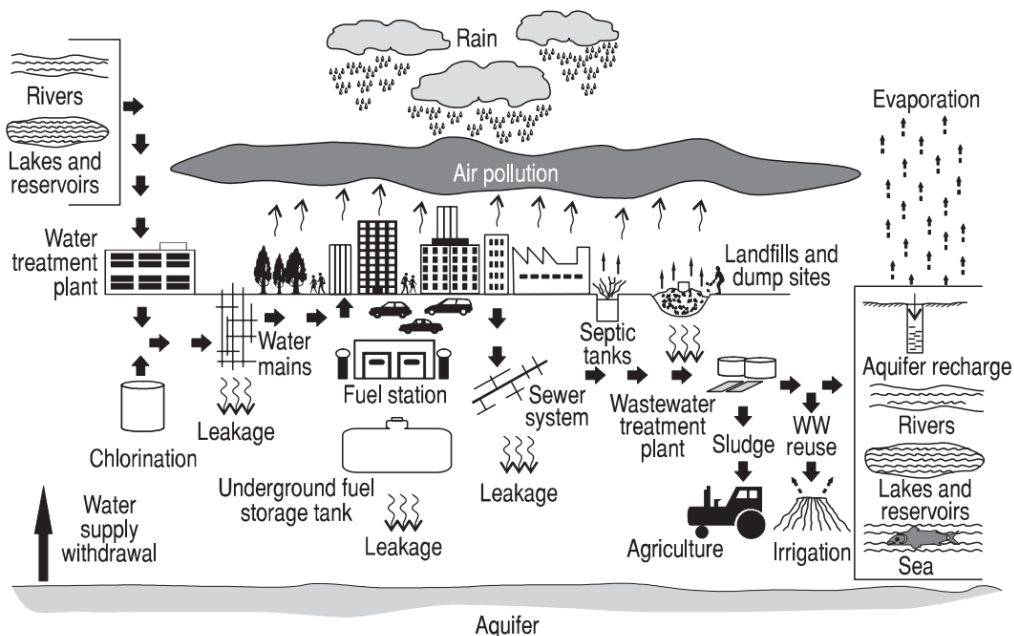


Imagen 2. Ciclo urbano del agua.
Fuente: (Marsalek, y otros, 2008).

4.1.2.3 Cantidad de agua en el mundo

El volumen aproximado total de agua en el mundo es 1,386 millones de km³, donde más del 96.5% del agua es salada, 0.9% otras aguas salinas y 2.5% es agua dulce. Este último, más del 68% está en forma de hielo y glaciares. El otro 30% es agua subterránea. Por ello el agua dulce superficial como ríos y lagos, constituye (93,100 km³), siendo el (1/150 % aprox.) del total de agua. Ver Imagen 3, la distribución del agua en la tierra. (Shiklomanov, 1993).

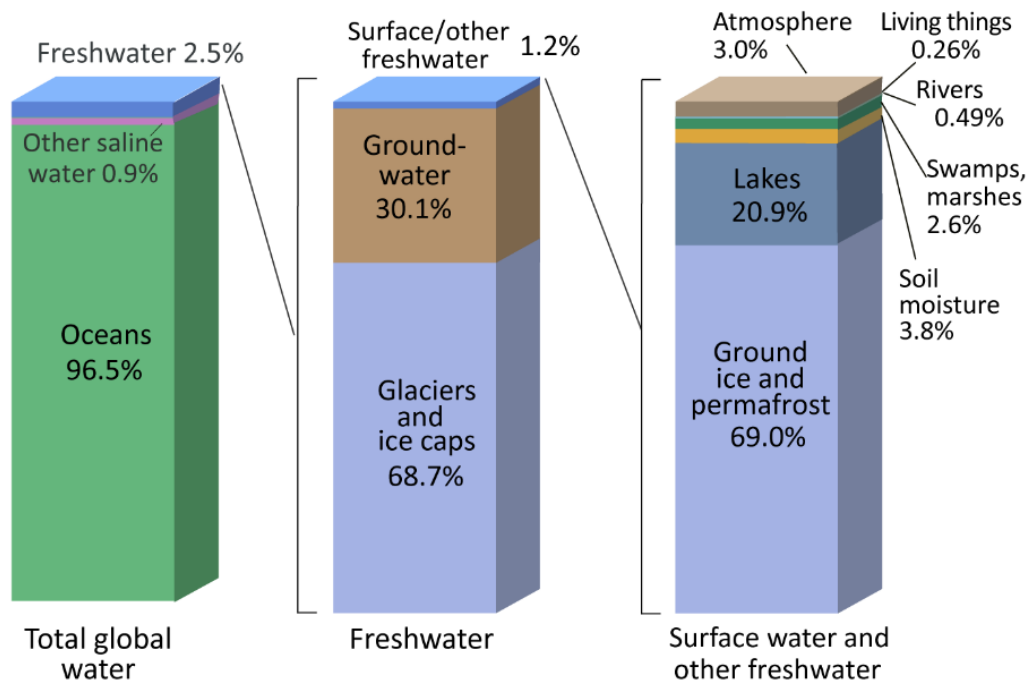


Imagen 3. Distribución de agua en la Tierra.
Fuente: (Shiklomanov, 1993).

El Perú cuenta con el 1.89% del agua dulce mundial, el cual presenta una disponibilidad del 97.27% en la vertiente del Atlántico, 2.18% en la vertiente del Pacífico y 0.56% en la vertiente del Titicaca.

4.1.3 Tipos de agua

La clasificación es según procedencia, características físico-químicas y uso.

- Según su procedencia: aguas subterráneas (procede de pozos manantiales, del interior de la tierra), superficiales (continentales y oceánicas).
- Según sus características físico-químicas: agua destilada (químicamente pura), agua potable (apta para consumo humano), duras (exceso de iones, alto nivel de minerales disueltos), minerales (propiedades curativas), termales (temperaturas superiores a 25°C), agua salada (océanos y mares).
- Según su uso: uso doméstico (agua potable), usos para riego, industrial, recreativo y el agua residual (agua que ha sido utilizada, con diferentes fines domésticos, municipal e industriales, principalmente).

4.2 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad de agua, es aludir a la idoneidad del agua para un fin en particular, siendo variables de calidad del agua sus propiedades física, química o biológica que influya en la idoneidad del agua para los sistemas ecológicos naturales o el uso que se da por los seres humanos. Para definir calidad del agua, es necesario evaluar cientos de variables, pero para un fin en particular, solo algunas variables son de interés; a fin de establecer estándares de calidad del agua como pautas a seleccionar para suministros de agua en diversas actividades o para proteger los cuerpos de agua de la contaminación. (Boyd, 1998).

4.2.1 Calidad del agua potable

Es asegurado mediante un plan de seguridad del agua (PSA) aplicado, siendo esta una herramienta de gestión que facilita el cumplimiento de metas de protección de la salud (frente a enfermedades causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua), en función a los componentes microbiológicos, químicos y físicos, incluyendo su aspecto, olor y sabor del agua. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011).

El agua captada pasa por un proceso de tratamiento PTAP, incluye la desinfección y eliminación de contaminantes por medios físicos, a fin de obtener agua potable.

4.2.2 Calidad del agua residual tratada

El agua residual tratada, es producto final del tratamiento que se aplica al agua residual (en función al tamaño de la aglomeración, al tipo de agua receptor donde se descargará y al reúso que se le dará), siendo las aguas residuales:

- Aguas residuales urbanas. – son mezclas de aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales y/o aguas pluviales de escorrentía.
- Aguas residuales domésticas. - son aguas de asentamientos y servicios residenciales, producto del metabolismo humano y actividades domésticas.
- Aguas residuales industriales. – es el agua que ha sido utilizada con fines comerciales e industriales, no siendo aguas residuales domesticas ni aguas pluviales de escorrentía. (Quevauviller et. al, 2006).

Por lo general, una PTAR reduce los contaminantes de las aguas residuales, a un nivel que la naturaleza puede manejar; su diseño es en función al tipo de agua

residual, tipo de agua receptor donde se descargara y los parámetros de calidad de agua residual a obtener especificados en el Límite máximo permisible (LMP).

Los LMP de calidad del tipo de agua, se define como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracteriza a un efluente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. (Bicentenario Perú, 2021).

4.3 EL AGUA PARA EL USO DEL CONCRETO

El agua para el uso del concreto en diversas normativas presenta LMP respecto a algunas sustancias, que en cantidades considerables puedan dañar al concreto.

Una regla empírica, establece “si el agua no daña al hombre no daña al concreto”, siendo este el agua potable. Sin embargo, en función al tipo de cemento e impurezas de los ingredientes, aguas no aptas para el consumo humano sirven para fabricar concreto. (Pasquel Carbajal, 1998). La normativa peruana, establece el uso de agua de mezcla que este compuesta total o parcialmente de fuentes de agua no potable, en cumplimiento de requisitos y límites dados. (NTP, 2021).

4.3.1 Definición

El agua es un ingrediente fundamental para el concreto, debido a la participación en la reacción química con el cemento, formando el gel o pasta de cemento, por ello se requiere la cantidad y calidad adecuada; normalmente es un 15 a 25 % en volumen, conforme que tal cantidad y relación agua – cemento, pueden ser factores más críticos en la fabricación de concreto de buena calidad. El exceso de agua reduce la resistencia del concreto y una cantidad insuficiente lo hace inviable, (Shetty & Jain, 2019). El agua contribuye en las propiedades del concreto en estado, fresco como endurecido.

4.3.2 Importancia y beneficios del agua en el concreto

El agua de mezcla es agua libre, que se encuentra en el concreto mezclado y tiene tres funciones principales:

- Reacciona con el polvo del cemento, produciendo productos de hidratación.
- Contribuye a la trabajabilidad de la mezcla fresca.
- Asegura espacio necesario en el gel para el desarrollo de productos de hidratación.

En la práctica, la cantidad de agua añadida para una adecuada trabajabilidad es mayor que lo necesario para la hidratación completa del cemento. No obstante, el exceso de impurezas en el agua afecta el tiempo de fraguado y resistencia del concreto, además puede causar, eflorescencia, manchas, corrosión del refuerzo, inestabilidad de volumen y reducción de la durabilidad del revestimiento (Li, 2011).

4.3.3 Calidad del agua para el concreto

La calidad del agua es referida a sus características físico – químicas, de tal forma que sus efectos sobre el concreto no sean perjudiciales, tanto en el comportamiento y sus propiedades. Asimismo, la calidad de agua para el concreto no presenta relación con el aspecto bacteriológico (como es el agua potable), (Vásquez Rojas et. al, 2001).

4.3.3.1 Requisitos de calidad para el uso de agua en el concreto

En general el requisito de calidad para el uso del agua en el concreto es establecido como agua potable para consumo humano a excepción de aguas minerales y azucaradas, siendo apta para elaborar concreto. Si el agua no tiene sabor, olor o color en particular, no burbujea, ni se hace espuma cuando se agita, entonces no dañara al concreto.

La obtención de agua potable implica diversos procesos, para estar dentro de los requisitos de calidad, sin embargo, para el desarrollo sostenible, es relevante, no usar agua de alta calidad en procesos que no requieren tal calidad, puesto que no se estaría aprovechando tal recurso. El Cuadro 4 muestra los requisitos de calidad organoléptica del agua potable establecido en el Perú.

Cuadro 4. Parámetros de calidad organoléptica.
Fuente: D.S N°031-2010-SA.

N°	Parámetros	Unidad de medida	LMP
1	Olor	-	Aceptable
2	Sabor	-	Aceptable
3	Color	UCV escala Pt/Co	15
4	Turbiedad	UNT	5
5	pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
6	Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
7	Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
8	Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250
9	Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ /L	250
10	Dureza total	mg CaCo ₃ /L	500
11	Amoniaco	mg N /L	1.5
12	Hierro	mg Fe /L	0.3
13	Manganeso	mg Mn /L	0.4
14	Aluminio	mg Al /L	0.2
15	Cobre	mg Cu /L	2.0
16	Zinc	mg Zn /L	3.0
17	Sodio	mg Na /L	200

Además, en el D.S N°031-2010-SA establece los LMP de parámetros microbiológicos, parasitológicos, químicos, inorgánicos, orgánicos y radiactivos.

En el RNE, E.060 Concreto Armado, sugiere de preferencia se use el agua potable en la elaboración y curado del concreto, asimismo, manifiesta la posibilidad de usar agua no potable solo si:

- Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.
- Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la NTP 334.051.

En lo referente al agua en la norma mencionada no dispone de límites máximos, lo cual se complementa con la NTP 339.088, mostrado en el Cuadro 5:

Cuadro 5. Requisitos de calidad de agua establecidos en la NTP 339.088.
Fuente: NTP 339.088 (2021)

Descripción	Límite	Unidad
Sólidos en suspensión	5000	p.p.m.
Sulfatos (SO₄)	600	p.p.m.
Cloruros (Cl)	1000	p.p.m.
Alcalinidad (NaHCO₃)	1000	p.p.m.
Materia orgánica	3	p.p.m.
pH	5 a 8	-

La norma ASTM C-94 y norma mexicana NMX C-122-1982 exponen las diferentes impurezas en el agua de mezcla (Vásquez Rojas et. al, 2001). En los Cuadro 6 y Cuadro 7 se presenta los requisitos de normas internaciones referente al agua para el concreto y criterios de aceptación para fuentes de agua para el concreto, respectivamente.

Cuadro 6. Requisitos de normas internacionales, agua para el concreto. Unidades en p.p.m.
Elaboración propia. Fuente: norma americana ASTM C -94, norma mexicana NMX C-122-2004, norma argentina IRAM 1601, norma europea BS EN 1008 y norma india IS 456

Descripción	ATSM C-94	NMX C-122 - 2004		IRAM 1601	BS EN 1008	IS 456
		Cementos ricos en calcio	Cementos Resistentes a sulfatos (RS)			
Sólidos en suspensión, máximo	2000	2000	2000	5000	>4 ml	2000
Sulfatos (SO₄⁼), máximo	3000	3000	3500	1000	2000	400
Cloruros (Cl) para, máximo:						
• Concreto simple	-	-	-	2000	4500	2000
• Concreto armado	1000	700	1000	700	1000	500
• Concreto pretensado	500	400	600	500	500	-

Alcalinidad (NaHCO₃), máximo.	-	300	450	-	1500	-
Total, impurezas – solución, máximo.	-	3500	4000	-	-	-
Hierro (Fe³⁺)	-	-	-	1	-	
Materia orgánica, máximo.	20	150 (b)*	150 (b)*	3*	-	200
pH, mínimo.	6 a 8	≥ 6	≥ 6.5	5.5 a 8	≥ 4	-

Nota: *oxígeno consumido en medio ácido

Cuadro 7. Criterios de aceptación para fuentes de agua.

Elaboración propia: Norma americana ASTM C -94, norma argentina IRAM 1601 y norma europea BS EN 1008, norma peruana NTP 339.088

Descripción	ATSM C-94	IRAM 1601	BS EN 1008	NTP 339.088
Resistencia a compresión, mín. % control a los 7 días	90 % Limite	Reducción límite del 10%	90 % Limite	90 % Limite
Tiempo de fraguado, desviación respecto a la muestra de control en h: mín.	Desde 1:00 más temprano Hasta 1:30 más tarde	No diferir en menos, más del 10% fraguado inicial, y en más del 10% del fraguado final.	Inicial no inferior a 1:00 no diferir en más de 25 % respecto muestra de control, final no exceder las 12 horas y no diferir más del 25 % respecto a la muestra de control.	Desde 1:00 más temprano Hasta 1:30 más tarde

Nota: La muestra de control se realiza con 100% de agua potable o destilada.

La presente tesis realizó comparaciones y evaluaciones, entre el concreto patrón elaborado con agua potable y concreto elaborado con calidades de ART (50% ART y 100%ART).

4.3.4 Efecto de las impurezas sobre las propiedades del concreto

Las impurezas en el concreto son causantes de reducción de resistencia, durabilidad y diferencia en tiempos de fraguado en comparación con el agua potable o destilada, ello se evidencia a mayor detalle en el Cuadro 8 (Gambhir, 2006):

- Exceso de sales disueltas, provoca reducción de resistencia de 10 a 30 %, respecto a mezcla con agua potable.
- Exceso de cloruros, causa humedad persistente, eflorescencia superficial y aumenta la corrosión del acero.

*Cuadro 8. Límites y efecto de sustancias sobre las propiedades del concreto.
Elaboración propia: Fuente: Carbajal, 1999; (Vásquez Rojas, Gonzáles Díaz, Rocha Chiu, & Flores Bustamante, 2001); M L Gambhir, 2006 & Zongjin Lin, 2011.*

Sustancia	Límite	Efectos sobre el concreto
Sólidos suspendidos	2000 mg/l	Variación del fraguado, resistencia y contenido de aire.
Sólidos totales disueltos	2000 mg/l	Variación del fraguado y resistencia
Carbonatos	5000 mg/l	Reducción de la resistencia entre el 30%
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 mg/l	Fraguado rápido, reducción de resistencia e incremento de reacción álcali-sílice
Carbonatos de calcio y magnesio	400 mg/l	Efectos no perceptibles
Sulfatos	5000 mg/l	Reducción de la resistencia entre el 30%
Sulfato de sodio	10000 mg/l	Tolerable
Sulfato de magnesio	25000 mg/l	Efectos no perceptibles
Sales de Zinc, Manganeso, Estaño, Cobre y Plomo	500 mg/l	Reducción de resistencia inicial y grandes retrasos en el tiempo de fraguado
Yodatos, fosfatos, arsenatos y boratos de sodio	500mg/l	Reducción de la resistencia
Cloruros	5000 mg/l	Reducción de la resistencia entre el 30%, corrosión del acero y eflorescencia.
Cloruro de magnesio	25000 mg/l	Efectos no perceptibles
Cloruro de sodio	20000 mg/l	Tolerable en concretos de bajo potencial de reacciones corrosivas y que están secos.
Cloruro calcio	1.5% de peso del Cemento	Acelera el fraguado y la resistencia.
Ion cloro	500 mg/l	En concretos preesforzados
Ion cloro	1000 mg/l	En concretos de aluminio embebidos o expuestos a humedad.

Hidróxido de potasio	500mg/l	Reducción moderada de la resistencia, fraguado rápido.
Hidróxido de sodio	500mg/l	Reducción de la resistencia, fraguado rápido.
Materia orgánica	400 mg/l	Reducción de resistencia e incorporación de aire, variación en el tiempo de fraguado
Aceites y grasas	2% de peso del Cemento	Reducción de la resistencia en más de 20% y en la adherencia entre la pasta y los agregados
Algas	--	Reduce la unión entre los áridos y la pasta de cemento, variación del contenido de aire y reducción de resistencia.

Nota: El control de comparaciones es respecto a la elaboración de mezcla con 100% de agua potable o destilada.

CAPÍTULO V: USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

5.1 AGUA RESIDUAL TRATADA (ART)

5.1.1 Definición

Son aquellas aguas cuyas características fueron modificadas, por actividades antropogénicas (domesticas, industriales, agrícolas, pecuarias, etc.), combinándose, eventualmente con aguas subterráneas, superficiales y pluviales, que posteriormente, serán vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas para un propósito específico, requiriendo un previo tratamiento, a fin de cumplir con los LMP (Espinoza, 2017), en protección de los cuerpos receptores, el medio ambiente, salud pública y actividades en la que se reutilizaran

5.1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR

Es una instalación (infraestructura), que realiza el tratamiento de aguas residuales entrantes, a fin de eliminar contaminantes, por medio de la combinación de varios procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos. Ciertos tipos de aguas residuales pueden requerir otros procesos específicos (Naief et. al, 2016).

Las plantas de tratamiento son clasificadas según: el nivel de purificación al que tratan, el grado de tratamiento de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor o al reúso que se le dará siendo los procesos: (Noyola et. al, 2013); (Benavides, 2006); (Loose, 2016)).

- Tratamiento preliminar; elimina (ramas, basura, plástico, elementos gruesos, arenas, grasas, aceites, etc.), por medio de cribas, rejillas, desarenadores. Tal tratamiento evita problemas operacionales y de mantenimiento, en los diferentes procesos.
- Tratamiento primario. Remueve por sedimentación una porción de sólidos y materia orgánica suspendida, utiliza como principio la fuerza de la gravedad, alcanza en remoción cifras de: 90% de solidos sedimentables, 60 % solidos suspendidos y 30% en la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO). El funcionamiento es físico, debido a la disminución de la velocidad del líquido, produciendo la acumulación en el fondo (lodos) o encima (grasa), según su peso específico, retirados para evitar el mal funcionamiento del sistema. Siendo el tanque Imhoff el más aplicado en Perú, seguido tanque séptico y sedimentador primario.

- Tratamiento secundario. Elimina materia orgánica biodegradable (soluble) y sólidos en suspensión en cifras de 90% DBO y 90% sólidos en suspensión por medios biológicos; los contaminantes en el agua residual por medio de microorganismos celulares (metabolismo) son transformados en flóculos, que por sedimentación son retirados. Siendo el tipo de lagunas más aplicados en Perú: anaerobias, facultativas y aireadas. También la tecnología de lodos activados, filtros percoladores y Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente – RAFA.
- Tratamiento terciario. Realizado después del tratamiento secundario, a través de procesos fisicoquímicos o biológicos. Eliminan sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica remanente no biodegradable en cifras de 99% sólidos en suspensión y 99% DBO y compuestos inorgánicos disueltos; este tratamiento se realiza para buscar una calidad y un uso específico, con ello se evita el crecimiento de algas en cuerpos de agua de baja circulación. Las algas desencadenan el consumo de oxígeno disuelto e impactos sobre la vida acuática. El agua se aplica para riego, crianza de peces y otras actividades, asimismo el efluente del tratamiento puede tener usos especiales, como recarga de acuíferos, agua para uso industrial, etc. Los procesos más usados son, filtración por arena, eliminación de nutrientes, osmosis inversa, etc.
- Desinfección. Se emplea para la protección de la salud. Este proceso reduce microorganismos, bacterias y virus para prevenir la propagación de enfermedades cuando se descarguen tales aguas. Entre los principales métodos se tiene: cloración, ozonización y la radiación ultravioleta (UV).
- Tratamiento de lodos producidos. Residuos sólidos con alto contenido orgánico e inorgánico producidos por anteriores tratamientos, como es materiales retenidos en las rejillas, desarenadores y por sedimentación. Se realiza el espesamiento, recuperación del coagulante, acondicionamiento, deshidratación, secado, incineración o reutilización como fertilizante, antes de su eliminación del lodo.

5.1.2.1 Proceso aerobio y anaerobio

En el sistema aerobio; el 65% de la energía producida por el metabolismo microbiano es transformado en células nuevas (lodos) mediante síntesis (anabolismo) y 35% se disipa como liberación de energía (catabolismo), adicionalmente es necesario suministrar energía eléctrica (aireadores mecánicos, compresores) para transferir oxígeno al agua y a los microorganismos. En el sistema anaerobio, 90% de la energía se encuentra en la molécula de metano (gas combustible), no hay consumo de energía para la operación, pero tan solo 10 % de la energía de sustrato se transforma en lodo, lo cual es una ventaja ya que es 6 veces menor al proceso aerobio, sin embargo, la calidad del agua tratada es inferior al sistema aerobio (Noyola et. al, 2013), presentándose el siguiente esquema Imagen 4.

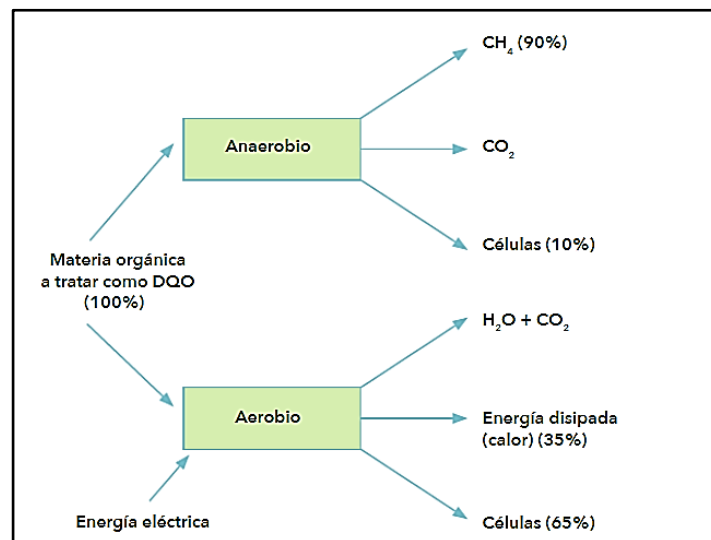


Imagen 4. Esquema del flujo contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado.
Fuente: (Noyola et. al, 2013).

- Lagunas aerobias; el oxígeno está presente en toda la laguna, la actividad biológica es descomposición aeróbica.
- Lagunas anaerobias; no hay oxígeno presente en la laguna y toda actividad biológica es descomposición anaeróbica. Se usa en tratamiento de desechos industriales de alta resistencia, requiere de otro tratamiento posterior.
- Laguna facultativa; son los más comunes, en la parte superior se producen procesos aeróbicos (simbiosis algas y bacterias) por presencia de oxígeno y en los niveles inferiores de la laguna no hay oxígeno ocurriendo procesos anaeróbicos. (Spellman y Drinan, 2014).

5.1.2.2 Centro de Investigaciones de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos – CITRAR

Dentro del campus universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería se encuentra ubicado CITRAR. Trata las aguas residuales de los sitios El ángel y El Milagro del distrito de Independencia - Lima, con una capacidad de 10 lps., por medio de una PTAR que cuenta con los siguientes procesos:

- Tratamiento preliminar; cámara de rejas y desarenadores.
- Tratamiento RAMLFA; Reactor Anaerobio con Manto de Lodos de Flujo Ascendente, que cuenta con un digestor, dos sedimentadores y una cámara de gas; que transforma o degrada la materia orgánica mediante una digestión anaerobia.
- Tratamiento secundario; lagunas facultativas (aerobio y anaerobio).
- Tratamiento de lodos; exceso de lodos del proceso RAMLFA, pasa por el proceso de deshidratación se dispone en un Lecho de Secado.

Las aguas de las lagunas facultativas fueron utilizadas en la presente investigación, para fabricar concretos de mediana a alta resistencia, se empleó 100 % de agua residual tratada y 50 % de agua residual tratada en combinación con 50 % de agua potable.

5.1.3 Características del agua residual tratada

Las características físicas, químicas y bacteriológicas, están en función al grado de tratamiento que se aplica al agua residual, normas de calidad del cuerpo receptor o al reuso que se le dará y a los LMP para el vertimiento.

El Decreto Supremo N°020-2021-MINAM aprueba el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), contiene los valores de los LMP que caracterizan al efluente a fin de proteger la salud, bienestar humano y ambiente.

Por otro lado, la evaluación de diferentes aguas a utilizar en la fabricación de concreto debe estar en cumplimiento a parámetros establecidos de la NTP 339.088.

5.1.3.1 Calidad del agua residual tratada de CITRAR – UNI

La planta remueve parámetros Coliformes Termotolerantes en 99.999%, DBO₅ en 96.25% y parásitos en 100%; obteniendo una calidad de agua apto para el riego de parques, asimismo, cumpliendo con los ECA de Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. La Imagen 5 muestra el ART y diferentes tipos de agua utilizados en la investigación.

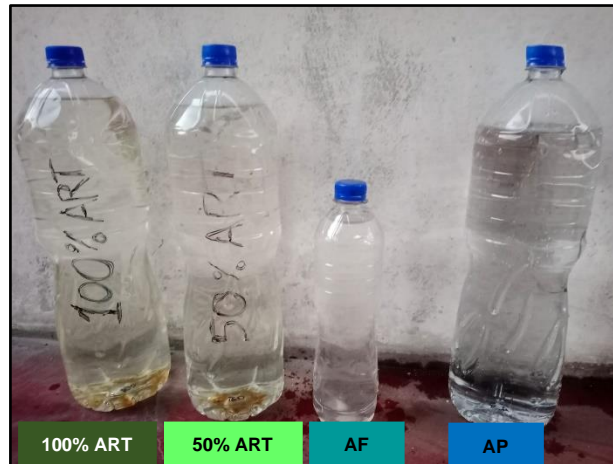


Imagen 5. Se presenta el 100% ART, 50% ART, AF (agua filtrada) y AP, asignándoles los diferentes colores, según a la calidad del agua.

Los ensayos a las diferentes muestras de agua para la elaboración del concreto fueron realizados por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Asimismo, el Anexo N°3: Ensayos a los diferentes tipos de agua, presenta los certificados de los ensayos a las diferentes muestras de agua.

5.1.4 Beneficios del ART al medio ambiente

Los beneficios del tratamiento de aguas residuales es lograr diversas calidades de agua para cubrir la demanda de diferentes sectores. Además, es planteando como una alternativa de solución frente a la escasez mundial del agua, liberando recursos de agua de calidad para otros usos o conservándolos. Por consiguiente, los productos secundarios del tratamiento son usados en la agricultura y generación de energía. Ello hace que las plantas de tratamiento sean más sostenibles ambiental y financieramente. Por ello una gestión de aguas residuales trae beneficios ambientales, salud pública, además beneficio económico y financiero para las empresas de agua que los operan, con la recuperación de recursos de agua residual en forma de: energía, agua reutilizable, biosólidos y nutrientes, generando ingresos financieros que puedan cubrir parcial

o totalmente los costos de operación y mantenimiento (O&M). Transformado el sistema de saneamiento de un servicio costoso a uno autosostenible, además añade valor a la economía. Por ello las plantas de tratamiento pueden, según Rodríguez et. al, (2020):

- Vender agua tratada para reutilización en industrias y cubrir todos los costos de O&M de la planta, como es el caso de San Luis Potosí (México); Durban (Sudáfrica) y Aquapolo (Brasil).
- Generar energía para vender o para autoconsumo, ahorrando costos de energía, como: Atotonilco (México); Santiago (Chile); EBMUD y Ridgewood, en los Estados Unidos.
- Deshacerse de biosólidos sin costo, como: Cusco (Perú); Brasilia (Brasil).
- Vender fósforo como fertilizante como es el caso de Chicago, Estados Unidos.
- Cubrir costos de capital y operación, como es el caso de Cerro Verde, Perú.

5.2 USO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (ART)

5.2.1 Definición

Es el uso en algunos sectores económicos que requieren o pueden adecuarse, asegurando la calidad necesaria previo tratamiento respectivo, para el desarrollo de sus actividades. A fin de cubrir la demanda de agua de tal sector. Asimismo, contribuye a la sostenibilidad, conservando y ampliando los suministros disponibles de agua y cooperando a una gestión integrada de los recursos hídricos.

5.2.2 Déficit hídrico

Concepto relacionado a varios aspectos de los recursos hídricos como es: escasez de agua, calidad del agua, flujos ambientales y la disponibilidad del agua, para satisfacer la demanda humana y ecológica.

La escasez del agua en muchas partes del mundo pone en tensión los suministros de agua debido a que la demanda de agua supera la cantidad disponible durante ciertos periodos o cuando la mala calidad restringe el uso del agua provocando el déficit hídrico, deterioro de la cantidad de agua dulce (sobreexplotación de acuíferos, ríos secos, etc.) y calidad (eutrofización, contaminación por materia orgánica, intrusión salina, etc.) (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2018).

El Perú tiene un gran desafío respecto a disponibilidad hídrica y distribución de su población. Donde la Región Hidrográfica del Atlántico tiene el 97.27% de disponibilidad de agua y 30.76 % de la población del país, la Región Hidrográfica del Titicaca tiene el 0.56% de disponibilidad de agua y 3.26 % de la población del país y la Región Hidrográfica del Pacífico tiene el 2.18% de disponibilidad de agua y 65.98 % de la población del país. Lo cual evidencia una desigualdad en la disponibilidad del agua por acción de la naturaleza y distribución de la población.

La ciudad de Lima de acuerdo a proyecciones del INEI cuenta con 10 millones 4 mil 141 habitantes, que representan el 29.9 % de la población proyectada del Perú (Oficina Técnica de Difusión, 2022). Lima presenta problemas de abastecimiento de agua; por ello se realizan trasvases, proyectos de mejoramiento y ampliación, presas, embalses, aprovechamiento de aguas subterráneas y desalinización de agua de mar, etc. Asimismo, Lima es la segunda ciudad más grande asentada sobre un desierto, actualmente, es una ciudad considerada en déficit hídrico.

El cambio climático afecta negativamente los ecosistemas de agua dulce; altera los flujos pluviales y pone en riesgo la calidad de agua potable, debido al aumento de temperaturas, sedimentos, nutrientes y contaminantes (fuertes lluvias). En épocas de sequías, concentración mayor de contaminantes y en épocas de crecidas, interrupción en el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de agua. También incide en un aumento de caudales en ríos debido al deshielo de los glaciares, en consecuencia, la disminución de caudales al paso del tiempo. Provocando que un 7% de la población mundial estará expuesta a una disminución de 20% de recursos hídricos renovables (IPPC, 2019). En el Perú, en los últimos años se evidenció el deshielo continuo y total de los glaciares, provocando la disminución de caudales en ríos y recursos hídricos para la población.

Otro aspecto importante, para la reutilización de aguas residuales tratadas, es la contaminación antrópica debido a vertimientos hacia ríos de aguas residuales, haciendo que su tratamiento (uso poblacional) sea más costoso que anteriores años.

A causa de todo ello, en diferentes investigaciones, se ha enfatizado la necesidad de desarrollar otros tipos de recursos hídricos como la desalinización de agua de

mar, la recolección de agua de lluvia y la recuperación de aguas residuales, puesto que liberan recursos de agua potable para otros usos, o para su conservación.

5.2.3 Usos del ART

La agricultura es la actividad de mayor usuaria de agua, la utilización de agua residual tratada en la agricultura es una práctica creciente en el mundo, además de esta actividad se presentan otros usos ver el Cuadro 9:

*Cuadro 9. Usos del agua residual tratada.
Elaboración propia. Fuente: (US EPA, 2012).*

Agricultura	Recreación	Industria	Medio Ambiente
Cultivos de alimentos	Aplicación para paisajismo	Lavar/limpiar	Recarga de agua subterránea
Cultivos de alimentos con irrigación por goteo	Lagos para navegación	Enfriamiento (generación de energía, papel y textiles)	Incremento del flujo
Cultivos no alimenticios	Para fabricar nieve	Agua para procesos, calderas, (otras industrias)	Mejoramiento de la aridez
Agua para que beba el ganado		-	-

Sin embargo, si no se planifica, gestiona y ejecuta de manera adecuada, la reutilización del agua residual puede traer consigo riesgos en la salud pública, agronómicos y ambientales.

5.2.3.1 Usos en el mundo

Se presenta el panorama de usos del agua residual tratada en el mundo, como se muestra en el Cuadro 10.

*Cuadro 10. Usos del ART en el mundo.
Elaboración propia. Fuente: (Soderberg, 2016).*

País	Sector	Uso
África del sur	Industrial	Durban uso industrial y Mina Emolahleni reemplazo de agua potable.
Egipto	Agricultura	Reusó de 6 MMC.
Líbano	Agricultura	Reusó de 2 MMC/año para riego agrícola.
Marruecos	Turismo, agricultura	Escala menor áreas turísticas, hoteles y campos de golf; agua residual sin tratar para riego agrícola.
Namibia	Industria	Abastecer planta potabilizadora, sin efectos adversos a la salud.

Túnez	Agricultura	Reusó de 35 MMC/año riego agrícola y 8 campos de golf.
China	Industria	País que mayor reúsa, en volumen de ART en el mundo
India	Agricultura, industria de la construcción, otros.	Reúsa el 13% de las ART, riego agrícola, Nueva Delhi construyo sistema dual, donde cada residencia recibe agua potable y ART para riego de jardines y uso de inodoros.
Japón	Industria	Reúsa 200 MMC en inodoros, sistemas de enfriamiento, irrigación de áreas verdes, lavado de carros y aumento de flujo de ríos, además, es normado el reusó de ART de edificios grandes.
Singapur	Industrial	Uso no potable industrias, edificios comerciales y oficinas, además para restablecer embalse que suple a planta potabilizadora (Osmosis revertida y desinfección con rayos UV).
Australia	Industria, agricultura	Riego de parques, campos de golf, lavado de calles y vehículos e industria de la construcción, riego agrícola, industrias de servicio (centros comerciales, oficinas), calderas, sistemas de enfriamiento.
Europa	Industria, agricultura	Ciudades europeas en verano, dependen del reusó indirecto para el 70% de abastecimiento de agua, riego agrícola, riego de áreas verdes, lavar carreteras y fines ambientales.
Canadá	Industria	Poco reusó, riego cultivo no comestible, campos de golf, áreas verdes, para suplir inodoros y jardines pequeños residencias aisladas, industrial.
Estados Unidos	Agricultura, industria	Riego de cultivos, áreas verdes, sector comercial e industrial, abastecer acuíferos, plantas potabilizadoras, inodoros.
Oriente Medio	Agricultura	Riego agrícola, áreas verdes.
Argentina	Industria	Mendoza se reúsan 39 MGD para irrigar 10,000 hectáreas.
Chile	Industria, agricultura	Riego de 130,000 hectáreas, el 5% de ART para riego agrícola.

Perú	Agricultura	Tacna, 230 l/s riego agrícola, ZAVES 250 l/s, Pampas de San Bartolo 1.7 m ³ /s irrigar 368 hectáreas
Colombia	Agricultura	Para suplir el 37% de la demanda de riego agrícola.
Brasil	Industria construcción, industrial	Se producen 650 l/s para ampliación del Polo Petroquímico de Grande ABC, de lo contrario por falta de agua no se podría construir, industria textil.
República Dominicana	Agricultura	Se reusa 0.06 m ³ /s para riego agrícola, La Vega.
Puerto Rico	Turismo, industrial, farmacéutico	Hoteles, riego áreas verdes, fines de enfriamiento en planta de electricidad, suplir calderas y sistema de enfriamiento, inodoros.
México	Industrial, agricultura	Riego de áreas verdes, riego agrícola, recarga de lagunas recreativas, enfriamiento de plantas de electricidad, recarga acuíferos, lavado de vehículos, ART proveen el 10 % de la demanda de agua en México, el país en América Latina con más práctica.

Además, para la presente investigación; se evidencia conclusiones de estudios realizados del empleo de ART para la elaboración de concreto, que fueron ejecutados en Estados Unidos, México, Brasil, Venezuela, Colombia, Australia y otros países; obteniéndose resultados positivos para el uso de este tipo de agua en la industria de la construcción.

El reusó de este tipo de aguas es una realidad, como es el caso de México, el trabajo denominado: “Comparación entre concretos elaborados con agua potable y concretos fabricados con agua residual tratada en Azcapotzalco”; se utiliza agua de diferentes PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), para evaluar la posibilidad de sustituir el agua potable en la elaboración de concreto, la mayoría de las muestras no presentan efectos negativos en la resistencia a la compresión, por el contrario se obtuvieron incrementos entre el 10% y 40% a los 28 días (Vásquez Rojas et. al, 2001).

En el caso de Colombia, en el trabajo denominado: “Los efectos en la resistencia de concreto simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) Cañaveralejo”; se realizó el diseño con agua potable y el otro diseño empleando 50% de agua potable con

50% de agua residual tratada, se observó que la resistencia de diseño fueron similares a los 28 días; también, se observó que las resistencia obtenidas a los 28 días preparados con 100% agua residual tratada y agua residual tratada en reposo fueron del 90.2% y 88.9% respectivamente, respecto a la resistencia obtenida con agua potable, cuyos valores se encuentran por debajo estipulado en las normas (>92%), por lo que no es apropiado usar directamente en las mezclas de concreto. Si la PTAR Cañaveralejo redujera la materia orgánica en (>50%) mediante un proceso adicional de tratamiento, posiblemente la resistencia del concreto con el uso de agua residual tratada mejoraría; con el uso de agua residual tratada en todos los diseños se observó un retraso de fraguado, por lo tanto, se puede definir al uso del agua residual tratada en un 50% tiene un efecto como aditivo natural” (Linares y Cerón, 2016).

5.2.3.2 Normativa internacional

La normativa internacional presentada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, EPA), evidencia pautas reglamentarias mínimas según la experiencia de reutilización de agua en los Estados Unidos, presentado en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Reglas y/o regulaciones de la EPA para la reutilización de ART.
Elaboración propia. Fuente: EPA,2012.

Parámetro	Limite	Unidad
pH	6.5 - 8.5	
DBO _{5,20} *	30	mg/l
S.S.T.**	30	mg/l
E. coliforme	200	org./100ml
Cloro residual	1	mg/l

* Demanda bioquímica de oxígeno.

** Sólidos suspendidos totales.

5.2.3.3 Usos en Perú

En Perú, se genera aproximadamente 2'217,946 m³/día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de empresas prestadoras del servicio de saneamiento (EPS), sin embargo, el 32% de estas recibe un tratamiento alguno, asimismo Lima genera 1'202,286 m³/día de aguas residuales y solo el 20.5% recibe un tratamiento alguno, por consiguiente, existen 50 EPS Saneamiento, que brindan un servicio a 15'392,203 habitantes, que representa el 69.65% de la población y 6'707,797 habitantes no cuentan con este servicio siendo el 30.35%.

(Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014); cabe resaltar que del 100% del volumen total de vertimiento solo el 4% de aguas residuales tratadas son reusadas, siendo el sector de agricultura el más beneficioso.

Asimismo, se presenta estudios realizados sobre el uso de diferentes tipos de agua, para la elaboración de concreto en el Perú.

En el trabajo denominado: “ Análisis de las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia elaborado con agua residual tratada”; se elaboraron dos tipos de mezclas con calidades de agua diferentes: Agua residual tratada - tratamiento primario, denominado (ART-1) y agua residual tratada - tratamiento secundario, denominado (ART-2), procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Centro de Investigaciones de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI); el concreto con agua residual tratada (ART), presenta más asentamiento que el concreto patrón con agua potable, a medida que la relación a/c disminuye, pero tiene a ser cercano al valor del concreto patrón; el concreto con ART presenta tendencia creciente de la exudación al disminuir la relación a/c; el concreto con ART presenta diferente comportamiento del contenido de aire, según la calidad del agua; el concreto con ART presenta un aumento del tiempo de fraguado inicial al disminuir la relación a/c, asimismo, presenta un aumento del tiempo de fraguado final al disminuir la relación a/c, además, varía según la calidad de agua; el concreto con ART presenta una tendencia creciente de la resistencia a la compresión axial al disminuir la relación a/c; el concreto con ART presenta menores valores a la compresión axial con respecto al concreto patrón (Sáenz Correa, 2021).

5.2.3.4 Normativa Perú

En Perú, no hay un interés por parte de autoridades en el uso de ART, ello se evidencia en la falta de normativas específicas para el uso del ART. En vista que algunas Industrias, pueden adecuarse con el uso del ART, adecuando la calidad que se necesita con el tratamiento respectivo, para satisfacer su demanda de agua. Y con ello conservar y ampliar los suministros disponibles de agua, para otros fines.

Sin embargo, las normas de Perú conforme al uso de ART están direccionadas solo para el riego y la agricultura; además vinculadas a pautas de la Organización Mundial de la Salud, respecto a LMP.

5.2.4 El ART en el concreto

El uso del ART en la elaboración de concreto, en diferentes investigaciones presenta resultados positivos, conforme a diferentes normativas consultadas. Tales normativas indica los requisitos a cumplir para la elaboración de concreto con agua no potable. Sin embargo, es importante evaluar y analizar las variaciones de las propiedades del concreto empleando ART. El Cuadro 12 presenta los efectos de sustancias del ART en el concreto.

Cuadro 12. Efecto de sustancias del ART sobre las propiedades del concreto. Elaboración propia. Fuente: Diéguez, 2011. Guzmán y Hurtado, 1972.

Sustancia	Límite superado	Efectos negativos en el concreto
Carbonatos y bicarbonatos	1000 mg/l	Variación en el tiempo de fraguado
Sales de hierro	40000 mg/l	Manchas superficiales en el concreto
Sales de Manganeso, Estaño, Zinc, Cobre y Plomo	500 mg/l	Disminución de resistencia y grandes retrasos en el tiempo de fraguado
Aceites y grasas	2%	Reducción de la resistencia en más de 20% y en la adherencia entre la pasta y los agregados
Algas	-	Hidratación del cemento, incorporación de aire al concreto y en la adherencia entre la pasta y los agregados
Sulfatos	150 mg/l	Aumento de volumen a pequeña escala en el concreto, muy nocivo
Cloruros	Según tipo de estructura y exposición.	Corrosión de la armadura (acero), si fuera el caso
Nitratos	Sin límite establecido.	Puede causar deterioro en el concreto
Materia orgánica	400 mg/l	Disminución de resistencia o variación en el tiempo de fraguado
Azúcares	0.03% - 0.15%	Disminución de resistencia a los 7 días
	>0.25%	Variación en el tiempo de fragua y gran disminución de la resistencia

5.3 PROCESO DE FILTRADO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (AF)

En referencia a procesos de tratamiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR, según en el capítulo V, 5.1.2. Planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR, esta investigación realiza un tratamiento adicional al agua residual de tratamiento secundario de CITRAR – UNI, mostrado en la Imagen 6, con la finalidad de buscar una mejor calidad de agua, con menores concentraciones de materia orgánica y sedimentos, para la elaboración de concreto. Para ello el tratamiento adicional es un proceso de filtración a través de cartuchos como es:

- Pre-Filtro de 1 μm Deluxe. - Filtro de alta calidad para la remoción de partículas suspendidas mayores a 1 micras de tamaño, tales como arcillas, coloides, limo y otros, barrera previa al filtro de carbón activado.
- Carbón activado de coco en bloque. - Filtro de alta calidad para la absorción de químicos, VOCs y olores en el agua, eliminación de cloro libre y compuestos orgánicos en el agua.

Esta investigación, filtra el agua residual tratada a través de estos dos filtros, conectados en serie, primero el Pre-Filtro de 1 μm Deluxe, seguido del filtro de carbón activado, obteniendo, como producto final el agua filtrada (AF) del agua residual tratada de CITRAR - UNI.

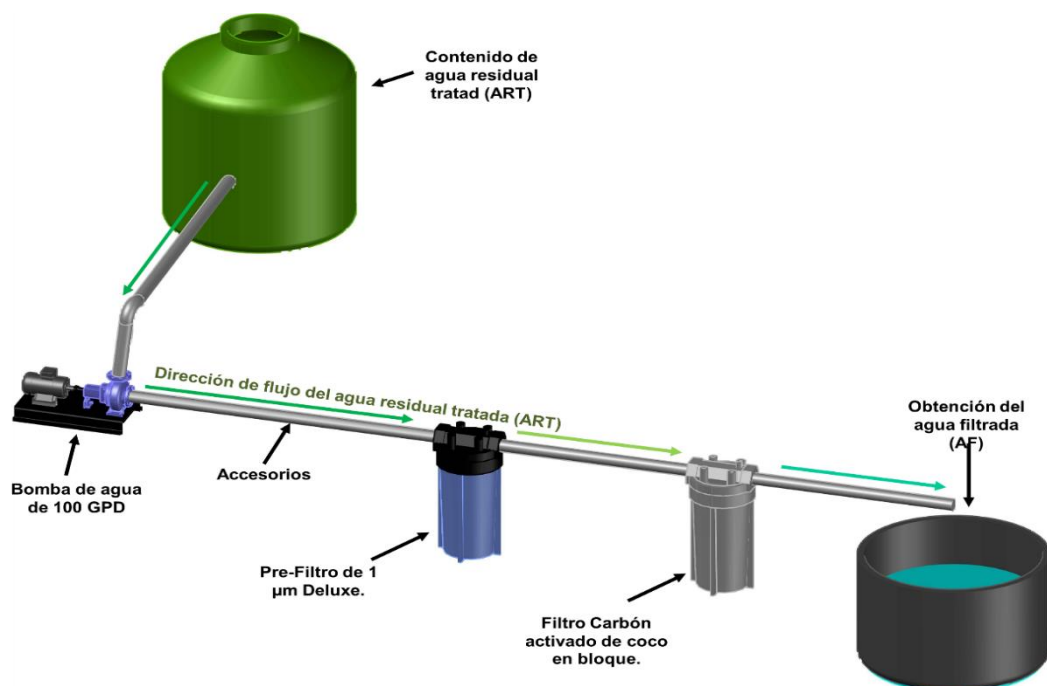


Imagen 6. Proceso de filtración adicional al agua residual de tratamiento secundario

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLAS

6.1 GENERALIDADES

En diseño de mezcla de concreto intervienen una gran variedad de variables que determinan su comportamiento en servicio, desde su concepto, pasando por el mezclado, fraguado y endurecimiento, hasta su madurez, tales variables son el costo, resistencia, trabajabilidad, durabilidad y apariencia. El diseño consiste en optimizar tales variables según los materiales a seleccionar, elaborando concreto según la especificación requerida, en la cual predomina una o más variables a optimizar y adoptar valores mínimos para las variables restantes. En consecuencia, han surgido varios métodos, cada uno especial para buscar optimizar las variables en particular y obtener concretos como: normal, seco, pesado, liviano, alta resistencia, autonivelante, fraguado rápido, con adiciones, con aditivos y alto desempeño, etc. (Bolívar, 2004).

6.2 MÉTODO DE DISEÑO

Debido a la existencia de diferentes métodos el presente estudio opta por el diseño de mezcla, con el método del Agregado Global y tablas del ACI - 211.

Asimismo, para la obtención de las proporciones de los agregados esta investigación opta por el método del Agregado Global, a fin de lograr la mejor combinación de agregados, por consiguiente, obtener el aprovechamiento eficiente del cemento, reduciendo su cantidad de uso.

- Método del ACI – 211

La presente investigación usa las tablas del ACI-211 para los cálculos de la cantidad inicial de agua según el tamaño máximo nominal del agregado, definición del asentamiento de 3 a 4 pulgadas, por consiguiente, cálculo del porcentaje de aire atrapado en la mezcla.

6.3 DISEÑO DE CONCRETO PATRÓN

Se establece el procedimiento del diseño de mezcla de la presente investigación:

- a) Recopilación de datos generales para el diseño

Realizar un aseguramiento de la elección de los materiales como es agregados, cemento, agua, asegurando los requisitos y las especificaciones de la NTP, para

cada material. Ello se evidencia en Capitulo III: Características de los materiales. Asimismo, en los Anexos N°1, 2 y 3:

- b) Definición de la trabajabilidad, la cantidad de agua y aire atrapado.

Definir por medio de las tablas del ACI-211, un slump de 3" – 4", para una consistencia del concreto de blanda a fluida, además, se obtiene de las tablas la cantidad inicial de agua de 205 litros, asimismo con el tamaño máximo nominal del agregado de ¾", se define 2 % de aire atrapado.

- c) Definición de la relación de a/c.

Establecer las relaciones de agua cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, con la finalidad de obtener concretos de mediana a alta resistencia.

- d) Definir porcentajes de agregado fino y grueso, método del Agregado Global.

Por medio del ensayo de peso unitario compactado (P.U.C.), se define diferentes porcentajes en peso de la arena y piedra en combinación, como muestra el Cuadro 13, en base a investigaciones anteriores y bibliografía consultada.

Cuadro 13. P.U.C. de la combinación de agregado fino y grueso.
Elaboración propia.

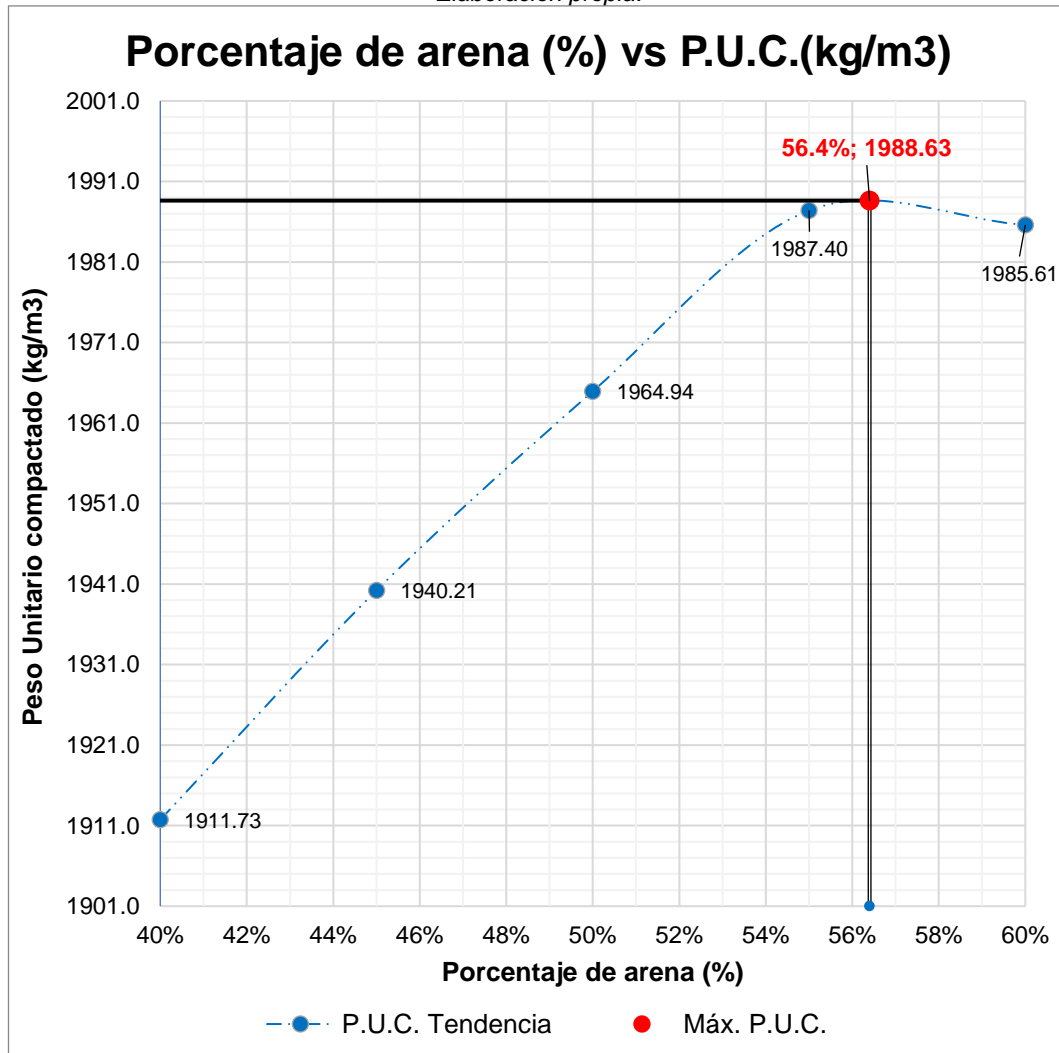
% arena	40	45	50	55	60
% piedra	60	55	50	45	40
P.U.C. – kg/m³	1911.7	1940.2	1964.9	1987.4	1985.6

De los resultados obtenidos se realiza el Gráfico 1 (% arena - P.U.C.), a fin de obtener los porcentajes de arena y piedra de máxima compacidad (punto máximo de la gráfica), ello busca el mejor acomodo entre las partículas de arena y piedra, siendo tales porcentajes, dados en el Cuadro 14:

Cuadro 14. Porcentaje de agregados y P.U.C. máx.
Elaboración Propia.

% arena	56.4
% piedra	43.6
P.U.C. máx. – kg/m³	1988.63

Gráfico 1. Determinación de P.U.C. máx.
 Elaboración propia.



e) Determinar la dosificación inicial

Determinar la dosificación inicial para la investigación. Definido las características de los materiales, slump, cantidad de agua inicial, porcentaje de aire atrapado, los porcentajes de arena y piedra de la máxima compactación. A través del método de volúmenes absolutos es determinado, las cantidades de arena, piedra, agua y cemento; luego, procede a la mezcla y evaluación de la trabajabilidad, por consiguiente, se realiza una corrección del agua a fin buscar la trabajabilidad de 3 a 4 pulgadas, por medio de elaboración tandas de concreto y reajuste de materiales; finalmente, es obtenido las cantidades de la dosificación inicial.

Además, cabe mencionar, que la humedad de los agregados se mantuvo constante, ya que estuvieron secos, homogeneizados y almacenados en bolsas de plástico selladas.

f) Determinar la dosificación definitiva

A partir de la dosificación inicial, el presente estudio realiza mezclas de prueba variando los porcentajes de arena y piedra de la compacidad máxima (P.U.C. Máx.) en $\pm 3\%$ como muestra el Cuadro 15 y la evaluación de pruebas de resistencia de cada diseño de mezcla a 7 o 14 días de edad, a fin que obtiene el porcentaje de arena y piedra que da la máxima resistencia ver Gráfico 2, finalmente, reajusta el diseño de mezcla y determina la dosificación definitiva.

*Cuadro 15. Resistencias a la compresión (14 días) para un a/c de 0.45, variación del P.U.C.máx. en más, menos 3%.
Elaboración propia.*

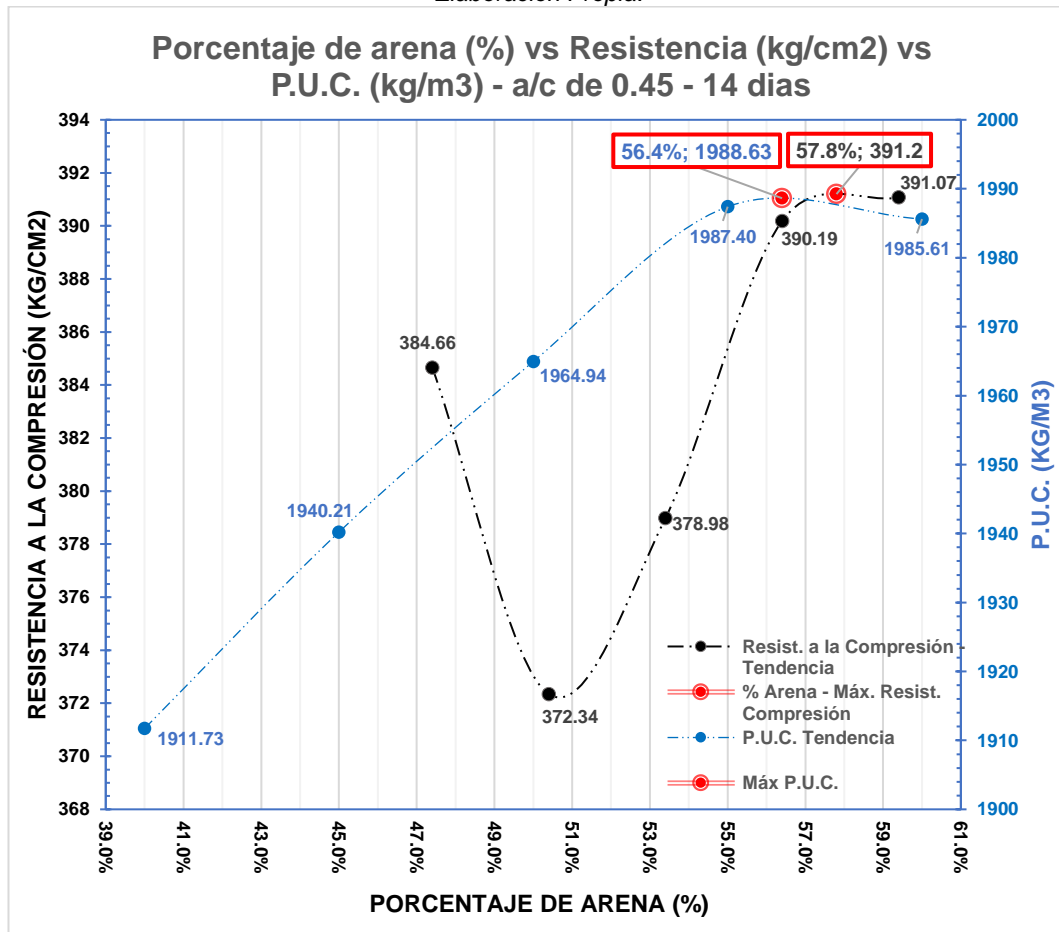
% arena	47.4	50.4	53.4	<u>56.4</u>	59.4
% piedra	52.6	49.6	46.6	<u>43.6</u>	40.6
Resistencia (kg/cm²)	384.66	372.34	378.98	390.19	391.07

Con la interpretación de los datos obtenidos, realiza una superposición de graficas Gráfico 2 (% arena – Resistencia – P.U.C.) obteniéndose la máxima resistencia (punto máximo de la gráfica), establecidos así los porcentajes de agregados para el diseño definitivo de la mezcla de concreto, visto en el Cuadro 16.

*Cuadro 16. Porcentaje de agregados y resistencia compresión máxima para un a/c de 0.45.
Elaboración Propia.*

% arena	<u>57.8</u>
% piedra	42.2
Resistencia compresión máxima (kg/cm²)	391.2

Gráfico 2. Superposición de graficas de P.U.C. - % de arena – resistencia a la compresión (14 días) para a/c de 0.45.
Elaboración Propia.



Finalmente, establecido los porcentajes de los agregados, correspondiente a la resistencia a la compresión máxima. Se muestra como dosificación definitiva el Cuadro 17 para la relación de a/c de 0.45.

Cuadro 17. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.45.
Elaboración Propia.

Materiales	Peso seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso unitario seco	Peso húmedo (kg)	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 (kg)
Cemento	557.78	0.178	1.000	557.78	1.000	13.00
Agua	251.00	0.251	0.450	257.65	0.462	6.01
Arena* (57.80%)	851.30	0.318	1.526	857.77	1.538	20.00
Piedra* (42.20%)	640.13	0.232	1.148	642.95	1.153	14.99
Aire	-	0.020	-	-	-	-
Total	2300.20	1.000	4.124	2316.14	4.152	54.00

* Porcentaje final de agregados previo ajustes.

Es repetido el procedimiento de diseño de mezcla desde el inciso a) hasta el f), para la obtención de las dosificaciones definitivas para las relaciones de a/c de 0.50 y 0.55, los cuales se muestran en los Cuadro 18 y Cuadro 19, respectivamente.

Cuadro 18. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.50.
Elaboración Propia.

Materiales	Peso seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso unitario seco	Peso húmedo (kg)	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 (kg)
Cemento	496.00	0.158	1.000	496	1.000	11.58
Agua	248.00	0.248	0.500	254.86	0.514	5.95
Arena* (59.20%)	907.91	0.34	1.830	914.81	1.844	21.36
Piedra* (40.80%)	644.44	0.234	1.299	647.28	1.305	15.11
Aire	-	0.020	-	-	-	-
Total	2296.35	1.000	4.63	2312.95	4.663	54.00

* Porcentaje final de agregados previo ajustes.

Cuadro 19. Diseño de concreto patrón para una relación de a/c de 0.55.
Elaboración propia.

Materiales	Peso seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso unitario seco	Peso húmedo (kg)	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 (kg)
Cemento	441.82	0.141	1.000	441.82	1.000	10.31
Agua	243.00	0.243	0.550	250.12	0.566	5.84
Arena* (59.40%)	946.41	0.354	2.142	953.61	2.158	22.25
Piedra* (40.60%)	666.23	0.242	1.508	669.16	1.515	15.61
Aire	-	0.020	-	-	-	-
Total	2297.46	1.000	5.200	2314.70	5.239	54.00

* Porcentaje final de agregados previo ajustes.

El Anexo N°4, presenta a mayor detalle la obtención de los diseños definitivos para a/c de 0.45, 0.50 y 0.55.

6.4 DISEÑO DE CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA

Para el diseño del concreto elaborado con proporciones de 50% ART y 100% ART. Esta investigación realiza el reemplazo de volumen total de AP en proporciones de ART, con un reemplazo de 50% y 100%, posteriormente elabora concreto con los diseños definitivos, usando las diferentes calidades de agua.

Para ello se traslada el ART de CITRAR – UNI, un día antes o el mismo día de la realización de los ensayos al concreto, almacenado en galoneras de 10 galones, selladas y refrigeradas.

6.5 DISEÑO DE CONCRETO CON AGUA FILTRADA

Para el diseño del concreto elaborado con agua filtrada (AF). Es reemplazado el total de volumen de AP que se empleó para la elaboración del diseño de concreto patrón por agua filtrada (AF).

El agua filtrada (AF) a emplear es obtenido por proceso de filtración al agua residual tratada, por medio de cartuchos de filtro, tal proceso es efectuado, un día antes o el mismo día de la realización de los ensayos al concreto, asimismo, almacenado en galoneras de 10 galones debidamente selladas y refrigeradas.

CAPÍTULO VII: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Para la presente investigación se realizaron ensayos para la determinación de las propiedades del concreto en estado fresco, según el capítulo II (2.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO), siendo lo siguiente:

- Consistencia
- Fluidez
- Exudación
- Peso Unitario
- Contenido de Aire
- Tiempo de fraguado
- Temperatura

El resumen de resultados de los ensayos realizados al concreto patrón respecto a las propiedades del concreto en estado fresco se muestra en el Cuadro 20, para el concreto elaborado con 50% ART se muestra el Cuadro 21 y para el concreto elaborado con 100% ART mostrado en el Cuadro 22.

*Cuadro 20. Resumen de propiedades del concreto patrón en estado fresco.
Elaboración propia.*

Ensayo ¹	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Consistencia	pulg.	3 1/8	3 1/2	4
Fluidez	%	33.00	41.50	38.00
Exudación	%	0.40	0.63	1.32
Peso Unitario	kg/m ³	2355.23	2348.87	2346.05
Contenido de aire	%	1.85	1.90	1.80
T.F. inicial	min	203	205	218
T.F. final	min	276	287	295
Temperatura	°C	27.38	25.52	25.03

1: Realizados entre los días 24/02/2022 al 18/03/2022 entre 22° a 26° de temperatura de ambiente.

*Cuadro 21. Resumen de propiedades del concreto con 50% ART en estado fresco.
Elaboración propia.*

Ensayo ¹	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Consistencia	pulg.	3 1/4	3 5/8	4 1/4
Fluidez	%	31.50	38.00	37.50
Exudación	%	0.35	0.45	0.94
Peso Unitario	kg/m ³	2355.93	2340.40	2347.46
Contenido de aire	%	1.80	1.70	1.85
T.F. inicial	min	218	210	226
T.F. final	min	287	274	293
Temperatura	°C	26.44	27.02	27.26

1: Realizados entre los días 24/02/2022 al 18/03/2022 entre 22° a 26° de temperatura de ambiente.

Cuadro 22. Resumen de propiedades del concreto con 100% ART en estado fresco.
Elaboración propia.

Ensayo ¹	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Consistencia	pulg.	3 1/2	4 1/8	4 1/2
Fluidez	%	27.00	32.50	30.00
Exudación	%	0.46	0.87	1.41
Peso Unitario	kg/m ³	2341.81	2331.92	2337.57
Contenido de aire	%	1.85	1.80	1.70
T.F. inicial	min	210	220	240
T.F. final	min	279	289	330
Temperatura	°C	27.3	26.92	26.35

1: Realizados entre los días 24/02/2022 al 18/03/2022 entre 22° a 26° de temperatura de ambiente.

El Anexo N°5, presenta a mayor detalle la obtención de tales resultados.

CAPÍTULO VIII: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Esta investigación realiza ensayos para determinar las propiedades del concreto en estado endurecido, siendo: Compresión axial ensayado a edades (7, 14, 28, 60 y 90 días) y compresión diametral (28 días) según el capítulo II (2.5 Propiedades del concreto).

El resumen de resultados de los ensayos realizados al concreto patrón se muestra en el Cuadro 23, para el concreto elaborado con 50% ART se muestra el Cuadro 24 y para el concreto elaborado con 100% ART se muestra el Cuadro 25.

*Cuadro 23. Resumen de propiedades del concreto patrón en estado endurecido.
Elaboración propia.*

Ensayo	días	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Compresión axial	7	kg/cm ²	372.13	335.15	335.94
	14	kg/cm ²	398.69	371.00	357.96
	28	kg/cm ²	434.60	402.70	402.36
	60	kg/cm ²	458.86	444.86	426.92
	90	kg/cm ²	478.21	448.61	442.52
Compresión diametral	28	kg/cm ²	34.67	35.77	33.91

*Cuadro 24. Resumen de propiedades del concreto con 50% ART en estado endurecido.
Elaboración propia.*

Ensayo	Días	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Compresión axial	7	kg/cm ²	384.68	358.96	339.55
	14	kg/cm ²	389.62	380.19	364.66
	28	kg/cm ²	439.28	404.65	387.87
	60	kg/cm ²	476.70	437.50	416.61
	90	kg/cm ²	499.04	454.32	437.34
Compresión diametral	28	kg/cm ²	37.49	34.15	34.27

Cuadro 25. Resumen de propiedades del concreto con 100% ART en estado endurecido.
Elaboración Propia.

Ensayo	Días	unidad	a/c : 0.45	a/c : 0.50	a/c : 0.55
Compresión	7	kg/cm ²	380.23	330.68	332.33
axial	14	kg/cm ²	413.53	368.43	363.10
	28	kg/cm ²	457.62	412.08	398.34
	60	kg/cm ²	495.05	443.08	422.63
	90	kg/cm ²	527.29	451.17	436.76
Compresión	28	kg/cm ²	35.96	33.95	37.72
diametral					

El Anexo N°6, presenta a mayor detalle la obtención de tales resultados.

CAPÍTULO IX: CUADRO DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

9.1 AGREGADOS

9.1.1 Granulometría

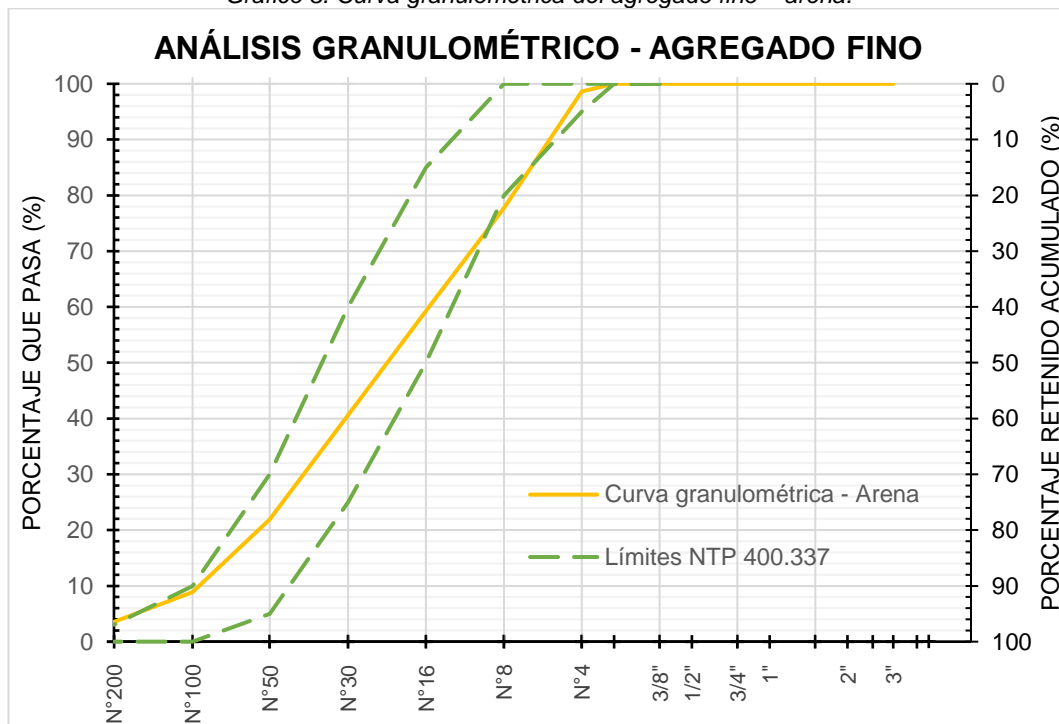
9.1.1.1 Agregado fino - arena

El Cuadro 26 muestra la granulometría del agregado fino usado en la investigación, detalla los valores obtenidos y los límites de la NTP 400.037, asimismo el Gráfico 3 muestra la gráfica de granulometría.

Cuadro 26. Granulometría de la arena.
Elaboración propia. Fuente: NTP 400.037.

Malla		Porcentaje que pasa	Límites NTP 400.037
Numero	Milímetros		
3/8"	9.526	100.00	100
N°04	4.763	98.65	95 - 100
N°08	2.381	77.76	80 - 100
N°16	1.191	59.24	50 - 85
N°30	0.595	40.60	25 - 60
N°50	0.296	21.91	05 - 30
N°100	0.149	8.86	0 - 10
N°200	0.074	3.55	0 - 3

Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino – arena.



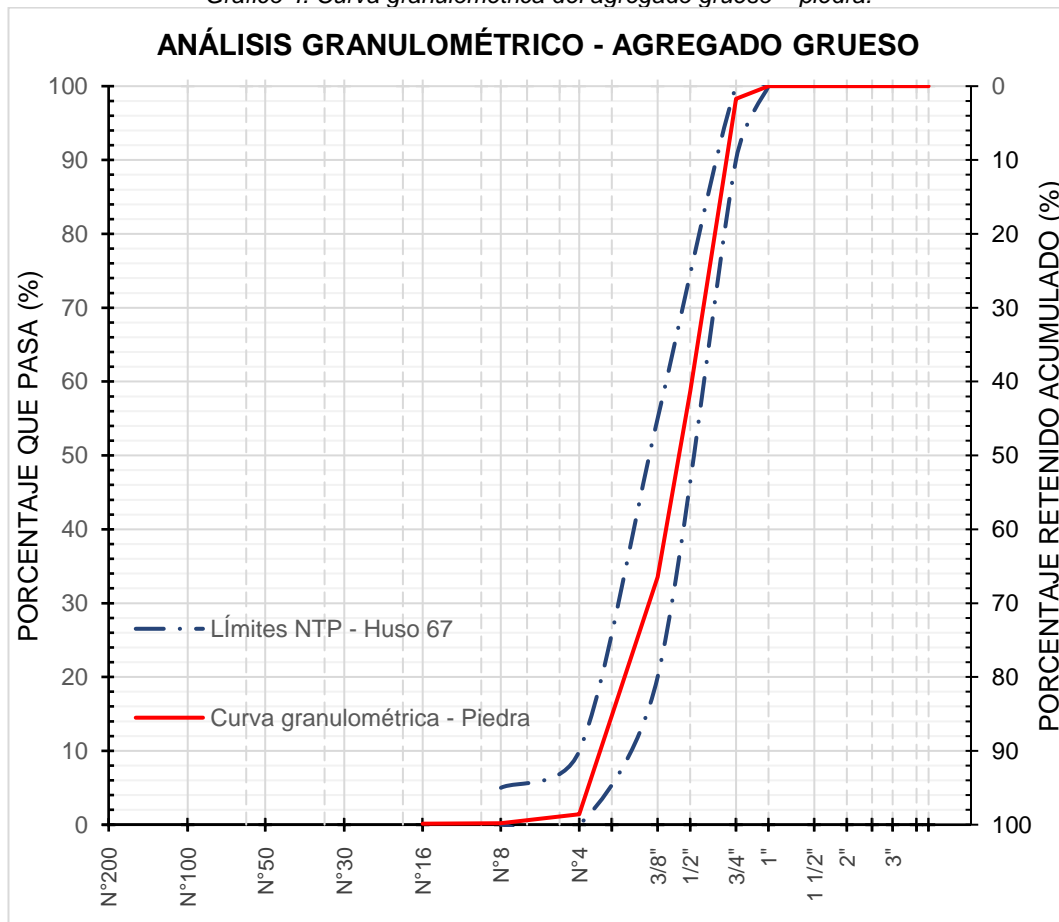
9.1.1.2 Agregado grueso – piedra

El Cuadro 27 muestra granulometría del agregado grueso usado en la investigación, detalla los valores obtenidos y los límites de la NTP 400.037, asimismo el Gráfico 4 muestra la gráfica de granulometría.

Cuadro 27. Granulometría de la piedra.
Elaboración propia. Fuente: NTP 400.037.

Numero	Malla Milímetros	% Porcentaje que pasa	Limites % HUSO 67
1"	25.00	100.00	100
3/4"	19.00	98.28	90 - 100
1/2"	12.50	58.72	-
3/8"	9.50	33.53	20 – 55
N°04	4.75	1.42	0 – 10
N°08	2.36	0.19	0 - 5
N°16	1.18	0.14	

Gráfico 4. Curva granulométrica del agregado grueso – piedra.



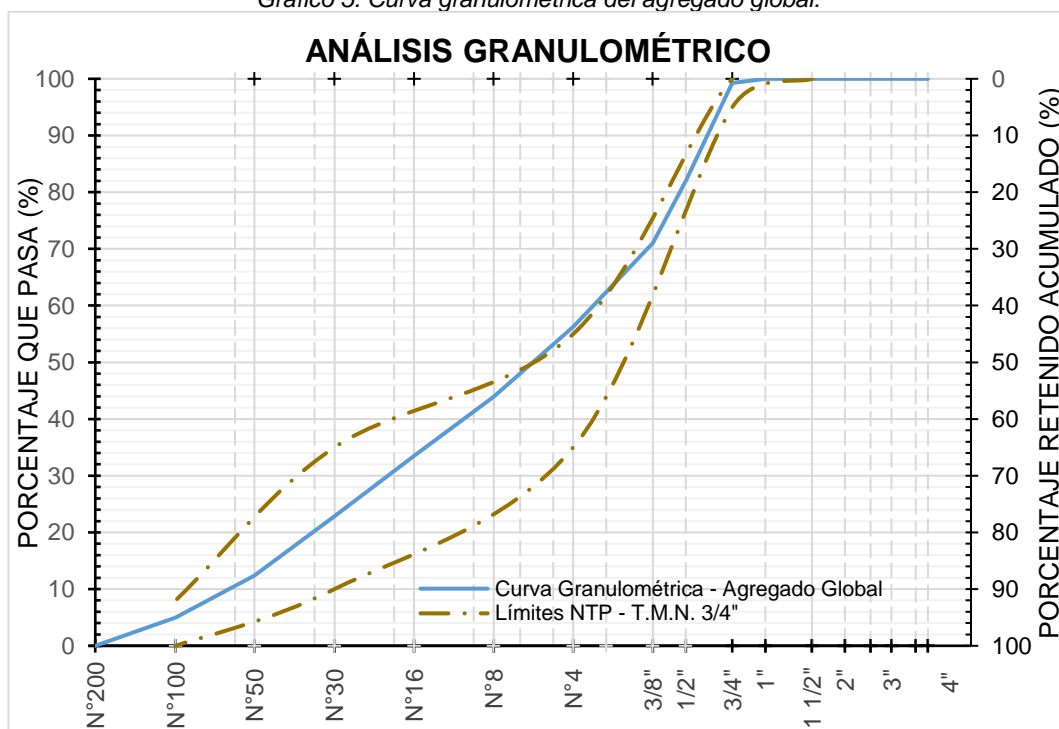
9.1.1.3 Agregado global

El Cuadro 28 muestra la granulometría del agregado global, detalla los valores del ensayo realizado y los límites de la NTP 400.037, asimismo el Gráfico 5 muestra la granulometría con los límites establecidos en la NTP.

Cuadro 28. Granulometría de la arena.
Elaboración propia. Fuente: NTP 400.037.

Malla	Porcentaje parcial retenido	Porcentaje que pasa		Límites T.M.N. ¾"
		Piedra	Arena	
Numero	Milímetros			
1 1/2"	38.10	0.00%	0.00%	100.00
1"	25.40	0.00%	0.00%	-
¾"	19.05	0.75%	0.00%	95 - 100
½"	12.70	17.25%	0.00%	-
⅜"	9.526	10.99%	0.00%	-
N°4	4.763	14.00%	0.76%	35 - 55
N°8	2.381	0.53%	11.78%	-
N°16	1.191	0.02%	10.45%	-
N°30	0.595	0.06%	10.51%	10 - 35
N°50	0.296	0.00%	10.54%	-
N°100	0.149	0.00%	7.36%	0 - 8
N°200	0.074	0.00%	2.99%	-
< N°200	-	0.00%	2.00%	-
		43.60%	56.40%	

Gráfico 5. Curva granulométrica del agregado global.



9.2 AGUA DE MEZCLA

El Cuadro 29, muestra una comparación de resultados obtenidos de las diferentes muestras de calidad de agua usada, en la investigación, para elaborar concreto comparado con los límites establecidos para el agua potable, estándares de calidad ambiental (ECA) para riego de plantas y bebida de animales y la NTP.

Cuadro 29. Comparación de parámetros de los diferentes tipos de agua, empleados para la elaboración de concreto.

Elaboración propia. Fuente: NTP, ECA, A.P.

Parámetro	Unidad	NTP	E.C.A-3	AP	50% ART	100% ART	AF
Sólidos en suspensión	p.p.m.	5000	-	0.4	17.20	33.60	34.80
Sulfatos (SO₄⁼)	p.p.m.	600	-	39.71	38.39	48.11	87.04
Cloruros (Cl)	p.p.m.	1000	500	31.56	51.12	80.28	150.95
Alcalinidad	p.p.m.	1000	-	101.32	171.83	220.39	153.15
Materia orgánica	p.p.m.	3	-	15.00	60.00	75.00	1.54
pH		5 a 8	6.5 a 8.5	7.29	7.10	7.31	6.78
Nitratos	p.p.m.	-	-	0.82	0.41	0.36	0.04

9.3 CONCRETO EN ESTADO FRESCO

En el capítulo VII se indicó el resumen de las propiedades del concreto en estado fresco, el presente ítem desglosa a mayor detalle cada uno.

Para un análisis de gráficos respecto a la elaboración de concreto con diferentes calidades de agua, se asigna colores distintos, Cuadro 30, en base a cada tipo de agua, para una mejor interpretación de los gráficos siguientes.

Cuadro 30. Asignación de colores de los diferentes concretos elaborados según el tipo de agua empleado.

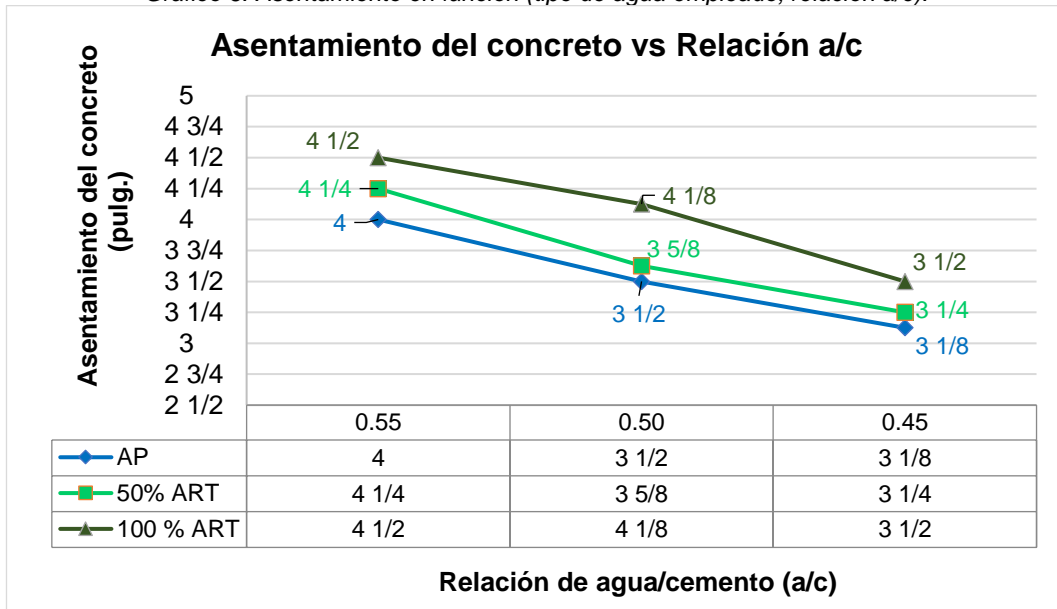
Elaboración propia.

Color	Tipo de Concreto
100% ART	Concreto elaborado con 100% de ART
50% ART	Concreto elaborado con la combinación de 50% ART y 50% AP.
AF	Concreto elaborado con 100% de AF.
AP	Concreto elaborado con 100% de AP

9.3.1 Consistencia

El Gráfico 6, muestra los resultados obtenidos del asentamiento del concreto para los diferentes tipos de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

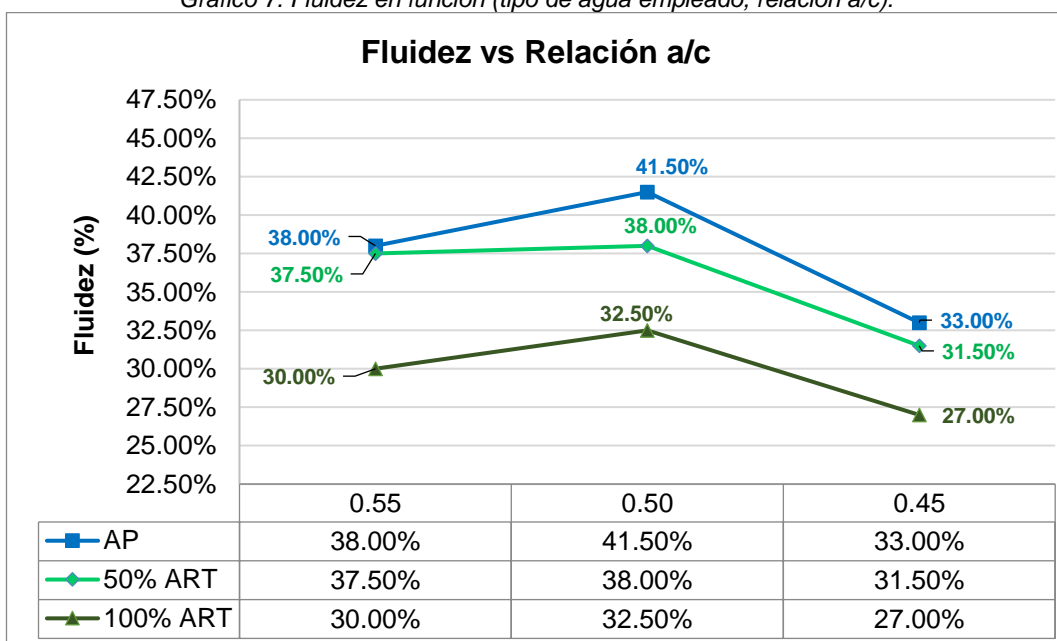
Gráfico 6. Asentamiento en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.3.2 Fluidez

En el Gráfico 7, muestra los resultados obtenidos de fluidez del concreto (porcentaje de expansión) para los diferentes tipos de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

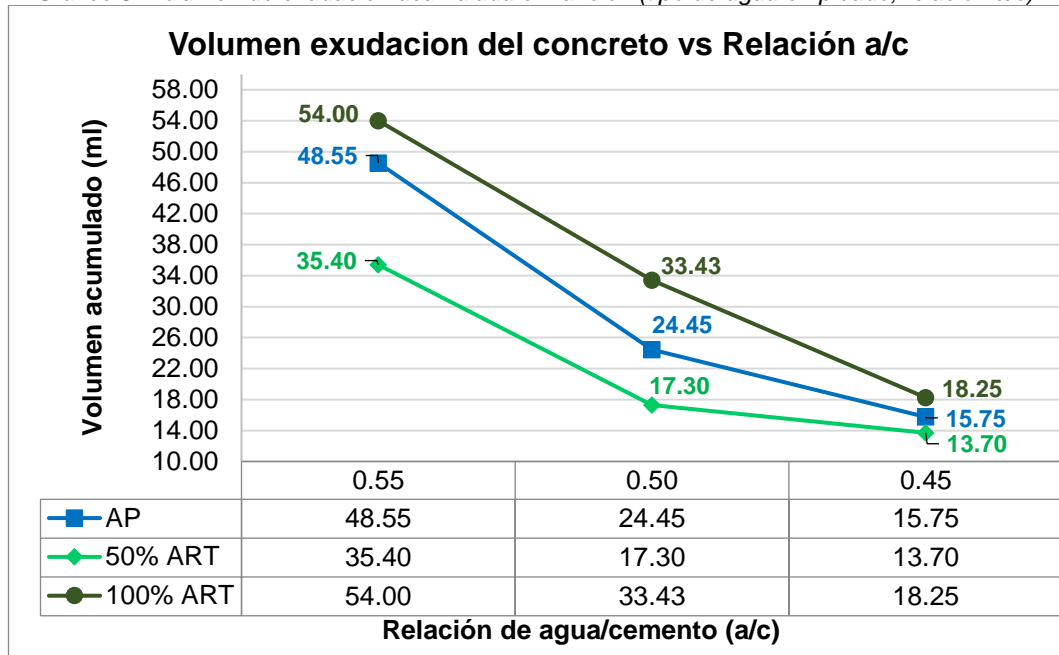
Gráfico 7. Fluidez en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.3.3 Exudación

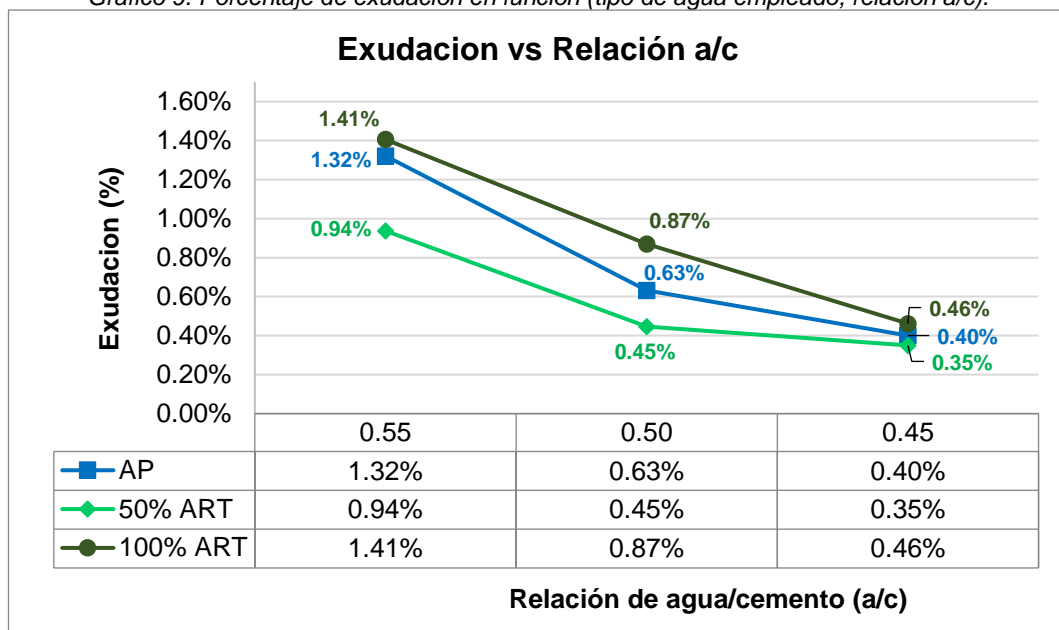
En el Gráfico 8, muestra los resultados de los volúmenes de exudación acumulado para los diferentes concretos en función al tipo de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

Gráfico 8. Volumen de exudación acumulada en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



En el Gráfico 9, muestra resultados obtenidos de porcentaje de exudación del concreto, entre el volumen exudado de agua con respecto al volumen total de agua con que se mezcló la tanda.

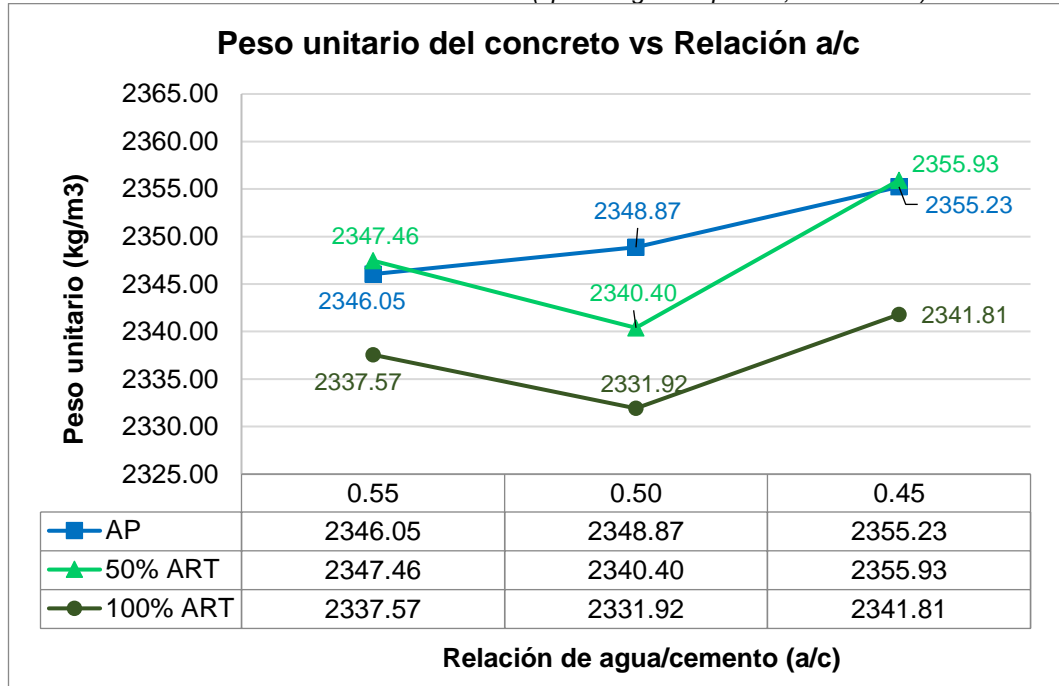
Gráfico 9. Porcentaje de exudación en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.3.4 Peso unitario

En el Gráfico 10, muestra los resultados obtenidos de peso unitario para los diferentes tipos de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

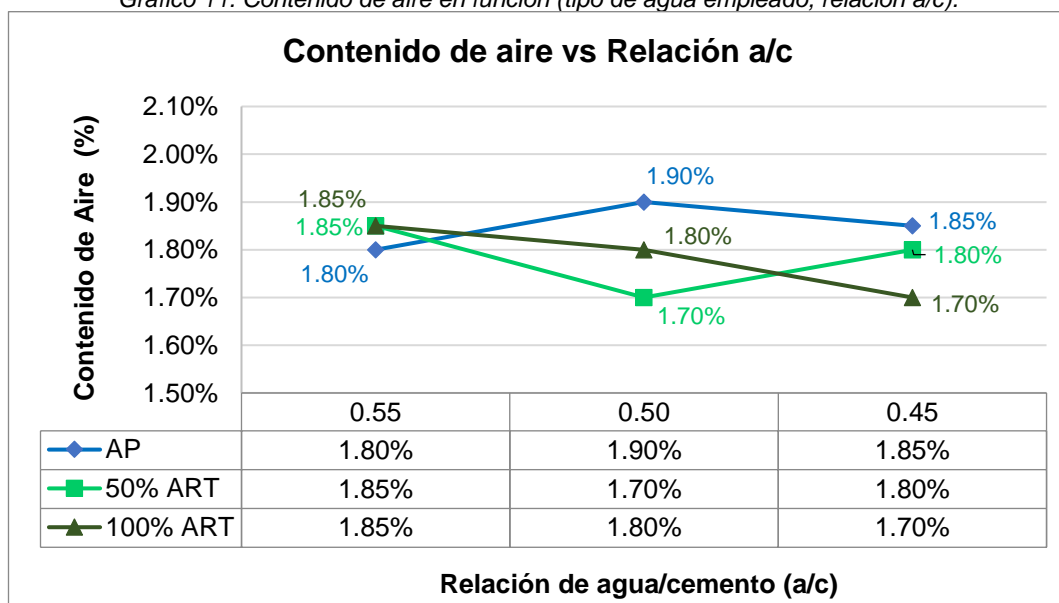
Gráfico 10. Peso unitario en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.3.5 Contenido de aire

En el Gráfico 11, muestra los resultados obtenidos de contenido de aire para los diferentes tipos de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

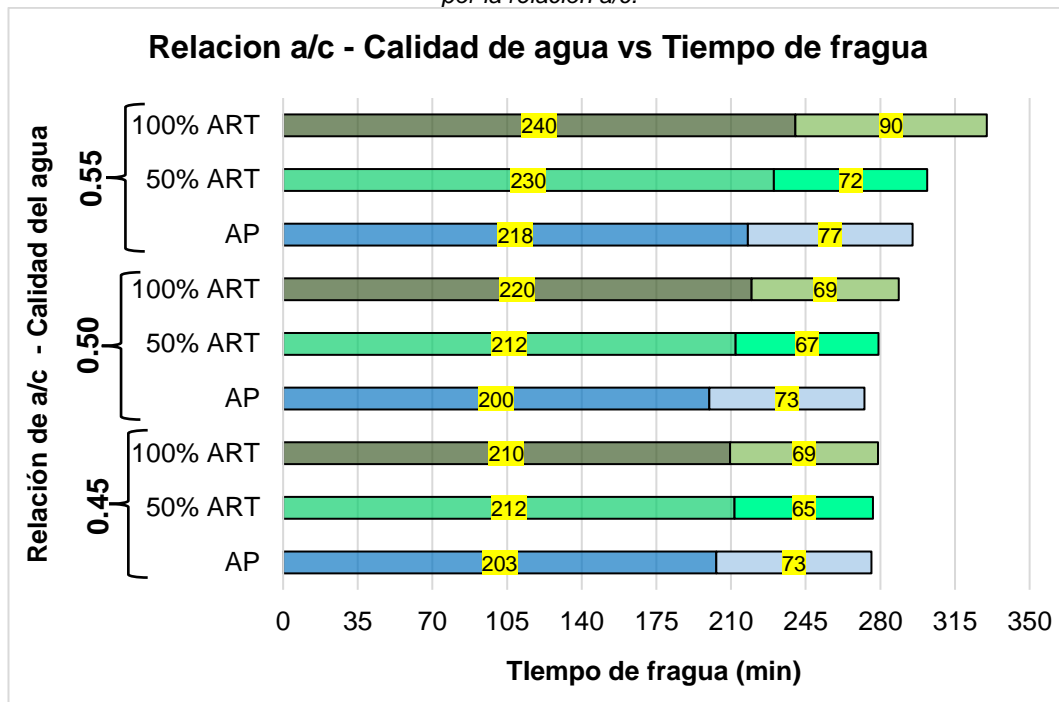
Gráfico 11. Contenido de aire en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.3.6 Tiempo de fraguado

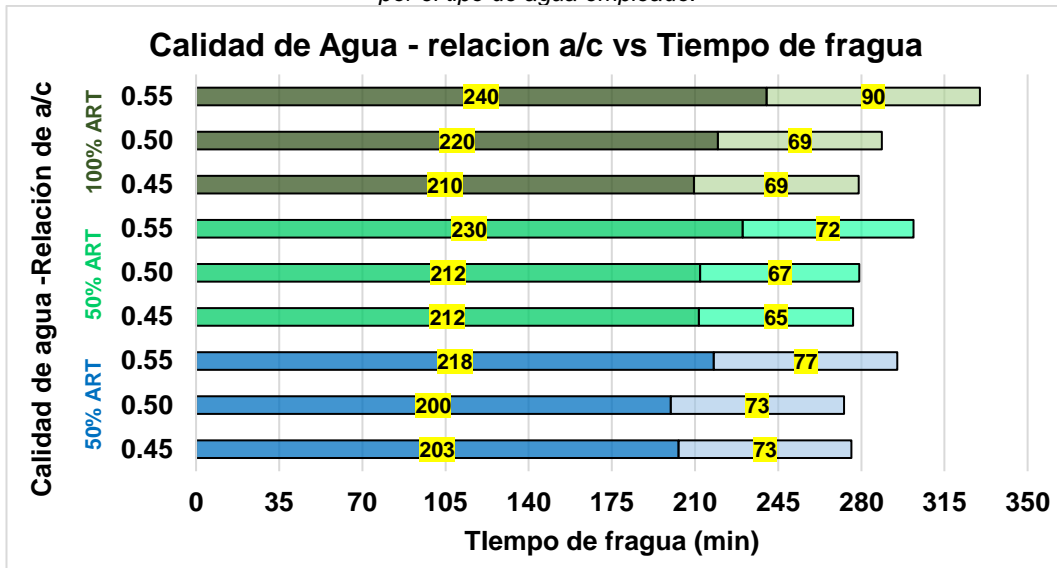
En el Gráfico 12 y Gráfico 13, se muestra los tiempos transcurridos hasta llegar al tiempo de fraguado inicial y final del concreto, respectivamente, en minutos, en función al tipo de agua empleado y a la relación a/c.

Gráfico 12. Tiempo de fragua en función (tipo de agua empleado, relación a/c, tiempo), agrupado por la relación a/c.



Calidad de agua	0.55		0.50		0.45	
	T.F. Inicial	T.F. Final	T.F. Inicial	T.F. Final	T.F. Inicial	T.F. Final
AP	100%	100%	100%	100%	100%	100%
50% ART	106%	102%	106%	102%	104%	100%
100 % ART	110%	112%	110%	106%	103%	101%

Gráfico 13. Tiempo de fragua en función (tipo de agua empleado, relación a/c, tiempo), agrupado por el tipo de agua empleado.

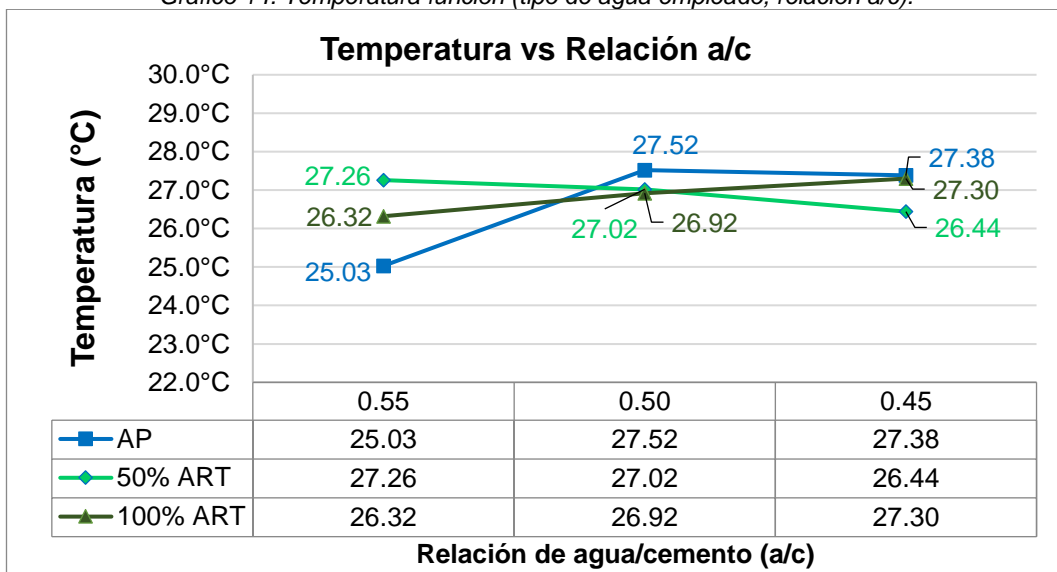


	AP		50% ART		100% ART	
	T.F. Inicial	T.F. Final	T.F. Inicial	T.F. Final	T.F. Inicial	T.F. Final
0.55	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0.50	92%	92%	92%	92%	91%	87%
0.45	93%	93%	92%	92%	87%	85%

9.3.7 Temperatura

En el Gráfico 14, muestra los resultados obtenidos de temperatura del concreto para los diferentes tipos de agua, asimismo, variando la relación de a/c.

Gráfico 14. Temperatura función (tipo de agua empleado, relación a/c).



9.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

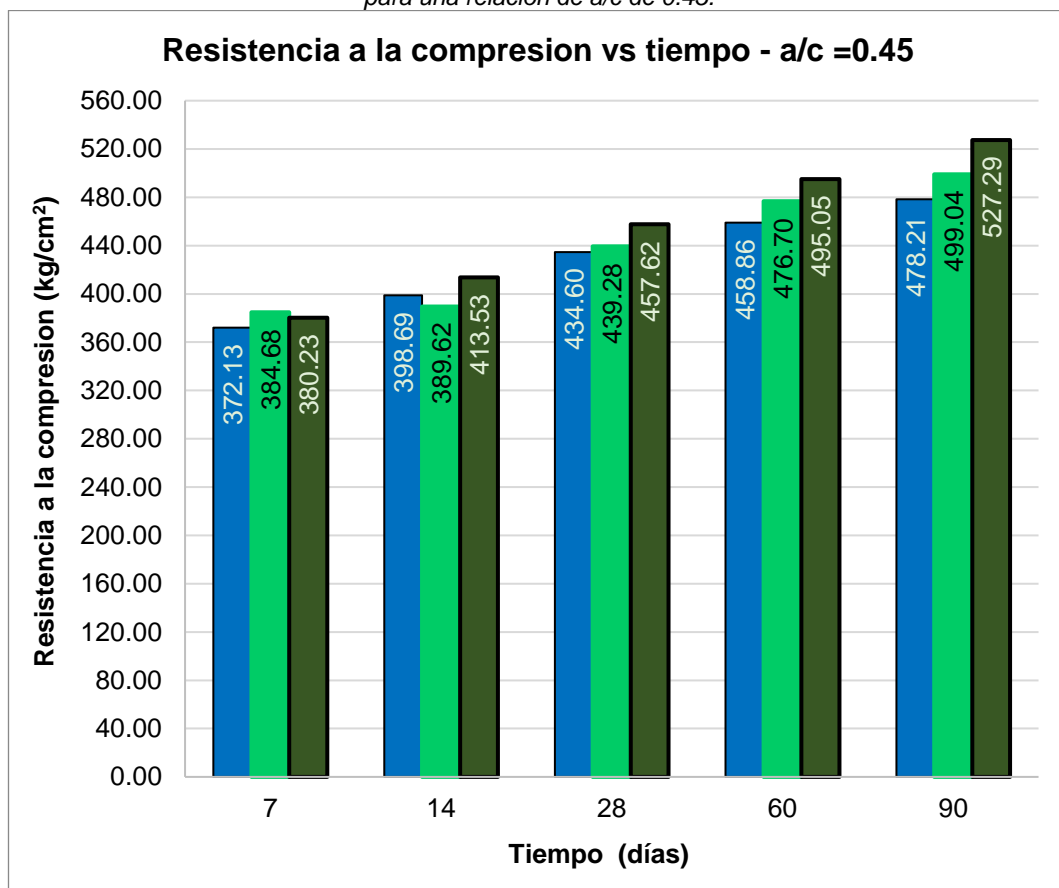
En el capítulo VIII se indicó el resumen de las propiedades del concreto en estado endurecido, el presente ítem desglosa a mayor detalle cada uno.

Se indica además que los colores de las siguientes gráficas son correspondientes al Cuadro 30.

9.4.1 Resistencia a la compresión

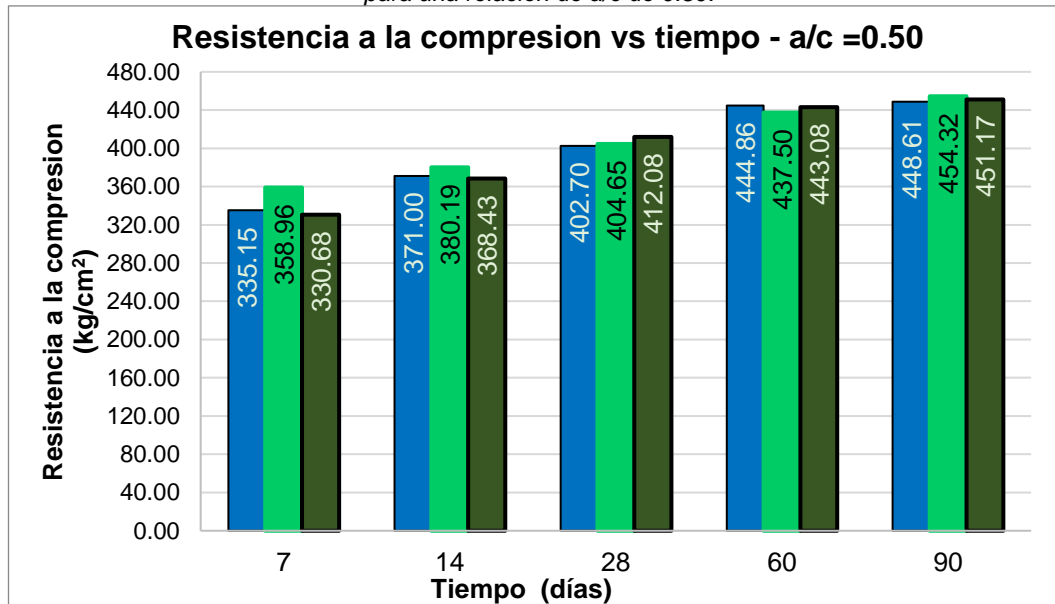
En el Gráfico 15, Gráfico 16 y Gráfico 17, muestra la variación de la resistencia en función al (tiempo, edades, tipo de agua), a edades de 7, 14, 28, 60 y 90 días, valores de resistencia y porcentajes comparados con el concreto patrón.

Gráfico 15. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.45.



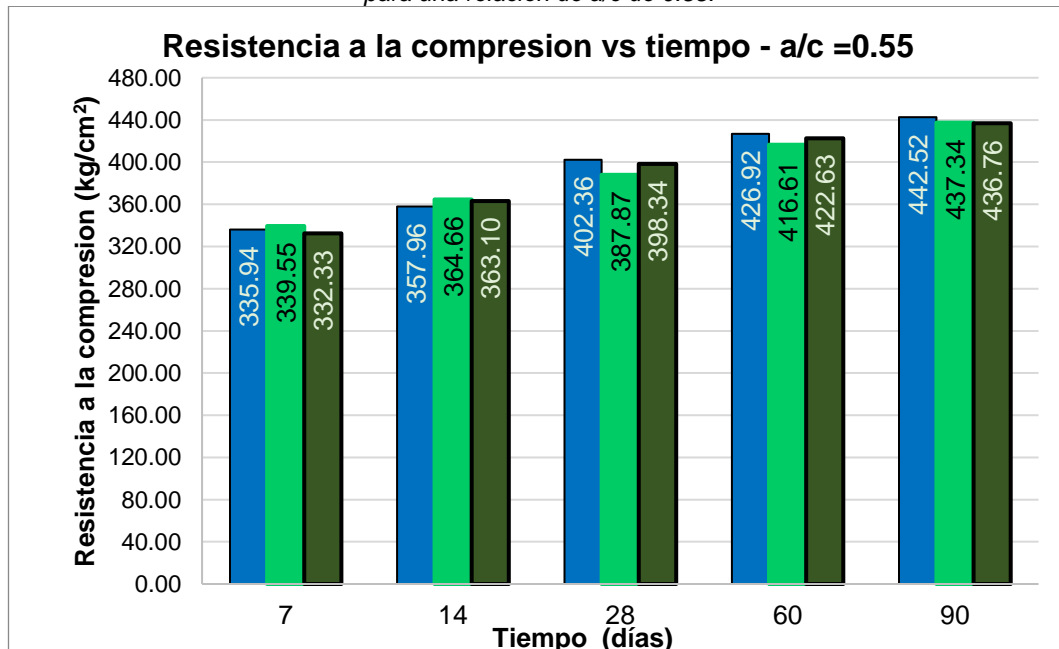
	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
50% ART	103.4%	97.7%	101.1%	103.9%	104.4%
100 % ART	102.2%	103.7%	105.3%	107.9%	110.3%

Gráfico 16. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.50.



	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
50% ART	107.1%	102.5%	100.5%	98.3%	101.3%
100 % ART	98.7%	99.3%	102.3%	99.6%	100.6%

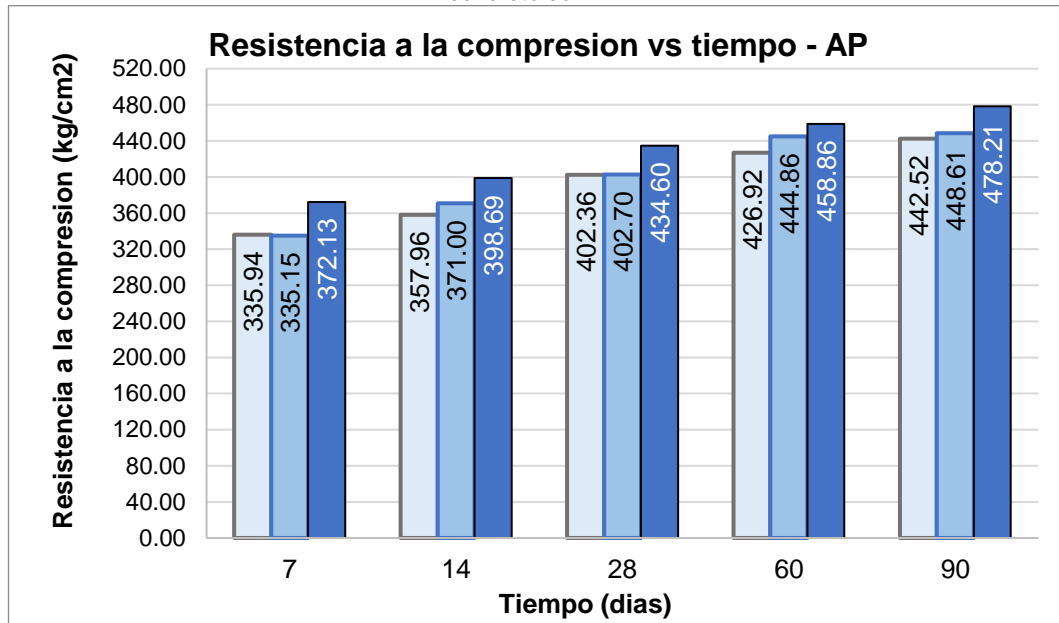
Gráfico 17. Resistencia a la compresión en función (tipo de agua empleado, tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.55.



	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
50% ART	101.1%	101.9%	96.4%	97.6%	98.8%
100 % ART	98.9%	101.4%	99.0%	99.0%	98.7%

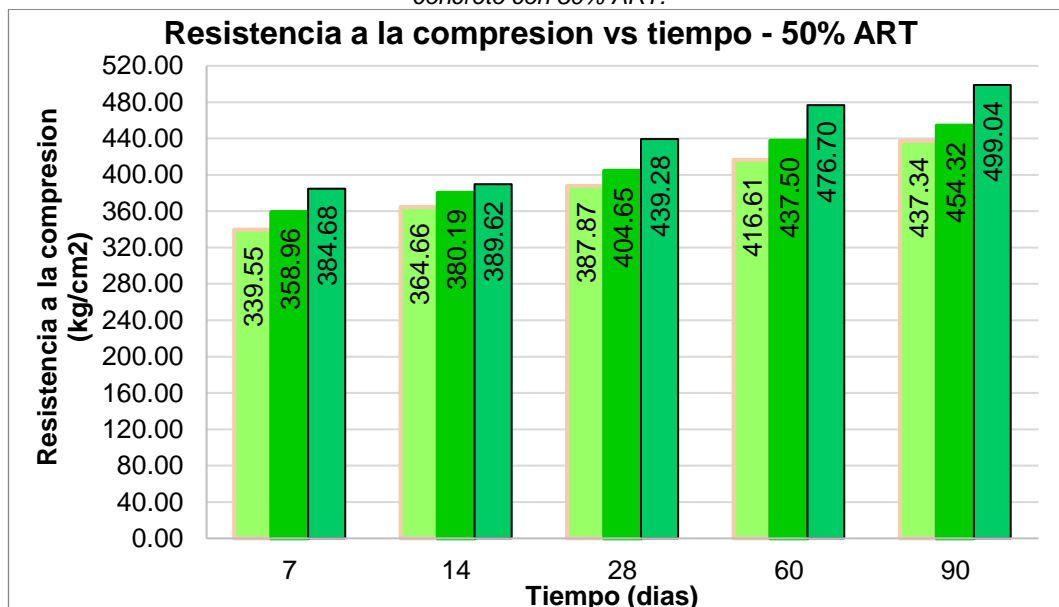
En el Gráfico 18, Gráfico 19 y Gráfico 20, muestra la variación de la resistencia en función al (tiempo, edades, relación de a/c), a edades de 7, 14, 28, 60 y 90 días, asimismo, presenta valores de resistencia obtenidas y porcentajes comparados con respecto a la resistencia para la relación de a/c de 0.55.

Gráfico 18. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con AP.



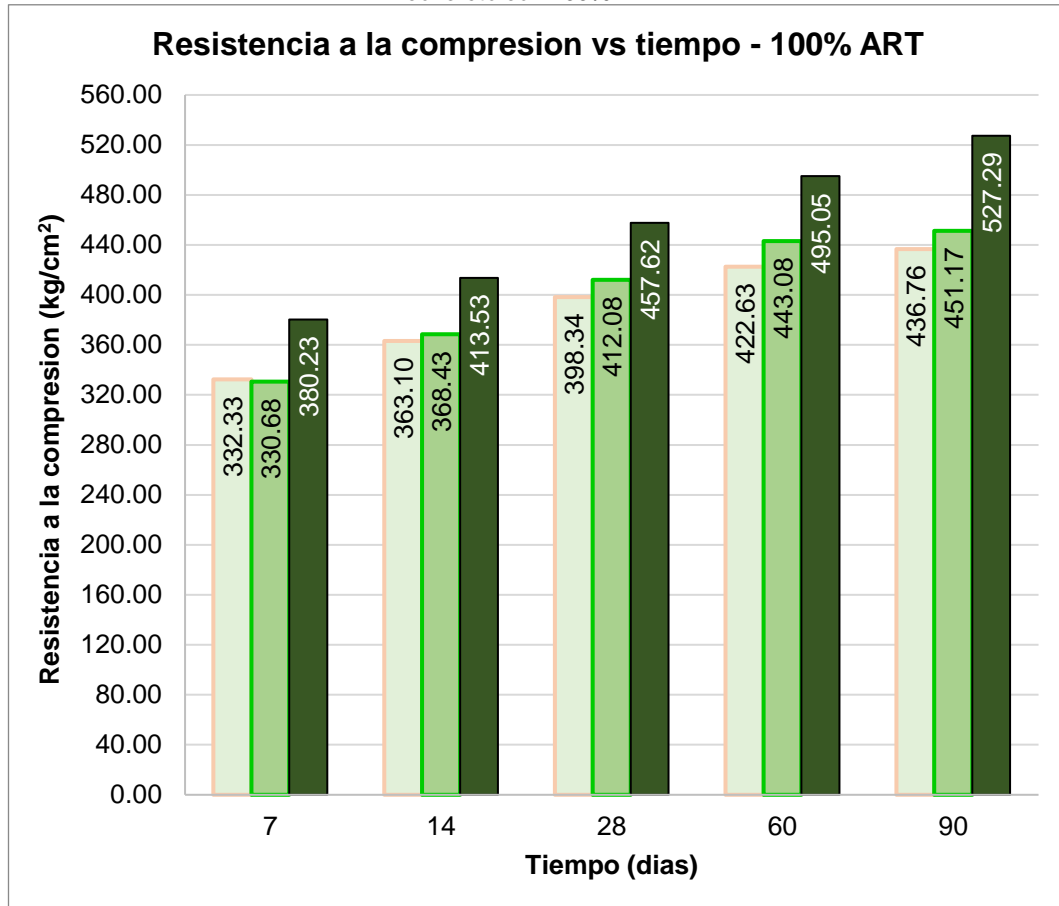
	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
a/c = 0.55	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
a/c = 0.50	99.8%	103.6%	100.1%	104.2%	101.4%
a/c = 0.45	110.8%	111.4%	108.0%	107.5%	108.1%

Gráfico 19. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con 50% ART.



	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
a/c = 0.55	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
a/c = 0.50	105.7%	104.3%	104.3%	105.0%	103.9%
a/c = 0.45	113.3%	106.8%	113.3%	114.4%	114.1%

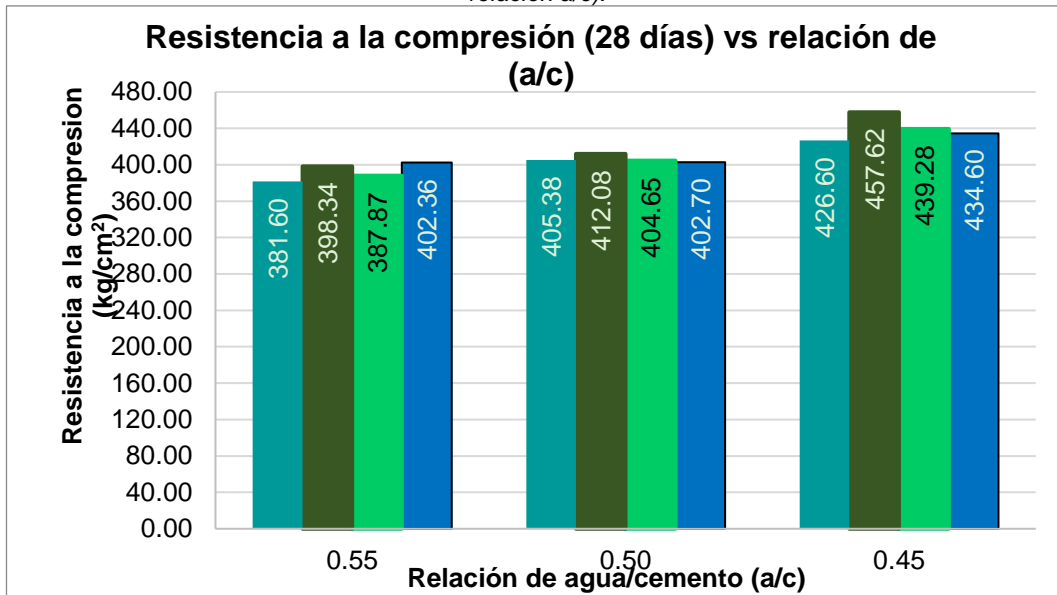
Gráfico 20. Resistencia a la compresión en función (tiempo, relación de a/c y resistencia), para el concreto con 100% ART.



	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.	60 d.c.	90 d.c.
a/c = 0.55	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
a/c = 0.50	99.5%	101.5%	103.5%	104.8%	103.3%
a/c = 0.45	114.4%	113.9%	114.9%	117.1%	120.7%

El Gráfico 21 muestra una comparación de la resistencia de compresión del concreto a 28 días de edad, muestra resultados en función (tipo de agua empleado, relación de a/c, resistencia de compresión), asimismo, presenta porcentajes comparados respecto al concreto patrón.

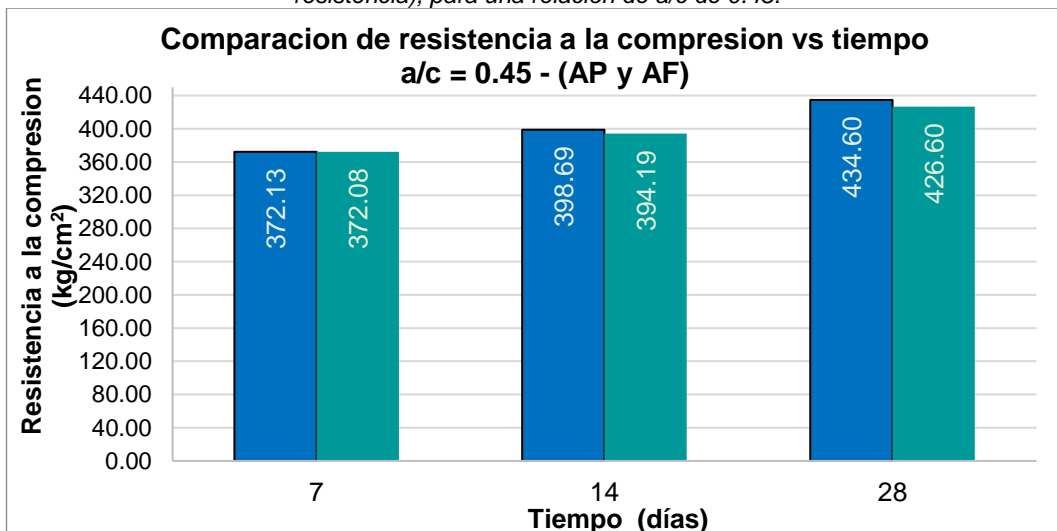
Gráfico 21. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



	0.55	0.50	0.45
AP	100.0%	100.0%	100.0%
50% ART	96.4%	100.5%	101.1%
100% ART	99.0%	102.3%	105.3%
AF	94.8%	100.7%	98.2%

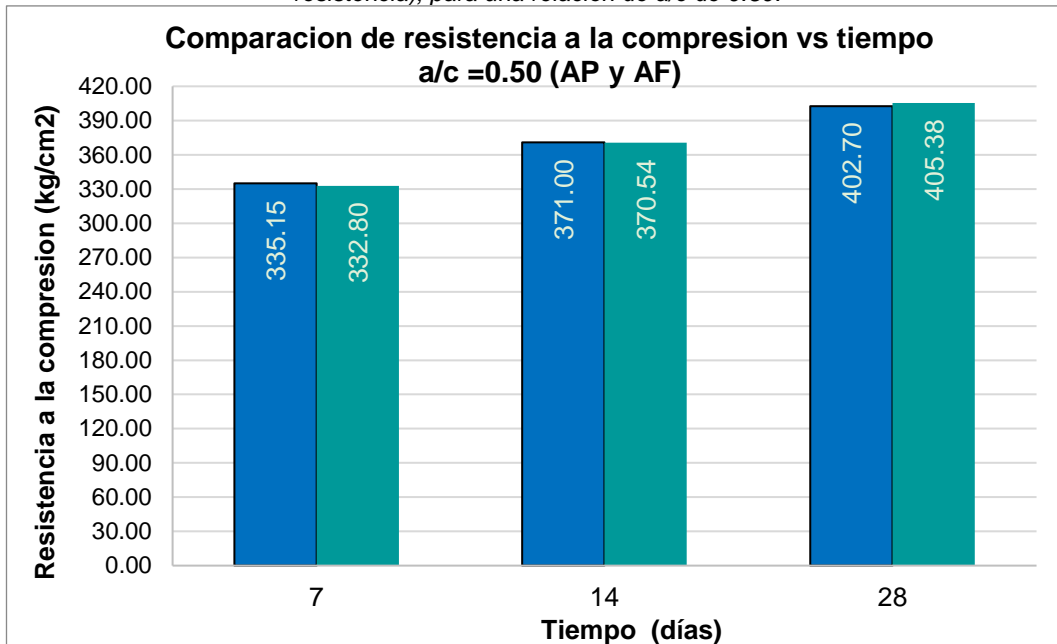
En el Gráfico 22, Gráfico 23 y Gráfico 24, muestra la variación de la resistencia en función al (tiempo, edades, tipo de agua), a edades de 7, 14 y 28 días.

Gráfico 22. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.45.



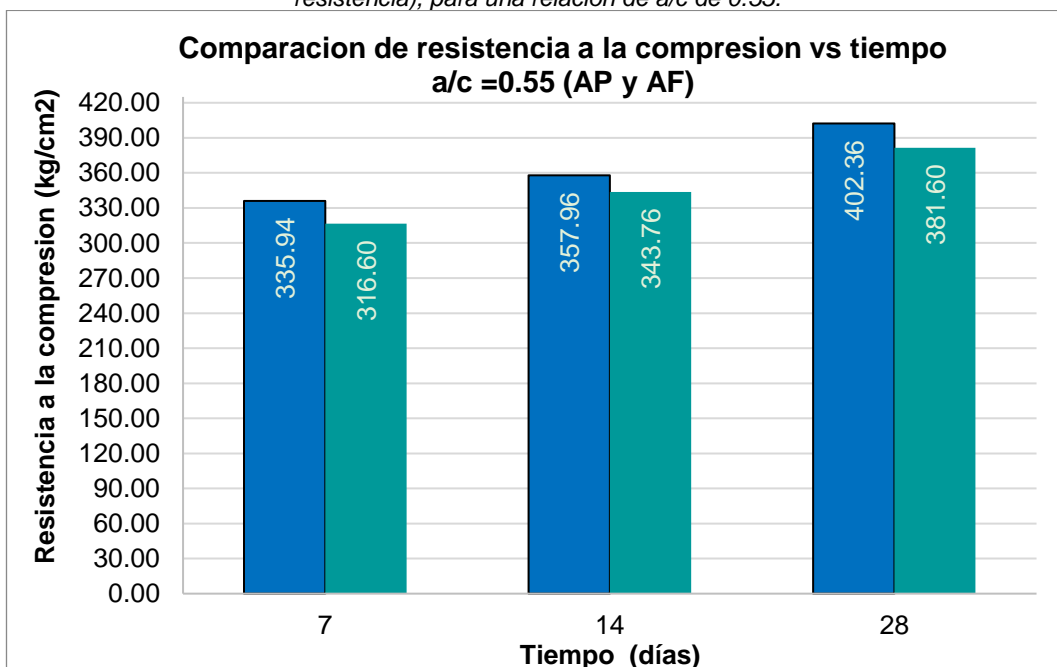
	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%
AF	100.0%	98.9%	98.2%

Gráfico 23. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.50.



	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%
AF	99.3%	99.9%	100.7%

Gráfico 24. Resistencia a la compresión comparación entre el AP y AF en función (tiempo y resistencia), para una relación de a/c de 0.55.

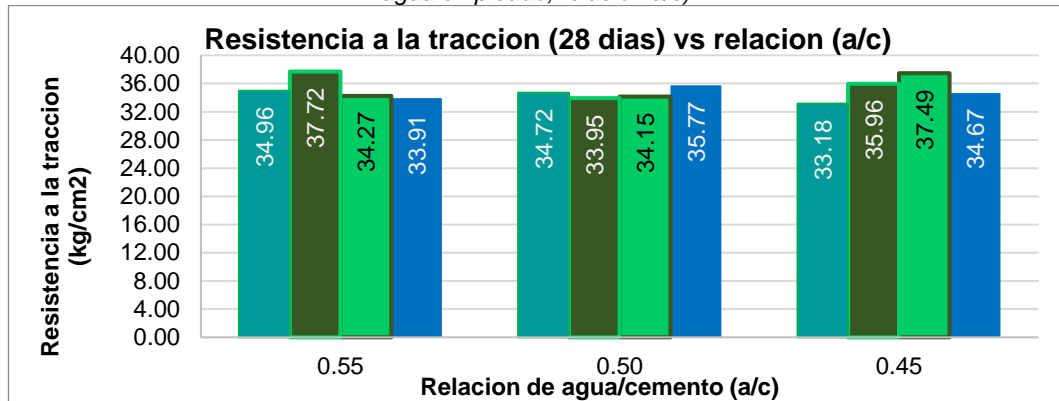


	7 d.c.	14 d.c.	28 d.c.
AP	100.0%	100.0%	100.0%
AF	94.2%	96.0%	94.8%

9.4.2 Resistencia a tracción - compresión diametral

El Gráfico 25, muestra una comparación de la resistencia a compresión diametral a 28 días de edad; muestra resultados en función (tipo de agua empleado, relación de a/c, resistencia a compresión diametral); presenta porcentajes respecto al concreto patrón.

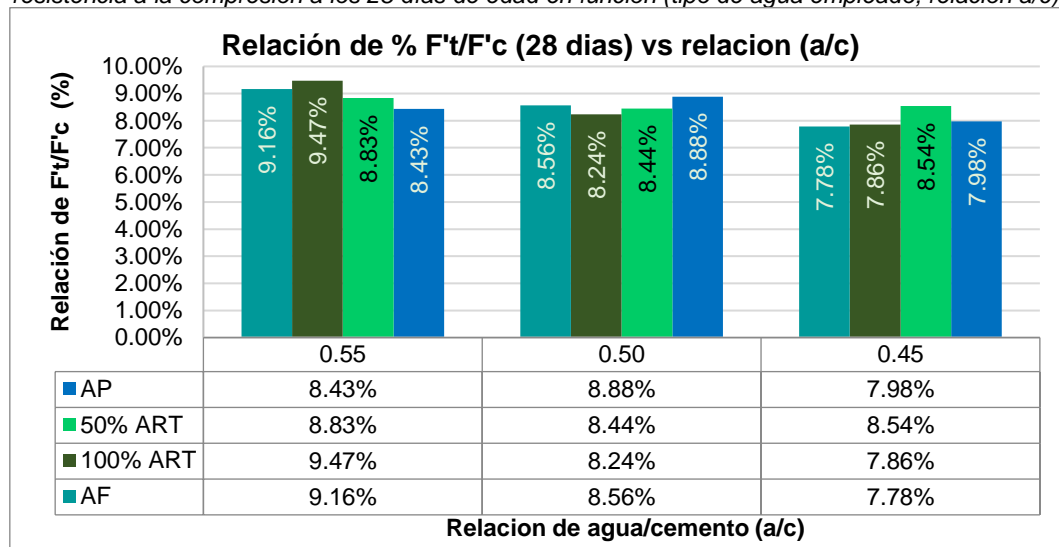
Gráfico 25. Resistencia a tracción - compresión diametral a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



	0.55	0.50	0.45
AP	100.0%	100.0%	100.0%
50% ART	101.0%	95.5%	108.1%
100 % ART	111.2%	94.9%	103.7%
AF	103.1%	97.1%	95.7%

En el Gráfico 26, muestra un porcentaje de relación entre la resistencia a tracción compresión diametral y la resistencia a compresión del concreto, a la edad de 28 días, en función (tipo de agua empleado, relación de a/c, relación de F't/F'c).

Gráfico 26. Porcentaje de relación entre la resistencia a la tracción compresión diametral y resistencia a la compresión a los 28 días de edad en función (tipo de agua empleado, relación a/c).



CAPÍTULO X: ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

10.1 AGREGADOS

10.1.1 Agregado fino

En base al inciso 9.1.1.1. Agregado fino - arena, cumple con los límites establecidos, según NTP; no obstante, el porcentaje de finos que pasa la malla N°100, tiene un valor de 8.86%, lo cual afecta en una adición de cantidad de cemento y agua en la elaboración de concreto, asimismo, se indica que la arena no cumple los límites en la malla N°8, puesto que el porcentaje que pasa es de 77.76% no encontrándose dentro de los límites de 80 – 100%.

10.1.2 Agregado grueso

En base al inciso 9.1.1.2. Agregado grueso – piedra, cumple con los límites establecidos del Huso N°67, según la NTP.

10.1.3 Agregado global

En base a lo indicado en el numeral 9.1.1.3. agregado global, cumple con los límites establecidos del T.M.N. $\frac{3}{4}$ ", según la NTP, asimismo, se indica que el agregado global no cumple los límites en la malla N°4, puesto que el porcentaje que pasa es 56.26% no encontrándose dentro de los límites de 35 – 55 %.

10.2 AGUA PARA LA MEZCLA

En el Cuadro 29, comparación de la calidad de los diferentes tipos de agua, con respecto a los rangos establecidos en la N.T.P. y el agua patrón (agua potable); respecto al parámetro de materia orgánica sobrepasa en 25 y 20 veces superior para el 100% ART y 50% ART, correspondientemente, en base a la recomendación de (3 p.p.m.).

Asimismo, el 100% ART presenta 2.54 veces más cloruros, 1.21 veces más sulfatos, igual pH, 2.18 veces más alcalinidad y 84 veces más sólidos suspendidos; mientras que el 50% ART presenta 1.62 veces más cloruros, igual cantidad de sulfatos, igual pH, 1.70 veces más alcalinidad, 43 veces más sólidos suspendidos, todo ello con respecto al agua potable.

De tal manera respecto al AF, presenta 4.78 veces más cloruros, 2.19 veces más sulfatos, similar pH, 1.51 veces más alcalinidad, 87 veces más sólidos

suspendidos, respecto al agua potable; asimismo respecto a la materia orgánica, presenta una reducción de hasta 51.33%, de la recomendación (3 p.p.m.)

10.3 CONCRETO EN ESTADO FRESCO

10.3.1 Consistencia

En la definición del diseño patrón los resultados del ensayo de asentamiento se buscó, que el valor este entre 3 – 4 pulgadas (efectuado del 6 al 13 de diciembre del 2021). La comparación de ensayos con los diferentes tipos de agua empleados se realizó (entre 24 de febrero al 18 de marzo del 2022), se indica; la definición del diseño patrón se realizó en el Laboratorio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, posteriormente, los ensayos en estado fresco se desarrollaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI, por tanto, ello evidencia la variación de equipos, tiempo y ambiente de trabajo.

Los resultados indican que los concretos elaborados con ART, presentan mayor asentamiento que el concreto patrón, siendo los valores de variación más altos: En la relación de a/c de 0.55 con +6% (4.25" – 50% ART) respecto al concreto patrón (4.00"- AP); en la relación de a/c de 0.50 con +18% (4.125" – 100% ART) respecto al concreto patrón (3.50"- AP) y para la relación de a/c de 0.45 con +12% (3.5" – 100% ART) respecto al concreto patrón (3.125" – AP). También, muestra que tales variaciones disminuyen, reduciendo la relación de a/c de 0.55, aumentando la cantidad de cemento a/c de 0.45.

10.3.2 Fluidéz

Por lo general los concretos elaborados con 50% ART y 100% ART, presentan menor fluidéz con respecto al concreto patrón (AP). Asimismo respecto al concreto con 100% ART, presenta, para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, una disminución de fluidéz de 8.0%, 9.0% y 5.0%, respectivamente, en base al concreto patrón; de tal manera para el concreto elaborado con 50% ART presenta una disminución de 0.5%, 3.5% y 1.5%, lo cual evidencia valores cercanos entre concreto con 50% ART y concreto patrón, que es debido a la disminución de concentraciones de las diferentes sustancias del ART, debido a la combinación de 50% de AP y 50% de ART. En relación al porcentaje promedio de fluidéz de los concretos elaborados es de 34.33%, siendo el mayor valor de 41.50% para una relación de a/c de 0.50 (concreto patrón) y el menor valor de 27.00%, para una relación de a/c de 0.45 (concreto con 100% ART).

10.3.3 Exudación

Los porcentajes de exudación para el concreto con 100% ART son mayores respecto al concreto patrón (AP) en las diversas relaciones de a/c y el concreto con 50% ART presenta menores porcentajes. Los valores de variación de exudación, para la relación de a/c de 0.55; el concreto con 100% ART y 50% ART es 7% mayor y 29% menor, respectivamente, asimismo, para la relación de a/c de 0.50 el concreto con 100% ART y 50% ART es 38% mayor y 29% menor, respectivamente, finalmente, para la relación de a/c de 0.45 el concreto con 100% ART y 50% ART, es 15% mayor y 12% menor, respectivamente, todo ello comparado con el concreto patrón.

El porcentaje de exudación promedio es de 0.76% de los concretos elaborados, siendo el mayor valor de 1.41% (concreto con 100% ART) para la relación de a/c de 0.55 y el menor valor de 0.35% (concreto con 50% ART) para la relación de a/c de 0.45. Cabe indicar en general, respecto a los diferentes concretos elaborados presentan una tendencia decreciente del porcentaje de exudación al disminuir la relación de a/c.

10.3.4 Peso Unitario

Por lo general el concreto patrón (AP) presenta mayor peso unitario respecto al concreto con 100% ART y 50% ART, asimismo, se observa que el concreto 50% ART presenta una tendencia a igualarse al concreto patrón (AP), al combinarse ART y AP, en proporciones de (50% ART con 50% AP), disminuyendo algunas concentraciones del ART.

En promedio de los concretos elaborados se tiene 2345.03 kg/m³, siendo el mayor peso unitario de 2355.23 kg/m³, para una relación de a/c de 0.45 (concreto patrón), y el menor de 2331.92 kg/m³, para una relación de a/c de 0.50 (concreto con 100% ART).

10.3.5 Contenido de aire

Los concretos con 50%ART y 100%ART, no evidencian mucha variación de contenido de aire con respecto al concreto patrón; ya que para el concreto con 100% ART presenta valores de 1.85%, 1.80% y 1.70%, además, conforme al concreto con 50% ART valores de 1.85%, 1.70% y 1.80%, finalmente para el concreto patrón valores de 1.85%, 1.90% y 1.85%, para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente.

Cabe indicar que en promedio el contenido de aire para el concreto patrón es de 1.85% y para los otros concretos elaborados es de 1.78%, siendo el valor de 1.85%, el más cercano a la consideración del diseño de mezcla del concreto patrón de (2.0%).

10.3.6 Tiempo de fraguado

10.3.6.1 *Tiempo de fraguado inicial*

Los concretos con proporciones de 50% ART y 100% ART, presentan mayor tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto patrón, estableciendo un comportamiento retardante en ambos casos; también se presenta en general que a medida que la relación de a/c disminuye, disminuye los tiempos de fraguado inicial para los concretos elaborados.

Para la relación de a/c de 0.55 presenta variaciones de +12 minutos (concreto con 50% ART) y +22 minutos (concreto con 100% ART) respecto al concreto patrón, de la misma forma para la relación de a/c de 0.50 variaciones de +12 minutos (concreto con 50% ART) y +20 minutos (concreto con 100% ART), finalmente para la relación de a/c de 0.45 evidencia variaciones de +9 minutos (concreto con 50% ART) y +7 minutos (concreto con 100% ART), respecto al concreto patrón, observando un comportamiento retardante para los concretos con 50% ART y 100% ART. El comportamiento retardante es debido a las concentraciones de materia orgánica, debido a que el 100% ART tiene mayor concentración que el 50% ART. Asimismo, presenta porcentajes de variación de +10%, +10% y +3% para el concreto con 100% ART y conforme al concreto con 50% ART valores de +6%, +6% y +4%, en base a los tiempos de fraguado inicial del concreto patrón, para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente.

10.3.6.2 *Tiempo de fraguado final*

El concreto con 100% ART y el concreto con 50% ART, presenta mayor tiempo de fraguado final respecto al concreto patrón, presentándose un comportamiento retardante en ambos casos; también se presenta en general, que a medida que la relación de a/c disminuye, disminuye los tiempos de fraguado final para los concretos elaborados.

Para la relación de a/c de 0.55 presenta variaciones de +7 minutos (concreto con 50% ART) y +35 minutos (concreto con 100% ART) con respecto al concreto patrón, de la misma forma para la relación de a/c de 0.50 variaciones de +6

minutos (concreto con 50% ART) y +16 minutos (concreto con 100% ART) y para la relación de a/c de 0.45 se evidencia variaciones de +1 minuto (concreto con 50% ART) y +3 minutos (concreto con 100% ART), respecto al concreto patrón, observando un efecto ligeramente retardante para ambos concretos. El comportamiento retardante es debido a las concentraciones de materia orgánica, debido a que el 100% ART tiene mayor concentración que el 50% ART. Asimismo, en base a los tiempos de fraguado final del concreto patrón; el concreto con 100% ART presenta valores de +12%, +6% y +1% y para el concreto con 50% ART valores de +2%, +2% y +0.4% para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente.

Asimismo, cabe resaltar que el concreto con 100% ART y concreto con 50% ART cumple con las variaciones de ± 30 minutos comparado con el concreto patrón, respecto a los tiempos de fraguado, por lo que es recomendable su uso según las recomendaciones de la NTP.

10.3.7 Temperatura

Los concretos con 100% ART y 50% ART, no presentan mucha variación respecto al concreto patrón, para las diferentes relaciones de a/c.

10.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

10.4.1 Resistencia a la Compresión

Respecto al desarrollo de la resistencia a compresión de manera porcentual al disminuir la relación de a/c, para los diferentes concretos tomando como base la resistencia para a/c de 0.55. El concreto patrón presenta 100% (a/c de 0.55), 102% (a/c de 0.50) y 109% (a/c de 0.45), de tal manera, el concreto con 50% ART obtuvo 100% (a/c de 0.55), 105% (a/c de 0.50) y 112% (a/c de 0.45), finalmente para el concreto con 100% ART obtuvo 100% (a/c de 0.55), 103% (a/c de 0.50) y 116% (a/c de 0.45), tales porcentajes son promedio de resistencia a edades de 7, 14, 28, 60 y 90 días, asimismo, se evidencia que el concreto con 100% ART logra desarrollar porcentualmente mayor resistencia al disminuir la relación de a/c, en comparación a los otros concretos.

En base a la comparación de porcentajes de resistencia al realizar las variaciones de calidad del agua para una misma relación de a/c, se detalla a continuación: El concreto con 100% ART para la relación de a/c de 0.55, presenta una variación de disminución de resistencia entre 1.0% a 1.3% y el concreto con 50% ART

presenta una disminución entre 1.2% a 3.6%, respecto al concreto patrón, asimismo, para la relación de a/c de 0.50, el concreto con 100% ART presenta un incremento de resistencia entre 0.6% a 2.3% y el concreto con 50% ART presenta un incremento entre 1.3% a 7.1%, finalmente, para una relación de a/c de 0.45, el concreto con 100% ART presenta un aumento mayor de resistencia entre 2.2% a 10.3% y el concreto con 50% ART presenta una variación mayor entre 1.1% a 4.4%, todo ello con respecto al concreto patrón para el rango de edades entre 7 a 90 días; el aumento de la resistencia puede deberse a la mayor concentración de sales de cloruro de sodio y calcio del efluente tratado, en comparación con el agua potable (Young & Mindess, 1981); además, el cloruro de sodio y calcio puede aumentar la resistencia inicial, debido a que el cloruro de calcio aumenta la tasa de liberación de calor durante las primeras horas después de mezclado y actúa como catalizador en la reacción de hidratación de C_3S y C_2S , lo cual hace que aumente la resistencia de compresión, (Neville & Brooks, 1987).

Respecto a las resistencias de compresión a 28 días de edad, para relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45; el concreto con 100% ART logra 99 %, 102% y 105% respectivamente, asimismo, respecto al concreto con 50% ART consigue 96%, 100% y 101% respectivamente, todo ello comparado con respecto al concreto patrón. Se observa una tendencia a alcanzar la resistencia del concreto patrón al disminuir la relación de a/c. También se indica que a medida que se disminuye la relación de a/c, la resistencia a compresión del concreto con 50%ART y 100% ART, no presenta variaciones menores comparado con el concreto patrón, ello implica la no afectación del agua empleado (100% ART y 50% ART), sus concentraciones de materia orgánica y otras sustancias presentes.

El concreto con 100% ART y 50% ART, cumplen con la variación de la resistencia a la compresión de -10% como máximo, comparado con el concreto patrón, en referencia a la normativa consultada, por lo que es viable su uso.

Además, se indica respecto al concreto elaborado con agua filtrada (AF), el desarrollo de resistencia a la compresión al disminuir la relación de a/c, en base a la resistencia de a/c de 0.55, presenta 100% (a/c de 0.55), 106% (a/c de 0.50) y 115% (a/c de 0.45), para edades de 7 a 28 días. Respecto a la comparación de las resistencias entre el concreto con AF y el concreto patrón a edades de 7 a 28 días, presenta: Para la relación de a/c de 0.55, tiene, variaciones menores entre -5.76% a -3.97%, para a/c de 0.50 variaciones menores entre -0.70% a +0.67% y

para a/c de 0.45 variaciones menores entre -1.84% a 0.00%. Finalmente, en base a la resistencia a la compresión a 28 días de edad, el concreto con AF, para a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, alcanza valores de 95%, 101% y 98%, en base al concreto patrón, asimismo, cumple con la variación de la resistencia a la compresión de -10% como máximo, respecto al concreto patrón, en base a la normativa consultada, lo que también es viable su uso.

10.4.2 Resistencia a la tracción – compresión diametral

A 28 días de edad, en base a los resultados de la resistencia a la tracción, se tiene: Para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, la muestra de concreto con 50% ART presenta resistencias de 101%, 95% y 108%, asimismo, respecto al concreto con 100% ART, presenta resistencias de 111%, 95% y 104%, respectivamente, todo ello comparado con el concreto patrón, presentándose ligeros incrementos de resistencia a la tracción para las relaciones de a/c de 0.55 y 0.45, además, ligera disminución de resistencia a la tracción para la relación de a/c de 0.50, para ambos tipos de concreto, en base al concreto patrón.

El porcentaje entre la resistencia a la tracción respecto a la resistencia a la compresión, a 28 días de edad, se tiene: Para los diferentes tipos de concreto elaborado, los porcentajes están entre 7.9% y 9.5%, con promedio de 8.5%. Además, la relación de a/c de 0.45 presenta porcentajes de 8.0 % (concreto patrón), 8.5% (concreto con 50% ART) y 7.9% (concreto con 100% ART), presentándose poca variación en esta relación de a/c de 0.45, respecto a las demás relaciones de a/c.

El concreto con AF, presenta resultados, para a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, alcanzando valores de 103%, 97% y 96%, respectivamente, en base al concreto patrón, presentándose un ligero incremento para el a/c de 0.55 y ligera disminución para el a/c de 0.50 y 0.45.

CONCLUSIONES

Las propiedades en estado fresco (asentamiento, fluidez, exudación y tiempo de fraguado) y endurecido para concretos elaborados con 100% ART y 50% ART, presenta tendencias similares al concreto patrón, asimismo, presenta una tendencia a ser más cercano a las propiedades del concreto patrón a medida que se reduce la relación de a/c y las concentraciones de las sustancias del ART de 100% a 50%.

1. De los ensayos en estado fresco del concreto se concluye:

- Asentamiento: el concreto con 50% ART incrementa entre 3.5% a 6.3% y el concreto con 100% ART, aumenta entre 12% a 17.9%, respecto al concreto patrón, asimismo, tiende a ser más cercano a medida que se reduce la relación de a/c.
- Fluidez: el concreto con 50% ART disminuye entre 0.5% a 3.5% y el concreto con 100% ART disminuye entre 5% a 9%, respecto al concreto patrón, asimismo, tiende a ser más cercano a medida que la relación de a/c disminuye.
- Exudación: El concreto con 100% ART aumenta el volumen de exudación entre 11.1% a 36.7%, asimismo, el concreto con 50% ART disminuye entre 13% a 29%, todo ello respecto al concreto patrón. El concreto con 100% ART y 50% ART, presenta tendencias similares al patrón, siendo los valores más cercanos de exudación al disminuir la relación de a/c.
- Peso unitario: Los concretos con 100% ART y 50% ART, se encuentran entre el 99% a 100%, en base al peso unitario del concreto patrón, no presentándose variación alguna,
- Contenido de aire: Los concretos con 100% ART y 50% ART, presenta contenidos de aire similares y ligeramente menores al concreto patrón, con variaciones entre el 3% a 8%. Asimismo, no presentan una tendencia definida en base al concreto patrón.
- Tiempo de fraguado: Los diferentes concretos evaluados presentan una disminución del tiempo de fraguado inicial y final a medida que la relación de a/c disminuye.
 - Tiempo de fraguado inicial. El concreto con 100% ART aumenta entre 3.44% a 10.09% y el concreto con 50% ART aumenta entre 4.44% a 6.00%, todo ello respecto al concreto patrón.

- Tiempo de fraguado final. El concreto con 100% ART aumenta entre 1.08% a 11.86% y el concreto con 50% ART aumenta entre 0.36% a 2.37%, todo ello con respecto al concreto patrón.
- Los tiempos de fraguado inicial y final del concreto con 100% ART y 50% ART tienden a ser más cercanos, respecto al concreto patrón, al disminuir la relación de a/c. Asimismo, los concretos con 50% ART y 100% ART presentan comportamientos retardantes de fraguado inicial y final.

2. De los ensayos al concreto endurecido:

- Los concretos con 50% ART y 100% ART; acerca del desarrollo de resistencia compresión axial presenta tendencias similares al concreto patrón al disminuir la relación de a/c; en referencia a la resistencia para a/c de 0.55, presenta: El concreto patrón, 100% (a/c de 0.55), 102% (a/c de 0.50) y 109% (a/c de 0.45), asimismo para el concreto con 50% ART obtiene 100% (a/c de 0.55), 105% (a/c de 0.50) y 112% (a/c de 0.45), finalmente para el concreto con 100% ART presenta 100% (a/c de 0.55), 103% (a/c de 0.50) y 116% (a/c de 0.45), siendo el concreto con 100% ART, el que logra desarrollar mayor resistencia en comparación al patrón y concreto con 50% ART, a medida que disminuye la relación de a/c.
- Los concretos con 100% ART y 50% ART presenta tendencias similares al patrón, respecto a los valores de resistencia axial para edades en el rango de 7 a 90 días, siendo las variaciones: El concreto con 100% ART para la relación de a/c de 0.55, presenta una disminución de resistencia entre 1.0% a 1.3% y el concreto con 50% ART presenta una disminución entre 1.2% a 3.6%, respecto al concreto patrón, asimismo, para a/c de 0.50, el concreto con 100% ART presenta un de incremento de resistencia entre 0.6% a 2.3% y el concreto con 50% ART presenta una incremento entre 1.3% a 7.1%, finalmente, para a/c de 0.45, el concreto con 100% ART presenta un incremento mayor entre 2.2% a 10.3% y el concreto con 50% ART presenta un incremento entre 1.1% a 4.4%. Ello implica ligero aumento de resistencia, en el empleo de 50% ART y 100% ART, para relaciones de a/c de 0.50 y 0.45.
- La resistencia a compresión axial a 28 días de edad. El concreto con 100% ART alcanza valores de 99 %,102% y 105%; para el concreto con 50% ART obtiene valores de 96%, 100% y 101%, para las relaciones de

a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente, todo ello comparado respecto a las resistencias del concreto patrón. Asimismo, se indica que para las relaciones de a/c de 0.50 y 0.45, el concreto con 50% ART y 100% ART, no presenta variaciones menores respecto a la resistencia a la compresión, comparado con el concreto patrón, ello implica la no afectación del agua empleado.

- Las resistencias a la tracción compresión diametral a 28 días de edad para el concreto con 100% ART y 50% ART, presenta tendencias similares al patrón; puesto que: El concreto con 100% ART obtiene valores de resistencia de 111%, 95% y 104%, asimismo, para el concreto con 50% ART logra valores de 101%, 95% y 108%, para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente, todo ello respecto a las resistencias a la tracción del concreto patrón, evidenciándose una variación en promedio de $\pm 5\%$ de la resistencia a la compresión diametral empleando ART en 50% y 100%, en base al patrón, para las relaciones de a/c analizadas.
- El porcentaje de la resistencia a tracción compresión diametral respecto a la resistencia a la compresión axial, a 28 días de edad, presenta valores de 9.47%, 8.24% y 7.86%, para el concreto con 100% ART, asimismo, para el concreto con 50% ART, valores de 8.83%, 8.44% y 8.54%, finalmente para el concreto patrón, valores de 8.43%, 8.88% y 7.98%, para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar las sustancias presentes en el agua para la elaboración de concreto; en base a ello, al presentar sustancias que presentan valores altos o no recomendados, por medio de pruebas, se podrá realizar un diseño que contrarreste los efectos de tal sustancia, en las propiedades del concreto.
- En base a las limitaciones de la presente investigación, se recomienda el uso de concretos elaborados con agua residual tratada en proporciones de 50% ART y 100% ART de reemplazo del agua potable, en concretos que no requieran gran calidad y usos en obras no esenciales.
- Realizar investigaciones acerca del monitoreo de la PTAR de CITRAR – UNI, a fin de ajustar los parámetros de calidad del agua residual tratada, mediante procesos adicionales de tratamiento, con ello producir concreto, generando ingresos financieros que puedan cubrir parcial o totalmente los costos de operación y mantenimiento, buscando una economía circular.
- La presente investigación disminuyó las concentraciones del ART obteniendo agua filtrada (AF), a través de un proceso de tratamiento adicional de cartuchos de filtro, empleo de Pre-Filtro de 1 µm Deluxe y Filtro de Carbón activado de coco en bloque; los parámetros de este tipo de agua, evaluados cumplen con las recomendaciones de la NTP, además, respecto a los ensayos del concreto en estado endurecido, resulta: Para las relaciones de a/c de 0.55, 0.50 y 0.45 a 28 días, valores de 95%, 101% y 98%, respecto al concreto patrón y para la resistencia a tracción compresión diametral valores de 103%, 97% y 96%, respecto a las mismas relaciones; en base a ello se recomienda realizar mayores investigaciones, para que la PTAR de CITRAR-UNI, produzca concreto, a fin de obtener ingresos financieros que puedan cubrir los costos de operación y mantenimiento, a fin de obtener una economía circular.
- Desarrollar investigaciones sobre el uso del ART, con otros tipos de cemento resistentes a las diversas sustancias del ART.
- Desarrollar investigaciones acerca de la durabilidad de estos tipos de concreto elaborados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Cuarta Edición que incorpora la primera adenda ed.). Ginebra: Organización Mundial de la Salud 2018.
- [2] Agencia Europea del Medio Ambiente. (2018). El agua es vida. *Los ríos, lagos y mares de Europa están sometidos a la presión de la contaminación, la sobreexplotación y el cambio climático. ¿Cómo podemos garantizar un uso sostenible de este recurso vital?* (pág. 80). Dinamarca: AEMA.
- [3] Agua para morteros y hormigones de cemento. (2017). *IRAM 1601*, 1-27.
- [4] Anjum Naief H, M., Al-Makishah M.A., & Barakat. (2016). Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. *Process Safety and Environment*, 54. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.022>
- [5] Aquino Espinoza, P. (2017). *Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Lima: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR).
- [6] *Autoridad Nacional del Agua (ANA)*. (9 de julio de 2021). Obtenido de Agua y Población.: <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-delconocimiento-girh/agua-y-poblacion>.
- [7] *Autoridad Nacional del Agua*. ((s.f.)). *El agua en cifras*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras#:~:text=El%20Per%C3%BA%20cuenta%20con%20tres,2%20%25%20de%20acceso%20al%20agua>.
- [8] Benavides Benavides, L. D. (2006). EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL DE SACRIFICIO DE TÚQUERRES (NARIÑO). (*Tesis de grado*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Colombia. Obtenido de <https://docplayer.es/19598007-Evaluacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-central-de-sacrificio-de-tuquerres-narino-lilia-del-pilar-benavides-benavides.html>
- [9] *Bicentenario Perú 2021*. (2021). Obtenido de PREGUNTAS FRECUENTES: <https://infoaireperu.minam.gob.pe/preguntas-frecuentes->

- [23] Loose, D. (2016). *DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO DE OPERACIÓN DE LAS ENTIDADES PRESTADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO*. Lima: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- [24] Marsalek, J., Jiménez Cisneros, B., Karamouz, M., Malmquist, P.-A., Goldenfum, J., & Chocat, B. (2008). *Urban Water Cycle processes and interactions* (Vol. Volumen 2). Francia: Taylor & Francis.
- [25] McTigue, N. E. (2013). *Drinking water dictionary*. Estados Unidos: Emeritus.
- [26] Medina Restrepo Carlos Andrés, "Concreto confeccionado con aguas lluvia: un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción", Trabajo de grado para optar Maestría en Construcción, Facultad de Arquitectura - Universidad nacional de Colombia, Medellín, 2013.
- [27] Mehta, K. P., & M. Monteiro, P. J. (2006). *CONCRETE* (Tercera Edición ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- [28] Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2015). *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú*. Lima.
- [29] Ministerio de la Producción. (2015). *Anuario Estadístico Industrial, MYPE y Comercio Interno*. Lima.
- [30] Molina Villar, F., & Chara Surco, H. (2017). Influencia de la adición de nanosílice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de Arequipa. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- [31] Naik, T. (2007). *Sustainability of the cement and concrete industries: Sustainable construction materials and Technologies*. Londres: Taylor & Francis.
- [32] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1987). *CONCRETE TECHNOLOGY* (Segunda Edición ed.). Inglaterra: Longman Group UK.
- [33] Newman, J., & Choo, B. S. (2003). *Advanced Concrete Technology*. London: Elsevier Ltd.

- [34] norma argentina IRAM 1601 . (2012). *Agua para morteros y hormigones de cemento*, 24.
- [35] norma europea BS EN 1008. (2007). *Agua de amasado para hormigón*, 22.
- [36] Noyola, A., Morgan Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*, 140.
- [37] NTC 126. (1995). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA SOLIDEZ (SANIDAD) DE AGREGADOS PARA EL USO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO*, 12.
- [38] NTP 334.001. (2022). *CEMENTOS. Terminología relacionada al cemento hidráulico y otros cementos inorgánicos*, 15.
- [39] NTP 334.051. (2014). *CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland cubos de 50 mm de lado*, 19.
- [40] NTP 334.051. (2020). *CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cementos Portland cubos de 50 mm de lado*, 19.
- [41] NTP 339.034. (2021). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.*, 24.
- [42] NTP 339.035. (2022). *HORMIGÓN. Método de ensayo para la determinación del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.*, 10.
- [43] NTP 339.046. (2019). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*, 14.
- [44] NTP 339.047. (2021). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados*, 39.
- [45] NTP 339.077. (2020). *CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto.*, 17.

- [46] NTP 339.082. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.*, 24.
- [47] NTP 339.083. (2003). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión.* , 27.
- [48] NTP 339.084. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.*, 20.
- [49] NTP 339.088. (2021). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos*, 21.
- [50] NTP 339.185. (2021). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.*, 13.
- [51] 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.*, 18.
- [52] NTP 400.018. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (Nº200) por lavado en agregados.*, 14.
- [53] NTP 400.019. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles*, 13.
- [54] NTP 400.021. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*, 25.
- [55] NTP 400.022. (2021). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*, 25.
- [56] NTP 400.037. (2021). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*, 26.

- [57] Oficina Técnica de Difusión. (17 de enero de 2022). LIMA SUPERA LOS 10 MILLONES DE HABITANTES AL AÑO 2022. *Nota de prensa*, pág. 2.
- [58] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima: OEFA.
- [59] Partnership, G. W. (2009). *Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas*. Londres: Empresa Gráfica Mosca.
- [60] Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- [61] Quevauviller, P., Thomas, O., & Der Beken, A. V. (2006). *Wastewater Quality Monitoring and Treatment*. London: John Wiley & Sons .
- [62] RAJPUT, R. K. (2000). *ENGINEERING MATERIALS*. India: R. K. Rajput.
- [63] (2020). *RNE, E.060 Concreto Armado*. Lima: Departamento de Normalización.
- [64] RNE. E.060. (2022). *Concreto Armado*, 201.
- [65] Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). From Waste to Resource. *Shifting paradigms for smarter wastewater interventions* (pág. 62). Washington: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
- [66] Sáenz Correa, E. E. (2021). Análisis de las propiedades del concreto de mediana y baja resistencia elaborado con Agua Residual Tratada. (*Tesis de grado*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima.
- [67] Shetty, M. S., & Jain, A. K. (2019). *Concrete Technology (Theory and Practice)* (Octava Edición ed.). India: MS Shetty. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=4O3sDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=concrete+technology+theory+and+practice&ots=7js2-ccNhb&sig=muldUrFLyX9QQZhA40SVWKSIIJg#v=onepage&q=concrete%20technology%20theory%20and%20practice&f=false>
- [68] Shiklomanov, I. (1993). *World fresh water resources*. Nueva York: Peter H. Gleick.

- [69] Spellman, F. R., & Drinan, J. E. (2014). *Wastewater Stabilization Ponds*. New York: Taylor & Francis Group.
- [70] UNACEM. (marzo de 2021). Obtenido de Construyendo oportunidades: <https://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2012/03/Ficha-Sol.pdf>
- [71] US EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. *U.S. Environmental Protection Agency*, 643.
- [72] Vásquez Rojas, A., Gonzáles Díaz, F., Rocha Chiu, L., & Flores Bustamante, J. A. (abril de 2001). *Elaboración de concretos con agua tratadas*. Obtenido de imcyc: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>
- [73] Young, J. F., & Mindess, S. (1981). *Concrete*. Prentice-Hall.

ANEXOS

**ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I
MARCA SOL.**

ANEXO 2: ENSAYOS A LOS AGREGADOS

ANEXO 3: ENSAYOS A LOS DIFERENTES TIPOS DE AGUA

ANEXO 4: DISEÑO DE MEZCLAS

ANEXO 5: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

ANEXO 6: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I MARCA SOL.

Cuadro. Características físicas del cemento Portland Tipo I marca Sol.
Fuente: (UNACEM, 2021), NTP 334.009, ASTM C 150.

Requisitos	Valor	Requisitos NTP 334.009 ASTM C 150
Requisitos químicos estándar		
Dióxido de sílice (SiO ₂) %	19.28%	-
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) %	5.75%	-
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃) %	3.01%	-
Óxido de calcio (CaO) %	62.05%	-
Óxido de magnesio (MgO)%	2.93%	Máx. 6.0%
Trióxido de azufre (SO ₃) %	3.00%	Máx. 3.5%
Óxido de potasio (K ₂ O) %	0.80%	-
Óxido de sodio (Na ₂ O) %	0.22%	-
Otros (%)	0.62%	-
Pérdida por ignición (P.I) %	2.20%	Máx. 3.0%
Insolubles (%)	0.70%	Máx. 0.75%
Álcalis totales (%)	0.75%	-
Álcalis solubles en agua (%)	0.63%	-
Cal libre (CaO)%	0.33%	-
CO ₂ %	1.31%	-
Fases mineralógicas (según Bogue)		
C ₂ S.	11.9	-
C ₃ S.	54.20	-
C ₃ A.	10.10	-
C ₃ AF.	9.70	-

Requisitos físicos estándar		
Retenida malla 100.	0.13%	-
Retenida malla 200.	0.82%	-
Retenida malla 325.	6.51%	-
Superficie específica Blaine	336 m ² /kg	Mín. 260 m ² /kg
Contenido de aire	6.62%	Máx. 12%
Expansión autoclave	0.08%	Máx. 0.80%
Densidad	3.13 gr/cm ³	-
Fraguado Vicat inicial	127 min	Mín. 45 min
Fraguado Vicat final	305 min	Máx. 375 min
Calor de hidratación 7 días	79.5 cal/gr	-
Resistencia a la compresión		
• 24 hr.	153 kg/cm ²	-
• 3 días.	296 kg/cm ²	Mín. 122 kg/cm ²
• 7 días	357 kg/cm ²	Mín. 194 kg/cm ²
Requisitos físicos opcionales estándar		
• 28 días	427 kg/cm ²	Mín. 286 kg/cm ²

Cuadro. Composición compuesta del cemento Portland ordinario.
Fuente: (Newman & Choo, 2003), (Shetty & Jain, 2019) y (Rajput, 2000).

Compuesto	Abreviatura	Color	Nombre común	Aprox. Porcentaje en peso (%)	Porcentaje en peso (%)	Propiedades
C₃S	Silicato Tricálcico	Blanco	Alita	45 - 65	54.1	<ul style="list-style-type: none"> Principalmente responsable de la resistencia temprana (1 a 7 días). Genera calor y se hidrata más rápidamente. Posee menos resistencia al ataque químico.
C₂S	Silicato Dicálcico	Blanco	Belita	10 - 30	16.6	<ul style="list-style-type: none"> Principalmente responsable de la resistencia posterior (7 a más días). Posee más resistencia al ataque químico. Se endurece e hidrata lentamente.
C₃A	Aluminato Tricálcico	Gris blanco	Aluminato	5 - 12	10.8	<ul style="list-style-type: none"> C₃A aumenta la tasa de hidratación de C₃S, asimismo da un fraguado rápido en ausencia de yeso, también su contribución a la resistencia es baja. En cementos resistente a los sulfatos, deberá estar por debajo del 5%, débil frente al ataque de sulfatos. Reacciona con el sulfato, dando lugar al ataque de sulfato desmoronando el concreto, también reacciona con los cloruros, formando cloroaluminatos y "ligarlos" y así proteger el acero de refuerzo, reduciendo los iones cloruro "libres". Provoca el fraguado inicial del cemento. Reacciona rápidamente generando una gran cantidad de calor.
C₄AF	Ferrita de aluminio tetracálcico	Negro	Ferrito	6 - 12	9.1	<ul style="list-style-type: none"> Se hidrata rápidamente, pero su contribución a la resistencia es incierta y muy baja. En cementos resistente a los sulfatos, la cantidad de 2C₃A + C₄AF, debe ser menor al 25%. Escaso valor de cementación. Reacciona lentamente, generando una pequeña cantidad de calor.

- Un alto porcentaje de C_3S y un bajo porcentaje de C_2S resulta; endurecimiento rápido, alta resistencia temprana y alta generación de calor, menor resistencia al ataque químico.
- Un bajo porcentaje de C_3S y un alto porcentaje de C_2S resulta; endurecimiento lento, mucha más resistencia final y menos generación de calor, mayor resistencia al ataque químico.

Las diferencias en los diversos tipos de cemento Portland ordinarios, es debido a variaciones de proporciones relativas a los compuestos en el cemento, tal como muestra el siguiente cuadro.

Cuadro. Composición química y propiedades físicas de diferentes tipos de cemento Portland.

Fuente: (Mehta y Monteiro, 2006).

Tipo	Rango de composición del compuesto (%)				Especificación	Características
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF		
I	50 – 55 → 54.1	15 – 20 → 16.6	5 – 12 → 10.8	6 – 10 → 9.1	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento ordinario, uso general. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión (1día) aprox. es de 71 kg/cm². • Calor de hidratación (7días) es aprox. de 330 J/g.
II	50 – 55 → 45	15 – 20 → 30	5 – 7 → 7	6 – 12 → 12	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia moderada a los sulfatos, calor de hidratación moderado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión (1día) es aprox. de 61 kg/cm². • Calor de hidratación (7días) es aprox. de 250 J/g.
III	50 – 60 → 60	10 – 15 → 15	8 – 12 → 10	6 – 10 → 8	<ul style="list-style-type: none"> • Al aumentar el C₃S, alta resistencia inicial. • Para alta resistencia temprana. • No usarse en construcción de concreto masivo, debido al elevado calor de hidratación. • Usarse en construcción a bajas temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión (1día) es aprox. de 143 kg/cm². • Calor de hidratación (7días) es aprox. de 500 J/g.
IV	25	50	5	12	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo calor de hidratación (reacción lenta). • Para estructuras masivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión (1día) es aprox. de 31 kg/cm². • Calor de hidratación (7días) es aprox. de 210 J/g.

ANEXO 2: ENSAYOS A LOS AGREGADOS

Cabe indicar que los ensayos para determinar las propiedades físicas de la arena de la cantera de Jicamarca se realizaron entre los días 08.11.2021 hasta el 12.11.2021; además, con respecto a la piedra de la cantera de Jicamarca se realizaron entre los días 19.10.2021 hasta el 22.10.2021.

2.1: Peso unitario suelto

<u>PESO UNITARIO SUELTO - ARENA</u>		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W molde (gr.)	5106	5106
V molde (cm ³)	9726	9726
W molde + muestra (gr.)	20971.5	20941.0
W muestra (gr.)	15865.5	15835.0
P.U.S. (gr/cm ³)	1.631	1.628
<u>P.U.S. prom. (gr/cm³)</u>	<u>1.630</u>	

<u>PESO UNITARIO SUELTO - PIEDRA</u>		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W molde (gr.)	5106	5106
V molde (cm ³)	9726	9726
W molde + muestra (gr.)	19521	19425
W muestra (gr.)	14415	14319
P.U.S. (gr/cm ³)	1.482	1.472
<u>P.U.S. prom. (gr/cm³)</u>	<u>1.477</u>	

2.2: Peso unitario compactado

<u>PESO UNITARIO COMPACTADO - ARENA</u>		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W molde (gr.)	5106	5106
V molde (cm ³)	9726	9726
W molde + muestra (gr.)	22411.5	22328.5
W muestra (gr.)	17305.5	17222.5
P.U.C. (gr/cm ³)	1.779	1.771
<u>P.U.C. prom. (gr/cm³)</u>	<u>1.775</u>	

PESO UNITARIO COMPACTADO - PIEDRA		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W molde (gr.)	5106	5106
V molde (cm ³)	9726	9726
W molde + muestra (gr.)	21095	21055
W muestra (gr.)	15989	15949
P.U.C. (gr/cm ³)	1.644	1.640
<u>P.U.C. prom. (gr/cm³)</u>	<u>1.642</u>	

2.3: Peso Especifico

PESO ESPECÍFICO - ARENA			
	FIOLA #4	FIOLA #16	FIOLA #1
W muestra SSS al aire (gr.)	300.0	300.0	300.0
W fiola + agua (gr.)	664.6	665.4	659.3
W fiola + agua + muestra (gr.)	853.9	854.2	848.2
W muestra seca al horno (gr.)	297.3	296.9	296.1
Peso específico (gr/cm ³)	2.686	2.670	2.665
<u>Peso específico prom. (gr/cm³)</u>	<u>2.674</u>		

PESO ESPECÍFICO - PIEDRA			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W muestra SSS al aire (gr.)	3001.8	3001.8	3009.2
W muestra saturada en agua (gr.)	1921.8	1921.4	1931.4
W muestra seca al horno (gr.)	2966.8	2973.2	2977.7
Peso específico (gr/cm ³)	2.747	2.752	2.763
<u>Peso específico prom. (gr/cm³)</u>	<u>2.754</u>		

2.4: Absorción

ABSORCIÓN - ARENA			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W muestra SSS (gr.)	300.0	300.0	300.0
W muestra seca (gr.)	297.3	296.9	296.1
W agua (gr.)	2.7	3.1	3.9
Absorción (%)	0.91%	1.04%	1.32%
<u>Absorción prom. (%)</u>	<u>1.09%</u>		

ABSORCIÓN - PIEDRA			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
W muestra SSS (gr.)	3001.8	3001.8	3009.2
W muestra seca (gr.)	2968.8	2973.2	2977.7
W agua (gr.)	33.0	28.6	31.5
Absorción (%)	1.11%	0.96%	1.06%
<u>Absorción prom. (%)</u>	<u>1.04%</u>		

2.5: Contenido de Humedad

<u>CONTENIDO DE HUMEDAD - ARENA</u>	
	Ensayo 1
W muestra húmeda (gr.)	705.0
W muestra seca (gr.)	699.7
W agua (gr.)	5.3
<u>C.H. (%)</u>	<u>0.76%</u>

<u>CONTENIDO DE HUMEDAD - PIEDRA</u>	
	Ensayo 1
W muestra húmeda (gr.)	3005.4
W muestra seca (gr.)	2992.2
W agua (gr.)	13.0
<u>C.H. (%)</u>	<u>0.44%</u>

2.6: Granulometría

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ARENA						
Malla		Peso (gr.)		Porcentaje (%)		
Numero	Milímetros	Retenido	Pasante	Retenido	Ret. Acum.	Pasante
3/8"	9.526	0.00	704.60	0.00%	0.00%	100.00%
N°04	4.763	9.50	695.10	1.35%	1.35%	98.65%
N°08	2.381	147.20	547.90	20.89%	22.24%	77.76%
N°16	1.191	130.50	417.40	18.52%	40.76%	59.24%
N°30	0.595	131.30	286.10	18.63%	59.40%	40.60%
N°50	0.296	131.70	154.40	18.69%	78.09%	21.91%
N°100	0.149	92.00	62.40	13.06%	91.14%	8.86%
N°200	0.074	37.40	25.00	5.31%	96.45%	3.55%
< N°200		25.00	0.00	3.55%	100.00%	0.00%
Total		704.60		100.00%		
W inicial		706.30				
Variación		1.7		<u>M.F:</u>	<u>2.93</u>	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – PIEDRA – (HUSO / ASTM - 67).						
Malla		Peso (gr.)		Porcentaje (%)		
Numero	Milímetros	Retenido	Pasante	Retenido	Ret. Acum.	Pasante
1"	25.400	0.00	5099.50	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	87.60	5011.90	1.72%	1.72%	98.28%
1/2"	12.700	2017.30	2994.60	39.56%	41.28%	58.72%
3/8"	9.526	1284.90	1709.70	25.20%	66.47%	33.53%
N°04	4.763	1637.30	71.40	32.11%	98.58%	1.42%
N°08	2.381	62.50	9.90	1.23%	99.81%	0.19%
N°16	1.191	2.80	7.10	0.05%	99.86%	0.14%
FONDO		7.10	0.00	0.14%	100.00%	0.00%

Total: 5099.50 100.00%

W inicial: 5109.8

Variación: 10.3

M.F : **6.66**

TM : **1"**

TMN : **3/4"**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO GLOBAL								
Tamices		Porcentaje retenido	Porcentaje parcial		Agregado Global			
pulg.	mm.	Piedra	Arena	Piedra	Arena	% retenido	% ret. Acum.	% pasa
1"	25.400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	1.72%	0.00%	0.75%	0.00%	0.75%	0.75%	99.25%
1/2"	12.700	39.56%	0.00%	17.25%	0.00%	17.25%	18.00%	82.00%
3/8"	9.526	25.20%	0.00%	10.99%	0.00%	10.99%	28.98%	71.02%
N°4	4.763	32.11%	1.35%	14.00%	0.76%	14.76%	43.74%	56.26%
N°8	2.381	1.23%	20.89%	0.53%	11.78%	12.32%	56.06%	43.94%
N°16	1.191	0.05%	18.52%	0.02%	10.45%	10.47%	66.53%	33.47%
N°30	0.595	0.14%	18.63%	0.06%	10.51%	10.57%	77.10%	22.90%
N°50	0.296	0.00%	18.69%	0.00%	10.54%	10.54%	87.64%	12.36%
N°100	0.149	0%	13.06%	0.00%	7.36%	7.36%	95.01%	4.99%
N°200	0.074	0%	5.31%	0.00%	2.99%	2.99%	98.00%	2.00%
<N°200	-	0%	3.55%	0.00%	2.00%	2.00%	100.00%	0.00%

43.60% 56.40% 100.00%

P.U.C. % Arena 43.60%
(máx.): % Piedra 56.40%

M.F: 5.44

2.7: Porcentaje que pasa la malla N°200

% QUE PASA MALLA N°200 - ARENA		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W muestra seca original (gr.)	702.9	707.5
W muestra seca luego del lavado (gr.)	682.6	688.4
% que pasa malla N°200	2.88	2.70
% QUE PASA MALLA N°200	2.79	
% QUE PASA MALLA N°200 - PIEDRA		
	Ensayo 1	Ensayo 2
W muestra seca original (gr.)	3000.9	3002.2
W muestra seca luego del lavado (gr.)	2972.1	2972.8
% que pasa malla N°200	0.96	0.98
% QUE PASA MALLA N°200	0.97	

2.8: Partículas ligeras

Se usa el cloruro de cinc como material para la obtención de la solución con el agua, para el desarrollo del presente ensayo.

% PARTÍCULAS LIGERAS - ARENA	
	Ensayo 1
W muestra seca de porción de agregado más grueso que el tamiz N°50 (gr.)	502.2
W seca de partículas que flotan (gr.)	0.1
% PARTÍCULAS LIGERAS	0.02
% PARTÍCULAS LIGERAS - PIEDRA	
	Ensayo 1
W muestra seca de porción de agregado más grueso que el tamiz N°50 (gr.)	3820.5
W seca de partículas que flotan (gr.)	0.2
% PARTÍCULAS LIGERAS	0.005

2.9: Inalterabilidad por medio de sulfato de magnesio

% INALTERABILIDAD - ARENA					
Tamiz	Peso retenido antes del ensayo	Peso retenido después del ensayo	% Perdida después del ensayo	Escalonada Original Granulometría	% Perdidas pesado
N°4	100	84.3	15.70%	1.35%	0.21%
N°8	100	96.0	4.00%	20.89%	0.84%
N°16	100	87.1	12.90%	18.52%	2.39%
N°30	100	98.6	1.40%	18.63%	0.26%
N°50	100	89.8	10.20%	18.69%	1.91%
< N°50	-	-	0.00%	21.92%	0.00%
TOTAL	500	455.8	TOTAL	100.00%	5.60%

% INALTERABILIDAD – ARENA = 5.60

% INALTERABILIDAD - PIEDRA					
Tamiz	Peso retenido antes del ensayo	Peso retenido después del ensayo	% Perdida después del ensayo	Escalonada Original Granulometría	% Perdidas pesado
3/4"	516.80	498.5	3.54%	2.48%	0.09%
1/2"	673.50	670.5	0.45%	46.22%	0.21%
3/8"	334.00	314.5	5.84%	24.17%	1.41%
N°4	301.20	297.6	1.20%	26.14%	0.31%
<N°4	-	-	1.20%	0.99%	0.01%
TOTAL	1825.5	1781.1	TOTAL	100.00%	<u>2.03%</u>

% INALTERABILIDAD – PIEDRA = 2.03

2.10: Abrasión

ENSAYO DE ABRASIÓN	
MAQUINA LOS ÁNGELES	
Gradación - Método B (11 esferas) - Masa de carga 4584 ± 25 (gr.)	
Masa retenido malla 1/2" (gr.)	2501.0
Masa retenido malla 3/8" (gr.)	2501.3
W inicial (gr.)	5002.3
W ret. Malla N°12 (gr.)	4016.6
<u>Percent Loss (%)</u>	<u>19.70%</u>

ANEXO 3: ENSAYOS A LOS DIFERENTES TIPOS DE AGUA

3.1: Análisis químico del agua potable



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : EDSON VLADIMIR ROJAS MAMANI
PROYECTO : TESIS- " PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO I"
UBICACIÓN : Agua potable proveniente de SEDAPAL tomada del Laboratorio de la Dirección de Estudios Especiales del MTC- Rimac.
RESP. ANALISIS : Ing. Nore Arevalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 11 de febrero de 2022

N° Lab.	N° Campo	CL (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	M.O. (mg/L)	Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Sólidos Suspendedos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
3341	100% de agua potable M-02	31.56	39.71	7.29	15.00	101.32	0.40	0.82

Eusebio Ingoi Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



3.2: Análisis químico de la combinación de 50% de agua potable y 50% de agua residual tratada.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : EDSON VLADIMIR ROJAS MAMANI
PROYECTO : TESIS- " PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO I"
UBICACIÓN : Agua potable proveniente de SEDAPAL tomada de Laboratorio de la Dirección Especiales del MTC- Rimac y el agua residual tratada de tratamiento terciario proveniente del Centro de investigación de aguas residuales y residuos peligrosos- CITRAR- UNI.
RESP. ANALISIS : Ing. Nore Arevalo Flores
FECHA DE ANALISIS: La Molina, 11 de febrero de 2022

N° Lab.	N° Campo	CL (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	pH	M.O. (mg/L)	Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
3342	Es una combinación de aguas de 50% de agua potable y 50% de agua residual tratada de tratamiento terciario M-03	51.12	38.39	7.10	60.00	171.83	17.20	0.41

Eusebio Ingoi Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



3.3: Análisis químico del 100% de agua residual tratada



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : EDSON VLADIMIR ROJAS MAMANI
PROYECTO : TESIS- " PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO I"
UBICACIÓN : Centro de investigación de aguas residuales y residuos peligrosos - CITRAR- UNI
RESP. ANALISIS : Ing. Nore Arevalo Flores
FECHA DE ANALISIS: La Molina, 11 de febrero de 2022

N° Lab.	N° Campo	CL (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	M.O. (mg/L)	Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
3340	100% de agua residual tratada de tratamiento terciario M-01	80.28	48.11	7.31	75.00	220.39	33.60	0.36

Eusebio Ingot Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



3.4: Análisis químico del 100% de agua filtrada.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 003353

ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : EDSON VLADIMIR ROJAS MAMANI
PROYECTO : TESIS: "PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO I"
UBICACIÓN : Agua proveniente de un proceso de filtrado con cartuchos de carbón activado y sedimentos, del agua residual tratada terciario del Centro de investigación de aguas residuales y residuos peligrosos- CITRAR- UNI.
RESP. ANALISIS : Ing. Nore Arevalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de abril de 2022

N° Lab.	N° Campo	CL (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	M.O. (mg/L)	Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
3353	100% de agua filtrada proceso adicional M-01	150.95	87.04	6.78	1.54	153.15	34.80	0.04

Eusebio Ingal Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



EDSON VLADIMIR
ROJAS MAMANI

SALES AGUA Y SUELO PARA CONSTRUCCIÓN

CUADRO COMPARATIVO DE CONTENIDO DE SULFATOS Y SU GRADO DE AGRESIVIDAD AL CONCRETO SEGÚN DIFERENTES NORMAS Y REGLAMENTOS (Valores expresados en ppm)						
	ACI - 201. 2R. 77		BRS DIGEST (SEGUNDA SERIE) 90 (Inglés)		DIN 4030 (Alemana)	R.N.C. (Peruano)
Grado de Ataque	Sulfatos en el Suelo (1)	Sulfatos en el Agua	Sulfatos en el Suelo	Sulfatos en el Agua	Sulfatos (3)	Sulfatos (3)
Leve	0 - 1,000	0 - 150	< 2,400	< 360	0 - 600	50
Moderado	1,000 - 2,000	150 - 1,500	2,400 - 6,000	360 - 1,440	600 - 3,000	--
Severo	2,000 - 20,000	1,500 - 10,000	6,000 - 24,000	1,440 - 6,000	> 3,000	--
Muy Severo	> 20,000	> 10,000	> 24,000	> 6,000	--	--

Los valores máximos tolerables recomendados en nuestro medio, en comparación con los del agua potable, expresados en partes por millón (ppm):

Sustancia	Referencias	MTC	RIVVA 5 *	Agua Potable
Cloruros		300	300	250
Sulfatos		300	50	50
Sales Solubles Totales		1 500	300	300
Sales en Magnesio		--	125	125
Sólidos en Suspensión		1000	10	10
pH		≠ de 7	≠ de 8	10.5
Materia Orgánica expresada en Oxígeno		16	0.001	0.001

* Para concretos que han de estar expuestos a ataques por sulfatos

ANEXO 4: DISEÑO DE MEZCLAS

4.1: Diseño de mezclas para relación de a/c de 0.55.

Datos de diseño:

ítem	valor	unidad
a/c	0.55	-
P.E. cemento	3130	kg/m ³
P.E. arena	2674	kg/m ³
P.E. piedra	2754	kg/m ³
P.E. agua	1000	kg/m ³
% aire atrapado	2	%
% arena	59.4	%
C.H. arena	0.76	%
C.H. piedra	0.44	%
Abs. arena	1.09	%
Abs. piedra	1.04	%
TMN	¾"	pulg.

Dosificación para un metro cubico de concreto para a/c de 0.55						
Materiales	Peso seco	Volumen Absoluto	Peso unitario seco	Peso húmedo	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 kg
	(kg)	(m ³)		(kg)		(kg)
Cemento	441.82	0.141	1	441.82	1	10.31
Agua	243.00	0.243	0.55	250.12	0.566	5.84
Arena	946.41	0.354	2.142	953.61	2.158	22.25
Piedra	666.23	0.242	1.508	669.16	1.515	15.61
Aire		0.020				
Total	2297.46	1	5.200	2314.70	5.239	54.00

El porcentaje de arena de 59.40% y piedra de 40.60% son los valores finales para el diseño con un a/c de 0.55.

4.2: Diseño de mezclas para relación de a/c de 0.50.

Datos de diseño:

ítem	valor	unidad
a/c	0.55	-
P.E. cemento	3130	kg/m ³
P.E. arena	2674	kg/m ³
P.E. piedra	2754	kg/m ³
P.E. agua	1000	kg/m ³
% aire atrapado	2	%
% arena	59.2	%
C.H. arena	0.76	%
C.H. piedra	0.44	%
Abs. arena	1.09	%
Abs. piedra	1.04	%
TMN	¾"	pulg.

Dosificación para un metro cubico de concreto para a/c de 0.50						
Materiales	Peso seco	Volumen Absoluto	Peso unitario seco	Peso húmedo	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 kg
	(kg)	(m ³)		(kg)		(kg)
Cemento	496.00	0.158	1.00	496.00	1.000	11.58
Agua	248.00	0.248	0.50	254.86	0.514	5.95
Arena	907.91	0.340	1.83	914.81	1.844	21.36
Piedra	644.44	0.234	1.30	647.28	1.305	15.11
Aire		0.020				
Total	2296.35	1.000	4.63	2312.95	4.663	54.00

El porcentaje de arena de 59.20% y piedra de 40.80% son los valores finales para el diseño con un a/c de 0.50.

4.3: Diseño de mezclas para relación de a/c de 0.45.

Datos de diseño:

ítem	valor	unidad
a/c	0.55	-
P.E. cemento	3130	kg/m ³
P.E. arena	2674	kg/m ³
P.E. piedra	2754	kg/m ³
P.E. agua	1000	kg/m ³
% aire atrapado	2	%
% arena	57.8	%
C.H. arena	0.76	%
C.H. piedra	0.44	%
Abs. arena	1.09	%
Abs. piedra	1.04	%
TMN	¾"	pulg.

Dosificación para un metro cubico de concreto para a/c de 0.45						
Materiales	Peso seco	Volumen Absoluto	Peso unitario seco	Peso húmedo	Peso unitario húmedo	Tanda de 54 kg
	(kg)	(m ³)		(kg)		(kg)
Cemento	557.78	0.178	1.000	557.78	1.000	13.00
Agua	251.00	0.251	0.450	257.65	0.462	6.01
Arena	851.30	0.318	1.526	857.77	1.538	20.00
Piedra	640.13	0.232	1.148	642.95	1.153	14.99
Aire		0.020				
Total	2300.20	1.000	4.124	2316.14	4.152	54.00

El porcentaje de arena de 57.80% y piedra de 42.20% son los valores finales para el diseño con un a/c de 0.45.

4.4: Variación de dispersión en el control de resistencia del concreto.

Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	S1 <28.1	28.1 < S1 <35.2	35.2 < S1 <42.2	42.2 < S1 <49.2	49.2 < S1
Concreto en laboratorio	S1 <14.1	14.1 < S1 <17.6	17.6 < S1 <21.1	21.1 < S1 <24.6	24.6 < S1

Referencia: Carbajal, E. P. (1999). Tópicos de tecnología del concreto (Segunda ed.).

Dispersión entre testigos					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	V1 < 3.0	3.0 < V1 < 4.0	4.0 < V1 < 5.0	5.0 < V1 < 6.0	6.0 < V1
Concreto en laboratorio	V1 < 2.0	2.0 < V1 < 3.0	3.0 < V1 < 4.0	4.0 < V1 < 5.0	5.0 < V1

Referencia: Carbajal, E. P. (1999). Tópicos de tecnología del concreto (Segunda ed.).

4.5: Resultados de ensayos a compresión para prediseño - a/c de 0.55.

La fecha de preparación de probetas de concreto y los ensayos a compresión para la relación de a/c de 0.55, se realizó, entre el 7/12/2021 al 22/12/2021.

Pre diseño: a/c de 0.55 – 243 litros – 47.4% A y 52.60 % P – 7 días de edad **(Código: a/c.0.55.47.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	(S1) ²	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	308.19	297.85	10.34	106.90	704.62	88.08	9.38	3.15%	II
2	298.94		1.09	1.18					II
3	299.12		1.26	1.59					II
4	300.79		2.94	8.62					II
5	276.97		-20.88	436.18					II
6	302.81		4.96	24.60					II
7	304.05		6.19	38.35					II
8	289.00		-8.86	78.42					V
9	300.81		2.96	8.77					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

Pre diseño: a/c de 0.55 – 242 litros – 50.4% A y 49.60 % P – 7 días de edad **(Código: a/c.0.55.50.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	(S1) ²	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	310.15	304.77	5.39	29.03	306.89	38.36	6.19	2.03%	II
2	304.36		-0.40	0.16					III
3	307.88		3.11	9.69					II
4	304.91		0.14	0.02					II
5	293.77		-11.00	121.02					II
6	303.30		-1.47	2.15					II
7	300.69		-4.08	16.61					V
8	302.07		-2.69	7.26					V
9	315.76		11.00	120.94					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

**Pre diseño: a/c de 0.55 – 242 litros – 53.4% A y 47.60 % P – 7 días de edad
(Código: a/c.0.55.53.4%)**

Nº	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	291.79	304.17	-12.38	153.16	1882.21	235.28	15.34	5.04%	V
2	315.24		11.07	122.51					V
3	271.35		-32.82	1077.21					V
4	315.08		10.91	119.10					II
5	318.84		14.67	215.09					II
6	295.57		-8.60	73.97					V
7	310.21		6.04	36.52					II
8	313.11		8.94	79.96					II
9	306.33		2.16	4.69					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Suficiente).

**Pre diseño: a/c de 0.55 – 243 litros – 56.4% A y 43.60 % P – 7 días de edad
(Código: a/c.0.55.56.4%)**

Nº	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	328.92	308.80	20.12	404.76	612.40	76.55	8.75	2.83%	V
2	306.65		-2.16	4.65					V
3	309.11		0.31	0.09					II
4	309.76		0.95	0.90					II
5	302.86		-5.95	35.35					V
6	304.98		-3.83	14.63					II
7	312.19		3.38	11.44					V
8	307.79		-1.02	1.04					II
9	296.99		-11.81	139.53					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

**Pre diseño: a/c de 0.55 – 243 litros – 59.4% A y 40.60 % P – 7 días de edad
(Código: a/c.0.55.59.4%)**

Nº	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\Sigma(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	330.37	324.02	6.35	40.37	679.78	84.97	9.22	2.84%	II
2	324.57		0.56	0.31					II
3	326.67		2.65	7.03					V
4	305.77		-18.24	332.77					V
5	317.24		-6.77	45.84					II
6	329.59		5.57	31.03					II
7	323.30		-0.71	0.51					V
8	338.42		14.40	207.40					II
9	320.20		-3.81	14.52					I

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

4.6: Resultados de ensayos a compresión para prediseño - a/c de 0.50.

La fecha de preparación de probetas de concreto y los ensayos a compresión para la relación de a/c de 0.50, se realizó, entre el 30/11/2021 al 16/12/2021.

**Pre diseño: a/c de 0.50 – 248 litros – 47.4% A y 52.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.50.47.4%)**

Nº	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\Sigma(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	381.37	374.26	7.11	50.53	1579.53	197.44	14.05	3.75%	I
2	341.64		-32.62	1064.10					II
3	361.74		-12.52	156.80					II
4	378.78		4.51	20.37					I
5	380.38		6.12	37.44					V
6	382.92		8.65	74.84					II
7	386.74		12.48	155.74					II
8	377.55		3.29	10.81					II
9	377.25		2.98	8.90					VI

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

**Pre diseño: a/c de 0.50 – 248 litros – 50.4% A y 49.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.50.50.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	380.09	383.26	-3.17	10.05	978.69	122.34	11.06	2.89%	V
2	377.37		-5.88	34.62					II
3	400.65		17.39	302.56					II
4	376.51		-6.75	45.55					II
5	391.84		8.58	73.62					II
6	393.31		10.06	101.15					II
7	384.27		1.01	1.03					II
8	382.24		-1.02	1.03					II
9	363.03		-20.23	409.10					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

**Pre diseño: a/c de 0.50 – 247 litros – 53.4% A y 47.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.50.53.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	396.32	371.52	24.80	615.01	1882.65	235.33	15.34	4.13%	II
2	350.40		-21.12	446.06					III
3	378.72		7.20	51.90					II
4	356.45		-15.07	226.99					V
5	383.89		12.37	153.07					III
6	383.96		12.44	154.70					II
7	362.03		-9.49	90.02					II
8	372.39		0.87	0.75					II
9	359.51		-12.01	144.14					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Suficiente).

**Pre diseño: a/c de 0.50 – 246 litros – 56.4% A y 43.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.50.56.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	365.50	384.10	-18.60	345.79	514.84	85.81	9.26	2.41%	II
2	389.28		5.18	26.83					V
3	388.43		4.33	18.78					V
4	382.48		-1.62	2.62					II
5	388.59		4.50	20.21					I
6	380.82		-3.28	10.74					V
7	393.58		9.48	89.86					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

Pre diseño: a/c de 0.50 – 248 litros – 59.4% A y 40.60 % P – 14 días de edad

(Código: a/c.0.50.59.4%)

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	380.45	385.43	-4.98	24.77	884.68	110.59	10.52	2.73%	II
2	376.63		-8.80	77.42					III
3	392.38		6.95	48.34					II
4	385.51		0.08	0.01					V
5	376.76		-8.67	75.21					II
6	401.96		16.53	273.16					II
7	390.63		5.21	27.10					II
8	395.28		9.85	97.10					II
9	369.26		-16.17	261.57					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

4.7: Resultados de ensayos a compresión para pre diseño - a/c de 0.45.

La fecha de preparación de probetas de concreto y los ensayos a compresión para la relación de a/c de 0.45, se realizó, entre el 06/12/2021 al 23/12/2021.

Pre diseño: a/c de 0.45 – 252 litros – 47.4% A y 52.60 % P – 14 días de edad (Código: a/c.0.45.47.4%)

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	388.17	384.66	3.51	12.30	1791.90	255.99	16.00	4.16%	II
2	392.66		8.00	64.02					II
3	377.25		-7.41	54.90					II
4	361.29		-23.37	546.04					II
5	407.78		23.12	534.51					II
6	365.10		-19.56	382.52					V
7	386.42		1.76	3.10					II
8	398.61		13.95	194.52					V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Suficiente).

Pre diseño: a/c de 0.45 – 251 litros – 50.4% A y 49.60 % P – 14 días de edad (Código: a/c.0.45.50.4%)

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	$S1 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	350.08	372.34	-22.26	495.69	1454.41	207.77	14.41	3.87%	II
2	391.06		18.72	350.27					III
3	367.63		-4.71	22.17					V
4	363.75		-8.60	73.93					V
5	380.52		8.18	66.86					V
6	386.69		14.34	205.75					V
7	380.09		7.74	59.96					II
8	358.93		-13.41	179.79					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

Pre diseño: a/c de 0.45 – 251 litros – 53.4% A y 47.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.45.53.4%)

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	(S1) ²	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	382.60	378.98	3.62	13.12	608.42	86.92	9.32	2.46%	II
2	375.77		-3.21	10.30					II
3	376.14		-2.84	8.07					II
4	377.13		-1.85	3.44					V
5	371.70		-7.28	53.03					V
6	371.89		-7.09	50.29					II
7	400.48		21.50	462.10					II
8	376.14		-2.84	8.07					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

Pre diseño: a/c de 0.45 – 251 litros – 56.4% A y 43.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.45.56.4%)

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	(S1) ²	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	377.74	390.19	-12.44	154.81	773.08	96.63	9.83	2.52%	V
2	394.71		4.52	20.42					I
3	387.80		-2.39	5.71					II
4	392.11		1.93	3.72					III
5	401.00		10.81	116.84					III
6	404.13		13.94	194.34					I
7	387.61		-2.58	6.65					II
8	373.92		-16.26	264.46					II
9	392.66		2.48	6.13					III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

**Pre diseño: a/c de 0.45 – 251 litros – 59.4% A y 40.60 % P – 14 días de edad
(Código: a/c.0.45.59.4%)**

N°	Resist. (x)	Prome. (\bar{x})	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$(S1)^2$	S1 ($\frac{kg}{cm^2}$)	V1 (%)	Tipo de Fractura
1	399.27	391.07	8.20	67.22	750.88	93.86	9.69	2.48%	III
2	383.29		-7.78	60.55					II
3	381.20		-9.88	97.57					II
4	399.27		8.20	67.16					II
5	387.06		-4.02	16.13					V
6	396.88		5.81	33.76					III
7	375.59		-15.49	239.85					II
8	403.88		12.81	164.02					II
9	393.22		2.15	4.63					II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

4.8: Resultados de asentamiento del Pre diseño.

Relación a/c	% Arena	Asentamiento cm	Asentamiento in
0.55	47.4%	8.89	3 1/2
	50.4%	9.21	3 5/8
	53.4%	10.10	4
	56.4%	10.10	4
	59.4%	10.10	4
0.50	47.4%	8.57	3 3/8
	50.4%	9.53	3 3/4
	53.4%	9.53	3 3/4
	56.4%	10.10	4
	59.4%	8.89	3 1/2
0.45	47.4%	9.84	3 7/8
	50.4%	9.21	3 5/8
	53.4%	10.10	4
	56.4%	10.10	4
	59.4%	10.10	4

ANEXO 5: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los ensayos realizados al concreto en estado fresco se efectuaron entre los días 24/02/2022 al 18/03/2022 entre 22° a 26° de temperatura de ambiente.

5.1: Consistencia

Calidad de agua	Relación de a/c	Asentamiento cm	Asentamiento in
Agua potable	0.55	10.16	4
	0.50	8.89	3 1/2
	0.45	7.94	3 1/8
50% ART	0.55	10.80	4 1/4
	0.50	9.21	3 5/8
	0.45	8.26	3 1/4
100% ART	0.55	11.43	4 1/2
	0.50	10.48	4 1/8
	0.45	8.89	3 1/2

5.2: Fluidez

Ensayo de Fluidez del concreto							
Calidad de agua	a/c	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	Dp (cm)	% Fluidez
Agua potable (AP)	0.55	34.0	35.0	34.0	35.0	34.500	38.0%
	0.50	36.0	35.5	35.0	35.0	35.375	41.5%
	0.45	33.0	33.0	33.0	34.0	33.250	33.0%
Agua residual tratada (50% ART)	0.55	34.5	35.0	34.0	34.0	34.375	37.5%
	0.50	35.5	34.0	34.0	34.5	34.500	38.0%
	0.45	34.0	32.0	32.5	33.0	32.875	34.0%
Agua residual tratada (100% ART)	0.55	32.0	33.0	32.5	32.5	32.500	30.0%
	0.50	34.5	33.0	32.0	33.0	33.125	32.5%
	0.45	31.0	31.0	32.0	33.0	31.750	27.0%

5.3: Exudación

Exudación del concreto - Agua potable (AP)							
Tiempo (minuto)		Volumen de agua (ml)					
		a/c : 0.55 02/03/2022 - 10:37 am		a/c : 0.50 07/03/2022 - 11:58 am		a/c : 0.45 08/03/2022 - 09:55 am	
Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
00:10	10	1.45	1.45	0.25	0.25	0.10	0.10
00:10	20	4.45	5.90	2.35	2.60	0.15	0.25
00:10	30	2.45	8.35	1.85	4.45	1.25	1.50
00:10	40	3.45	11.80	1.75	6.20	1.65	3.15
00:30	70	16.10	27.90	9.95	16.15	7.85	11.00
00:30	100	10.50	38.40	8.05	24.20	3.55	14.55
00:30	130	7.80	46.20	0.25	24.45	1.20	15.75
00:30	160	1.95	48.15	0.00	24.45	0.00	15.75
00:30	190	0.40	48.55	0.00	24.45	0.00	15.75

Relación	Peso de tanda (kg)	Peso del agua en la tanda (kg)	Peso de la muestra en (kg)	Peso del agua en el recipiente (g)	Volumen acumulado (ml)	Porcentaje de exudación (%)
a/c : 0.55	70	7.56	34.02	3674.16	48.55	1.32%
a/c : 0.50	70	7.71	35.17	3873.72	24.45	0.63%
a/c : 0.45	70	7.79	35.34	3932.84	15.75	0.40%

Exudación del concreto - Agua residual tratada (50% ART)							
Tiempo (minuto)		Volumen de agua (ml)					
		a/c : 0.55 18/03/2022 - 12:25 am		a/c : 0.50 14/03/2022 - 12:02 am		a/c : 0.45 04/03/2022 - 11:48 am	
Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
00:10	10	0.45	0.45	0.40	0.40	0.10	0.10
00:10	20	2.75	3.20	0.35	0.75	0.20	0.30
00:10	30	1.20	4.40	2.80	3.55	0.45	0.75
00:10	40	3.20	7.60	1.50	5.05	0.40	1.15
00:30	70	15.50	23.10	9.80	14.85	6.20	7.35
00:30	100	11.55	34.65	2.10	16.95	4.90	12.25
00:30	130	0.75	35.40	0.35	17.30	1.35	13.60
00:30	160	0.00	35.40	0.00	17.30	0.10	13.70
00:30	190	0.00	35.40	0.00	17.30	0.00	13.70

Relación	Peso de tanda (kg)	Peso del agua en la tanda (kg)	Peso de la muestra en (kg)	Peso del agua en el recipiente (g)	Volumen acumulado (ml)	Porcentaje de exudación (%)
a/c : 0.55	70	7.56	34.97	3776.76	35.40	0.94%
a/c : 0.50	70	7.71	35.13	3869.32	17.30	0.45%
a/c : 0.45	70	7.79	35.18	3915.03	13.70	0.35%

Exudación del concreto - Agua residual tratada (100% ART)							
Tiempo (minuto)		Volumen de agua (ml)					
		a/c : 0.55 11/03/2022 - 12:34 am		a/c : 0.50 14/03/2022 - 12:02 am		a/c : 0.45 04/03/2022 - 11:48 am	
Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
00:10	10	3.65	3.65	0.20	0.20	0.10	0.10
00:10	20	1.45	5.10	2.05	2.25	2.15	2.25
00:10	30	4.95	10.05	2.30	4.55	3.15	5.40
00:10	40	2.25	12.30	3.43	7.98	1.25	6.65
00:30	70	15.25	27.55	6.50	14.48	6.85	13.50
00:30	100	11.65	39.20	11.25	25.73	2.25	15.75
00:30	130	10.80	50.00	7.70	33.43	2.50	18.25
00:30	160	4.00	54.00	0.00	33.43	0.00	18.25
00:30	190	0.00	54.00	0.00	33.43	0.00	18.25

Relación	Peso de tanda (kg)	Peso del agua en la tanda (kg)	Peso de la muestra en (kg)	Peso del agua en el recipiente (g)	Volumen acumulado (ml)	Porcentaje de exudación (%)
a/c : 0.55	70	7.56	35.56	3840.48	54.00	1.41%
a/c : 0.50	70	7.71	34.92	3846.19	33.43	0.87%
a/c : 0.45	70	7.79	35.50	3950.64	18.25	0.46%

5.4: Peso Unitario

Ensayo de peso unitario del concreto						
Calidad de agua	Relación a/c	Vol. de molde (m ³)	Peso de molde (kg)	Peso molde + muestra (kg)	Peso de muestra (kg)	Peso unitario (kg/m ³)
Agua potable (AP)	0.55	0.00708	2.43	19.040	16.61	2346.05
	0.50	0.00708	2.43	19.060	16.63	2348.87
	0.45	0.00708	2.43	19.105	16.68	2355.23
Agua residual tratada (50% ART)	0.55	0.00708	2.44	19.060	16.62	2347.46
	0.50	0.00708	2.44	19.010	16.57	2340.40
	0.45	0.00708	2.43	19.110	16.68	2355.93
Agua residual tratada (100% ART)	0.55	0.00708	2.43	18.980	16.55	2337.57
	0.50	0.00708	2.43	18.940	16.51	2331.92
	0.45	0.00708	2.43	19.010	16.58	2341.81

En este ensayo se usó moldes de 1/4 de p³ (0.00708 m³).

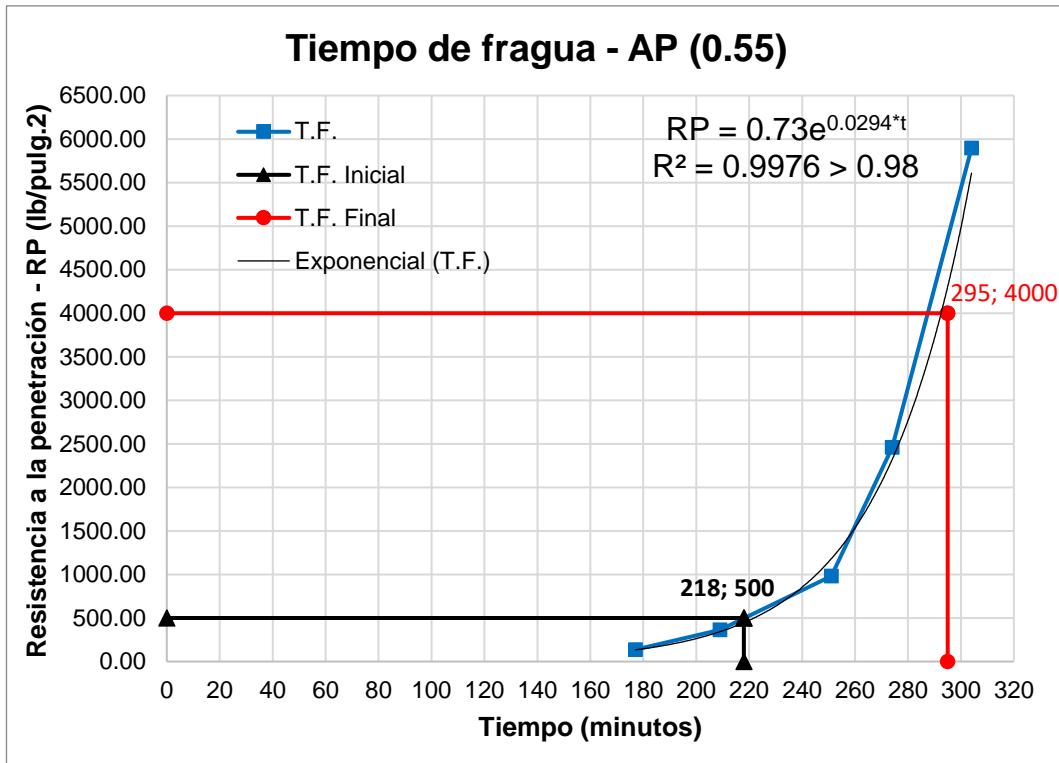
5.5: Contenido de aire

<u>Ensayo de contenido de aire del concreto</u>		
Calidad de agua	Relación a/c	%
Agua potable (AP)	0.55	1.80
	0.5	1.90
	0.45	1.85
Agua residual tratada (50% ART)	0.55	1.85
	0.5	1.70
	0.45	1.80
Agua residual tratada (100% ART)	0.55	1.85
	0.5	1.80
	0.45	1.70

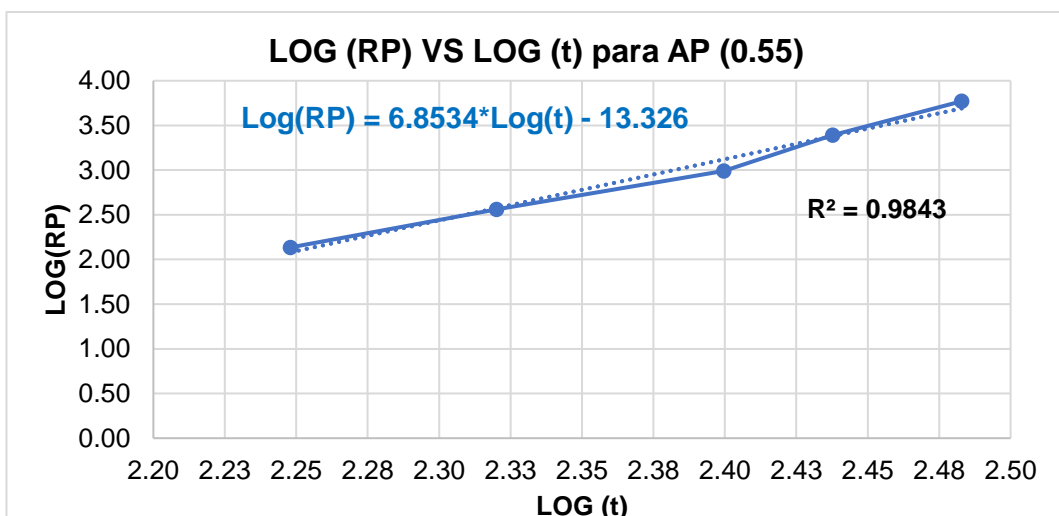
5.6: Tiempo de fraguado

Tiempo de fragua agua potable - a/c:0.55 - 08/03/2022						
Tiempo (t)			Aguja		Fuerza aplicada	Resistencia a la penetración (RP)
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 10:19 am.	Horas	Minutos				(lb)
13:16	02:57	177	1	0.989	135	136.50
13:48	03:29	209	2	0.497	180	362.17
14:30	04:11	251	4	0.096	94	979.17
14:53	04:34	274	5	0.048	118	2458.33
15:23	05:04	304	6	0.019	112	5894.74

T.F.I:	218	minutos
T.F.F:	295	minutos

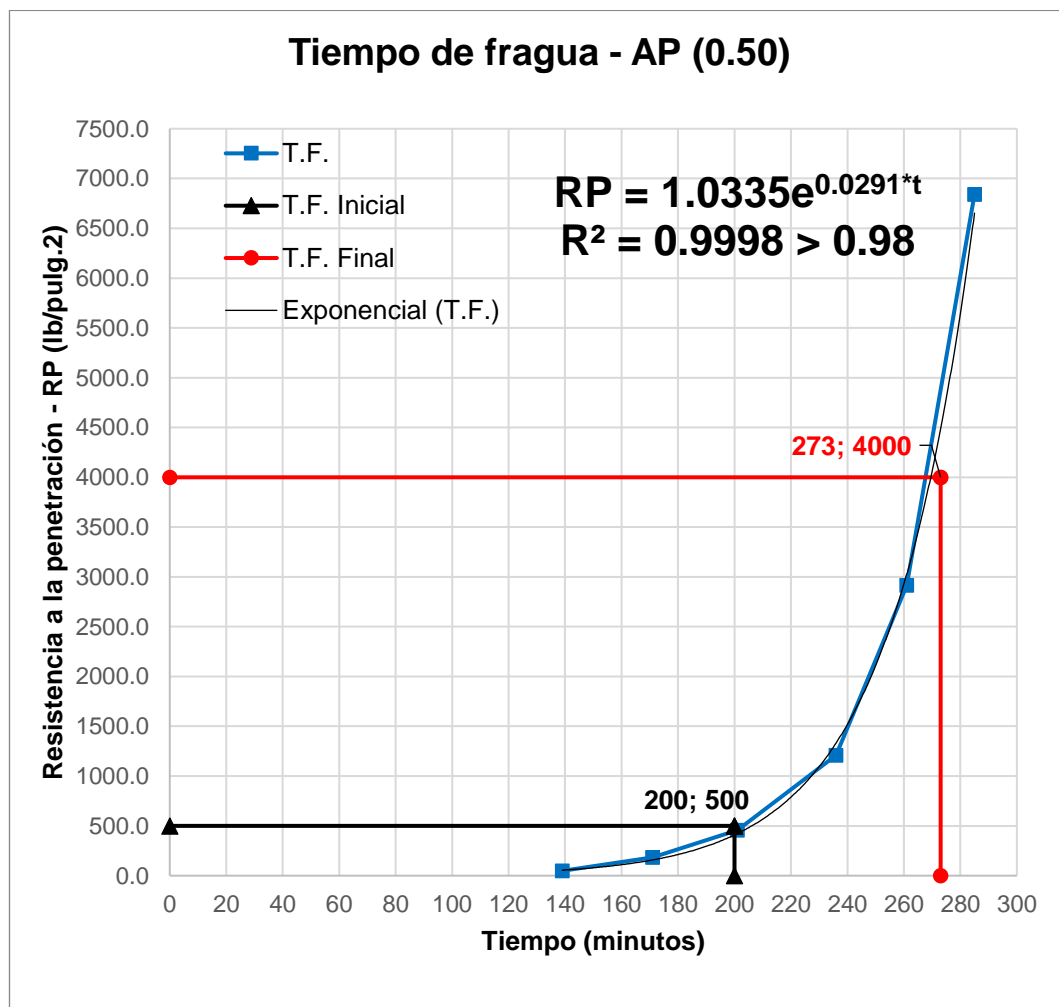


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg2)	min		
136.50	177	2.135	2.248
362.17	209	2.559	2.320
979.17	251	2.991	2.400
2458.33	274	3.391	2.438
5894.74	304	3.770	2.483

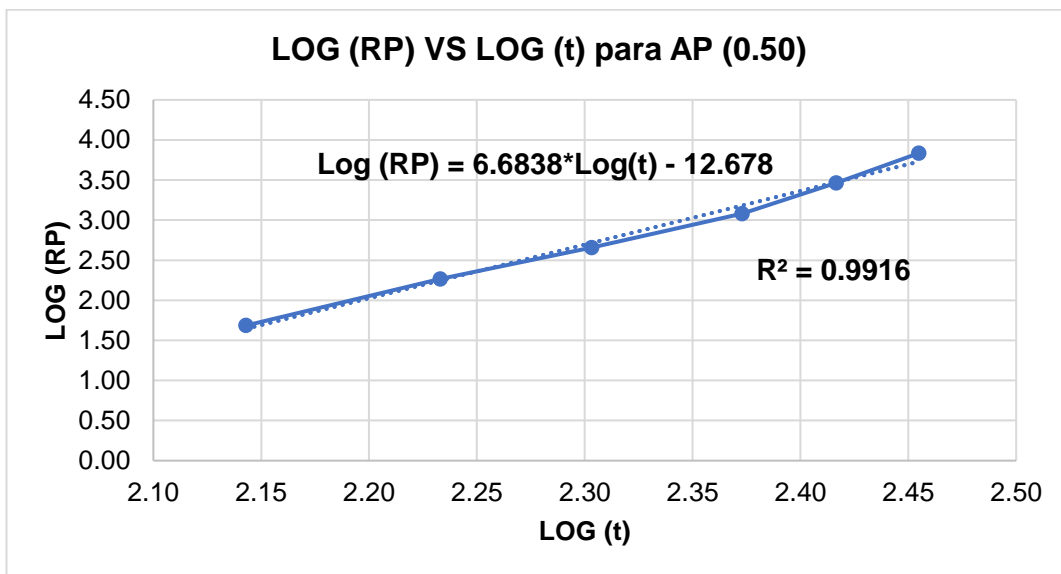


Tiempo de fragua agua potable - a/c:0.50 - 07/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (lb/in ²)
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 11:30am.	Horas	Minutos				
13:49	02:19	139	1	0.989	48	48.53
14:21	02:51	171	2	0.497	92	185.11
14:51	03:21	201	3	0.245	112	457.14
15:26	03:56	236	4	0.096	116	1208.33
15:51	04:21	261	5	0.048	140	2916.67
16:15	04:45	285	6	0.019	130	6842.11

T.F.I:	200	minutos
T.F.F:	273	minutos

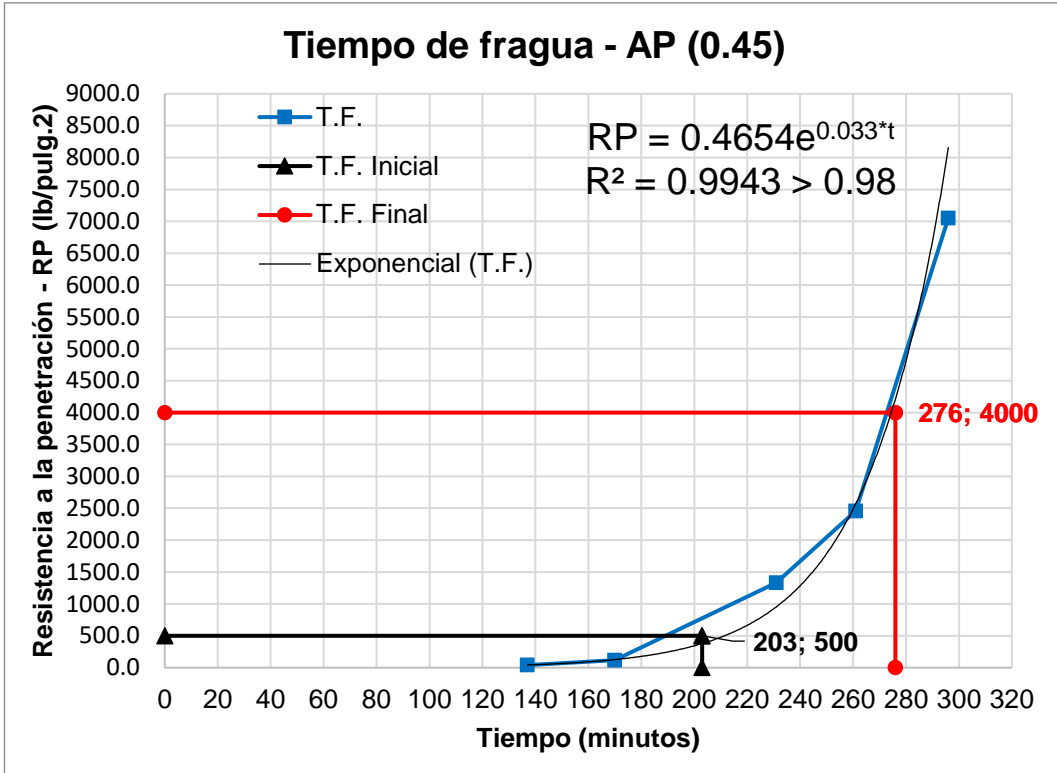


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg2)	min		
48.53	139	1.686	2.143
185.11	171	2.267	2.233
457.14	201	2.660	2.303
1208.33	236	3.082	2.373
2916.67	261	3.465	2.417
6842.11	285	3.835	2.455

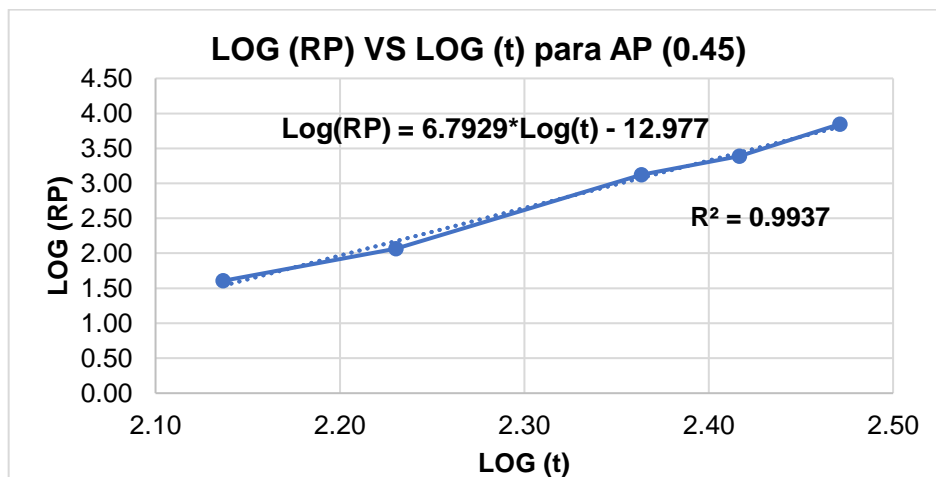


Tiempo de fragua agua potable - a/c:0.45 - 08/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada	Resistencia a la penetración
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 09:23am.	Horas	Minutos			(lb)	(lb/in ²)
11:40	02:23	137	1	0.989	40	40.44
12:13	02:56	170	2	0.497	58	116.70
13:14	03:57	231	4	0.096	128	1333.33
13:44	04:27	261	5	0.048	118	2458.33
14:19	05:02	296	6	0.019	134	7052.63

T.F.I:	203	minutos
T.F.F:	276	minutos

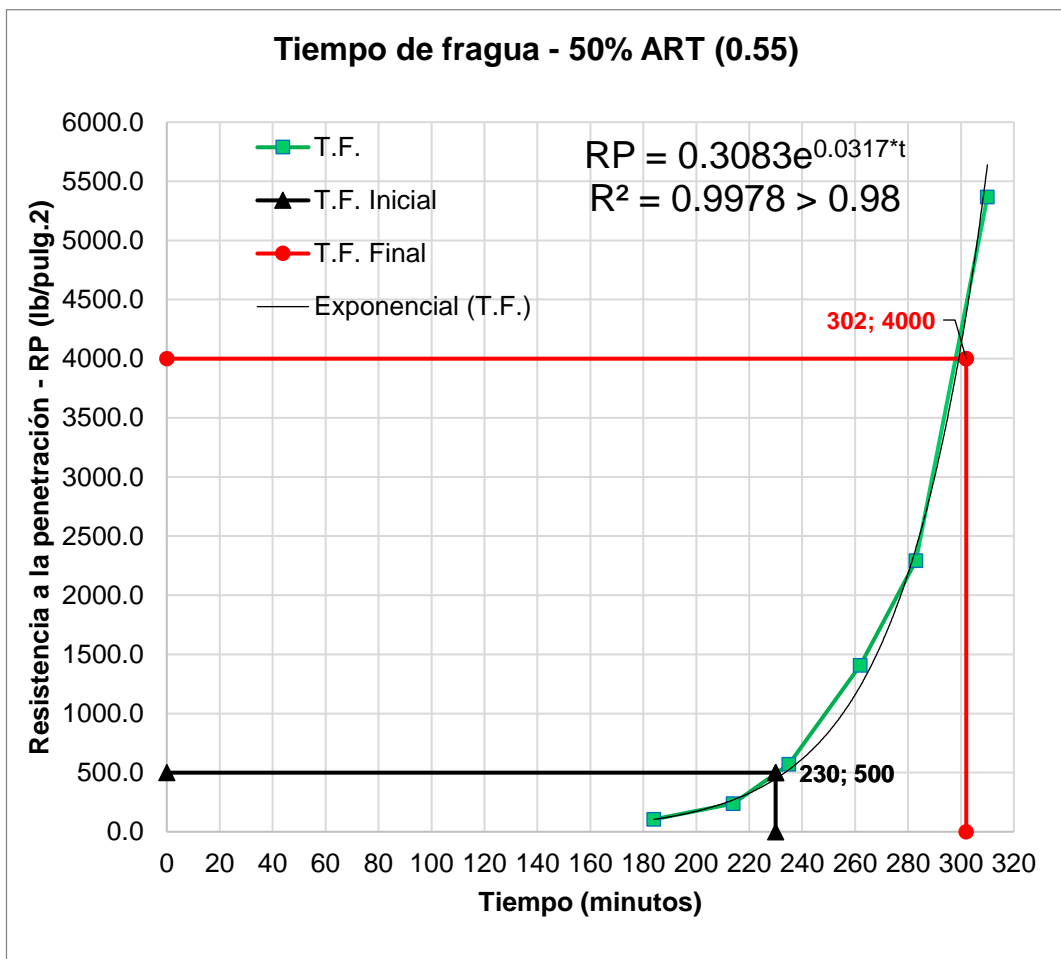


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg ²)	min		
40.44	137	1.607	2.137
116.70	170	2.067	2.230
1333.33	231	3.125	2.364
2458.33	261	3.391	2.417
7052.63	296	3.848	2.471

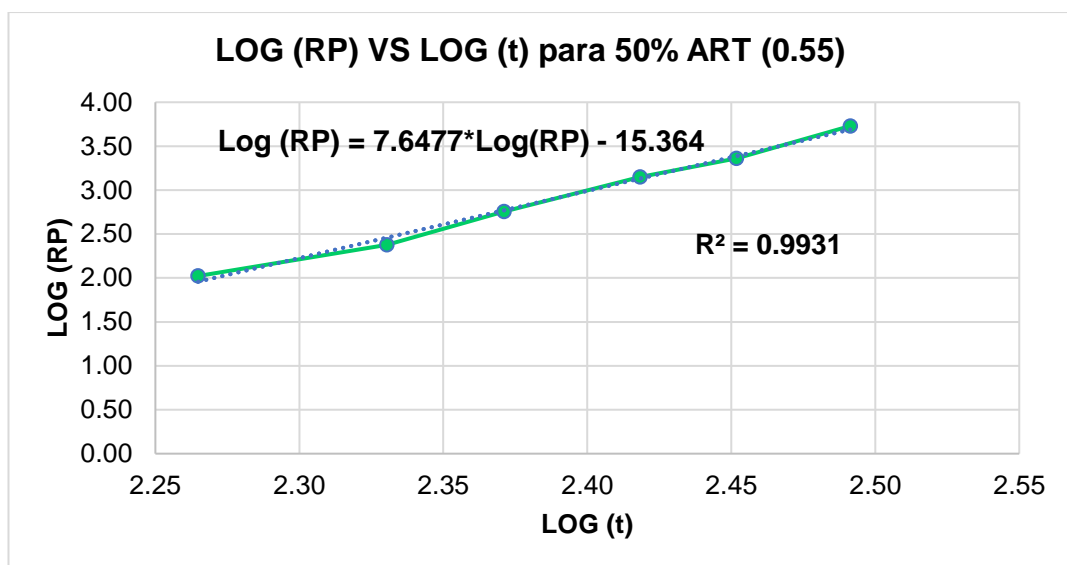


Tiempo de fragua agua residual tratada – 50% ART - a/c:0.55 - 18/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (lb/in ²)
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 11:29 am.	Horas	Minutos				
14:33	03:04	184	1	0.989	104	105.16
15:03	03:34	214	2	0.497	118	237.42
15:24	03:55	235	3	0.245	140	571.43
15:51	04:22	262	4	0.096	135	1406.25
16:12	04:43	283	5	0.048	110	2291.67
16:39	05:10	310	6	0.019	102	5368.42

T.F.I:	230	minutos
T.F.F:	302	minutos

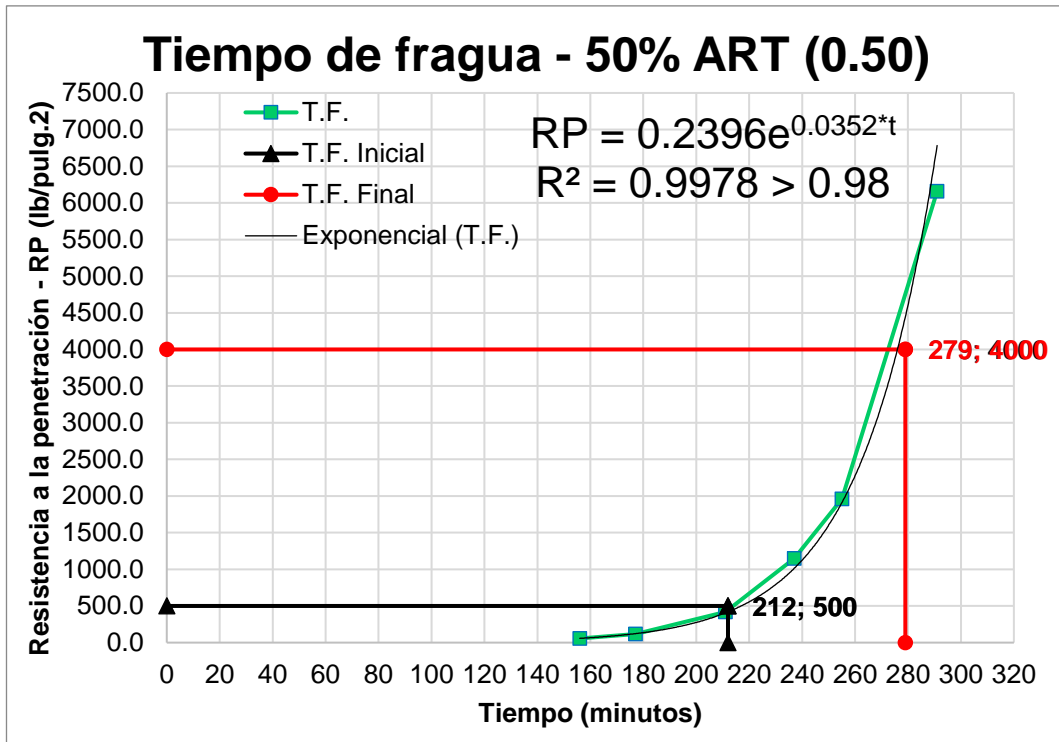


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg2)	min		
105.16	184	2.022	2.265
237.42	214	2.376	2.330
571.43	235	2.757	2.371
1406.25	262	3.148	2.418
2291.67	283	3.360	2.452
5368.42	310	3.730	2.491

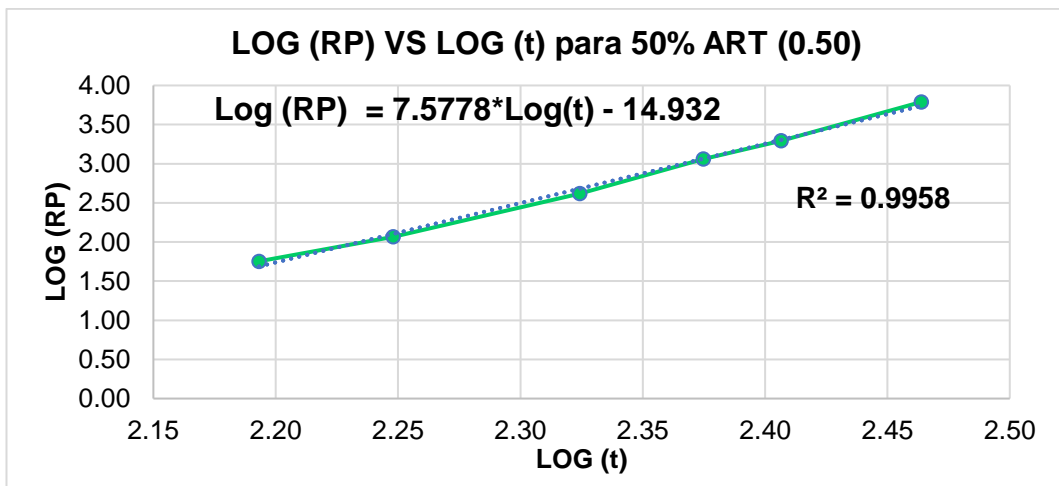


Tiempo de fragua agua residual tratada – 50% ART - a/c:0.50 - 14/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada	Resistencia a la penetración
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 10:43am.	Horas	Minutos			(lb)	(lb/in ²)
13:19	02:36	156	1	0.989	56	56.62
13:40	02:57	177	1	0.989	115	116.28
14:14	03:31	211	3	0.245	102	416.33
14:40	03:57	237	4	0.096	110	1145.83
14:58	04:15	255	5	0.048	94	1958.33
15:34	04:51	291	6	0.019	117	6157.89

T.F.I:	212	minutos
T.F.F:	279	minutos

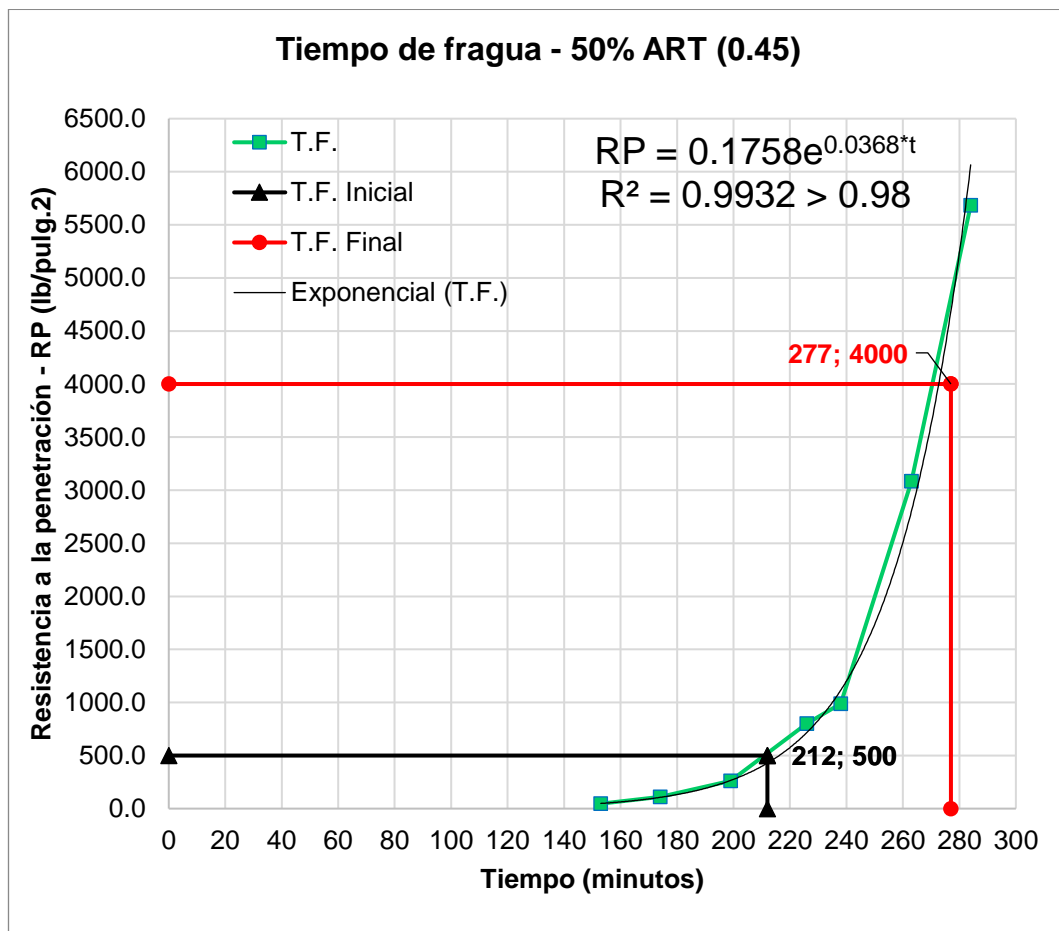


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg2)	min		
56.62	156	1.753	2.193
116.28	177	2.066	2.248
416.33	211	2.619	2.324
1145.83	237	3.059	2.375
1958.33	255	3.292	2.407
6157.89	291	3.789	2.464

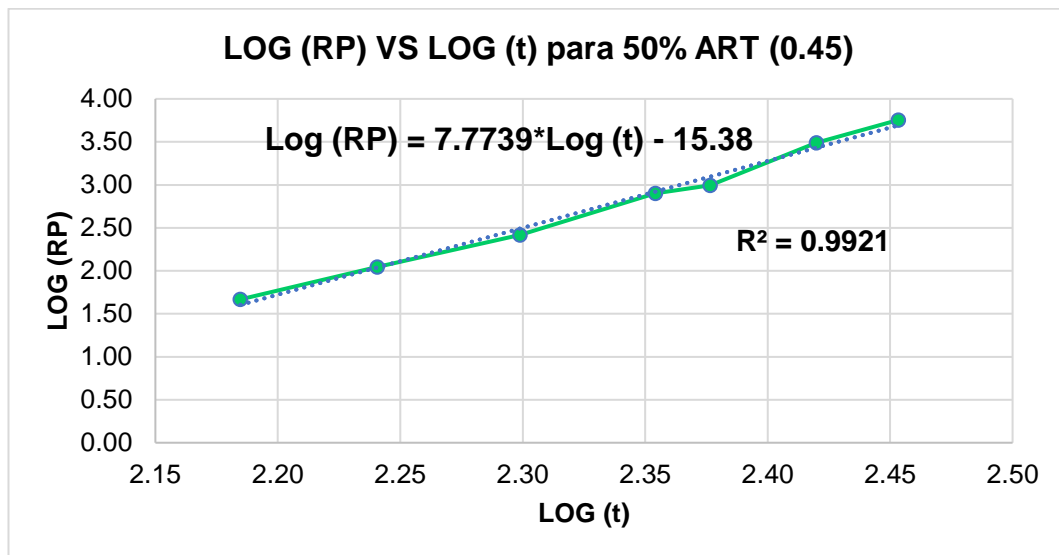


Tiempo de fragua agua residual tratada – 50% ART - a/c:0.45 - 18/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (lb/in ²)
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 09:21am.	Horas	Minutos				
11:54	02:33	153	1	0.989	46	46.51
12:15	02:54	174	1	0.989	110	111.22
12:40	03:19	199	2	0.497	130	261.57
13:07	03:46	226	3	0.245	196	800.00
13:19	03:58	238	4	0.096	95	989.58
13:44	04:23	263	5	0.048	148	3083.33
14:05	04:44	284	6	0.019	108	5684.21

T.F.I:	212	minutos
T.F.F:	277	minutos



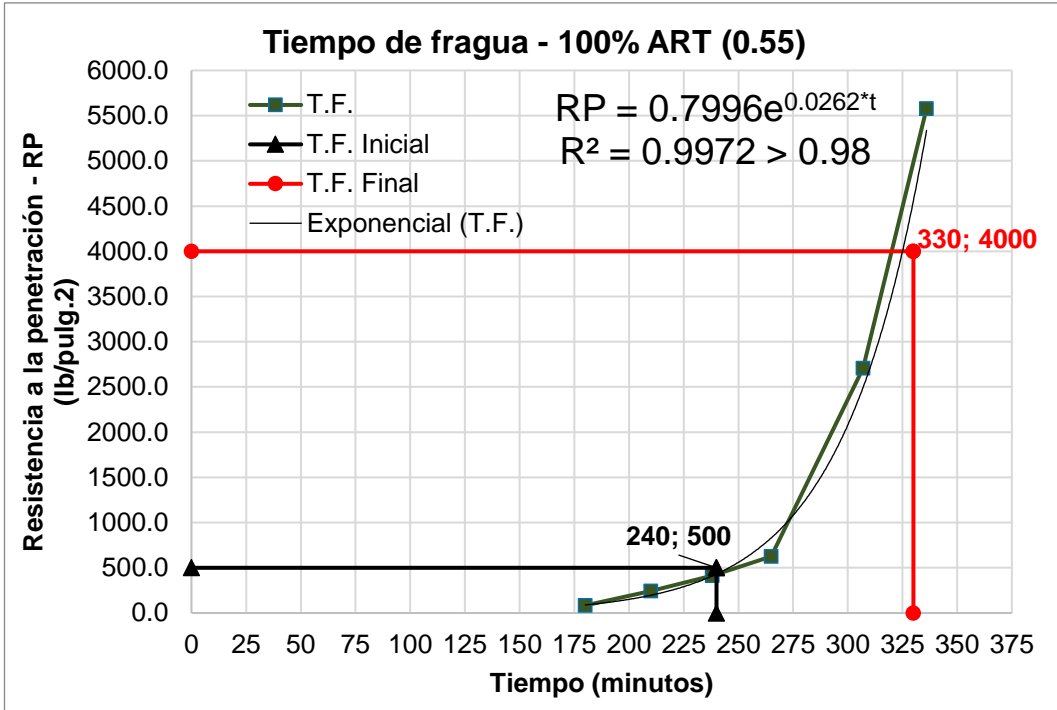
Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg2)	min		
46.51	153	1.668	2.185
111.22	174	2.046	2.241
261.57	199	2.418	2.299
800.00	226	2.903	2.354
989.58	238	2.995	2.377
3083.33	263	3.489	2.420



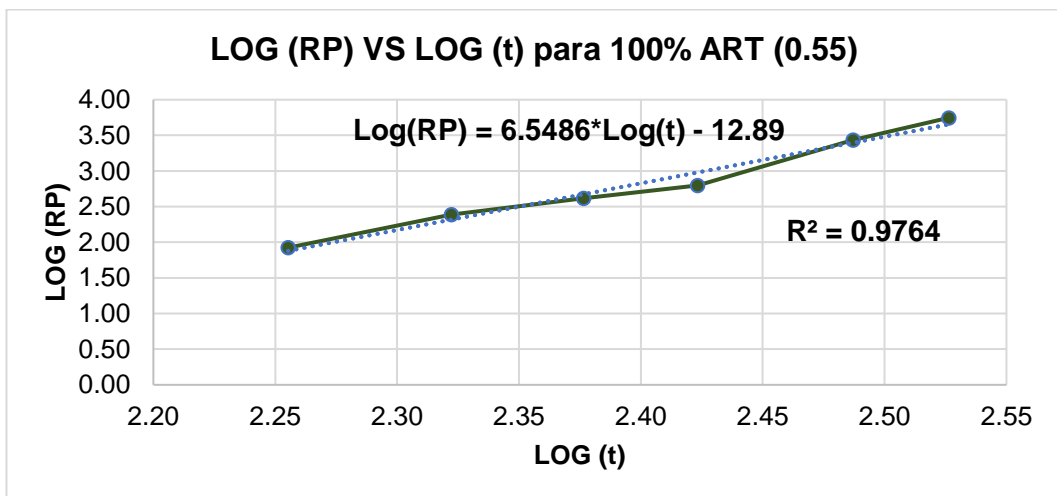
Tiempo de fragua agua residual tratada – 100% ART - a/c:0.55 - 11/03/2022

Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada	Resistencia a la penetración
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área		
Inicio: 11:48 am.	Horas	Minutos		(in ²)	(lb)	(lb/in ²)
14:48	03:00	180	1	0.989	83	83.92
15:18	03:30	210	2	0.497	121	243.46
15:46	03:58	238	3	0.245	101	412.24
16:13	04:25	265	4	0.096	60	625.00
16:55	05:07	307	5	0.048	130	2708.33
17:24	05:36	336	6	0.019	106	5578.95

T.F.I:	240	minutos
T.F.F:	330	minutos

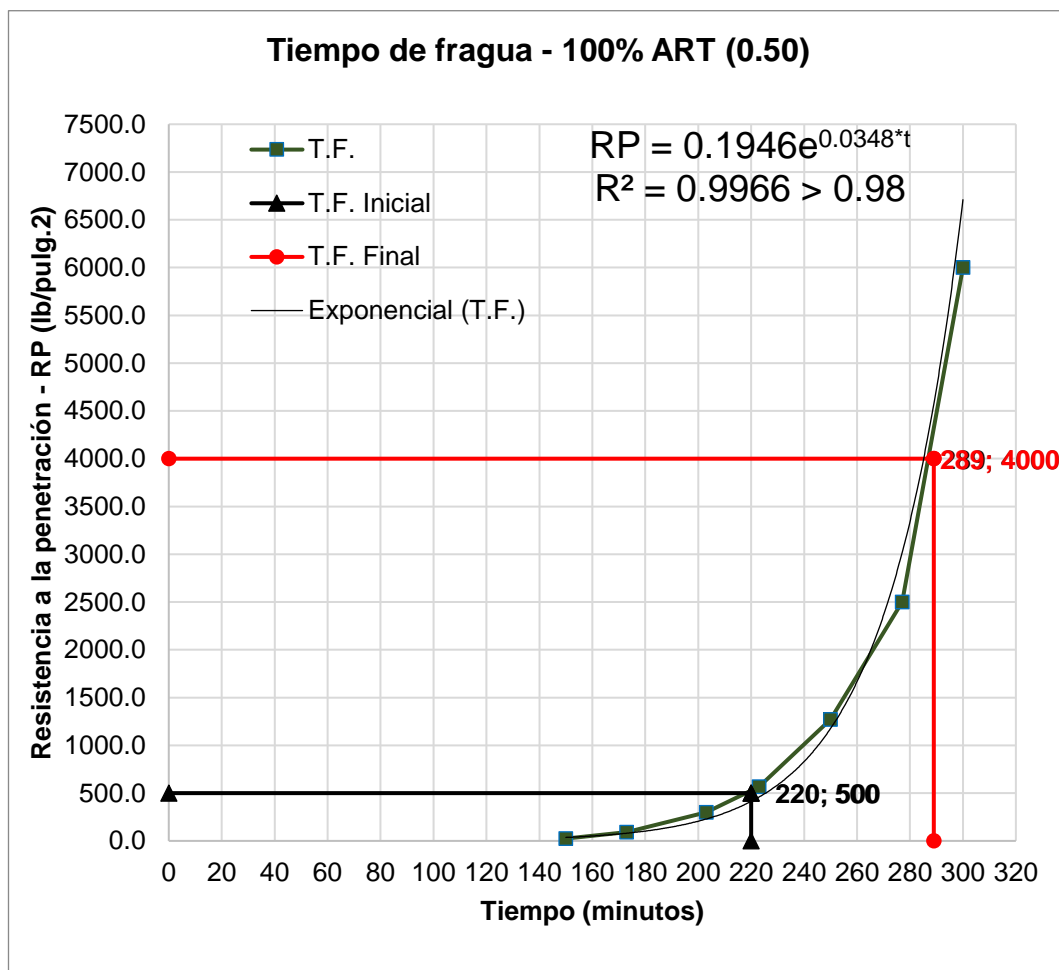


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg ²)	min		
83.92	180	1.924	2.255
243.46	210	2.386	2.322
412.24	238	2.615	2.377
625.00	265	2.796	2.423
2708.33	307	3.433	2.487
5578.95	336	3.747	2.526

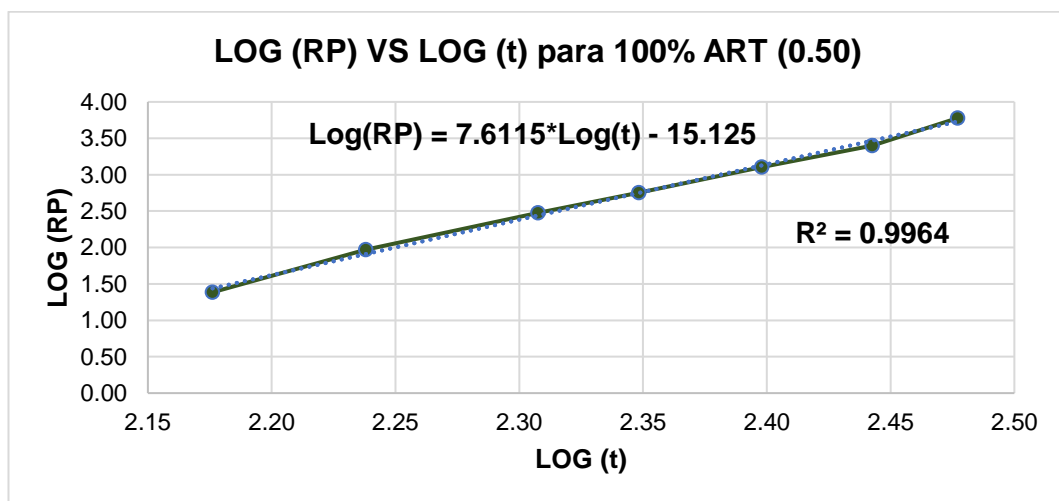


Tiempo de fragua agua residual tratada – 100% ART - a/c:0.50 - 10/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (lb/in ²)
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área (in ²)		
Inicio: 09:16am.	Horas	Minutos				
11:46	02:30	150	1	0.989	24	24.27
12:09	02:53	173	1	0.989	92	93.02
12:39	03:23	203	2	0.497	148	297.79
12:59	03:43	223	3	0.245	139	567.35
13:26	04:10	250	4	0.096	122	1270.83
13:53	04:37	277	5	0.048	120	2500.00
14:16	05:00	300	6	0.019	114	6000.00

T.F.I:	220	minutos
T.F.F:	289	minutos

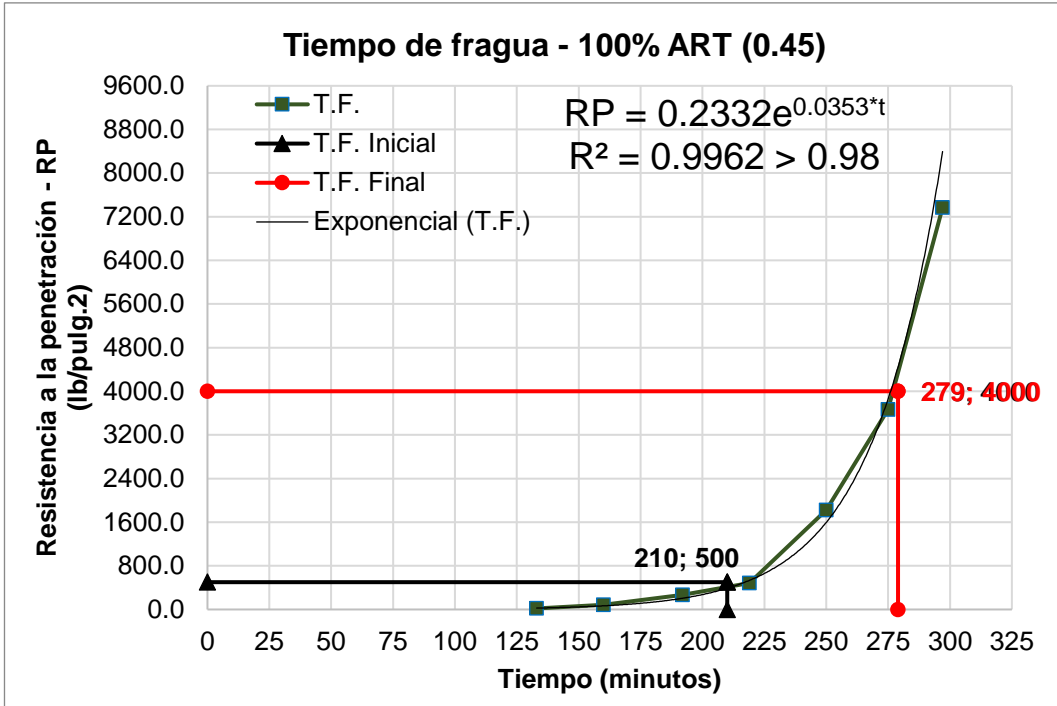


Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg ²)	min		
24.27	150	1.385	2.176
93.02	173	1.969	2.238
297.79	203	2.474	2.307
567.35	223	2.754	2.348
1270.83	250	3.104	2.398
2500.00	277	3.398	2.442

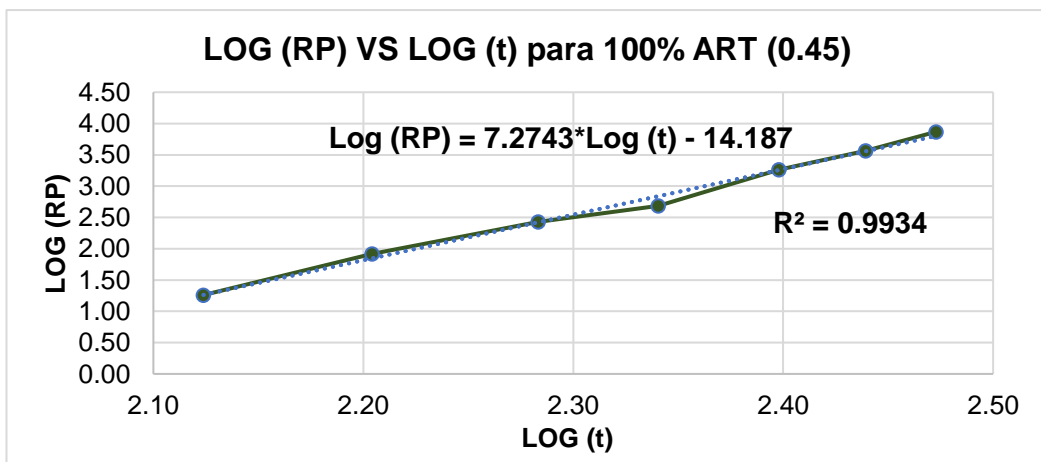


Tiempo de fragua agua residual tratada – 100% ART - a/c:0.45 - 10/03/2022						
Tiempo			Aguja		Fuerza aplicada	Resistencia a la penetración
Hora	Transcurrido		Numero / Tipo	Área		
Inicio: 10:32am.	Horas	Minutos		(in ²)	(lb)	(lb/in ²)
12:45	02:13	133	1	0.989	18	18.20
13:12	02:40	160	1	0.989	82	82.91
13:44	03:12	192	2	0.497	134	269.62
14:11	03:39	219	3	0.245	118	481.63
14:42	04:10	250	4	0.096	175	1822.92
15:07	04:35	275	5	0.048	176	3666.67
15:29	04:57	297	6	0.019	140	7368.42

T.F.I:	210	minutos
T.F.F:	279	minutos



Resistencia a la penetración (RP)	Tiempo transcurrido (t)	Log (RP)	Log (t)
(lb/pulg ²)	min		
18.20	133	1.260	2.124
82.91	160	1.919	2.204
269.62	192	2.431	2.283
481.63	219	2.683	2.340
1822.92	250	3.261	2.398
3666.67	275	3.564	2.439
7368.42	297	3.867	2.473



5.7: Temperatura

Temperatura ambiental y desarrollo de la temperatura del concreto en estado fresco.												
Relación a/c	Pre diseño			Concreto patrón - AP		Concreto con 50% ART		Concreto con 100% ART				
	Fecha	Temperatura(°C)		fecha	Temperatura(°C)		Fecha	Temperatura(°C)		Fecha	Temperatura(°C)	
		Amb.	Concreto		Amb.	Concreto		Amb.	Concreto		Amb.	Concreto
0.55	13/12/2021	22.3	27.1	8/03/2022	24.8	24.12	18/03/2022	24.7	27.16	14/03/2022	23.7	26.18
					24.5	24.23		24.5	27.16		23.4	26.18
					24.6	24.45		-	27.21		23.9	26.24
					-	25.00		25.0	27.26		23.4	26.27
					-	25.03		24.3	27.26		-	26.35
					25.1	25.03		24.3	27.26		23.6	26.35
0.50	2/12/2021	20.7	26.4	7/03/2022	24.3	27.04	15/03/2022	23.1	27.35	10/03/2022	22.2	27.33
					23.7	27.13		23.4	27.23		22.5	27.20
					-	27.36		23.2	27.18		-	27.17
					24.3	27.52		-	27.14		22.6	27.06
					24.4	27.52		23.5	27.02		-	26.92
					24.5	27.52		23.5	27.02		22.0	26.92
0.45	6/12/2021	21.5	24.9	9/03/2022	22.5	27.14	17/03/2022	22.3	26.75	11/03/2022	23.2	27.10
					23.2	27.14		-	26.72		23.3	27.15
					-	27.20		22.8	26.51		-	27.20
					21.7	27.26		21.8	26.44		-	27.30
					21.7	27.38		21.6	26.44		22.8	27.30
					21.5	27.38		21.6	26.44		23.1	27.30

ANEXO 6: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

6.1: Resistencia a la compresión

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 7 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.896	10.180	81.393	27460	337.38	335.94	8.71	2.59%	II
2	3.863	10.180	81.393	25980	319.19				II
3	3.863	10.165	81.153	27300	336.40				II
4	3.881	10.183	81.433	27920	342.86				II
5	3.879	10.138	80.715	27200	336.99				II
6	3.882	10.130	80.595	27630	342.82				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 14 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.883	10.183	81.433	29190	358.46	357.96	9.30	2.60%	III
2	3.882	10.185	81.473	28620	351.28				V
3	3.885	10.185	81.473	28280	347.11				III
4	3.929	10.135	80.675	28730	356.12				II
5	3.891	10.193	81.593	30520	374.05				II
6	3.913	10.195	81.633	29450	360.76				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.892	10.175	81.313	31965	393.11	402.36	13.71	3.41%	II
2	3.868	10.170	81.233	30737	378.38				II
3	3.881	10.173	81.273	31082	382.44				II
4	3.917	10.180	81.393	30284	372.07				V
5	3.878	10.175	81.313	33064	406.63				II
6	3.880	10.173	81.273	32360	398.17				III
7	3.855	10.173	81.273	33929	417.47				III
8	3.890	10.170	81.233	31670	389.87				II
9	3.904	10.228	82.154	33399	406.54				II

10	3.903	10.215	81.953	33525	409.07				II
11	3.887	10.215	81.953	32977	402.39				II
12	3.896	10.178	81.353	32307	397.12				V
13	3.889	10.165	81.153	32786	404.00				V
14	3.907	10.178	81.353	32700	401.95				III
15	3.897	10.185	81.473	32635	400.56				II
16	3.927	10.175	81.313	31820	391.33				II
17	3.909	10.175	81.313	33901	416.92				II
18	3.914	10.165	81.153	33108	407.97				III
19	3.903	10.170	81.233	31999	393.92				II
20	3.889	10.170	81.233	31967	393.52				II
21	3.909	10.170	81.233	34059	419.28				II
22	3.914	10.178	81.353	33335	409.76				II
23	3.889	10.170	81.233	32970	405.87				III
24	3.893	10.175	81.313	32878	404.34				II
25	3.904	10.175	81.313	35460	436.09				II
26	3.596	10.175	81.313	34765	427.55				II
27	3.899	10.175	81.313	33738	414.92				III
28	3.875	10.180	81.393	32638	400.99				III
29	3.881	10.155	80.993	31641	390.66				III
30	3.831	10.160	81.073	32250	397.79				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.906	10.115	80.357	35140	437.30	426.92	10.82	2.53%	III
2	3.886	10.115	80.357	33730	419.75				III
3	3.887	10.120	80.436	34107	424.03				II
4	3.880	10.130	80.595	33328	413.52				II
5	3.881	10.120	80.436	33178	412.48				II
6	3.912	10.120	80.436	35280	438.61				IV
7	3.920	10.145	80.834	35072	433.88				III
8	3.889	10.125	80.516	35089	435.80				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.904	10.120	80.436	35410	440.23	442.52	14.49	3.27%	III
2	3.885	10.120	80.436	37511	466.35				III
3	3.907	10.125	80.516	36291	450.73				II
4	3.848	10.120	80.436	35366	439.68				II
5	3.892	10.115	80.357	34109	424.47				II
6	3.873	10.135	80.675	34762	430.89				IV
7	3.915	10.120	80.436	36780	457.26				III
8	3.890	10.155	80.993	34871	430.54				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.860	10.184	81.457	26990	331.34	335.15	8.94	2.67%	V
2	3.855	10.178	81.353	28050	344.79				II
3	3.847	10.178	81.353	26070	320.46				V
4	3.831	10.170	81.233	27300	336.07				II
5	3.857	10.183	81.433	27410	336.60				II
6	3.871	10.178	81.353	28190	346.52				II
7	3.857	10.165	81.153	26800	330.24				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.868	10.188	81.513	30470	373.81	371.00	10.86	2.93%	II
2	3.840	10.183	81.433	30350	372.70				V
3	3.845	10.175	81.313	29860	367.22				II
4	3.852	10.193	81.593	29750	364.62				III
5	3.840	10.183	81.433	31740	389.77				II
6	3.838	10.185	81.473	29160	357.91				V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.854	10.163	81.113	34089	420.27	402.70	12.33	3.06%	II
2	3.848	10.163	81.113	34200	421.63				II
3	3.865	10.183	81.433	33300	408.93				II
4	3.864	10.188	81.513	31900	391.35				II
5	3.858	10.183	81.433	32950	404.63				III
6	3.839	10.180	81.393	32500	399.30				II
7	3.854	10.173	81.273	34550	425.11				II
8	3.853	10.195	81.633	32450	397.51				II
9	3.849	10.175	81.313	32600	400.92				II
10	3.850	10.185	81.473	32000	392.77				V
11	3.846	10.173	81.273	32450	399.27				V
12	3.829	10.185	81.473	32000	392.77				III
13	3.865	10.183	81.433	32100	394.19				II
14	3.859	10.170	81.233	32000	393.93				II
15	3.865	10.180	81.393	32000	393.16				II
16	3.874	10.185	81.473	32600	400.13				III
17	3.856	10.168	81.193	33900	417.52				II
18	3.891	10.180	81.393	32800	402.98				II
19	3.847	10.178	81.353	34400	422.85				II
20	3.851	10.180	81.393	31900	391.93				II
21	3.867	10.180	81.393	31500	387.01				III
22	3.862	10.178	81.353	31800	390.89				II
23	-	10.175	81.313	32300	397.23				II
24	-	10.183	81.433	31600	388.05				II
25	3.867	10.178	81.353	33100	406.87				III
26	-	10.173	81.273	34500	424.50				III
27	-	10.178	81.353	32900	404.41				II
28	-	10.190	81.553	31800	389.93				II
29	-	10.165	81.153	32126	395.87				II
30	-	10.185	81.473	34623	424.96				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.860	10.170	81.233	34760	427.91	444.86	13.30	2.99%	III
2	3.833	10.120	80.436	36053	448.22				II
3	3.839	10.180	81.393	37438	459.97				III
4	3.846	10.195	81.633	36305	444.74				III
5	3.880	10.185	81.473	34921	428.62				II
6	3.877	10.180	81.393	36605	449.73				II
7	3.857	10.185	81.473	37765	463.53				III
8	3.870	10.180	81.393	35498	436.13				IV

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.853	10.200	81.713	35756	437.58	448.61	10.20	2.27%	II
2	3.842	10.175	81.313	37282	458.50				II
3	3.849	10.190	81.553	35940	440.70				III
4	3.847	10.200	81.713	36174	442.70				III
5	3.856	10.235	82.275	36140	439.26				III
6	3.848	10.205	81.793	36018	440.36				II
7	3.841	10.210	81.873	36917	450.90				II
8	3.847	10.140	80.754	36510	452.11				II
9	3.848	10.135	80.675	36787	455.99				II
10	3.856	10.125	80.516	37599	466.98				II
11	3.857	10.125	80.516	35241	437.69				II
12	3.845	10.135	80.675	37159	460.60				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.865	10.170	81.233	30760	378.66	372.13	8.27	2.22%	I
2	3.866	10.170	81.233	30610	376.82				II
3	3.856	10.178	81.353	29530	362.99				III
4	3.857	10.170	81.233	31090	382.73				II
5	3.756	10.255	82.596	30170	365.27				II
6	3.793	10.258	82.637	30270	366.30				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.886	10.188	81.513	33280	408.28	398.69	5.54	1.39%	II
2	3.897	10.170	81.233	32300	397.62				II
3	3.847	10.188	81.513	32050	393.19				II
4	3.887	10.185	81.473	32250	395.84				II
5	3.856	10.188	81.513	32220	395.28				II
6	3.795	10.058	79.446	31930	401.91				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Excelente).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.868	10.170	81.233	35265	434.12	434.60	13.21	3.04%	III
2	3.878	10.178	81.353	34889	428.86				III
3	3.895	10.175	81.313	35571	437.46				III
4	3.878	10.190	81.553	35691	437.64				III
5	3.890	10.165	81.153	35840	441.63				VI
6	3.911	10.185	81.473	34757	426.61				II
7	3.902	10.180	81.393	35086	431.07				III
8	3.883	10.175	81.313	35194	432.82				II
9	3.872	10.175	81.313	37004	455.08				III
10	3.886	10.165	81.153	35945	442.93				II
11	3.881	10.180	81.393	33876	416.20				II
12	3.903	10.170	81.233	35035	431.29				III
13	3.896	10.180	81.393	35782	439.62				III
14	3.865	10.175	81.313	37753	464.29				III
15	3.797	10.165	81.153	35927	442.71				II
16	3.785	10.120	80.436	34449	428.28				III
17	3.886	10.170	81.233	36752	452.43				III
18	3.891	10.180	81.393	33984	417.53				II
19	3.870	10.180	81.393	35530	436.53				III
20	3.860	10.180	81.393	34249	420.79				II
21	3.845	10.178	81.353	33562	412.55				III
22	3.852	10.165	81.153	36522	450.04				IV
23	3.857	10.180	81.393	34240	420.68				II
24	3.861	10.175	81.313	33910	417.03				II
25	3.870	10.175	81.313	33854	416.34				III
26	3.871	10.183	81.433	35697	438.36				III
27	3.868	10.183	81.433	34444	422.98				III
28	3.795	10.085	79.881	36033	451.09				II

29	3.791	10.065	79.564	35619	447.68				IV
30	3.866	10.210	81.873	36295	443.31				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.867	10.180	81.393	37652	462.60	458.86	13.73	2.99%	III
2	3.776	10.055	79.406	38312	482.48				II
3	3.850	10.175	81.313	35866	441.09				III
4	3.911	10.185	81.473	37041	454.64				II
5	3.866	10.185	81.473	36799	451.67				III
6	3.842	10.195	81.633	38292	469.08				III
7	3.881	10.185	81.473	36702	450.48				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.872	10.140	80.754	39053	483.60	478.21	10.05	2.10%	III
2	3.846	10.130	80.595	38401	476.47				III
3	3.875	10.125	80.516	38758	481.37				III
4	3.843	10.130	80.595	37933	470.66				III
5	3.863	10.125	80.516	37310	463.39				II
6	3.839	10.130	80.595	38436	476.90				II
7	3.782	10.100	80.118	39667	495.10				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.828	10.160	81.073	28669	353.62	339.55	12.87	3.79%	I
2	3.838	10.085	79.881	25928	324.58				II
3	3.871	10.130	80.595	26016	322.80				V
4	3.835	10.165	81.153	28344	349.27				III
5	3.823	10.155	80.993	27794	343.16				V
6	3.891	10.163	81.113	27894	343.89				V

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.845	10.160	81.073	31772	391.89	364.66	14.51	3.98%	II
2	3.880	10.168	81.193	28637	352.70				II
3	3.875	10.170	81.233	29023	357.28				II
4	3.826	10.165	81.153	30006	369.75				II
5	-	10.183	81.433	29271	359.45				III
6	3.867	10.170	81.233	28990	356.88				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.864	10.175	80.118	29654	370.13	387.87	15.49	3.99%	III
2	3.849	10.170	80.198	30500	380.31				V
3	3.848	10.173	80.118	30249	377.55				V
4	3.834	10.180	79.960	32366	404.78				III
5	3.807	10.175	80.039	29833	372.73				III
6	3.854	10.173	80.198	30862	384.82				II
7	3.849	10.173	80.277	32663	406.88				III
8	3.875	10.170	80.277	30017	373.92				III
9	3.847	10.228	79.881	32250	403.73				III
10	3.812	10.215	80.357	31297	389.48				V
11	3.820	10.215	80.277	32844	409.13				II
12	3.842	10.178	79.801	33039	414.01				II
13	3.871	10.165	80.277	30839	384.16				II
14	3.884	10.178	80.834	29633	366.59				III
15	3.864	10.185	80.198	30298	377.79				III
16	3.893	10.175	80.516	30935	384.21				III
17	-	10.175	80.277	29370	365.86				II
18	3.840	10.165	80.436	31143	387.18				III
19	3.903	10.170	80.436	30126	374.53				III
20	-	10.170	80.436	30053	373.63				II
21	3.806	10.170	80.754	31270	387.22				II
22	3.859	10.178	80.198	32664	407.29				II
23	3.885	10.170	80.993	31700	391.39				II
24	3.788	10.175	80.675	33684	417.53				II
25	3.892	10.175	80.675	29715	368.33				V
26	3.870	10.175	80.277	30711	382.56				III
27	3.882	10.175	80.595	31043	385.17				II
28	3.825	10.180	80.436	33450	415.86				II

29	3.896	10.160	81.073	31074	383.28				II
30	3.888	10.165	81.153	32150	396.17				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.894	10.130	80.595	33922	420.89	416.61	9.88	2.37%	II
2	3.890	10.140	80.754	32813	406.33				II
3	3.874	10.145	80.834	32375	400.51				II
4	3.841	10.125	80.516	33475	415.76				III
5	3.865	10.145	80.834	33507	414.52				III
6	3.885	10.130	80.595	34186	424.17				II
7	3.841	10.110	80.277	33625	418.86				II
8	3.849	10.130	80.595	34806	431.86				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.897	10.165	81.153	33212	409.25	437.34	17.45	3.99%	III
2	3.902	10.170	81.233	35084	431.89				II
3	3.849	10.160	81.073	35572	438.76				II
4	3.821	10.145	80.834	35988	445.21				II
5	3.828	10.165	81.153	38221	470.97				III
6	3.858	10.180	81.393	35515	436.34				III
7	3.842	10.135	80.675	35927	445.33				III
8	3.853	10.135	80.675	35468	439.64				III
9	3.863	10.160	81.073	33938	418.61				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.869	10.160	81.073	28146	347.17	358.96	7.67	2.14%	III
2	3.810	10.175	81.313	29617	364.24				II
3	3.860	10.175	81.313	28802	354.21				II
4	3.803	10.170	81.233	29279	360.43				III
5	3.856	10.160	81.073	29075	358.63				II
6	3.868	10.180	81.393	30039	369.06				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.873	10.170	81.233	29564	363.94	380.19	12.09	3.18%	V
2	3.908	10.170	81.233	31281	385.08				III
3	3.843	10.155	80.993	31692	391.29				II
4	3.814	10.175	81.313	29997	368.91				II
5	3.787	10.168	81.193	31981	393.89				II
6	3.842	10.168	81.193	30694	378.04				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.876	10.175	81.313	31531	387.77	404.65	12.10	2.99%	II
2	3.875	10.200	81.713	32430	396.88				II
3	3.880	10.180	81.393	32879	403.96				III
4	3.884	10.190	81.553	32953	404.07				II
5	3.857	10.178	81.353	33783	415.27				II
6	3.813	10.163	81.113	34152	421.04				II
7	3.807	10.165	81.153	32624	402.01				III
8	3.829	10.163	81.113	33245	409.86				II
9	3.823	10.170	81.233	33896	417.27				II
10	3.837	10.148	80.874	34812	430.45				II
11	3.833	10.178	81.353	32740	402.45				II
12	3.849	10.170	81.233	32080	394.91				II
13	3.813	10.168	81.193	32315	398.00				III
14	3.816	10.158	81.033	34986	431.75				II
15	3.790	10.163	81.113	33374	411.45				III
16	3.833	10.180	81.393	33584	412.62				II
17	3.825	10.168	81.193	33093	407.58				II
18	3.827	10.173	81.273	33077	406.99				III
19	3.885	10.193	81.593	31859	390.46				II
20	3.860	10.183	81.433	31199	383.13				IV
21	3.849	10.185	81.473	33417	410.16				III
22	3.864	10.178	81.353	32147	395.16				II
23	3.898	10.180	81.393	33472	411.24				II
24	3.880	10.178	81.353	31468	386.81				II
25	3.871	10.190	81.553	32543	399.04				III
26	3.871	10.190	81.553	31308	383.90				III

27	3.868	10.170	81.233	33392	411.07				II
28	3.881	10.185	81.473	32941	404.32				IV
29	-	10.130	80.595	32482	403.03				II
30	-	10.165	81.153	33012	406.79				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.862	10.105	80.198	34094.4	425.13	437.50	12.59	2.88%	II
2	3.861	10.120	80.436	34735.5	431.84				III
3	3.850	10.145	80.834	36438.8	450.79				II
4	3.877	10.135	80.675	34460.3	427.15				II
5	3.807	10.125	80.516	36570.7	454.21				III
6	3.873	10.110	80.277	34250.7	426.66				II
7	3.815	10.095	80.039	35757	446.74				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.802	10.125	80.516	35847	445.22	454.32	15.03	3.31%	II
2	3.810	10.105	80.198	38282	477.34				III
3	3.821	10.150	80.914	36363	449.40				II
4	3.864	10.150	80.914	36903	456.08				II
5	3.841	10.125	80.516	37311	463.40				III
6	3.848	10.150	80.914	37152	459.16				II
7	3.867	10.130	80.595	34628	429.65				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.837	10.165	81.153	32553	401.13	384.68	15.27	3.97%	III
2	3.810	10.165	81.153	32308	398.11				III
3	3.866	10.170	81.233	30445	374.79				II
4	3.874	10.165	81.153	30060	370.41				II
5	3.794	10.165	81.153	30729	378.66				II
6	3.864	10.185	81.473	32776	402.29				III
7	3.874	10.160	81.073	29782	367.35				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.835	10.198	81.673	31751	388.76	389.62	15.36	3.94%	II
2	3.860	10.158	81.033	30779	379.83				II
3	3.854	10.173	81.273	31164	383.45				II
4	3.814	10.150	80.914	34003	420.24				II
5	3.877	10.165	81.153	31255	385.14				II
6	3.864	10.165	81.153	30863	380.31				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.811	10.150	80.914	35803	442.48	439.28	17.31	3.94%	II
2	3.797	10.185	81.473	35961	441.39				III
3	3.796	10.170	81.233	35667	439.07				II
4	3.804	10.185	81.473	37570	461.14				III
5	3.806	10.165	81.153	35769	440.76				III
6	3.884	10.150	80.914	35020	432.81				III
7	3.841	10.165	81.153	33029	407.00				III
8	3.811	10.180	81.393	36865	452.93				III
9	3.864	10.165	81.153	35778	440.87				III
10	3.876	10.165	81.153	34263	422.20				III
11	3.826	10.170	81.233	33308	410.03				II
12	3.864	10.180	81.393	33672	413.70				III
13	3.798	10.155	80.993	36641	452.39				II
14	3.794	10.160	81.073	35447	437.22				III
15	3.825	10.190	81.553	38073	466.85				II
16	3.801	10.170	81.233	37090	456.59				III
17	3.820	10.180	81.393	35883	440.86				III
18	3.804	10.190	81.553	36864	452.03				III
19	3.852	10.190	81.553	34492	422.94				III
20	3.849	10.205	81.793	35125	429.44				III
21	3.838	10.180	81.393	33782	415.05				II
22	3.856	10.235	82.275	36762	446.82				II
23	3.876	10.200	81.713	37006	452.88				II
24	3.838	10.180	81.393	35264	433.26				III
25	3.853	10.165	81.153	35881	442.14				III
26	3.858	10.175	81.313	34242	421.11				III

27	3.877	10.175	81.313	34231	420.98				IV
28	3.823	10.170	81.233	38729	476.77				III
29	3.843	10.170	81.233	37019	455.71				II
30	3.775	10.165	81.153	36602	451.02				IV
Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).									

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.880	10.130	80.595	38889	482.53	476.70	16.28	3.42%	III
2	3.870	10.135	80.675	37199	461.09				III
3	3.830	10.115	80.357	37242	463.46				III
4	3.798	10.125	80.516	36907	458.39				II
5	3.844	10.140	80.754	39620	490.62				III
6	3.800	10.095	80.039	39560	494.25				II
7	3.830	10.105	80.198	38554	480.74				II
8	3.827	10.115	80.357	40144	499.57				II
9	3.834	10.125	80.516	37008	459.64				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.865	10.115	80.357	38933	484.50	499.04	17.54	3.51%	III
2	3.888	10.100	80.118	39859	497.50				III
3	3.813	10.110	80.277	41253	513.88				II
4	3.803	10.115	80.357	40242	500.79				III
5	3.794	10.100	80.118	39390	491.65				III
6	3.857	10.140	80.754	38345	474.84				III
7	3.810	10.115	80.357	41439	515.69				III
8	3.849	10.150	80.914	42774	528.64				III
9	3.829	10.145	80.834	39113	483.87				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.832	10.178	81.353	26086	320.65	332.33	13.21	3.98%	III
2	3.886	10.178	81.353	26446	325.08				II
3	3.858	10.173	81.273	25803	317.49				II
4	3.846	10.163	81.113	28275	348.59				II
5	3.835	10.170	81.233	27316	336.27				II
6	3.897	10.163	81.113	28056	345.89				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.822	10.185	81.473	30099	369.44	363.10	14.73	4.06%	III
2	3.841	10.170	81.233	28760	354.04				III
3	3.853	10.170	81.233	27421	337.56				III
4	3.837	10.180	81.393	30299	372.26				II
5	3.887	10.165	81.153	30625	377.37				III
6	3.820	10.155	80.993	29798	367.91				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Suficiente).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.838	10.080	79.801	30335	380.13	398.34	19.88	4.99%	III
2	3.821	10.110	80.277	32459	404.34				V
3	3.856	10.140	80.754	31284	387.40				II
4	3.825	10.150	80.914	30443	376.24				V
5	3.791	10.105	80.198	33129	413.09				II
6	3.828	10.105	80.198	30681	382.57				V
7	3.837	10.120	80.436	30324	376.99				II
8	3.867	10.110	80.277	30262	376.97				V
9	3.892	10.125	80.516	30856	383.23				III
10	3.865	10.120	80.436	30635	380.86				III
11	3.857	10.105	80.198	31853	397.18				II
12	3.891	10.110	80.277	30310	377.57				III
13	3.875	10.100	80.118	29856	372.65				II
14	3.846	10.115	80.357	34680	431.58				III
15	3.823	10.105	80.198	34423	429.23				III
16	3.847	10.120	80.436	34134	424.36				II

17	-	10.110	80.277	33809	421.15				III
18	-	10.100	80.118	34313	428.28				III
19	3.833	10.090	79.960	34011	425.35				II
20	3.837	10.130	80.595	34746	431.12				III
21	3.895	10.125	80.516	31335	389.18				II
22	3.882	10.120	80.436	31884	396.39				III
23	3.871	10.110	80.277	31443	391.68				II
24	3.887	10.100	80.118	31659	395.15				III
25	3.865	10.095	80.039	31288	390.91				II
26	3.889	10.110	80.277	31352	390.55				II
27	3.895	10.095	80.039	33866	423.12				III
28	3.885	10.110	80.277	31358	390.62				II
29	3.831	10.155	80.993	30420	375.59				II
30	3.833	10.170	81.233	33031	406.62				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Bueno) y V1 (Suficiente).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.832	10.165	81.153	35518	437.67	422.63	16.83	3.98%	III
2	3.839	10.175	81.313	34682	426.53				II
3	3.829	10.170	81.233	33258	409.42				III
4	3.871	10.190	81.553	33180	406.85				III
5	3.904	10.205	81.793	33512	409.72				III
6	-	10.165	81.153	36003	443.64				II
7	3.859	10.205	81.793	33111	404.81				IV
8	3.847	10.160	81.073	35868	442.42				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.885	10.200	81.713	36689	449.00	436.76	10.87	2.49%	III
2	3.832	10.140	80.754	34857	431.64				II
3	-	10.170	81.233	35966	442.75				III
4	3.834	10.175	81.313	35573	437.48				III
5	3.816	10.180	81.393	35410	435.05				II
6	3.835	10.150	80.914	36920	456.29				III
7	3.853	10.145	80.834	34203	423.13				III
8	3.879	10.150	80.914	34670	428.48				II
9	3.874	10.175	81.313	34722	427.02				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.892	10.190	81.553	28200	345.79	330.68	9.40	2.84%	II
2	3.864	10.183	81.433	27400	336.47				II
3	3.901	10.208	81.833	26500	323.83				III
4	3.868	10.193	81.593	26200	321.11				III
5	3.889	10.198	81.673	26500	324.47				III
6	3.877	10.338	83.931	27900	332.42				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.899	10.170	81.233	30587	376.53	368.43	13.24	3.59%	II
2	3.918	10.165	81.153	29516	363.71				II
3	3.907	10.250	82.516	31407	380.62				II
4	3.875	10.178	81.353	31038	381.52				II
5	3.886	10.175	81.313	29227	359.44				II
6	3.854	10.208	81.833	28539	348.75				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.897	10.175	81.313	32719	402.38	412.08	12.68	3.08%	II
2	3.878	10.173	81.273	34814	428.36				III
3	3.889	10.175	81.313	33493	411.90				II
4	3.884	10.178	81.353	34261	421.14				II
5	3.906	10.168	81.193	33188	408.75				III
6	3.897	10.173	81.273	33336	410.17				II
7	3.921	10.173	81.273	35443	436.10				II
8	3.886	10.173	81.273	34886	429.25				III
9	3.891	10.170	81.233	34648	426.53				III
10	3.938	10.160	81.073	32792	404.47				II
11	3.891	10.165	81.153	33319	410.57				II
12	-	10.195	81.633	33042	404.76				III
13	-	10.190	81.553	34773	426.39				II
14	3.909	10.170	81.233	34986	430.69				III
15	3.877	10.180	81.393	31740	389.96				II

16	3.876	10.178	81.353	33821	415.73				II
17	3.897	10.178	81.353	31831	391.27				II
18	3.874	10.180	81.393	33451	410.98				V
19	3.862	10.168	81.193	33068	407.27				III
20	3.881	10.173	81.273	31798	391.25				III
21	3.875	10.183	81.433	31449	386.19				II
22	3.863	10.178	81.353	34639	425.79				II
23	3.873	10.175	81.313	34214	420.77				III
24	3.890	10.175	81.313	33456	411.45				III
25	3.875	10.173	81.273	32857	404.28				II
26	-	10.218	81.993	33994	414.59				II
27	3.888	10.165	81.153	33409	411.68				II
28	3.877	10.180	81.393	32915	404.40				III
29	-	10.170	81.233	33635	414.06				II
30	-	10.180	81.393	33474	411.27				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.920	10.125	80.516	34840	432.71	443.08	12.44	2.81%	III
2	3.887	10.100	80.118	35805	446.90				III
3	3.895	10.105	80.198	34914	435.35				III
4	3.855	10.115	80.357	36765	457.52				III
5	3.864	10.105	80.198	36831	459.25				III
6	3.864	10.100	80.118	34166	426.44				II
7	3.873	10.100	80.118	35522	443.36				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.890	10.115	80.357	35274	438.97	451.17	7.37	1.63%	III
2	3.876	10.115	80.357	36091	449.14				II
3	3.885	10.130	80.595	36787	456.44				III
4	3.875	10.135	80.675	36065	447.04				III
5	3.873	10.105	80.198	36101	450.15				III
6	3.918	10.145	80.834	36736	454.46				II
7	3.872	10.115	80.357	37122	461.97				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Excelente).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.812	10.273	82.879	31000	374.04	380.23	14.62	3.85%	II
2	3.848	10.243	82.395	30000	364.10				II
3	3.883	10.153	80.954	31100	384.17				II
4	3.808	10.093	80.000	32400	405.00				II
5	3.823	10.095	80.039	30800	384.81				II
6	3.852	10.188	81.513	30100	369.27				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.866	10.173	81.273	33363	410.51	413.53	15.42	3.73%	II
2	3.796	10.180	81.393	33434	410.77				II
3	3.863	10.175	81.313	32859	404.11				II
4	3.869	10.198	81.673	32229	394.61				II
5	3.814	10.163	81.113	34239	422.11				II
6	3.837	10.173	81.273	35685	439.07				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R.prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.869	10.153	80.954	35902	443.49	457.62	15.56	3.40%	II
2	3.809	10.168	81.193	36824	453.54				II
3	3.835	10.178	81.353	37016	455.01				III
4	3.840	10.178	81.353	38226	469.88				III
5	3.828	10.173	81.273	35381	435.34				II
6	3.820	10.170	81.233	37929	466.92				II
7	3.827	10.170	81.233	35599	438.23				III
8	3.839	10.165	81.153	36404	448.58				II
9	3.803	10.160	81.073	36526	450.53				III
10	3.841	10.175	81.313	37516	461.38				III
11	3.797	10.170	81.233	39037	480.56				II
12	3.817	10.163	81.113	37592	463.45				II
13	3.820	10.155	80.993	37137	458.52				III
14	3.813	10.155	80.993	36765	453.93				III
15	3.889	10.183	81.433	35378	434.44				II
16	3.816	10.163	81.113	38521	474.90				III
17	3.816	10.175	81.313	37714	463.81				II
18	3.810	10.170	81.233	38114	469.19				III

19	3.835	10.170	81.233	38904	478.92				II
20	3.805	10.158	81.033	36868	454.97				III
21	3.801	10.140	80.754	36897	456.90				II
22	3.790	10.168	81.193	37398	460.61				III
23	3.831	10.173	81.273	39470	485.65				V
24	3.807	10.180	81.393	38883	477.72				III
25	3.824	10.178	81.353	35493	436.29				III
26	3.840	10.170	81.233	37773	465.00				III
27	3.801	10.180	81.393	38796	476.65				II
28	3.813	10.150	80.914	35235	435.46				III
29	3.861	10.170	81.233	34749	427.77				II
30	3.775	10.165	81.153	36602	451.02				IV

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 60 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.807	10.085	79.881	39862	499.02	495.05	10.11	2.04%	III
2	3.785	10.080	79.801	39924	500.29				III
3	3.825	10.075	79.722	38309	480.53				III
4	3.807	10.065	79.564	39521	496.71				III
5	3.842	10.075	79.722	38214	479.34				III
6	3.818	10.080	79.801	39811	498.87				III
7	3.828	10.090	79.960	39710	496.63				III
8	3.850	10.075	79.722	40579	509.00				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 90 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.840	10.090	79.960	41989	525.13	527.29	9.39	1.78%	III
2	3.804	10.125	80.516	42645	529.65				III
3	3.812	10.105	80.198	41758	520.69				III
4	3.881	10.125	80.516	41562	516.20				II
5	3.825	10.100	80.118	41547	518.57				III
6	3.837	10.100	80.118	42201	526.73				III
7	3.825	10.100	80.118	43460	542.45				II
8	3.807	10.090	79.960	43089	538.88				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Excelente).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.826	10.090	79.960	25635	320.60	316.60	11.56	3.65%	II
2	3.704	10.105	80.198	26658	332.40				II
3	3.801	10.100	80.118	25507	318.37				III
4	3.860	10.130	80.595	24320	301.76				III
5	3.870	10.120	80.436	24925	309.87				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.823	10.115	80.357	28213	351.10	343.76	10.29	2.99%	II
2	3.873	10.110	80.277	27645	344.37				II
3	3.810	10.110	80.277	28608	356.37				II
4	3.878	10.125	80.516	26847	333.44				II
5	3.876	10.105	80.198	26750	333.55				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	-	10.115	80.357	31231	388.65	381.60	14.42	3.78%	II
2	-	10.110	80.277	28007	348.88				II
3	-	10.090	79.960	29804	372.74				II
4	-	10.105	80.198	29970	373.70				II
5	-	10.100	80.118	31048	387.53				II
6	-	10.130	80.595	31668	392.93				II
7	-	10.120	80.436	31517	391.83				II
8	-	10.125	80.516	30313	376.49				II
9	-	10.105	80.198	32014	399.19				II
10	-	10.110	80.277	30829	384.03				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.861	10.130	80.595	26303	326.36	332.80	11.49	3.45%	III
2	3.853	10.115	80.357	25696	319.77				II
3	3.849	10.125	80.516	26416	328.09				II
4	3.810	10.130	80.595	27708	343.79				III
5	3.801	10.085	79.881	27639	346.00				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.870	10.120	80.436	28640	356.06	370.54	14.78	3.99%	II
2	3.796	10.085	79.881	30670	383.95				II
3	3.780	10.115	80.357	31185	388.08				III
4	3.876	10.140	80.754	28891	357.76				II
5	3.852	10.105	80.198	29422	366.87				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.808	10.090	79.960	32065	401.01	405.38	9.06	2.23%	III
2	3.819	10.155	80.993	33140	409.17				III
3	3.787	10.170	81.233	33695	414.80				III
4	3.783	10.210	81.873	33842	413.35				III
5	3.849	10.200	81.713	33289	407.39				II
6	3.806	10.165	81.153	33668	414.87				III
7	3.844	10.180	81.393	31934	392.34				III
8	3.801	10.185	81.473	32950	404.43				III
9	3.831	10.210	81.873	32016	391.04				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 7 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	-	10.090	79.960	29892	373.84	372.08	6.17	1.66%	III
2	-	10.105	80.198	29924	373.13				III
3	-	10.145	80.834	29983	370.92				III
4	-	10.110	80.277	29119	362.73				II
5	-	10.120	80.436	30549	379.79				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Excelente).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 14 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	3.877	10.120	80.436	31651	393.49	394.19	10.55	2.68%	II
2	3.828	10.095	80.039	31503	393.59				III
3	3.825	10.110	80.277	32856	409.28				II
4	3.874	10.110	80.277	30465	379.50				II
5	3.886	10.125	80.516	31809	395.07				III

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Excelente) y V1 (Muy Bueno).

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D.prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	R. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)	Tipo de fractura
1	-	10.145	80.834	34137	422.31	426.60	14.99	3.51%	III
2	-	10.200	81.713	34928	427.45				III
3	-	10.200	81.713	34409	421.10				III
4	-	10.170	81.233	34810	428.52				II
5	-	10.180	81.393	35903	441.11				III
6	-	10.185	81.473	36221	444.58				III
7	-	10.180	81.393	34089	418.82				III
8	-	10.170	81.233	34215	421.20				III
9	-	10.185	81.473	35169	431.67				II
10	-	10.180	81.393	31865	391.50				III
11	-	10.170	81.233	36092	444.30				II

Según anexo 3.4: Se aprecia S1 (Muy Bueno) y V1 (Bueno).

6.2: Resistencia a la tracción – compresión diametral

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.893	10.180	20.590	81.393	11842	35.97	33.91	1.98	5.82%
2	3.886	10.177	20.460	81.339	11120	34.00			
3	3.878	10.185	20.430	81.473	10052	30.75			
4	3.905	10.175	20.585	81.313	11526	35.03			
5	3.894	10.175	20.545	81.313	11586	35.28			
6	3.904	10.185	20.550	81.473	10665	32.44			

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.884	10.180	20.450	81.393	10717	32.77	35.77	1.64	4.58%
2	3.885	10.167	20.470	81.180	12031	36.80			
3	3.883	10.173	20.550	81.286	11569	35.23			
4	3.889	10.157	20.495	81.020	11974	36.62			
5	3.903	10.178	20.535	81.366	12249	37.31			
6	3.899	10.190	20.615	81.553	11834	35.86			

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA POTABLE (AP) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.906	10.160	20.495	81.073	11652	35.62	34.67	1.24	3.56%
2	3.885	10.165	20.460	81.153	11362	34.78			
3	3.877	10.168	20.420	81.206	10975	33.65			
4	3.903	10.177	20.570	81.339	11749	35.73			
5	3.905	10.168	20.535	81.206	11655	35.53			
6	3.890	10.175	20.495	81.313	10718	32.72			

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS									
N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.849	10.120	20.120	80.436	11234	35.12	34.27	0.89	2.60%
2	3.815	10.220	20.215	82.034	11140	34.33			
3	3.861	10.247	20.235	82.462	11086	34.04			
4	3.853	10.150	20.180	80.914	11057	34.37			
5	3.917	10.190	20.485	81.553	11497	35.06			
6	3.905	10.173	20.450	81.286	10678	32.67			

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.876	10.137	20.415	80.701	10996	33.83	34.15	1.66	4.86%
2	3.882	10.113	20.350	80.330	10652	32.95			
3	3.886	10.110	20.460	80.277	10972	33.77			
4	3.897	10.128	20.470	80.569	10855	33.33			
5	3.860	10.125	20.320	80.516	10843	33.55			
6	3.873	10.128	20.405	80.569	12166	37.48			

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (50% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.880	10.172	20.525	81.259	12004	36.60	37.49	1.20	3.21%
2	3.889	10.173	20.430	81.286	12464	38.18			
3	3.910	10.177	20.510	81.339	12666	38.63			
4	3.903	10.182	20.495	81.419	11636	35.50			
5	3.827	10.177	20.195	81.339	12360	38.29			
6	3.846	10.182	20.200	81.419	12198	37.76			

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.880	10.193	20.455	81.606	12977	39.62	37.72	2.34	6.21%
2	3.877	10.177	20.420	81.339	12394	37.97			
3	3.889	10.177	20.495	81.339	10859	33.14			
4	3.832	10.157	20.190	81.020	12166	37.77			
5	3.848	10.153	20.215	80.967	12533	38.87			
6	3.838	10.157	20.150	81.020	12517	38.94			

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.878	10.175	20.470	81.313	11490	35.12	33.95	1.02	3.02%
2	3.889	10.172	20.535	81.259	11604	35.37			
3	3.877	10.185	20.440	81.473	10850	33.18			
4	3.885	10.213	20.535	81.927	11026	33.47			
5	3.868	10.185	20.485	81.473	10818	33.01			
6	3.883	10.213	20.505	81.927	11036	33.55			

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA RESIDUAL TRATADA (100% ART) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	3.871	10.175	20.425	81.313	10626	32.55	35.96	1.78	4.96%
2	3.880	10.190	20.455	81.553	12226	37.34			
3	3.861	10.197	20.525	81.659	12021	36.57			
4	3.870	10.172	20.510	81.259	11666	35.60			
5	3.875	10.168	20.525	81.206	11962	36.49			
6	3.877	10.190	20.625	81.553	12287	37.22			

A/C : 0.55 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	-	10.160	20.590	81.073	10958	33.35	34.96	1.50	4.28%
2	-	10.167	20.190	81.180	11457	35.53			
3	-	10.110	20.170	80.277	11781	36.78			
4	-	10.163	20.090	81.126	11444	35.68			
5	-	10.160	20.440	81.073	10921	33.48			

A/C : 0.50 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	-	10.193	20.610	81.606	11887	36.02	34.72	1.76	5.08%
2	-	10.177	20.450	81.339	11297	34.56			
3	-	10.160	20.200	81.073	11495	35.66			
4	-	10.120	20.280	80.436	11485	35.63			
5	-	10.153	20.650	80.967	10447	31.72			

A/C : 0.45 - CONCRETO CON AGUA FILTRADA (AF) - 28 DÍAS

N°	Peso (kg)	D. prom. (cm)	Alt. prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	T. prom. (kg/cm ²)	S1 (kg/cm ²)	V1 (%)
1	-	10.173	20.610	81.286	10724	32.56	33.18	0.84	2.54%
2	-	10.103	20.130	80.171	10564	33.07			
3	-	10.133	20.220	80.648	10709	33.27			
4	-	10.187	20.740	81.499	10769	32.45			
5	-	10.167	20.540	81.180	11337	34.56			

6.3: Resumen de ensayos a compresión y tracción compresión diametral

Tipo de agua	Ensayo	días	Cant.	Und.	a/c:0.55	a/c:0.50	a/c:0.45
Concreto patrón (Agua Potable)	Compresión Axial	7	6	kg/cm ²	335.94	335.15	372.13
		14	6		357.96	371.00	398.69
		28	30		403.01	399.00	432.16
		60	6		426.92	444.40	460.84
		90	6		442.52	448.71	478.21
	Compresión Diametral	28	6	kg/cm ²	34.86	36.41	33.86
Concreto con 100% ART	Compresión Axial	7	6	kg/cm ²	332.33	330.68	380.28
		14	6		363.10	368.41	413.53
		28	30		399.24	412.35	459.79
		60	6		421.97	443.08	495.05
		90	6		436.76	451.17	527.29
	Compresión Diametral	28	6		38.54	31.73	35.72
Concreto con 50% ART	Compresión Axial	7	6	kg/cm ²	335.52	358.96	382.87
		14	6		365.52	380.19	392.84
		28	30		388.10	404.23	436.85
		60	6		416.61	437.50	474.22
		90	6		438.70	454.32	499.05
	Compresión Diametral	28	6	kg/cm ²	36.57	31.35	38.42

Tipo de agua	Ensayo	días	Cant.	Und.	a/c:0.55	a/c:0.50	a/c:0.45
Concreto con agua filtrada (AF)	Compresión Axial	7	5	kg/cm ²	316.60	332.80	372.08
		14	5		343.76	370.54	394.19
		28	11		381.60	405.38	426.60
	Compresión Diametral	28	5	kg/cm ²	34.96	34.72	33.18

ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO



Cuarteo de la piedra y arena de la cantera de Jicamarca.



Tamices para ensayo de granulometría arena y piedra. Pesaje de peso retenido.



Materiales y pesaje de peso unitario suelto y compactado, arena y piedra.



Ensayo de peso específico de masa y absorción, arena y piedra.



Contenido de humedad y porcentaje que pasa la malla N°200, piedra y arena.



Ensayo de partículas livianas, piedra y arena.



Ensayo de ineltarabilidad de arena y piedra frente al sulfato de magnesio.



Ensayo maxima compacidad del agregado global y ensayo de abrasion, piedra.





Proceso de pre diseño; elaboración, nivelación, pesado y curado de probetas, ensayo a compresión axial, en base a ello el ajuste de diseño de mezclas, a fin de obtener la dosificación final.



Proceso de recolección de agua residual tratada, proveniente de laguna secundaria de la PTAR de CITRAR – UNI.



Proceso adicional de filtrado del agua residual tratada, a través de filtros de cartucho y obtención del agua filtrada (AF)



Proceso de elaboración de los diferentes tipos de concretos y producción en cantidad de probetas cilíndricas, como se muestra en la poza de especímenes.



Ensayo en estado fresco al concreto: consistencia y fluidez, realizado en el laboratorio LEM - UNI.



Ensayo en estado fresco al concreto: peso unitario y contenido de aire, realizado en el laboratorio LEM - UNI.



Ensayo en estado fresco al concreto: tiempo de fraguado, realizado en el laboratorio LEM - UNI.



Ensayo al concreto en estado endurecido, compresión axial, a las edades de 7, 14, 28, 60 y 90 días, para los diferentes concretos elaborados, realizado en el laboratorio LEM - UNI.



Ensayo al concreto en estado endurecido, compresión diametral, a la edad de 28 días, para los diferentes concretos elaborados, realizado en el laboratorio LEM - UNI.