

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA
RESISTENCIA POR CLORURO DE SODIO USANDO CEMENTO
PORTLAND TIPO I SOL”**

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
NANCY ANGÉLICA TARAZONA CARLOS**

**ASESOR
Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ**

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.”

Tarazona Carlos, Nancy Angélica

ntarazonac@uni.pe

972413708

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Nancy y Jhon y a mis hermanos Rubí y Angelo, por su apoyo incondicional, esfuerzo y amor a lo largo de toda mi vida.

A mis abuelitos que están tanto en la tierra como en el cielo, los cuales guían mi camino con su amor y enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios, por guiarme en cada momento de mi vida, por cada momento difícil del cual siempre se aprende y mejora, por enviar personas de mucha luz hacia mí y por otorgarme una vida llena de amor, aprendizaje y personas valiosas.

Agradezco a mi mamá Nancy y papá Jhon, por su amor incondicional, por brindarme una buena educación, por todos los consejos, enseñanzas y la confianza en mí. Gracias por ser ejemplo de amor, perseverancia, constancia, sacrificio y bondad.

Agradezco a mi hermana Rubí y hermano Angelo, por su amor incondicional, por su paciencia, por sus chistes en cada momento del día y su apoyo en todo.

Agradezco a mi asesor de tesis, el ingeniero Carlos Barzola Gastelú por su apoyo desinteresado en todo el proceso de investigación, por su tiempo en las diversas reuniones que llevaron a cabo, por las observaciones que brindaron un aporte importante al desarrollo del presente estudio y por las lecciones de vida profesionales y éticas compartidas.

Agradezco al Laboratorio de Ensayo de Materiales y a todo el personal perteneciente en él por el soporte brindado para la realización de mis ensayos.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación académica y ética proporcionada durante toda mi etapa universitaria, y por la cual me siento orgullosa de pertenecer.

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
PRÓLOGO	8
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. GENERALIDADES	13
1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	16
1.2.1. Problema Principal.....	20
1.2.2. Problemas Específicos.....	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	20
1.4. OBJETIVOS DE ESTUDIO.....	21
1.4.1. Objetivo general.....	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Hipótesis general	22
1.5.2. Hipótesis específicas	22
1.6. ANTECEDENTES REFERENCIALES.....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	30
2.1. CONCRETO.....	30
2.1.1. Componentes del concreto	30
2.2. DURABILIDAD DEL CONCRETO	33
2.2.1. Mecanismos de degradación del concreto	33
2.2.2. Mecanismos de transporte de fluidos.....	35
2.3. CORROSIÓN DEL CONCRETO	36

2.3.1. Definición	37
2.3.2. Corrosión del concreto armado	37
2.3.3. Ataque por cloruros.....	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.1. GENERALIDADES	43
3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	43
3.2.1. Variable independiente	44
3.2.2. Variable dependiente	44
3.2.3. Operacionalización de variables.....	44
3.3. ALCANCE Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	45
3.3.1. Alcance de investigación.....	45
3.3.2. Nivel de investigación	45
3.4. ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.4.1. Enfoque de la investigación	46
3.4.2. Diseño de la investigación.....	46
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.5.1. Población	47
3.5.2. Muestra.....	48
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.6.1. Técnica de investigación.....	48
3.6.2. Instrumentos	49
3.6.3. Ensayos de agregados	50
3.7. DESARROLLO POR ETAPAS DE INVESTIGACIÓN.....	59
CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	60
4.1. GENERALIDADES	60
4.2. AGUA	60
4.2.1. Generalidades.....	60
4.2.2. Principales requisitos	61

4.3. CEMENTO	62
4.3.1. Generalidades.....	62
4.3.2. Principales requisitos	62
4.4. AGREGADOS	63
4.4.1. Generalidades.....	63
4.4.2. Agregado Fino	63
4.4.3. Agregado Grueso.....	63
4.4.4. Agregado Global	64
4.5. ENSAYOS DE AGREGADOS	64
4.5.1. Agregados	64
4.5.2. Resumen de las propiedades del agregado fino y grueso	64
4.5.3. Resumen de propiedades del agregado global	65
CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS	67
5.1. GENERALIDADES	67
5.2. REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA	67
5.3. FACTORES QUE CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE MEZCLA	68
5.4. CRITERIO DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	68
5.5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA.....	69
5.6. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	70
5.7. APLICACIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA	71
5.7.1. Diseño de mezcla preliminar	71
5.7.2. Diseño de mezcla final.....	75
CAPÍTULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	76
6.1. GENERALIDADES	76
6.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	76
6.2.1. Asentamiento	76
6.2.2. Peso unitario o densidad.....	77
6.2.3. Contenido de Aire	78

6.2.4.	Exudación	78
6.2.5.	Índice de consistencia.....	79
6.2.6.	Tiempo de fraguado	80
6.2.7.	Resumen de propiedades del concreto en estado fresco	81
CAPÍTULO VII: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO		82
7.1.	GENERALIDADES	82
7.2.	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	82
7.2.1.	Resistencia a la compresión	82
7.2.2.	Absorción.....	84
CAPÍTULO VIII: MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADO		86
8.1.	MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADO EMPLEADO.....	86
8.1.1.	Materiales y equipos	86
8.1.2.	Procedimiento.....	88
8.1.3.	Distribución de actividades y ensayos.....	89
CAPÍTULO IX: RESULTADOS DE ENSAYOS		90
9.1.	GENERALIDADES	90
9.2.	PROPIEDADES FÍSICAS.....	90
9.2.1.	Concreto simple	90
9.2.2.	Concreto armado	94
9.3.	PROPIEDADES RESISTENTES	97
9.3.1.	Concreto	97
9.4.	ASPECTOS FÍSICOS.....	99
9.5.	RESULTADOS ESTADÍSTICOS	106
9.5.1.	Peso registrado.....	106
9.5.2.	Resistencia a la compresión	106
9.5.3.	Porcentaje de absorción	107
CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE RESULTADOS		108

10.1. GENERALIDADES	108
10.2. PROPIEDADES FISICAS	108
10.2.1. Concreto simple	108
10.2.2. Concreto armado	112
10.3. PROPIEDADES RESISTENTES	116
10.3.1. Concreto	116
10.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	119
10.4.1. Peso registrado.....	119
10.4.2. Resistencia a la compresión	119
10.4.3. Porcentaje de absorción	120
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	124
ANEXOS	132

RESUMEN

Las condiciones constructivas y ambientales como los cloruros del agua de mar han afectado las propiedades iniciales de muchas estructuras concreto armado en el litoral marino (Poursaee, 2016). El litoral peruano no ha sido la excepción donde varios puertos y edificaciones han reducido su durabilidad (Rivva, 2006). En el año 2018, se estimó que el 60% de edificaciones peruanas fueron autoconstruidas con deficiencias estructurales (CAPECO, 2018). Además, un estudio en el año 2015 mostró que los propietarios preferían a los maestros de obras en vez de un profesional para el direccionamiento de construcciones (CAPECO, 2015). Debido a ello, es necesario estudiar el proceso de deterioro del concreto armado por acción del cloruro de sodio. Los estudios del proceso corrosivo han sido variados en el mundo (Feng et al., 2021); sin embargo, en la línea de investigación del concreto armado expuesto a ciclos de humedecido y secado por cloruros en el Perú, solo se ha tenido registro de mortero con armadura expuesto a cloruro de sodio (Rimarachín, 2013) y concreto armado expuesto a cloruro férrico (Torres, 2019; Rojas, 2021). Razón por la cual, el objetivo de la presente investigación ha sido el análisis de los efectos generados con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol expuesto a ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 gramos/litro (g/L). Para ello, se elaboraron probetas de concreto a base de cemento Portland tipo I marca Sol con relaciones agua/cemento (a/c) de 0,60, 0,65 y 0,70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ ", los cuales estuvieron sometidos a un método de corrosión acelerado basado en ciclos continuos de humedecido y secado (Díaz, 1994). La propiedad física considerada fue el peso, y para la propiedad resistente, la resistencia a la compresión. Los principales resultados fueron que, a mayor cantidad de ciclos de humedecido y secado con una solución del cloruro de sodio en las probetas de concreto armado, y a una mayor relación agua/cemento, se presentaron mayores variaciones en el peso y resistencia a la compresión. Finalmente, la presente investigación servirá como aporte para el conocimiento del proceso de deterioro del concreto armado con el tiempo por ataque del cloruro de sodio en estructuras del litoral marino y también como guía para las siguientes investigaciones orientadas al proceso corrosivo.

Palabras clave: concreto armado, cloruro de sodio, método de corrosión acelerado, peso, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

Construction and environmental conditions such as seawater chlorides have affected the initial properties of many reinforced concrete structures on the seacoast (Poursaee, 2016). The Peruvian coast has not been the exception where several ports and buildings have reduced their durability (Rivva, 2006). In 2018, it was estimated that 60 % of Peruvian buildings were self-built with structural deficiencies (CAPECO, 2018). In addition, a study in 2015 showed that the owners preferred the master builders over a professional for construction management (CAPECO, 2015). Due to this, it is necessary to study the process of deterioration of reinforced concrete by the action of sodium chloride. Studies of the corrosive process have been varied in the world (Feng et al., 2021); However, in the line of investigation of reinforced concrete subjected to cycles of moistening and drying by chlorides in Peru, there has only been a record of reinforced concrete subjected to sodium chloride (Rimarachín, 2013) and reinforced concrete subjected to ferric chloride. (Torres, 2019; Rojas, 2021). For this reason, the objective of this investigation has been the analysis of the effects generated over time on the properties of medium to low strength reinforced concrete using Portland type I Sol cement, due to exposure to wetting and drying cycles of a sodium chloride solution of 100 grams/liter (g/L). For this purpose, concrete test tubes were made based on Portland cement type I brand Sol with water–cement ratios (w/c) of 0,60, 0,65 and 0,70 and \varnothing 5/8" reinforcing steel, which were subjected to a accelerated corrosion method based on continuous wetting and drying cycles (Díaz, 1994). The physical property considered was the weight, and for the resistant property, the resistance to compression. The main results were that, the greater the number of wetting and drying cycles due to the action of sodium chloride in solution in the reinforced concrete specimens, and a greater water–cement ratio, the greater variations in weight and compressive strength were presented. Finally, the present investigation will serve as a contribution to the knowledge of the process of deterioration of reinforced concrete over time due to the attack of sodium chloride in structures of the marine coast, and also as a guide for the following investigations oriented to the corrosive process.

Keywords: reinforced concrete, sodium chloride, accelerated corrosion method, weight, compressive strength.

PRÓLOGO

Las buenas prestaciones mecánicas del concreto permiten que sea utilizado en diferentes obras a nivel mundial, de las cuales, existen estructuras de concreto armado localizadas en el litoral marino peruano expuestas a diversos agentes agresivos, siendo una de ellas el cloruro de sodio, motivo de esta investigación.

Actualmente no se conocen los efectos que ocasiona el cloruro de sodio en la corrosión del concreto armado elaborado con cemento tipo I y acero de diámetro de 5/8" expuesto a ciclos de humedecido y secado con cloruro de sodio.

Por lo anteriormente mencionado, la presente investigación está orientada a los proyectistas, constructores, estudiantes, investigadores y a todo el público en general que pretenda estudiar los efectos del cloruro de sodio en el concreto armado para así tomar acciones adecuadas ante este tipo de fenómenos.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1 Producto Bruto Interno por sectores.....	14
Tabla N°2 Resumen de antecedentes referenciales	29
Tabla N°3 Cantidad de probetas en la investigación.....	48
Tabla N°4 Límites granulométricos del agregado global (Husos DIN 1045).....	58
Tabla N°5 Especificaciones del concreto que contiene el agua de mezcla	61
Tabla N°6 Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada	61
Tabla N°7 Propiedades Físicas del Cemento Portland Tipo I Sol.....	62
Tabla N°8 Resumen de las propiedades físicas del agregado fino y grueso.....	64
Tabla N°9 Propiedades de agregados para diseño de mezcla.....	72
Tabla N°10 Diseño de Mezcla 1 para agua patrón, a/c de 0.65	73
Tabla N°11 Proporción en peso de agregados	74
Tabla N°12 Resumen de ensayo de resistencia a la compresión, a/c de 0.65 ...	74
Tabla N°13 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.60	75
Tabla N°14 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.65	75
Tabla N°15 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.70	75
Tabla N°16 Resumen de las propiedades del concreto en estado fresco	81
Tabla N°17 Distribución de actividades y ensayos.....	89
Tabla N°18 Pesos para concreto simple	90
Tabla N°19 Peso promedio para concreto simple	90
Tabla N°20 Relación ciclos y edad del concreto	91
Tabla N°21 Variaciones de pesos para concreto simple	92
Tabla N°22 Variaciones del peso promedio para concreto simple	92
Tabla N°23 Variación acumulada de pesos para concreto simple.....	93
Tabla N°24 Variación acumulada del peso promedio para concreto simple	93
Tabla N°25 Pesos para concreto armado	94
Tabla N°26 Pesos promedio para concreto armado.....	94
Tabla N°27 Variaciones de pesos para concreto armado	95
Tabla N°28 Variaciones de pesos promedio para concreto armado.....	95
Tabla N°29 Variación acumulada de pesos para concreto armado.....	96
Tabla N°30 Variación acumulada del peso promedio para concreto armado	96
Tabla N°31 Variación de la resistencia a la compresión.....	97
Tabla N°32 Variación de la resistencia a la compresión.....	97
Tabla N°33 Variación de la absorción	98
Tabla N°34 Variación de la absorción respecto del valor inicial	98

Tabla N°35 Correlación de Pearson para peso de concreto	106
Tabla N°36 Prueba de Scheffé y Tamhane para resistencia a la compresión..	106
Tabla N°37 Prueba de Tukey y Tamhane para porcentaje de absorción	107
.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1 Consumo, producción del cemento, y PBI mundial (2006-2018P)....	14
Figura N°2 Representación de capa pasiva en concreto armado.....	38
Figura N°3 Representación del daño inducido por corrosión	39
Figura N°4 Corrosión de estructura de concreto armado Representación	41
Figura N°5 Peso Unitario Compactado vs % de agregado fino	65
Figura N°6 Curva granulométrica del agregado global.....	66
Figura N°7 Agua por m ³ de concreto vs. Asentamiento, a/c de 0.65	73
Figura N°8 Superposición de PUC y Resistencia a la compresión, a/c de 0.65 .	74
Figura N°9 Resistencia a la compresión para cada relación a/c.....	84
Figura N°10 Valores de absorción para cada relación a/c.....	85
Figura N°11 Esquema de probetas de concreto	86
Figura N°12 Solución de cloruro de sodio a 100 g/L	87
Figura N°13 Balanza electrónica a emplear	87
Figura N°14 Ciclo de humedecido en probetas.....	88
Figura N°15 Ciclo de secado en probetas.....	89
Figura N°16 Esquema de resultados	90
Figura N°17 Pesos del concreto simple	91
Figura N°18 Variación porcentual de peso del concreto simple	92
Figura N°19 Variación acumulada porcentual de peso del concreto simple	93
Figura N°20 Pesos del concreto armado, a/c 0.60, 0.65 y 0.70	94
Figura N°21 Variación porcentual de peso del concreto armado.....	95
Figura N°22 Variación acumulada porcentual de peso del concreto armado	96
Figura N°23 Resistencia a la compresión para concreto simple.....	97
Figura N°24 Variación porcentual de resistencia a la compresión.....	98
Figura N°25 Porcentaje de absorción del concreto	99
Figura N°26 Desprendimiento superficial en concreto simple	100
Figura N°27 Picaduras en concreto simple	101
Figura N°28 Desprendimiento superficial en concreto armado	102
Figura N°29 Muestras con coloración rojo cobrizo claro en concreto armado..	103
Figura N°30 Picaduras en concreto armado	104
Figura N°31 Productos de corrosión en la barra de refuerzo	105
Figura N°32 Fisuras en concreto armado	105

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

N°	:	Número
"	:	Pulgada
%	:	Porcentaje
±	:	Más o menos
°C	:	Grados centígrados
a/c	:	Relación agua cemento

SIGLAS

A.F.	:	Agregado fino
A.G.	:	Agregado grueso
CV	:	Coefficiente de Variación
DS	:	Desviación Estándar
F'c	:	Resistencia a la compresión del concreto.
M.F	:	Módulo de Finura.
Kg	:	Kilogramo
NTP	:	Norma Técnica Peruana
PE	:	Peso Específico.
PU	:	Peso Unitario.
PUC	:	Peso Unitario Compactado
PUS	:	Peso Unitario Suelto.
TMN	:	Tamaño Máximo Nominal.
TM	:	Tamaño Máximo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente capítulo ha pretendido mostrar la importancia del concreto y el continuo crecimiento de la industria cementera en el mundo y en el Perú a lo largo de los años por medio de indicadores como el consumo y producción global del cemento. Asimismo, se ha resaltado la continua participación del sector constructivo en el Perú a través del PBI. Finalmente, se ha abordado la realidad problemática de la corrosión del concreto armado, motivo del presente estudio.

1.1. GENERALIDADES

La Asociación Colombiana de Productores de Cemento (ASOCRETO, 2010) sostuvo que, el concreto ha sido el material de construcción más empleado en el mundo debido a su gran versatilidad, resistencia y bajo costo, ya que ha podido adquirir cualquier forma con una elevada resistencia a la compresión y al fuego por lo que fue apto para ser empleado como elemento estructural. Sin embargo, el concreto al haber presentado una reducida resistencia a la tracción, se empleó al concreto armado, el cual, a causa de sus buenas prestaciones mecánicas ha estado siendo utilizado en la construcción de edificios, tanques, puentes, pilotes, etc. (Abanto, 2009).

Así también, la industria cementera se ha desarrollado a lo largo del tiempo, tal es así que, la producción global de cemento se ha acrecentado aproximadamente en más de 30 veces desde el año 1950 y 4 veces desde 1990, provocando que se haya tenido una tasa per cápita sobre los 500 kg al año 2019 (Andrew, 2019).

Según International Cement Review (ICR, 2017), en el año 2016, la oferta del cemento alcanzó un valor de 4,174 millones de toneladas (Mt), el cual fue 2.3% mayor al registrado al año anterior; mientras que, el consumo del cemento a nivel global alcanzó el valor de 4,129 Mt, valor 1.8% mayor al año anterior, generando que el consumo per cápita mundial haya sido 557 kg/hab.

Los registros globales anuales de consumo y producción del cemento en Mt relacionados con los valores del PBI en millones de dólares del mundo (ver Figura N°1) mostraron que el grado de asociación entre el consumo global del

cemento y el PBI mundial fue de 95.8%, y sin considerar a China, se tuvo un valor de 79.5% (Asociación de Productores de Cemento [ASOCEM], 2019a).

De forma complementaria, ASOCEM (2019b) afirmó que, las regiones con mayor consumo y producción del cemento en el continente americano fueron América del Norte y América del Sur. Para el año 2016, Perú se encontró en el puesto 35 del ranking mundial con un valor de 10.48 Mt en consumo de cemento y 10.39 Mt en producción de cemento, y en el puesto 49 a nivel global con un valor de 1.07 Mt en importación de cemento y clínker (ASOCEM, 2019a).

Ahora, respecto a la participación del sector constructivo en la economía peruana, el sector construcción representó el 5.1% del PBI para el año base 2007, y para los años 2019 y 2020, presentó un aumento del 1.4 % y una reducción del 13.9% en el orden dado respecto del año base como lo mostrado en la Tabla N°1 (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2021).

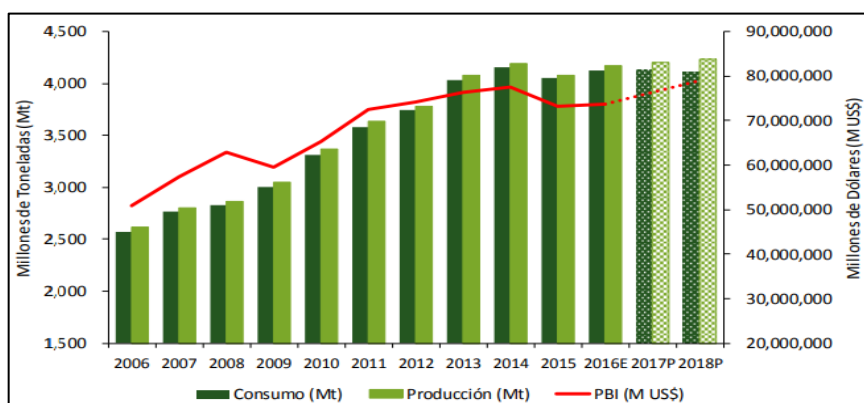


Figura N°1 Consumo, producción del cemento, y PBI mundial (2006-2018P)
Fuente: ASOCEM (2019a)

Tabla N°1 Producto Bruto Interno por sectores

	Peso año base 2007	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Promedio 2021 -2024
Agropecuaria	6,0	3,5	1,3	1,8	3,8	4,0	4,0	3,4
Agrícola	3,8	2,7	3,1	2,3	3,7	4,0	4,0	3,5
Pecuario	2,2	4,1	-1,6	1,0	4,0	4,0	4,0	3,2
Pesca	0,7	-17,2	2,1	7,4	2,0	2,2	3,2	3,7
Minería e hidrocarburos	14,4	0,0	-13,2	9,7	8,5	3,5	2,8	6,1
Minería metálica	12,1	-0,8	-13,5	10,8	9,1	3,8	3,2	6,7
Hidrocarburos	2,2	4,6	-11,0	3,3	4,8	1,8	0,0	2,5
Manufactura	16,5	-1,7	-13,4	15,8	4,4	4,1	4,1	7,1
Primaria	4,1	-8,5	-2,6	10,5	5,2	4,4	4,4	6,1
No primaria	12,4	1,0	-17,3	18,1	4,2	4,0	4,0	7,6
Electricidad y agua	1,7	3,9	-6,1	7,9	4,5	4,3	4,0	5,2
Construcción	5,1	1,4	-13,9	24,9	5,7	4,9	4,9	10,1
Comercio	10,2	3,0	-16,0	13,9	4,7	4,5	4,0	6,8
Servicios	37,1	4,2	-9,6	7,3	4,7	4,6	4,3	5,2
PBI	100,0	2,2	-11,1	10,0	4,8	4,5	4,2	5,9
PBI primario	25,2	-0,9	-7,7	7,6	6,6	3,7	3,4	5,3
PBI no primario¹	66,5	3,3	-11,9	11,1	4,7	4,6	4,3	6,2

^{1/}No considera derechos de importación ni otros impuestos.

Fuente: MEF (2021)

Por otro lado, como el concreto ha sido empleado en las construcciones, fue importante comprender y aplicar acciones que hayan representado un ahorro en el costo de mantenimiento de las estructuras basadas en este material a fin de la preservación de su vida útil (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2017).

Para Hunkeler (2005), el concreto armado ha podido ser duradero aun cuando haya estado bajo condiciones ambientales desfavorables; sin embargo, la existencia de la corrosión en la armadura ha generado fallas en las estructuras, lo que generó costos de reparación, por lo que representó una gran inversión.

Asimismo, Hansson (2016) señaló que la corrosión ha sido un fenómeno presente en todas las actividades económicas, es por ello que, su estudio ha podido ayudar a disminuir el deterioro de un elemento o estructura a un nivel tolerable. Afirmó que, al encontrarse los metales y aleaciones en una condición metaestable, y dadas las características del entorno en donde se hayan estado, éstos han tenido la tendencia de oxidarse o corroerse pues representa su condición de equilibrio.

Estudios de Koch et al. (2016) estimaron que, el costo de la corrosión a nivel mundial, en promedio, representó el 3.4% del PBI global, es decir, aproximadamente US\$ 2.5 trillones en el año 2013; y que, para el caso del Perú, los costos representaron el 3.4% del PBI nacional en el año 2013.

Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), en el último censo nacional del año 2017, mostró que, según el tipo de vivienda, el 86.7% del total fueron casas independientes, el 8.1% fueron departamentos en edificio, el 1.6% fueron chozas o cabañas y los restantes 3.6% fueron viviendas en quinta, casas de vecindad, viviendas improvisadas, entre otros; siendo las tasas de crecimiento anual, para los dos primeros tipos de vivienda, 3.1% y 8.0% respectivamente. Así también, según el área de residencia, el 72.3% de viviendas se encontraron en la zona urbana mientras que el 27.4% correspondieron al área rural, con una tasa anual de incremento del 3.9% y 0.8% respectivamente.

De la misma forma, el material predominante para las paredes exteriores, en un 55.8% del total, se tuvo al ladrillo o bloque de cemento con una tasa anual de crecimiento de 3.7%; como material predominante en los pisos, el 42.2% del

total fue representado por el cemento con una tasa anual de crecimiento del 2.9%; como material predominante en los techos, el 42.8% del total fue representado por el concreto armado con una tasa anual de crecimiento del 3.2% (INEI, 2018).

Complementariamente, la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, 2018) mencionó que, el 60% de las edificaciones a nivel nacional fueron autoconstruidas al año 2018, del cual el 70% de éstas correspondieron a la cantidad de viviendas en Lima construidas de manera informal. Así también, las personas que direccionaron un proyecto de construcción fueron los maestros de obra en un 78%, luego se encontraron los propietarios en un 16% y finalmente los profesionales en un 6% al año 2015 (CAPECO, 2015).

El nivel alto de informalidad en la construcción en Lima y Callao fue del 37%, del cual un 67% representaron construcciones sin tarrajeo o incompletas, también, un 43% representaron construcciones con exposición irresponsable de elementos estructurales como vigas y columnas y un 20%, a construcciones no resistentes al fuego y con acero no protegido adecuadamente (CAPECO, 2018).

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

El concreto ha sido empleado masivamente en infraestructuras a nivel mundial y ha sido capaz de resistir tormentas, movimientos sísmicos y ambientes agresivos solo si ha sido diseñado y construido de manera adecuada, sin embargo, al haber sido quebradizo, fue reforzado con acero de refuerzo, por lo que se concibió al concreto armado, material que amplió el número de aplicaciones, pero que ha sido proclive a diferentes mecanismos de degradación, primordialmente la corrosión del acero de refuerzo, el cual ha afectado su durabilidad y vida útil (Rendón y Koleva, 2017)

Val (2005) afirmó que, los indicios de deterioro en estructuras de concreto reforzado fueron los agrietamientos, delaminaciones y/o desconchado de la superficie externa las cuales influyeron en su capacidad de servicio y seguridad, lo que generó que se haya dispuesto recursos económicos periódicos para su mantenimiento, reparación o reemplazo.

Asimismo, Castañeda y Rodríguez (2014) resaltaron las pérdidas directas e indirectas provocadas por este deterioro, de las cuales, las pérdidas directas

estuvieron relacionadas con estudios diagnósticos y trabajos de reparación, mientras que las indirectas se relacionaron con la mayor extracción y tratamiento de agregados, uso de combustible fósil y producción de cemento, lo que representó pérdidas económicas, energéticas y ecológicas por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

La producción de cemento ha contribuido con la emisión de hasta el 8% del CO₂ mundial a través de dos formas; la primera ha sido mediante el proceso de obtención del clínker, puesto que se generaron en la reacción química procesos de descomposición de la piedra caliza; y la segunda, a través de la utilización de combustibles fósiles necesarios para que se hayan alcanzado temperaturas mayores a 1000°C (Andrew, 2019).

En el caso del Perú, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2019) afirmó que, para el proceso de clinkerización y pre-calcinación de las materias primas en la producción de cemento, se empleó el 96% y 4% de energía térmica respectivamente y que, para una tonelada de cemento, se emitió 0.75 ton de CO₂.

Por otro lado, de acuerdo con García (2020), han existido factores internos y externos de naturaleza física y/o química, que han provenido del proceso constructivo, medio ambiente, entre otros; estos factores deterioraron la calidad, durabilidad y la vida útil de estructuras basadas en concreto y concreto armado.

Del Valle (2001) indicó que, en el concreto armado, el concreto generó una capa pasiva sobre la armadura durante el proceso de hidratación del cemento en medio de un valor de pH de alta alcalinidad del concreto entre 12.5 y 13.5; sin embargo, la capa pasiva que protegía al acero, fue afectada por la existencia de agentes agresivos como los cloruros y los dióxidos de carbono que se encontraron en zonas rurales e industriales; los cuales a su vez actuaron en un modo sinérgico de ataque en la estructura.

Para Böhni (2005), la corrosión inducida por cloruros ha cobrado mayor importancia debido a las altas tasas de corrosión que fueron registradas por su uso como descongelante y por su presencia en entornos marinos.

Según Verbeck (1995), los factores que han influido en la expansión de iones cloruros han sido los siguientes: el no adecuado recubrimiento asignado al

elemento o estructura, ya que facilitó la difusión de los iones; el tiempo de curado, ya que influyó en la permeabilidad, hidratación y formación de gel; y, finalmente, la temperatura y humedad relativa, ya que a que una mayor temperatura y humedad, facilitó la difusión de iones. Así también, las características del tipo de ambiente, viento y dirección de luz solar han sido factores notables.

Poursaee (2016) precisó que, el ataque de cloruros ha constituido una de las causas principales de problemas de corrosión en las zonas costeras cálidas. Afirmó también que, las tasas de corrosión por cloruros fueron mayores que las de carbonatación. Razón por la cual, la corrosión inducida por cloruros ha adquirido importancia en ambientes agresivos como el litoral marino, o lugares con presencia de sales de deshielo y/o agregados contaminados con sal (Hunkeler, 2005).

Rivva (2006) mencionó que los cloruros totales en el concreto han podido encontrarse como cloruros ligados y cloruros libres, los primeros han estado unidos químicamente con el cemento hidratado y son insolubles al agua por lo que no han causado corrosión, mientras que, los segundos sí han sido los responsables del proceso corrosivo en el concreto.

Para estructuras de concreto armado, en consecuencia, el desempeño estructural y proyección de vida útil fueron dañados por el volumen de los productos de corrosión; alguno de los productos fueron la magnetita, goethita, maghemita y akaganeíta, éste último fue el más expansivo, ya que su volumen se incrementó hasta 3.5 veces el valor inicial del volumen del acero a nano y microescala (Marcotte y Hansson, 2003).

Para Feng et al. (2021), dado que los estudios por corrosión natural en estructuras de concreto armado necesitaron una gran cantidad de tiempo para ser analizados, los ensayos rápidos o acelerados realizados en laboratorios han constituido caminos inmediatos para el estudio del proceso corrosivo por acción de agentes agresivos.

Una propuesta del estudio del proceso corrosivo fue dada por Nishibayashi et al. (1980), en donde se propuso un método acelerado que evaluó la durabilidad del concreto basado en ciclos continuos de humedecido en agua de mar y secado.

Años después, Díaz en la tesis de investigación "Corrosión del cemento por ataque de sulfatos" en la Universidad Nacional de Ingeniería en 1994, desarrolló un método de corrosión acelerado basado en ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso, que se caracterizó por el incremento de la presión de cristalización del agente agresor producto de humedecimiento y secado (Avendaño, 2000).

Para Hansson (2016), el estudio del proceso corrosivo ha ayudado a contrarrestar la velocidad de degradación en el elemento o estructura, de tal manera que, se haya asegurado un óptimo comportamiento durante la condición de servicio de este. Asimismo, con el fin de la mejora del nivel de educación en la ingeniería nacional, ha sido primordial mejorar las prácticas de control y gestión del proceso corrosivo en toda la infraestructura del país (Poursaee, 2016).

Según CAPECO (2018), la informalidad en el Perú ha constituido el principal obstáculo para alcanzar el desarrollo sostenible en el país, pues ha implicado asociar la competitividad económica, el aprovechamiento racional de los recursos naturales, el bienestar social y la institucionalidad democrática, de las cuales, ha sido la informalidad de la construcción la que ha contribuido en la reducción de oportunidades de crecimiento personal y destrucción de la estructura frente a la ocurrencia de fenómenos naturales severos. Es por ello que, empresas e instituciones han sumado esfuerzos con la finalidad de luchar contra la informalidad a través de estrategias que han promovido y han impulsado iniciativas de formalización como la concientización de tener una vivienda segura y la aplicación buenas prácticas constructivas.

Una forma de estudiar el proceso corrosivo, lo ha brindado el método de humedecimiento, secado y pérdida de peso desarrollado por Díaz en 1994, en donde se propuso que la solución del agente agresor, el cloruro de sodio sea de concentración 100 g/L ya que produjo un ataque efectivo para ser considerado acelerado (Espejo, 2004). Y considerando que, este método ha sido aplicado en investigaciones de morteros, concretos simples y concretos armados sometidos bajo diferentes dosificaciones bajo el ataque de cloruro de sodio, cloruro férrico y sulfatos con y sin incorporación de aditivo (ver sección 1.6). Y que, el impacto de la corrosión en estructuras ha adquirido una importancia social y económica, razón

por la cual, su estudio en infraestructuras ha debido ser incluido en los planes de estudio de ingeniería civil (Poursaee, 2016).

Y orientado en la línea de investigación, el presente trabajo ha estudiado las propiedades de peso (físico) y resistencia a la compresión (resistencia) del concreto armado de mediana a baja resistencia reforzado acero de diámetro 5/8" expuesto a ciclos de humedecimiento cloruro de sodio en solución.

1.2.1. Problema Principal

¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?

1.2.2. Problemas Específicos

En base al problema principal expuesto, los problemas específicos fueron los siguientes:

- ¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?
- ¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Como justificación práctica, es necesario conocer cuáles son los efectos en las propiedades del concreto armado por ataque del cloruro de sodio en un tiempo corto dadas las características de la autoconstrucción en el país y del uso significativo del concreto armado en edificaciones donde el litoral marino no ha sido la excepción. Para que, de este modo, tanto las autoridades correspondientes

como el público en general puedan conocer el proceso de deterioro respectivo y que sirva de orientación para la mejora de la construcción.

Como justificación metodológica, dadas las líneas de investigación de corrosión de la pasta, mortero y concreto mediante el método basado en ciclos de humedecimiento y secado desarrollado por Díaz en el año 1994, es necesario estudiar el proceso corrosivo del concreto armado de mediana a baja resistencia reforzado con acero de $\varnothing 5/8$ " por la acción del cloruro de sodio y proponer las modificaciones necesarias una vez culminada la investigación, puesto que solo se han tenido investigaciones en mortero armado con cloruro de sodio y concreto armado con cloruro férrico, las cuales han simulado estructuras presentes en reservorios y tanques de almacenamiento.

1.4. OBJETIVOS DE ESTUDIO

1.4.1. Objetivo general

Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.

1.4.2. Objetivos específicos

En orden correlativo a los problemas específicos, los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.
- Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol y acero de refuerzo de $\emptyset 5/8$ ".

1.5.2. Hipótesis específicas

En orden correlativo a los objetivos específicos, las hipótesis específicas fueron las siguientes:

- Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol y acero de refuerzo de $\emptyset 5/8$ ".
- Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol y acero de refuerzo de $\emptyset 5/8$ ".

1.6. ANTECEDENTES REFERENCIALES

Carrillo et al. (2015) en su investigación titulada "Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN", en la Universidad Militar de Nueva Granada, plantearon evaluar la influencia a corto plazo variando la relación de fibras de acero en el concreto armado sometido a dos entornos corrosivos. Para ello, elaboraron probetas con relación de agua/cemento (a/c) de 0.58 usando cemento Portland Tipo I, con un valor de diseño de resistencia a la compresión a los 28 días de 25MPa; las probetas estuvieron bajo dosificaciones de 27.5 y 58.1 kg/m³ de fibra de acero, los cuales, fueron curados por 90 días, luego, estuvieron inmersos por 60 días en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 35 g/L (nivel de exposición severo), después fueron sometidas a ensayos de resistencia a la

compresión. Obtuvieron principalmente que, las probetas de concreto reforzadas con 58.1 kg/m^3 incrementaron la resistencia a la compresión, mientras que las probetas con 27.5 kg/m^3 redujeron la resistencia hasta un 2% respecto del concreto patrón de 25 MPa. Así también, registraron un 6% de disminución en el módulo de elasticidad y un incremento del módulo de Poisson de la fibra de acero en un 13% cuyos valores iniciales para el concreto en condiciones normales son 25618 MPa y 0.155 respectivamente.

Hernández et al. (2016) en su investigación titulada “Relación entre la velocidad de corrosión de la armadura y el ancho de fisuras en vigas de concreto armado expuestas a ambientes que simulan el medio marino”, en la Universidad de Zulia, plantearon presentar una relación empírica entre la velocidad de ensanchamiento de fisuras debido a la corrosión en el recubrimiento de vigas de concreto y la velocidad del proceso de deterioro sobre el acero producto de una corrosión natural inducida. Para ello, estudiaron vigas de concreto armado con una relación a/c de 0.60, con y sin aplicación de carga de 500 kg constante por flexión durante un año en el tramo central de 25 cm, dicho tramo fue rociado 2 veces por semana durante 1100 días mediante una solución de cloruro de sodio de 35 g/L (nivel de exposición severo). La resistencia de compresión promedio de las vigas, a los 28 días, fue de 330 kg/cm^2 . Obtuvieron principalmente que, las vigas presentaron fisuras de hasta 0.40 mm sin haber sido sometidas a flexión, mientras que las que sí lo estuvieron, presentaron fisuras de hasta 0.80 mm. Adicionalmente, observaron que, a mayor pérdida de diámetro por corrosión del acero, mayor ancho de fisuras en el elemento. Además, notaron que, la carga aplicada no afectó significativamente a la velocidad de corrosión de la viga, pero sí aceleró el ingreso de cloruros y el proceso corrosivo.

Jiménez y Ovalle (2018) en su investigación titulada “Análisis de la influencia de sulfatos y cloruros en el deterioro de estructuras en concreto en zonas costeras del Atlántico colombiano”, en la Universidad Católica de Colombia, plantearon determinar el efecto de la influencia de sulfatos y cloruros en el comportamiento de las propiedades del concreto estructural y su deterioro en 3 ciudades de la zona costera. Para ello, elaboraron probetas con diseño de mezcla con a/c de 0.68 para concreto de 21.1 MPa a los 28 días que, luego de ser desmoldadas, fueron sometidas ante el ataque de sulfatos bajo concentración de 2.646, 2.624 y 2.555 g/L con nivel de exposición muy severo respectivamente y

cloruros bajo 20.281, 20.450 y 19.375 g/L con nivel de exposición severo respectivamente, donde luego de 7, 14, 28 y 71 días fueron ensayadas por resistencia a la compresión. Obtuvieron principalmente que, las dos ciudades caracterizadas con mayor cantidad de sulfatos y cloruros influenciaron más en la resistencia a la compresión de las muestras, y que aquellas que estuvieron expuestas a sulfatos y cloruros – sulfatos disminuyeron su resistencia hasta en un 11% a los 28 días respecto del concreto patrón; y que, a los 71 días de exposición, ninguna muestra llegó al 100% de su resistencia estimada a causa del ataque por cloruros – sulfatos. Adicionalmente, se evidenció una disminución del pH en 0.96 en las muestras de concreto.

Avendaño (2000) en su investigación titulada “Corrosión del concreto de mediana a baja resistencia por acción del cloruro de sodio con cemento Portland tipo I”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó determinar el proceso corrosivo en el concreto de mediana a baja resistencia por ataque del cloruro de sodio. Para ello, elaboró probetas con relación a/c de 0.60, 0.65 y 0.70, curadas por 28 días, que luego estuvieron expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo), y fueron estudiadas por ensayos acelerados de corrosión por 60 días y de resistencia a la compresión por 30, 60, 90 y 120 días junto con el concreto patrón. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para A/C de 0.60, 0.65 y 0.70 a los 28 días fueron 353.19, 332.72 y 305.05 Kg/ cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, existió un incremento del 4.88%, 5.02% y 4.15% en peso con respecto al concreto patrón. Asimismo, las resistencias a la compresión de las probetas sumergidas, a los 30, 60 y 90 días se incrementaron gradualmente con valores entre 10% y 25%; sin embargo, a los 120 días, se observó que solo los concretos con a/c de 0.60 y 0.65 incrementaron en 24.92% y 19.44%, mientras que para un a/c de 0.70, disminuyeron en 11.33% respecto al concreto patrón.

Orozco (2001) en su investigación titulada “Corrosión acelerada del concreto de mediana a alta resistencia por acción del cloruro de sodio con cemento Portland tipo I”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó establecer el nivel o grado de corrosión producido en el concreto al estado endurecido por el ataque del cloruro de sodio. Para ello, elaboró probetas de concreto con dosificaciones a/c de 0.40, 0.45, 0.50 y 0.55, curadas por 28 días, expuestas a una concentración de cloruro de sodio de 100 g/L (nivel de exposición

muy severo), las cuales fueron ensayadas por resistencia a la compresión por 30, 60 y 90 días de inmerso en la solución de cloruro de sodio. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.40, 0.45, 0.50 y 0.55 a los 28 días fueron 423.77, 413.21, 400.76 y 351.32 Kg/ cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, las probetas incrementaron su peso en un 4.27%, 5.12%, 5.44% y 5.40% con respecto al concreto patrón debido a la acumulación de sales respecto del ciclo uno del ensayo. Además, las resistencias a la compresión de las probetas, a los 30, 60 y 90 días se incrementaron gradualmente con valores entre 13% y 31% respecto al concreto patrón; además, a los 90 días, alcanzaron incrementos del 34.37%, 20.65%, 17.10% y 31.66% respecto al concreto patrón con a/c ascendente.

García (2001) en su investigación titulada “La corrosión del concreto de mediana a baja resistencia por acción del cloruro de sodio usando cemento Portland tipo I y aditivo plastificante”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar el proceso evolutivo corrosivo originado en el concreto por acción del cloruro de sodio. Para ello, elaboró probetas de concreto con relación a/c de 0.60, 0.65 y 0.70, curadas por 30 días, con y sin aditivo plastificante HE-98 con dosificaciones de 130, 215 y 300 cc/bl, las cuales estuvieron expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo) durante 60 días, y fueron ensayadas por resistencia a la compresión a los 30, 60 y 90 días de inmerso en la solución. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 a los 30 días fueron 378.60, 334.24 y 309.96 Kg/ cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, las muestras de concreto incrementaron su peso entre un 3% al 5% respecto al concreto patrón debido a la presencia de sales. Asimismo, las resistencias a la compresión de las probetas con aditivo, a los 30, 60 y 90 días aumentaron gradualmente con valores entre 10% y 23% respecto al concreto patrón; además, a los 90 días, alcanzaron incrementos de 19.6%, 25.1% y 20.3% respecto al concreto patrón con a/c ascendente con 300 CC de aditivo.

Chalco (2002) en su investigación titulada “Corrosión del concreto de mediana a alta resistencia con cemento Portland tipo I y aditivo plastificante por acción del cloruro de sodio”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar la resistencia y durabilidad del concreto con aditivo plastificante Chemplast ante el ataque del cloruro de sodio. Para ello, elaboró probetas de

concreto con relaciones a/c de 0.45, 0.45 y 0.50 y dosificación de aditivo de 100 cc/bl, 150 cc/bl y 200 cc/bl respectivamente, las cuales fueron curadas por 28 días, y expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo) durante 60 días, y por 30, 60 y 90 días bajo ensayos de resistencia luego de su inmersión en la solución. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 a los 28 días fueron 449.33, 426.50 y 364.20 Kg/ cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, el mayor valor de durabilidad, medido con el número de ciclos de humedecido y secado, los presentaron los a/c de 0.4 con aditivo de 200 cc/bl, que registraron a los 26 ciclos, una variación del 18.18% respecto del concreto patrón. Asimismo, las probetas con 200 CC de aditivo, a los 90 días, incrementaron su resistencia a la compresión en un 13%, 17% y 18.9% respecto al concreto patrón con a/c ascendente.

Espejo (2004) en su investigación titulada “Corrosión del concreto de mediana a alta resistencia por acción del cloruro de sodio usando cemento Portland tipo I y aditivo superplastificante y autocompactante”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar el ataque corrosivo físico por parte del cloruro de sodio hacia el concreto, ante la presencia del aditivo Sika Viscocrete 1. Para ello, utilizó probetas de concreto con concentraciones de a/c de 0.40, 0.45 y 0.50, con dosificaciones de aditivo de 480, 640 y 800 cc/bl para cada tipo de concentración; al ser curadas por 28 días, fueron expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo) durante 60 días y ensayadas a resistencia a la compresión por 30, 60, 90 y 120 días de su inmersión. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 a los 28 días fueron 385.596, 385.496 y 357.349 Kg/cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, el mayor valor de durabilidad, medido con el número de ciclo de humedecido y secado, los presentaron los a/c de 0.4 con aditivo de 800 cc/bl con una variación promedio de 30.43% respecto del concreto patrón. Asimismo, la resistencia a la compresión de las probetas con aditivo con 480 cc/bl, a los 120 días, se incrementó en un 16.16%, 15.16% y 95.80% respecto al concreto patrón con a/c ascendente.

Cerdán (2012) en su investigación titulada “Estudio del concreto de mediana a alta resistencia con aditivo anticorrosivo y cemento Portland tipo I”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar el fenómeno de la corrosión del concreto empleando al aditivo anticorrosivo Z FERRO y sus posibles

efectos en él. Para ello, elaboró probetas de concreto con relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50, con dosificaciones de aditivo de 170 cc/bl, 425 cc/bl y 637.5 cc/bl; las cuales fueron curadas por 28 días, y luego, expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo), durante 66 días; también las muestras con aditivo fueron ensayadas por resistencia a la compresión a los 28 días. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 a los 28 días fueron 508, 441 y 367 Kg/ cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, el mayor valor de durabilidad, medido con el número de ciclo de humedecido y secado del método de corrosión acelerado, lo presentaron los a/c de 0.4 con aditivo de 170 cc/bl con una variación promedio de 36% respecto del concreto patrón. Asimismo, la resistencia a la compresión de las probetas con aditivo con 637.5 cc/bl, a los 28 días, se incrementó en un 9.25%, 27.21% y 29.43% respecto al concreto patrón con a/c ascendente.

Rimarachín (2013) en su investigación titulada “Corrosión del mortero de cemento con armadura, por ataque del cloruro de sodio”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar progresivamente el proceso de corrosión en el mortero con cemento Portland Tipo I, simple y reforzado con acero bajo el ataque del cloruro y de sodio mediante ensayos de corrosión acelerado por humedecido y secado. Para ello, elaboró morteros simples y morteros reforzados con acero de $\varnothing 3/8$ ” con dosificaciones cemento:arena (c:a) de 1:4, 1:3, 1:2 y 1:1, que luego de ser curadas por 28 días, fueron expuestas a una solución de cloruro de sodio de 100g/L (nivel de exposición muy severo) por 74 días. Adicionalmente, la barra de acero de $\varnothing 3/8$ ” también fue sometida a la solución de cloruro de sodio. Obtuvo principalmente que, la presencia del cloruro de sodio, mediante los ciclos de humedecido y secado, generó la acumulación de sales en los poros, que luego cristalizaron y expandieron, lo que indujo a la rotura de los poros, y producción de grietas y superficies ásperas a causa de la pérdida de material, el cual fue un valor entre 0.58% y 0.95% respecto al peso del mortero patrón. Asimismo, se redujo la resistencia a la tracción y módulo de fluencia del acero de $\varnothing 3/8$ ” en un 28% y 24.3% respectivamente.

Torres (2019) en su investigación titulada “Deterioro del concreto armado por ataque del cloruro férrico”, en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó conocer el proceso de degradación del concreto simple y armado con cemento Portland Tipo I por ataque del Cloruro Férrico empleando ensayos de corrosión

acelerada. Para ello, empleó probetas de concreto simple y reforzado con acero de $\varnothing 3/8$ " con concentraciones de a/c de 0.45, 0.50, 0.60, y 0.70, que luego de ser curadas por 28 días, fueron expuestas a una solución de cloruro férrico al 42% (nivel de exposición muy severo) por 60 días. Adicionalmente, la barra de acero de $\varnothing 3/8$ " también fue sometida a la solución de cloruro férrico. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 a los 30 días fueron 403, 381, 300 y 247 Kg/cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, durante las muestras de concreto armado disminuyeron su peso hasta en un 0.13%, saturando los poros de la superficie generando una capa superficial rojo cobrizo, con desprendimientos de bordes y fisuras longitudinales. Además, observó una reducción de la resistencia a la compresión hasta un 7.5%. Asimismo, la barra de acero de $\varnothing 3/8$ " disminuyó su tensión límite de fluencia en 25%.

Rojas (2021) en su investigación titulada "Efectos en el concreto armado por acción del cloruro férrico", en la Universidad Nacional de Ingeniería, planteó estudiar y determinar los pesos, así como las resistencias a la compresión en las probetas que fueron sometidas a ensayos de corrosión acelerada por acción del cloruro férrico. Para ello, elaboró probetas de concreto armado de $\varnothing 5/8$ " con relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 usando cemento Portland Tipo II, que luego de ser curadas por 28 días, fueron expuestas a una solución de cloruro férrico al 40% (nivel de exposición muy severo) por 60 días. Adicionalmente, la barra de acero de $\varnothing 3/8$ " también fue sometida a la solución de cloruro férrico. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 a los 28 días fueron 429, 423 y 401 Kg/cm² respectivamente. Obtuvo principalmente que, durante el proceso de corrosión acelerado, el concreto armado no tuvo pérdida de peso en ninguna de sus proporciones a/c; por el contrario, la relación a/c de 0.55 tuvo incrementos de peso de hasta el 0.10% del valor inicial. Además, la resistencia a la compresión se redujo del 100% (concreto patrón) a un 99.5% del valor inicial. Asimismo, la barra de acero de $\varnothing 3/8$ " disminuyó su tensión límite de fluencia en 25% respecto al valor inicial.

De los antecedentes presentados, se tienen diferentes metodologías para estudiar el proceso corrosivo en el concreto simple y armado con o sin aditivo (Ver Tabla N°2). Respecto a la utilización del método de corrosión acelerado basado en ciclos continuos de humedecido y secado desarrollado por Diaz (1994), y orientado a la investigación propuesta, se han realizado investigaciones en

mortero simple y armado reforzado con acero de $\varnothing 3/8$ "; concreto simple con y sin aditivo y concreto armado reforzado con acero de $\varnothing 3/8$ " orientado en las propiedades físicas y resistentes por acción del cloruro férrico. Aún no se ha registrado un estudio de los efectos físicos y resistentes por exposición al cloruro de sodio con una concentración de 100 g/L (nivel de exposición muy severo) en el concreto armado de mediana a baja resistencia con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ ".

Tabla N°2 Resumen de antecedentes referenciales

Autor	Año	Material	Agente agresivo	Método
Carrillo et al.	2015	Concreto (a/c 0.58) con fibra de acero	Cloruro de sodio	Inmersión en solución
Hernández et al.	2016	Viga de concreto armado (a/c 0.60)	Cloruro de sodio	Ciclos de rociado y secado
Jiménez y Ovalle	2018	Concreto simple (a/c 0.68)	Cloruros y sulfatos	Inmersión en solución
Avendaño	2000	Concreto simple de mediana a baja resistencia	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Orozco	2001	Concreto simple de mediana a alta resistencia	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
García	2001	Concreto simple de mediana a baja resistencia con aditivo HE-98	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Challco	2002	Concreto simple de mediana a alta resistencia con aditivo Chemaplast	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Espejo	2004	Concreto simple de mediana a alta resistencia con aditivo Sika Viscocrete	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Cerdán	2012	Concreto simple de mediana a alta resistencia con aditivo Z FERRO	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Rimarachín	2013	Mortero con armadura de $\varnothing 3/8$ "	Cloruro de sodio	Ciclos de humedecido y secado
Torres	2019	Concreto armado con acero de $\varnothing 3/8$ "	Cloruro férrico	Ciclos de humedecido y secado
Rojas	2021	Concreto armado con acero de $\varnothing 3/8$ "	Cloruro férrico	Ciclos de humedecido y secado

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. CONCRETO

El material de construcción de concreto ha sido conformado por cemento, agua, agregados y de manera opcional, aditivos. Durante su formación, al principio ha adoptado una estructura plástica y trabajable, y después ha alcanzado una consistencia endurecida con propiedades resistentes y aislantes (Pasquel, 1998). Así también, el concreto ha sido constituido por varios tipos de cemento, los cuales han podido contener diferentes adiciones como puzolanas, cenizas volantes, escorias, microsílice, polímeros, fibras, entre otros (Neville y Brooks, 2010).

Para Zongjin (2011), el concreto ha presentado las siguientes ventajas: costo accesible a nivel mundial, capacidad de endurecimiento a temperatura ambiente, capacidad de ser lanzado, menor consumo de energía respecto a la industria del acero, resistencia al agua, resistencia a las altas temperaturas, capacidad de emplear residuos en su elaboración, capacidad de trabajar con el acero reforzado y menor requerimiento de mantenimiento respecto a estructuras de acero y madera. Mientras que, las limitaciones han sido las siguientes: modo de falla cuasi frágil, baja resistencia a la tracción, baja tenacidad, baja fuerza específica, necesidad de encofrado, tiempo largo de curado y las grietas en la superficie del concreto.

2.1.1. Componentes del concreto

a) Cemento Portland

En términos generales, el cemento, en el campo de la construcción e ingeniería civil, ha sido un material compuesto por cal principalmente, el cual ha presentado propiedades cohesivas y adhesivas, que han tenido la capacidad de endurecer bajo agua y de aglutinar fracciones minerales, lo cual ha formado un todo consistente (Neville, 2013).

El cemento Portland ha sido un producto de la combinación de materiales arcillosos, calcáreos y otros los cuales contienen alúmina, sílice u óxidos de hierro, los cuales han pasado por procesos sometidos a altas temperaturas y mezclados con yeso. Asimismo, debido al proceso de hidratación y de la reacción química con el agua, el material ha sido capaz de fraguar y endurecer (ASOCRETO, 2010).

Abanto (2009) mencionó que, los compuestos químicos del cemento Portland que constituyen más del 90% han sido los siguientes: silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) abreviado como C_3S ; silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) abreviado como C_2S , aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) abreviado como C_3A y aluminoferrita tricálcica ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) abreviado como C_4AF . Estos compuestos químicos mencionados han influido en el comportamiento del cemento y en el desarrollo del estado plástico al endurecido debido a la reacción de hidratación.

Así, el silicato tricálcico (C_3S), ha contribuido en la resistencia inicial del cemento a través de su reacción exotérmica con el agua, en la cual, la velocidad de endurecimiento de la pasta ha sido directamente proporcional al calor de hidratación liberado en la reacción. El silicato dicálcico (C_2S) ha generado principalmente la resistencia posterior de la pasta cementicia. El aluminato tricálcico (C_3A) ha participado en la combinación con el yeso para el control del tiempo de fraguado del cemento. Finalmente, la aluminoferrita tricálcica (C_4AF), ha desarrollado la baja resistencia debido a su rápida hidratación (Abanto, 2009).

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) en la NTP 334.009 mencionó a los siguientes tipos de cemento Portland usados en el Perú:

- Tipo I: cemento de uso general sin propiedades especiales requeridas.
- Tipo II: cemento de uso general con moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo II (MH): cemento de uso general con moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- Tipo III: cemento con altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: cemento con bajo calor de hidratación
- Tipo V: cemento con alta resistencia a los sulfatos (INACAL, 2020a).

b) Agregados

Los agregados han ocupado por lo menos el 75% del volumen total del concreto en promedio, han proporcionado una mayor estabilidad volumétrica y han influido en las propiedades del concreto tales como la calidad, durabilidad y comportamiento estructural (Neville, 2013).

Zongjin (2011) mencionó que los agregados han podido clasificarse según diferentes criterios tales como el tamaño, fuente de procedencia y peso unitario. De acuerdo con el tamaño, se definió al agregado grueso y agregado fino; el primero, ha sido aquel material que es retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), con tamaño de dimensiones entre 5 a 150 mm; mientras que el segundo, aquel material que ha pasado a través del tamiz N°4 (4.75 mm) y ha sido retenido predominantemente en el tamiz N°200 (75 µm). De acuerdo con la fuente, se definieron a los agregados naturales y manufacturados (sintéticos), los cuales se originaron de la naturaleza y artificialmente respectivamente. Finalmente, de acuerdo con el peso unitario, se definió al agregado ultraligero, agregado ligero, agregado de peso normal y agregado de peso pesado.

c) Agua

El agua ha sido el componente del concreto que ha hidratado a las partículas de cemento, lo cual ha ayudado en la manifestación de sus propiedades aglutinantes; además, para el proceso inicial de mezcla de la pasta, la cantidad agregada ha intervenido en la fluidez resultante durante la etapa plástica, mientras que para la etapa de endurecimiento, por efecto del fraguado, una parte del agua (agua de hidratación) ha continuado en la estructura rígida de la pasta, mientras que el resto fue el agua evaporable (ASOCRETO, 2010).

El agua en la mezcla del concreto ha tenido como funciones principales: la participación en la reacción de hidratación del cemento, la intervención como lubricante para la mejora de la trabajabilidad del producto y la facilitación de la estructura de vacíos para los productos de hidratación (Pasquel, 1998).

Así también, el agua de curado ha intervenido como suministro adicional en la hidratación eficiente del cemento, de tal manera que, el concreto haya conseguido las propiedades potenciales (Sánchez, 2001).

d) Aire

El aire se ha encontrado atrapado dentro de la masa del concreto a causa del proceso de mezclado; luego de ello, una parte fue liberado debido a los procesos de compactación, mientras que la otra parte, ha permanecido dentro de la masa endurecida del concreto (ASOCRETO, 2010).

2.2. DURABILIDAD DEL CONCRETO

De acuerdo con el ACI 201 la durabilidad del concreto ha sido la capacidad de resistir a la acción de la abrasión, intemperismo, ataque químico o cualquier otro proceso de deterioro, razón por la cual, el concreto durable ha sido aquél que haya mantenido su calidad, características de servicio y forma original ante la acción del ambiente (Rivva, 2006).

En consecuencia, la vida útil de una estructura ha sido dependiente de su durabilidad, pues aquella se ha definido como el tiempo durante el cual el concreto ha cumplido con los requisitos de rendimiento sin mantenimiento no previsto (Newman y Seng, 2003).

Sánchez (2001) afirmó que, la permeabilidad del concreto ha sido la capacidad con la que un fluido ha podido atravesar el cuerpo a través de un medio poroso debido a una diferencia de presión entre dos superficies opuestas; ha sido además dependiente de la porosidad de la pasta de cemento endurecida y agregados, así como los vacíos que se originaron por procesos de compactación y exudación.

Por ello, la durabilidad de las estructuras de concreto ha sido dependiente de la permeabilidad frente a varias sustancias (Zongjin, 2011).

2.2.1. Mecanismos de degradación del concreto

Como señaló Dyer (2014), han existido diferentes mecanismos de deterioro en el concreto, los cuales han podido describirse por la naturaleza y procedencia del ataque, como se ha mostrado a continuación.

a) Mecanismos físicos

El deterioro físico en el concreto ha sido aquél que no ha generado productos de reacción, sino que ha ingresado en la masa del material y generó esfuerzos de tensión internas y de expansión, las que produjeron grietas internas o incrustaciones en la superficie (Newman y Seng, 2003).

Para Dyer (2014), el concreto ha estado sujeto a los siguientes mecanismos físicos:

- Contracción: por contracción plástica, contracción por secado y contracción autógena.
- Agrietamiento térmico: por contracción y expansión térmica.
- Ataque por congelación y descongelación.
- Abrasión y erosión.

Adicionalmente, para Rivva (2006) ha existido también ataque físico por fuego y por desgaste superficial del tipo erosión por cavitación.

b) Mecanismos químicos

El deterioro químico ha comprendido la disolución de materiales o reacciones químicas entre materiales y componentes del concreto, lo cual generó productos de reacción que pudieron originar problemas a causa de la expansión o disolución (Newman y Seng, 2003).

Para Dyer (2014) se han tenido los siguientes mecanismos químicos:

- Ataque por sulfatos: procedente de agua de mar, suelo y agua subterránea, entre otros.
- Reacción álcali - agregado: reacciones álcali – sílice, reacción álcali – carbonato y reacción álcali – silicato.
- Ataque ácido: lixiviación del concreto por agua

Adicionalmente, para Rivva (2006) han existido también ataques químicos por sustancias orgánicas tales como:

- Azúcar disuelta.
- Aceites: aceites vegetales, grasas y ácidos de origen animal y aceites naturales.
- Diversos materiales de uso frecuente como el jugo de fruta, glucosa, glicerina, sal de amoníaco, vinagre, entre otros.

De igual manera, el concreto ha podido ser afectado por otros compuestos como sales y álcalis en solución, compuestos inorgánicos y la lluvia ácida (Rivva, 2006).

c) Mecanismos mecánicos

Para Zongjin (2011) también han existido causas mecánicas, las cuales han implicado impacto y sobrecarga en la estructura de concreto.

d) Mecanismos biológicos

Para Rivva (2006) también ha existido deterioro en el concreto por ataque biológico, el cual ha estado relacionado con el biodeterioro del concreto, biocorrosión de metales y biodegradación de hidrocarburos. Mencionó también que, los hongos, musgos, bacterias, algas, líquenes y perforadores de roca son microorganismos que han provocado la degradación microbiológica del concreto.

e) Mecanismos electroquímicos

Para Newman y Seng (2003) el deterioro por ataque electroquímico en el concreto ha sido la corrosión del acero de refuerzo, en donde se han combinado las reacciones químicas entre el ánodo y el cátodo mediante una corriente eléctrica a través del concreto y acero.

Zongjin (2011) mencionó que, la iniciación y desarrollo del proceso de corrosión en el acero se ha debido a la degradación de su capa pasiva que lo protegió y se formó debido a los valores de pH iniciales entre 12.5 a 13.5 de la estructura de concreto, el cual se ha originado por la carbonatación y corrosión inducida por cloruros.

2.2.2. Mecanismos de transporte de fluidos

Las propiedades de permeabilidad y procesos de transporte han sido altamente significativas para el ingreso, redistribución y/o pérdida de sustancias que han sido beneficiosas y dañinas tanto para los componentes del concreto como para el acero de refuerzo del concreto (Newman y Seng, 2003).

Neville (2013) señaló que, el agua pura o con iones agresivos, dióxido de carbono y oxígeno han sido los tres fluidos significativos que han podido ingresar en el concreto a través de distintas formas, las cuales han dependido de la hidratación de la pasta de cemento, y se ha podido lograr por medio de flujo a través sistema de poros, por difusión y/o absorción, los mismos que se han relacionado con la permeabilidad del concreto.

a) Flujo

La porosidad ha sido definida como la medida de proporción en volumen de los poros respecto al volumen total del concreto, ha influido en la permeabilidad del concreto, pues si el valor de porosidad ha sido alto y los poros han estado interconectados, entonces el valor de la permeabilidad ha sido alto, lo cual contribuyó positivamente al flujo de transporte de fluidos en el concreto; sin embargo, si los poros no han sido continuos, aun cuando se haya tenido un alto valor de porosidad, la permeabilidad del concreto ha resultado, al igual que el flujo, bajo (Neville, 2013).

b) Difusión

La difusión ha sido un proceso en donde el fluido se movilizó debido a un diferencial de concentración. La difusión de gases como el dióxido de carbono y oxígeno han participado en la carbonatación de la pasta de cemento hidratado y en la corrosión del acero de refuerzo respectivamente. Así también, en el caso de la difusión de iones agresivos como los sulfatos y cloruros, el ataque se ha dado al concreto y al acero de refuerzo respectivamente, los cuales han podido ocurrir en concreto parcialmente seco y saturado (Neville, 2013).

c) Absorción

Solo en concretos parcialmente secos, la absorción se ha producido por el movimiento capilar en los poros del concreto en contacto con la superficie exterior, y ha sido medido como un porcentaje del peso seco por medio del volumen de espacio de poros, de los cuales, los valores típicos para concretos han sido menores del 10% en peso. La absorción de la zona externa del concreto, la cual ha protegido a la barra de acero en estructuras de concreto armado, ha sido llamada absorción superficial inicial, la cual ha dependido del contenido preexistente de humedad del entorno (Neville, 2013).

2.3. CORROSIÓN DEL CONCRETO

Las estructuras de concreto eran famosas por la ausencia de mantenimiento que implicó durante un tiempo su uso, incluso, en la década de los 60, el cloruro de calcio fue empleado como acelerante de fraguado en el concreto, y hasta la década de los 70 fue usado el agua de mar para la mezcla; sin embargo,

durante los años siguientes se fueron reportando muchos daños en las estructuras especialmente en países del Medio Oriente ya que el uso de agua potable resultaba caro. De esta manera, la corrosión en el concreto ha intervenido en la economía, el ambiente y la seguridad de las estructuras en todo el mundo (Abdallah, 2018).

2.3.1. Definición

Según la Real Academia Española ([RAE], 2021), el término de corrosión, en el campo de la ciencia química, se ha definido como el desgaste gradual de los cuerpos metálicos por efecto de agentes en el exterior, persista o no su forma. Sin embargo, en Austria se ha empleado el término corrosión para tuberías de desagüe de marca Perfect Pipe que fueron elaboradas a base de concreto ya que contó con la tecnología para la protección corrosiva (Weinberger, 2020) (ver Anexo A). De igual manera, anteriormente fue usado, ya que para Bizcok (1964) y Casabonne (1998), la corrosión ha podido darse tanto para materiales metálicos, pétreos y plásticos, por lo que en términos de la corrosión del concreto ha estado asociado al desgaste lento del material. Así también, lo han aplicado Nishibayashi et al. (1980) en el estudio de la corrosión en el concreto expuesto al agua de mar mediante inspección visual e indicadores de resistencia (ver Anexo B). Y Díaz (1994) en su método acelerado para el estudio del proceso corrosivo.

2.3.2. Corrosión del concreto armado

Las barras de acero de refuerzo en el interior de las estructuras de concreto armado y/o pretensado han sido protegidas de agentes externos corrosivos, esta protección se formó debido al entorno alcalino que proporcionó el concreto y ha sido compuesta por una capa de óxido estable en medios muy básicos, pero no en condiciones más ácidas (Skalny et al., 2003).

- a) Deterioro del acero por corrosión
 - Despasivación.

Para Hansson (1984), el concreto ha suministrado una resistencia física que ha actuado como barrera a favor del acero de refuerzo a causa del alto valor de alcalinidad con valores de pH entre 12.5 y 13.5, los cuales han pertenecido a aquellos concretos que no presentaron riesgos externos.

La capa pasiva (Ver Figura N°2) ha actuado como una película protectora de óxido o hidróxido ultrafina, menor a 10 nanómetros (nm), la cual ha reducido la velocidad de disolución del acero a niveles mínimos; sin embargo, la pérdida parcial o completa de la capa pasiva, definida como despasivación, ha encaminado al proceso corrosivo del acero de refuerzo (ver Anexo B), el cual, a su vez, ha generado productos de reacción expansivos, los mismos que han podido generar grietas y un mayor deterioro del concreto (Carnot et al., 2002).

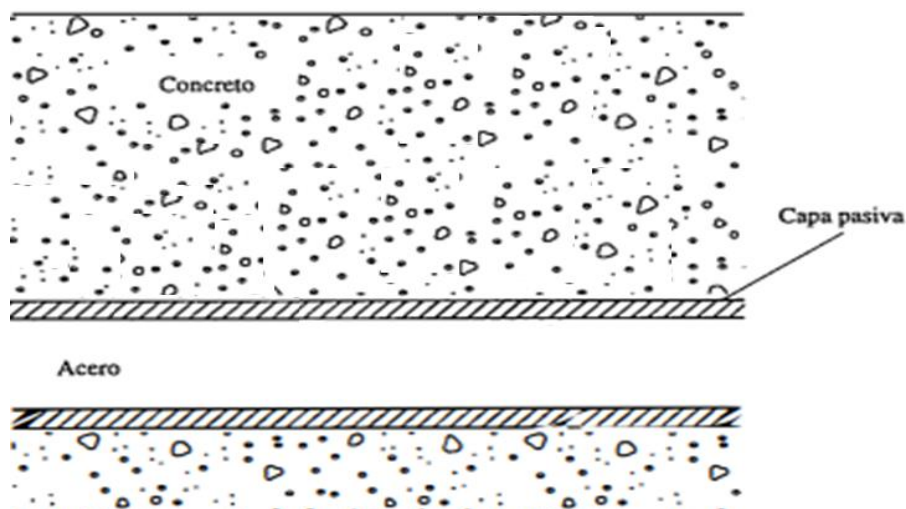


Figura N°2 Representación de capa pasiva en concreto armado
Fuente: Adaptado de Neville (2013)

- Formas de corrosión
- Corrosión generalizada

La corrosión general ha ocurrido en regiones de potencial y pH en las que los productos de corrosión han sido iones disueltos u óxidos/hidróxidos no protectores. En el concreto, la corrosión general a podido resultar de una disminución del pH a un rango en el que la película pasiva no ha sido estable y en efecto, se redujo y dejó que el acero se disuelva (en soluciones de pH muy bajo) o haya formado un óxido/hidróxido no protector, los cuales generaron un adelgazamiento general del metal y la falla del elemento (Poursaee, 2016).

- Corrosión por picadura

La corrosión por picaduras (corrosión localizada), ha sido considerado como una de las formas más destructivas de corrosión ya que formaron pequeñas cavidades u hoyos que han tenido una pérdida de material (Popov, 2015).

Una vez que se formaron los hoyos, se creó una celda ambiental diferencial local en la que el electrolito en el pozo ha agotado en oxígeno y ha ido ganando más acidez que la solución adyacente a la película pasiva sin picaduras (Poursaee, 2016).

b) Deterioro del concreto por corrosión

Uno de los efectos en el concreto armado debido a la corrosión del acero de refuerzo, han sido los productos de corrosión que han ocupado un volumen comparablemente mayor a la inicial, lo cual ha generado deterioros físicos en el concreto como el agrietamiento, desconchamiento y/o delaminación en el concreto como se ha podido apreciar en la Figura N°3 (Neville, 2013).

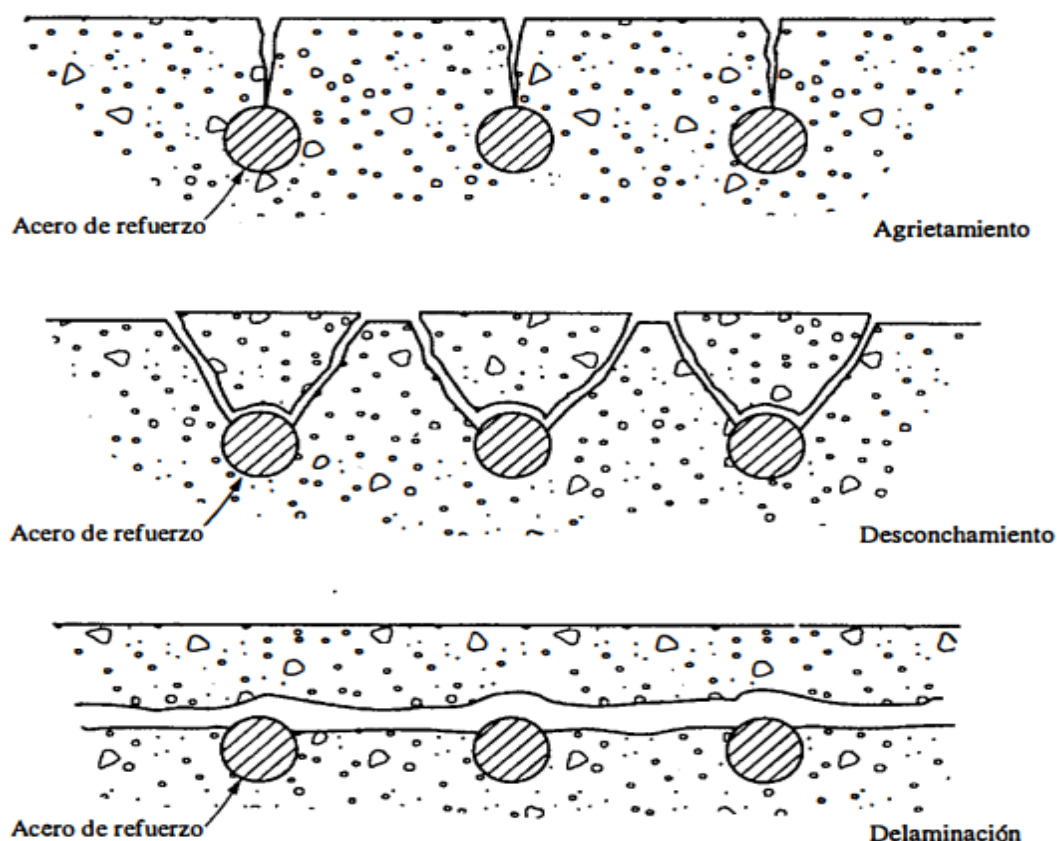


Figura N°3 Representación del daño inducido por corrosión
Fuente. Neville (2013)

Asimismo, las condiciones que han favorecido el fenómeno de corrosión del concreto en un ambiente agresivo ha sido la excesiva porosidad del concreto, el reducido espesor del recubrimiento sobre el concreto, la existencia de grietas en la estructura y la alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto (Rivva, 2006).

2.3.3. Ataque por cloruros

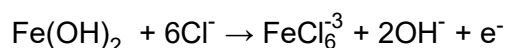
Para Neville (2013), el ataque de cloruros se ha distinguido por que la acción principal ha sido la corrosión del acero de refuerzo, y consecuentemente, el daño al concreto circundante.

Para el caso del Perú, a causa de la amplitud del litoral marino, el alcance de brisa marina, la dirección de los vientos y de la presencia de edificaciones, se ha producido corrosión en estructuras de concreto que han estado en esa zona de influencia, por lo que el tema ha sido importante para el conocimiento del sector constructivo (González de la Cotera, 1998). De igual manera Rivva (2006) destacó la trascendencia del ataque al concreto y acero debido a cloruros.

a) Proceso

Los cloruros totales en el concreto han podido subdividirse químicamente en cloruros ligados y cloruros libres; los primeros han estado intrínsecamente asociados al cemento hidratado y han sido insolubles al agua, mientras que los segundos, han sido los responsables de la corrosión del acero (Rivva, 2006).

De acuerdo con Dyer (2014), cuando los iones de cloruro han alcanzado la superficie del acero de refuerzo, han deteriorado la capa pasiva en la superficie y han permitido que la corrosión progrese, este proceso de despasivación probablemente ha implicado la formación de complejos de cloruro con hierro de la capa pasiva tal como:



El ion complejo de cloruro férrico ha sido soluble en la solución de los poros del concreto, por lo que se ha eliminado material de la capa pasiva, lo que ha comprometido su influencia protectora en puntos localizados en la superficie del acero (Dyer, 2014).

Zongjin (2011) señaló que, si la concentración de iones cloruro en el concreto ha alcanzado un cierto nivel de 0.6 a 0.9 kilogramos por metro cúbico de concreto, se ha podido romper de forma localizada la película pasiva y de esta manera, la formación una celda galvánica, donde las áreas activas locales se han

comportado como ánodos, mientras que las áreas pasivas restantes como cátodos donde se ha tenido lugar la reducción (ver Anexo B).

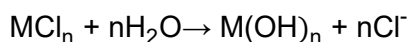
Además, los cloruros también han actuado como catalizadores de la corrosión una vez que haya habido suficiente concentración en la superficie de la barra de acero para romper la película pasiva y de esta forma, han permitido que el proceso de corrosión avance rápidamente (Zhao y Jin, 2016).

Así también, la cristalización de las sales dentro de los poros ha representado el efecto directo más perjudicial por ataque de cloruros en el de concreto endurecido ya que ha podido generar fisuras producidas por la presión ejercida por los cristales de sal y productos de corrosión. Dado que la cristalización ha ocurrido en el punto de evaporación del agua, se ha visto en concretos sin contacto directo con el agua y ha sido favorecido bajo altas humedades, la permeabilidad del concreto ha sido una propiedad importante, y la temperatura como el clima tropical (ver Figura N°4) han representado un acelerador del proceso (Rivva, 2006).



Figura N°4 Corrosión de estructura de concreto armado Representación
Fuente: Gonzáles de la Cotera (1998)

El crecimiento de la picadura ha sido del tipo autocatalítico, es decir los iones cloruro no se han consumido en el proceso; si bien han reaccionado con el metal, dada la inestabilidad del complejo de cloruro metálico, ha reaccionado más, por lo cual liberó iones de cloruro para su combinación con otros iones metálicos, se han tenido las siguientes reacciones de forma general (Poursaee, 2016).



Los electrones liberados en la primera reacción han viajado a través del metal hasta la capa pasiva y reaccionaron con el agua y el oxígeno para crear iones hidroxilo. Una tercera forma de corrosión, que no ha sido un problema para las barras de acero, pero ha podido ser un problema para el acero pretensado o postensado, ha sido el agrietamiento ambientalmente asistido comprendido por el agrietamiento por corrosión bajo tensión y/o la fragilización por hidrógeno (Poursaee, 2016).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. GENERALIDADES

El marco metodológico de una investigación ha representado la forma de cómo se ha desarrollado el estudio para brindar una respuesta al problema de investigación (Arias, 2012). Así también, ha estado conformado por los métodos e instrumentos empleados en la investigación tales como el tipo de estudio, diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, análisis y presentación de los resultados (Balestrini, 2006).

Para el desarrollo de la investigación, en donde se ha planteado analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 usando cemento Portland Tipo I Sol y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " expuesto a ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L, se ha considerado tesis, normas y artículos de investigación relacionados al tema, razón por la cual, la metodología comprendió en la caracterización de materiales, optimización de diseño de mezcla, aplicación del método, recolección, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Una variable ha sido aquella cualidad y/o magnitud que ha podido cambiar y que ha sido un elemento de análisis, medición o control en una investigación (Arias, 2012). Así también, el proceso mediante el cual una variable teórica ha logrado ser definida mediante indicadores empíricos verificables y medibles ha sido la operacionalización (Solís, 2013).

La operacionalización se ha apoyado de la definición conceptual y operacional de una variable, la primera ha estado basada en conceptos de carácter general y no necesariamente estuvo relacionada al contexto de la investigación, en cambio, la segunda ha sido el conjunto de procedimientos con las cuales se ha logrado medir la variable en estudio (Hernández et al., 2014). Una variable ha sido medible en función a las dimensiones e indicadores, la dimensión ha sido la descomposición necesaria para poder haber sido estudiada, y el indicador ha sido la unidad de medida que permitió cuantificarla (Arias, 2012).

3.2.1. Variable independiente

Para la presente investigación, la variable independiente fue el número de ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L, el cual fue variando hasta llegar a los 30 ciclos de estudio.

Conceptualmente se definió como los ciclos reiterativos de humedecido y secado que han generado deterioro en estructuras de concreto (Sánchez, 2001).

Operacionalmente se definió como la cantidad de ciclos continuos de humedecimiento y secado que fueron expuestos en las probetas de concreto en contacto con la solución de cloruro de sodio de 100 g/L

Las dimensiones no existen dado que solo basta con el indicador para su definición. El indicador fue el número de ciclos de humedecimiento y secado.

3.2.2. Variable dependiente

Para la presente investigación, la variable dependiente fueron las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia tales como el peso (propiedad física) y la resistencia a la compresión (propiedad resistente).

Conceptualmente se definió como las propiedades que ha adquirido el concreto en función a la pasta de cemento, agregados y condiciones de elaboración y curado (ASOCRETO, 2010).

Operacionalmente se definió como las propiedades físicas (peso) y resistentes (resistencia a la compresión) del concreto armado de mediana a baja resistencia, obtenidos mediante las normas respectivas, los cuales fueron expresados cuantitativamente a través de la unidad de gramos y kg/cm^2 .

Las dimensiones fueron las propiedades físicas y resistentes, y los indicadores fueron el peso del concreto de mediana a baja resistencia y la resistencia a la compresión del concreto.

3.2.3. Operacionalización de variables

En el Anexo C, en la Tabla C-7 se mostró la operacionalización de variables de la investigación.

3.3. ALCANCE Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Alcance de investigación

El proyecto de investigación ha definido lo que se ha investigado, de qué forma se hizo, en qué momento y con qué medios se llegó al objetivo (Arias, 2012). Así también, ha comprendido la estructura lógica y organizada del problema en estudio, objetivos, hipótesis, entre otros elementos según lo propuesto por el investigador (Balestrini, 2006).

Toda investigación ha conllevado al hallazgo y producción de un nuevo conocimiento en algún área de estudio, el cual ha podido estar orientado en ampliar registros teóricos denominado como investigación pura o haber sido de aplicación práctica para la solución de algún problema práctico denominado como investigación aplicada (Arias, 2012).

Para el presente trabajo, el alcance del estudio presentó una orientación teórica pues planteó el análisis de los efectos producidos con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.

3.3.2. Nivel de investigación

Para Arias (2012), el nivel de una investigación ha aludido al grado de profundidad con el que un objeto de estudio ha sido tratado. Además, ha podido ser clasificado en nivel exploratorio, descriptivo y explicativo; de los cuales, el nivel descriptivo ha contemplado la relación (investigación correlacional) y no relación de mediciones en variables independientes. Sin embargo, Hernández et al. (2014) mencionó que la vinculación correlacional, ha constituido una forma más en el nivel de investigación, por lo que los niveles han podido ser clasificados como tipo exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo.

El nivel de investigación explicativo además de haber descrito los conceptos y/o fenómenos en la investigación, o la interrelación entre ellos, ha explicado la razón y en qué condiciones se ha generado el efecto de la variable independiente en la variable dependiente del estudio (Hernández et al., 2014).

Para el desarrollo de la investigación, el nivel correspondiente fue explicativo, dado que se buscaron los efectos que se produjeron con el tiempo en las propiedades del concreto armado expuesto a diferentes ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.

3.4. ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación ha podido ser cualitativo o cuantitativo, este último ha estado conformado por un conjunto de procesos secuenciales, en el cual se dio inicio de una idea delimitada para la investigación, luego se originaron las preguntas y objetivos del estudio, que sumado a una revisión bibliográfica, generó un marco teórico, y a partir de ellos, se establecieron hipótesis y variables de investigación; después, se definió el plan para someterlas a prueba y su medición numérica; posteriormente, con base en métodos estadísticos se analizaron los resultados y se concluyó respecto de las hipótesis (Hernández et. al, 2014).

Para el presente estudio, el enfoque fue cuantitativo dado que se analizó numéricamente los efectos que se produjeron con el tiempo las propiedades como el peso y resistencia a la compresión del concreto armado de mediana a baja resistencia expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.

3.4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación ha representado el plan adecuado a seguir que ha contestado al problema en estudio, ha podido clasificarse de acuerdo con la fuente de datos y según la intervención o no de las condiciones del entorno de estudio (Arias, 2012).

En el enfoque cuantitativo, el diseño de investigación ha sido usado para determinar la veracidad de la hipótesis formulada y ha podido ser del tipo experimental y no experimental (Hernández et. al, 2014). El diseño experimental ha sido una estrategia en donde se ha manipulado una o más variables independientes para el análisis de sus efectos en las variables dependientes dentro de un entorno controlado por el investigador (Green, 2003). Además, ha

podido clasificarse en preexperimental, cuasiexperimental y experimentos puros (Campbell y Stanley, 1966).

El diseño del tipo experimental (cuasiexperimental) puro ha poseído control y validez interna si se han tenido grupos de comparación en el cual se ha manipulado la variable independiente y también ha tenido la característica, a diferencia de un experimento puro, la no aleatoriedad en el objeto de estudio (Hernández et. al, 2014).

Para la presente investigación, el diseño correspondiente fue cuasiexperimental dado que se manipuló a la variable independiente de número de ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L en el concreto armado de mediana a baja resistencia con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70, cuyos grupos de estudio han sido definidos previamente.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Población

La población, desde un enfoque estadístico, ha estado conformado por un conjunto finito o infinito de elementos con características en común, sobre los cuales se ha deseado investigar en base al problema y objetivos del estudio (Balestrini, 2006).

La población ha podido ser del tipo finita, infinita y accesible o muestreada; en la primera, se ha sabido la cantidad exacta de elementos, en la segunda, no se ha conocido la cantidad total de ellos y en la última, se ha podido obtener una muestra representativa de una muestra finita de la población estudiada (Arias, 2012).

Para el presente estudio, la población fue finita y estuvo conformada por las probetas de concreto simple y armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 que se han elaborado en laboratorio tal como se muestra en la Tabla N°4, lo que configuró 95 probetas por cada relación, lo cual generó un total de 285 probetas de concreto.

3.5.2. Muestra

La muestra, desde un enfoque estadístico, ha sido un subconjunto representativo de elementos de la población del cual se ha deseado obtener información (Balestrini, 2006). Asimismo, ha podido clasificarse como probabilística y no probabilística o también llamado dirigida; en la primera, los elementos que la han compuesto la muestra han tenido la misma probabilidad de ser seleccionados y fueron obtenidos mediante una selección aleatoria de las unidades de análisis, mientras que para la segunda, los elementos que la han compuesto no se rigieron por criterios estadísticos y fueron elegidos según el propósito del investigador con base en la investigación (Hernández et. al, 2014).

Para el presente estudio, la muestra fue no probabilística dado que se seleccionaron previamente con base a las características del tipo de concreto en la investigación; la muestra estuvo conformada por 95 probetas de concreto para cada relación a/c de mediana a baja resistencia: 0.60, 0.65 y 0.70, se subdividió así: para cada relación a/c, se utilizaron 20 probetas para el concreto patrón, 30 probetas para concreto simple, 30 probetas para concreto armado, y 15 probetas para ensayos de absorción como mostró en la Tabla N°3.

Tabla N°3 Cantidad de probetas en la investigación

Cantidad de probetas según tipo de concreto	Relación a/c		
	0.60	0.65	0.70
Concreto patrón (4" x 8")	20	20	20
Concreto simple (4" x 8")	30	30	30
Concreto armado (4" x 8")	30	30	30
Concreto para ensayo de absorción (4" x 8")	15	15	15
Subtotal de probetas	95	95	95
Total de probetas	285		

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnica de investigación

La técnica de investigación ha indicado el procedimiento para la obtención de datos, los cuales han sido almacenados por instrumentos de recolección (Arias, 2012).

Para la presente investigación, las técnicas empleadas fueron de observación y pruebas de laboratorio dado que se registró el número de ciclo y el peso de las probetas de concreto. Asimismo, en determinados ciclos (ciclo 4, ciclo

15 y ciclo 30), probetas de concreto simple fueron ensayadas por resistencia a la compresión.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos han podido ser los dispositivos, formatos en digital o papel, o cualquier otro recurso con el fin de haber llevado a cabo el procesamiento y análisis de datos orientado a la investigación (Arias, 2012).

El proceso de recolección de datos ha conllevado a considerar lo siguiente: ¿cuáles han sido las fuentes de información?, ¿dónde se han encontrado localizadas las fuentes?, ¿cuál ha sido el medio o método para la recolección de datos?, y finalmente, ¿de qué manera se ha analizado y respondido al problema en estudio? (Hernández et. al, 2014).

Para la presente investigación, las fuentes de los instrumentos de recolección de datos fueron numéricas basadas en registros y resultados de ensayos de laboratorio, las cuales se encontraron localizadas dentro de las instalaciones del LEM de la FIC en la UNI. Los instrumentos durante el desarrollo del estudio fueron la libreta de notas y los equipos de ensayos de laboratorio respectivos. Una vez finalizado, el análisis de la tendencia de los pesos y resistencias registradas respondieron a los efectos generados en las propiedades del concreto armado.

Para la variable independiente, es decir, el número de ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L, el instrumento empleado para la medición de su indicador de número de ciclos de humedecimiento y secado de la solución fue la libreta de notas y fue registrado para las tres relaciones a/c (en Anexo C, ver Tabla C-1).

Para la variable dependiente, es decir, las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia, los instrumentos empleados fueron la libreta de notas y los equipos del ensayo de resistencia de compresión para concreto según la NTP 339.034, el cual fue considerado en las tres relaciones a/c (ver Tabla C-1, Tabla C-2). Una vez obtenida la base de datos, la propiedad física (peso) y propiedad resistente (resistencia a la compresión) fueron sujetas a análisis (ver

Tabla C-3 y Tabla C-4). Complementariamente, se determinó el porcentaje de absorción del concreto antes y después de aplicado el método de corrosión y luego de 2 meses de finalizado (después del método) (ver Tabla C-5 y Tabla C-6).

Finalmente, la matriz de consistencia reunió todas las características de la investigación anteriormente mencionadas (ver la Tabla C-7).

3.6.3. Ensayos de agregados

A continuación, se han descrito los procedimientos de los ensayos realizados a los agregados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

i. Ensayos del agregado fino

a) Granulometría

INACAL (2020b) definió en la NTP 400.011 a la granulometría como la representación de la distribución de los tamaños de las partículas que han conformado el agregado. Para su obtención, se realizó la técnica del tamizado, el cual brindó las masas parcializadas retenidas del agregado en cada tamiz. Así también, indicó que la representación gráfica de la granulometría ha sido la curva granulométrica y para su obtención, en el eje de las abscisas han ido los logaritmos de las aberturas de los tamices y en el eje de las ordenadas, los porcentajes que han pasado o los retenidos acumulados.

Para la determinación de la gradación del agregado fino, se emplearon los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 (INACAL, 2020b). Asimismo, en la NTP 400.037 se establecieron los límites de porcentaje que pasa (en Anexo D, ver Tabla D-1) y se señaló que, no ha debido de haber más del 45% de material pasante entre dos tamices consecutivos (INACAL, 2021b).

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 400.012 fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se redujo a la cantidad de muestra según la NTP 400.043.
- Se secó la muestra a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se seleccionaron y se dispusieron los tamices correspondientes de manera decreciente al orden de abertura de los tamices.

- Se pesó la muestra seca inicial a utilizar (muestra nominal de ensayo: 500 gramos, muestra mínima: 300 gramos).
- Se colocó la muestra sobre el tamiz superior de la serie de tamices.
- Se encendió el sacudidor mecánico de tamices.
- Se registraron los pesos retenidos de la muestra en cada tamiz, y se consideró que el error máximo aceptable es del 0.3% de la muestra seca inicial.
- Se calculó el porcentaje que pasa, porcentaje retenido acumulado y graficar la curva granulométrica correspondiente (INACAL, 2021c).

b) Módulo de Finura

El módulo de finura (MF) fue definido como un índice que ha representado el tamaño medio aproximado del agregado (Abanto, 2009). INACAL (2021c) estableció en la NTP 400.012 que el factor MF ha sido hallado mediante la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la muestra del agregado en cada tamiz de la serie especificada y dividido por 100. Además, el valor determinado del MF ha debido ser un número entre 2.3 y 3.1 (INACAL, 2021b).

El valor fue obtenido de la siguiente manera (INACAL, 2021c):

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

c) Contenido de humedad

Pasquel (1998) definió al contenido de humedad como el agua superficial que se ha encontrado retenida por las partículas del agregado en un momento determinado. De la misma forma, Neville y Brooks (1998) lo definió como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie húmeda del agregado.

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.185 fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se seleccionó el tamaño de la muestra del material de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado (ver Tabla D-4).
- Se colocó la muestra en un recipiente y se colocó en el horno durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Se retiró el material del horno, se dejó enfriar y luego se registró la masa de la muestra seca al horno.
- Se calculó el contenido de humedad del agregado de la siguiente manera (INACAL, 2021d):

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{Masa inicial de muestra} - \text{Masa muestra seca}}{\text{Masa muestra seca}} \times 100$$

d) Peso unitario o Densidad aparente

INACAL (2020c) en la NTP 400.017 definió al peso unitario como la masa por unidad de volumen y lo clasificó en peso unitario compactado y suelto, los que fueron equivalentes a la densidad aparente compactada y suelta respectivamente. INACAL (2021e) aclaró en la NTP 339.047 que el término peso unitario fue obsoleto, y que, en su lugar, se empleó el término densidad aparente de agregado.

El procedimiento de muestreo para el ensayo basado en la NTP 400.017 fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se redujo a la cantidad de muestra según la NTP 400.043.
- Se secó la muestra a peso constante con una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (INACAL, 2021d).

Para hallar la densidad aparente compactada se empleó el método A (apisonado) ya que el tamaño máximo nominal (TMN) fue menor o igual a 37,5 mm (1 ½ pulg), cuyo procedimiento fue el siguiente (INACAL, 2021d).

- Se depositó la muestra del agregado en el recipiente cada tercio del mismo, con 3 capas en total. Por cada capa, se compactó con 25 golpes con la varilla de apisonado sin golpes el fondo del recipiente en la primera capa, o con la afectación de la capa previa en el caso de la segunda y tercera capa.
- Se enrasó el material y se registró la masa del recipiente junto con la muestra.
- Se registró la masa del recipiente vacío.
- Se determinó densidad aparente compactada (INACAL, 2021d).

Así también, el procedimiento del ensayo con el que se determinó la densidad aparente suelta fue el método C de paleo de la siguiente manera:

- Se depositó la muestra del agregado hasta que haya rebosado a una altura no mayor de los 5cm del borde superior del recipiente.
- Se enrasó el material y se registró la masa del recipiente junto con la muestra.
- Se registró la masa del recipiente.
- Se determinó densidad aparente suelta (INACAL, 2021d).

$$\text{Densidad de masa} = \frac{\text{Masa del agregado más el recipiente} - \text{Masa del recipiente}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

e) Peso específico o Densidad relativa

INACAL (2021f) en la NTP 400.022 indicó que el peso específico también ha sido llamado densidad relativa, el cual ha sido un número adimensional producto de la relación entre la masa del agregado y un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado. Así también, pudo ser definido como la relación entre la densidad de las partículas del agregado (término diferente a la densidad aparente que fue definida en la NTP 400.017) y la densidad del agua.

La densidad relativa ha podido ser expresada de tres formas: densidad relativa (gravedad específica) (SSS), densidad relativa (gravedad específica) (SH) y densidad relativa aparente (gravedad específica) (INACAL, 2021f).

INACAL (2002) en la NTP 400.021 estableció las siguientes definiciones, compatibles a los términos empleados en la NTP 400.021 de INACAL (2021f):

- Peso específico de masa superficialmente seco (SSS): relación entre la masa en el aire del agregado con volumen unitario, el cual ha incluido la masa de agua de los poros en las partículas a excepción de los poros entre las partículas, y la masa en el aire de idéntico volumen de agua destilada sin gas.
- Peso específico de masa: relación entre la masa en el aire del agregado con volumen unitario, el cual ha incluido poros permeables e impermeables en las partículas mas no los poros entre partículas, y la masa en el aire de idéntico volumen de agua destilada sin gas.

- Peso específico aparente: relación entre la masa en el aire del agregado con volumen unitario, el cual correspondió al material impermeable, y la masa en el aire de idéntico volumen de agua destilada sin gas.

Con base en la NTP 400.022 se utilizó el método gravimétrico cuyo procedimiento fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se redujo a la cantidad de muestra según la NTP 400.043.
- Se remojó la muestra en agua por 24 horas.
- Luego de las 24 horas, se vació el exceso de agua y se extendió la muestra sobre una superficie plana no absorbente.
- Se dejó secar y se verificó si la muestra se encontraba saturada superficialmente seca (SSS). Para ello, se llenó hasta un poco más del tope de un molde de forma de tronco de cono con una porción de la muestra, y luego se apisonó ligeramente con 25 golpes dejando caer la barra compactadora a 5mm sobre la superficie exterior del material. Para confirmar la condición SSS, se retiró el molde en dirección vertical, y se produjo una ligera caída de la muestra, por lo que se cumplió con el requerimiento.
- Se vació un poco de agua en el picnómetro y se introdujo 500 ± 10 gramos de la muestra SSS en él.
- Se llenó una mayor cantidad de agua hasta un 90% de su capacidad y se agitó manualmente para eliminar burbujas de aire.
- Se terminó de llenar con agua hasta que se llegó a la capacidad de calibración del picnómetro y se registró la masa total (picnómetro, muestra y agua).
- Se vació la mezcla interior en un recipiente y luego se colocó en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se dejó enfriar a temperatura ambiente por $1\text{h} \pm 1/2\text{h}$.
- Se registró la masa de la muestra seca al horno y se determinó el peso específico o densidad relativa de la siguiente forma (INACAL, 2021f):

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde: A fue la masa de la muestra seca al horno, B fue la masa del picnómetro lleno con agua hasta el nivel de calibración, C fue la masa del picnómetro lleno de muestra y agua hasta el nivel de calibración y S fue la masa de la muestra SSS.

f) Porcentaje de absorción

INACAL (2021e) en la NTP 339.047 definió a la absorción como el incremento de la masa del agregado generado por la inserción del agua en los poros permeables de las partículas, sin la inclusión del agua adherida en la superficie exterior de partículas. Asimismo, para Neville y Brooks (1998), la absorción ha representado el agua contenida del agregado saturado superficialmente seco.

Con base en la NTP 400.022, el valor fue obtenido así (INACAL, 2021f):

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{Masa de muestra SSS} - \text{Masa muestra seca al horno}}{\text{Masa muestra seca al horno}} \times 100$$

ii. Ensayos del agregado grueso

a) Granulometría

La definición fue presentada en la sección del agregado fino. INACAL (2020b) en la NTP 400.011 señaló que, para determinar la gradación del agregado grueso, se emplearon los tamices 4", 3½", 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8". De igual forma, INACAL (2021b) en la NTP 400.037 indicó los requerimientos en los límites granulométricos de porcentaje de material que pasa (ver Tabla D-9).

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 400.012 fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se redujo a la cantidad de muestra según la NTP 400.043.
- Se secó la muestra a una temperatura de 110°C ± 5°C.

- Se seleccionaron y se dispusieron los tamices correspondientes de manera decreciente al orden de abertura de los tamices.
- Se pesó la muestra seca inicial a utilizar en función del tamaño máximo nominal (ver Tabla D-10).
- Se colocó la muestra sobre el tamiz superior de la serie de tamices.
- Se encendió el sacudidor mecánico de tamices por un periodo adecuado.
- Se registraron los pesos retenidos de la muestra en cada tamiz, y se tuvo en cuenta el error máximo aceptable del 0.3% de la masa seca inicial empleada.
- Se calculó el porcentaje que pasa, porcentaje retenido acumulado y se graficó la curva granulométrica correspondiente (INACAL, 2021c).

b) Tamaño máximo

INACAL (2021b) en la NTP 400.037, definió al tamaño máximo (TM) como la abertura del menor tamiz por el cual ha pasado todo el agregado grueso.

c) Tamaño máximo nominal

INACAL (2021b) en la NTP 400.037, definió al tamaño máximo nominal (TMN) como la abertura del tamiz más pequeño de la serie empleada que generó el primer retenido de la muestra, con valor entre el 5% y 15% del total del material.

d) Módulo de finura

La definición y forma de obtención fue la misma que en agregado fino.

e) Contenido de humedad

La definición y forma de obtención fue la misma que en agregado fino.

f) Peso unitario o Densidad aparente

La definición y forma de obtención fue la misma que en agregado fino.

g) Peso específico o Densidad relativa

La definición fue presentada en la sección del agregado fino, el procedimiento del ensayo por lavado de agua basado en la NTP 400.021 fue así:

- Se dispuso de la cantidad de agregado según la NTP 400.010.
- Se redujo a la cantidad de muestra según la NTP 400.043.
- Se seleccionó la cantidad de masa como muestra para el ensayo según el tamaño máximo nominal (ver Tabla D-17).
- Se remojó la muestra en agua por 24 horas.
- Luego de las 24 horas, se vació el exceso de agua y se rodó la muestra sobre una superficie plana vasta y absorbente.
- Una vez que el material se encontró saturada superficialmente seca, se registró la masa de la muestra a ensayar.
- Se registró también la masa aparente del contenedor
- Se colocó la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas y se dejó enfriar a temperatura ambiente entre 1h a 3h.
- Se registró la masa de la muestra seca al horno y se determinó el peso específico o densidad relativa (INACAL, 2020d).

Los valores fueron obtenidos de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa (peso específico de masa)} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Densidad relativa SSS (peso específico SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (peso específico aparente)} = \frac{A}{A - C}$$

Donde: A fue la masa de la muestra seca al horno, B fue la masa de la muestra SSS y C fue la masa aparente de la muestra.

h) Porcentaje de absorción

La definición y forma de obtención fue la misma que en agregado fino.

iii. Ensayos del agregado global

La optimización de la combinación de agregados para la mezcla del concreto ha cobrado mayor importancia a causa de la menor emisión de carbono, uso de energía y costo (Karadumpa y Pancharathi, 2021). La dosificación de agregados de manera conjunta ha dado como resultado una mayor densidad de la mezcla y menor cantidad de vacíos, lo cual ha reducido la cantidad de cemento empleado (Kwan et al., 2015).

La presente investigación ha empleado el método del agregado global y el módulo de finura para el diseño de mezcla de un concreto económico y de calidad, ha sido necesario encontrar el máximo valor del peso unitario compactado del agregado global, el cual ha garantizado, como primera aproximación, la máxima densidad y el mínimo volumen de vacíos, donde luego se ha optimizado la cantidad de materiales según los requerimientos del concreto (Cachay, 1995).

a) Peso Unitario Compactado

Con base en el método del agregado global y el módulo de finura para el diseño de mezcla de un concreto económico y de calidad, ha sido necesario encontrar, como primera aproximación, el máximo valor del peso unitario compactado del agregado global, el cual ha garantizado la máxima densidad y el mínimo volumen de vacíos, donde luego se ha optimizado la cantidad de cemento empleado (Cachay, 1995).

b) Granulometría

Los límites granulométricos para el agregado global según los Husos DIN 1045 han sido mostrados en la Tabla N°4. Así también, para la determinación de la granulometría se ha considerado la proporción de agregados que ha generado el máximo valor del peso unitario compactado del agregado global.

Tabla N°4 Límites granulométricos del agregado global (Husos DIN 1045)

TAMIZ	Porcentaje Acumulado que pasa		
	Huso I	Huso II	Huso III
37,50 mm (1 1/2 pulg)	100	100	100
19,00 mm (3/4 pulg)	62	80	89
12,50 mm (1/2 pulg)	38	62	77
4,75 mm (No. 4)	23	47	65

2,36 mm (No. 8)	14	37	53
1,18 mm (No. 16)	8	28	42
300 µm (No. 50)	2	8	15

Fuente: Husos DIN 1045

3.7. DESARROLLO POR ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

En la primera etapa, se buscó información relacionada al proceso de degradación del acero, concreto simple y concreto armado a causa de ciclos de humedecimiento y secado de una solución de cloruro de sodio donde se hayan analizado las variaciones en las propiedades físicas y resistentes. Las fuentes de información estuvieron compuestas por investigaciones internacionales y nacionales, entre papers, tesis, libros y revistas.

En la segunda etapa, se definió el problema, objetivo e hipótesis general junto con sus pares específicos y se sentaron las bases teóricas y metodológicas del estudio. Asimismo, se obtuvieron los materiales a utilizar para la elaboración del concreto y demás formatos de uso para el LEM de la FIC en la UNI.

En la tercera etapa, se determinaron las propiedades físicas de los agregados mediante ensayos de laboratorio para el diseño de mezcla del concreto de mediana a baja resistencia. Luego, las probetas de concreto se curaron hasta que alcanzaron los 28 días de edad, después, se determinaron las propiedades del concreto patrón en resistencia a la compresión y porcentaje de absorción y se dio inicio al método de corrosión acelerado basado en ciclos de humedecimiento y secado durante el tiempo establecido y fueron realizados ensayos en determinados ciclos (ver Capítulo VIII).

En la cuarta etapa, se analizaron los resultados de laboratorio recolectados para las propiedades físicas y resistentes del concreto armado. Finalmente, se arribaron a conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Por último, en el Anexo C, en la Figura C-1 se adjuntó el certificado emitido por el LEM donde señala el periodo de las actividades realizadas de la investigación.

CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

4.1. GENERALIDADES

Los componentes del concreto como el agua, la pasta de cemento, los agregados, el aire atrapado, aditivos y adiciones que han podido utilizarse, determinaron las características y propiedades del mismo, razón por la cual, con el estudio correspondiente de los materiales ha podido obtenerse un concreto de calidad y económico (Sánchez, 2001). Los agregados han ocupado entre el 60 y 75% de volumen absoluto total del concreto, de ahí que han ejercido influencia en las características y propiedades del concreto considerablemente (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 1994).

Para la presente investigación, se han empleado los siguientes materiales: agua, cemento Portland Tipo I Sol, agregado fino y agregado grueso, los cuales se describieron a continuación.

4.2. AGUA

4.2.1. Generalidades

El agua ha sido el componente que ha desencadenado la reacción de hidratación del cemento y ha aportado en la trabajabilidad de la mezcla en el estado fresco y la estructura de vacíos necesaria para el desarrollo de los productos de hidratación (Neville, 2013).

Según Matallana (2019), el agua utilizada ha podido clasificarse en, agua de mezclado, el cual participó en la hidratación del cemento y en la trabajabilidad del conjunto; agua de curado, el cual continuó con la reacción de hidratación e incrementa el potencial cementante; y finalmente, agua de lavado en agregados de haber sido necesario.

Sin embargo, si el agua de mezclado ha presentado impurezas, tanto la resistencia como la durabilidad del concreto han sido reducidas. Los efectos se han podido observar en los tiempos de fraguado y en las resistencias alcanzadas. En el caso de que el agua haya contenido grandes cantidades de cloruros, se ha visto una humedad persistente, eflorescencia en la superficie e incremento de corrosión en el acero de refuerzo (Gambhir, 2006).

4.2.2. Principales requisitos

Según el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2021a), en la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.088, se ha podido emplear agua potable como agua de mezcla para la elaboración de concreto sin necesidad de haber verificado su conformidad con los requerimientos de la norma. Caso contrario, se ha permitido el uso del agua compuesta total o parcialmente de fuentes de agua no potables o procedentes de operaciones de producción de concreto solo si han cumplido con los límites dispuestos en la norma y los requerimientos de la Tabla N°5.

Tabla N°5 Especificaciones del concreto que contiene el agua de mezcla

Especificaciones	Límites
Resistencia a compresión, porcentaje mínimo con relación a la muestra control a 7 días.	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas: minutos.	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde

Fuente: INACAL (2021a).

Asimismo, se dispuso en la Tabla N°6 los límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada, la cual ha sido definida como la mezcla de dos o más fuentes de agua.

Tabla N°6 Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada

Descripción	Límite
Concentración máxima en el agua de mezcla combinada, partes por millón (ppm)	
A. Cloruro como Cl ⁻ , ppm	
1. En concreto pretensado, tableros de puentes o designados de otra manera.	500
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes.	1000
B. Sulfatos como SO ₄ ²⁻ , ppm	3000
C. Álcalis como (Na ₂ O + 0,658K ₂ O), ppm	600
D. Sólidos totales por masa, ppm	50000

Fuente: INACAL (2021a).

El agua utilizada para la elaboración y curado del concreto fue el agua potable que suministró al Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), el cual cumplió con los requerimientos de la NTP 339.088.

4.3. CEMENTO

4.3.1. Generalidades

El cemento ha sido un material con características adhesivas y cohesivas, las cuales le brindaron la capacidad de aglutinar minerales configurando así un todo macizo, por lo que se usó al cemento calcáreo principalmente en la construcción pues ha sido acompañado con piedras, arena, ladrillos, etc. Asimismo, los cementos que fueron capaces de fraguar y endurecer por la acción del agua son llamados cementos hidráulicos, lo cuales fueron compuestos por aluminatos y silicatos de cal y clasificados en cementos naturales, de alta alúmina y Portland (Neville, 2013).

4.3.2. Principales requisitos

INACAL (2020a) indicó en la NTP 334.009 que, los cementos han de estar compuestos por clínker de cemento Portland, agua o sulfato de calcio o ambos, adiciones calcáreas y adiciones orgánicas e inorgánicas de proceso, las cuales han sido sujetas a límites establecidos en la norma. De igual manera, señaló los requisitos físicos y químicos obligatorios y opcionales para los cementos Portland.

El cemento empleado para la elaboración de concreto fue el cemento Portland Tipo I SOL, el cual fue obtenido por los procesos de molienda de clínker y yeso de manera conjunta, y comercializado en bolsas de 42.5 kg de peso y forrado con 4 pliegos. En la Tabla N°7 se han mostrado algunas de las propiedades correspondientes al cemento utilizado, las cuales cumplieron con la NTP 334.009 (Unión Andina de Cementos [UNACEM], 2012).

Tabla N°7 Propiedades Físicas del Cemento Portland Tipo I Sol

Parámetro	Unidad	Cemento Portland Tipo I Sol	Requisitos NTP 334.009 (2020)
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	336	Mínimo 260
Resistencia a la compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	310	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	377	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	438	Mínimo 285*
Tiempo de fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Mínimo 375
Composición química			

MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	1.92	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.70	Máximo 1.5
Fases mineralógicas			
C ₂ S	%	11.9	No específica
C ₃ S	%	54.2	No específica
C ₃ A	%	10.1	No específica
C ₄ AF	%	9.70	No específica

Nota: * requisito opcional

Fuente: adaptado de UNACEM (2012)

4.4. AGREGADOS

4.4.1. Generalidades

INACAL (2021b) definió en la NTP 400.037 al agregado como un material granular, de procedencia natural o artificial tal como la arena, grava, piedra triturada, entre otros, los cuales han sido utilizados con un medio cementante para elaborar mortero o concreto hidráulico. Adicionalmente, los agregados se clasificaron según su procedencia, densidad y gradación, esta última se refirió a la distribución volumétrica de las partículas y se ha tenido al agregado fino y grueso (Pasquel, 1998).

De acuerdo con Neville (2013), los agregados al conformar gran parte del volumen de mezcla del concreto, suministraron una mayor estabilidad volumétrica y durabilidad que si solo se utilizara cemento y dado su costo viable, contribuyeron a la consideración del concreto como un material económico de construcción.

4.4.2. Agregado Fino

INACAL (2021b) estableció en la NTP 400.307, que el agregado fino ha provenido de fuentes de arena natural, arena manufacturada u otro agregado reciclado o una combinación de ellos; además, ha atravesado el tamiz normalizado de 9.5 mm (3/8 pulg), y casi en su totalidad ha pasado el tamiz de 4.75 mm (N°4), y es retenido en el tamiz 75 µm (N°200).

El agregado fino empleado provino de la cantera Valle Grande, ubicado en el distrito de Lurigancho, provincia y departamento de Lima.

4.4.3. Agregado Grueso

INACAL (2021b) señaló en la NTP 400.307, que el agregado grueso ha provenido de fuentes de grava, piedra chancada, concreto chancado, concreto reciclado o una combinación de ellos; además, ha sido retenido en el tamiz normalizado de 4.5 mm (N°4).

El agregado grueso empleado provino de la cantera Carapongo, ubicado en el distrito de Lurigancho, provincia y departamento de Lima.

4.4.4. Agregado Global

INACAL (2021e) indicó en la NTP 339.047, que el agregado global ha estado conformado por agregado fino y grueso, además ha estado normalizado granulométricamente.

El agregado global empleado fue el resultado de la mezcla de agregado fino y grueso de la investigación.

4.5. ENSAYOS DE AGREGADOS

4.5.1. Agregados

Tal como se mencionó en la numeración 3.6.3, el agregado fino y grueso utilizados en la investigación han provenido de las canteras Valle Grande y Carapongo respectivamente.

4.5.2. Resumen de las propiedades del agregado fino y grueso

Los resultados de los ensayos se han mostrado en la Tabla N°8, y los cálculos respectivos para su determinación, han sido dispuestos en el Anexo D.

Tabla N°8 Resumen de las propiedades físicas del agregado fino y grueso

Propiedades físicas de los agregados	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico de masa superficialmente seco	gr/cm ³	2.64	2.69
Peso específico aparente	gr/cm ³	2.71	2.71
Peso específico de masa	gr/cm ³	2.59	2.67
Porcentaje de absorción	%	1.72	0.55
Peso Unitario Suelto (PUS)	Kg/m ³	1552	1397
Peso Unitario Compactado (PUC)	Kg/m ³	1662	1544
Contenido de humedad	%	3.14	0.35
Módulo de finura	-	3.01	7.60
Tamaño máximo	-	-	37,50 mm (1½ pulg)
Tamaño Nominal Máximo	-	-	25,40 mm (1 pulg)

4.5.3. Resumen de propiedades del agregado global

a) Peso Unitario Compactado

En la presente investigación, en función a diferentes proporciones de peso de agregado fino y grueso, se varió en $\pm 2.5\%$ y se determinó el peso unitario compactado promedio.

La proporción en peso de agregado fino empleado fue de 42.50, 45.00, 47.50, 50.00, 52.50, 55.00 y 57.50%, mientras que, para el agregado grueso, fue de 57.50, 55.00, 52.50, 50.00, 47.50, 45.00 y 42.50% respectivamente. En la Figura N°5, se ha mostrado de manera gráfica el peso unitario compactado promedio para cada arreglo proporcional de agregados.

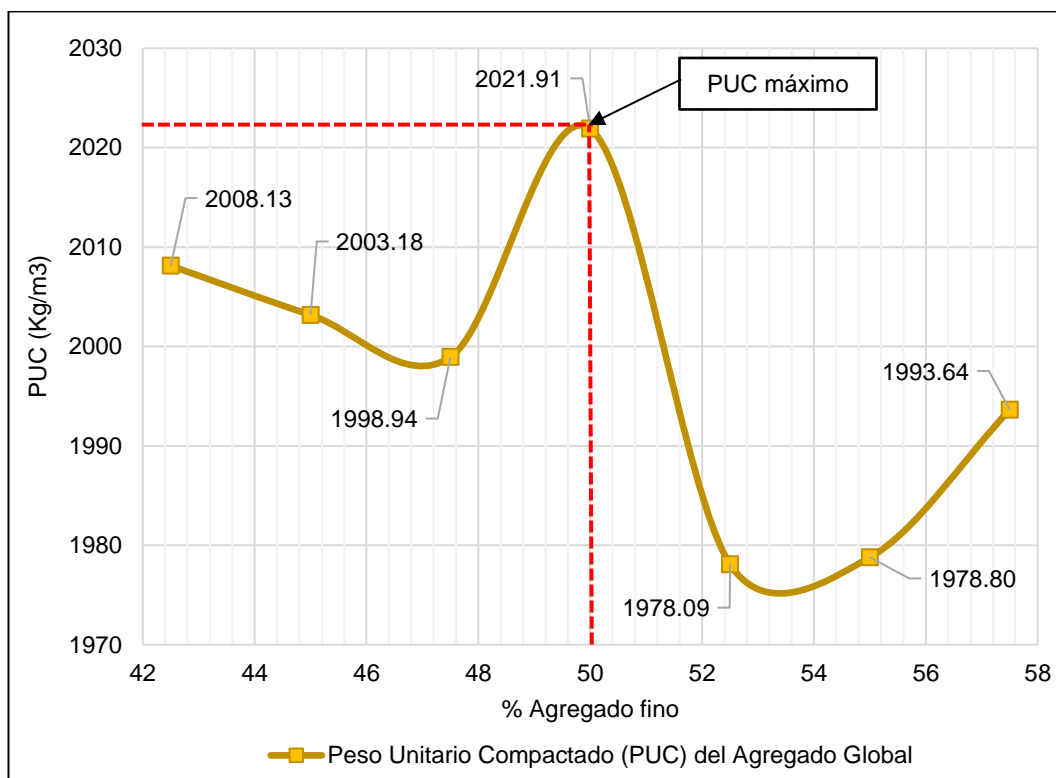


Figura N°5 Peso Unitario Compactado vs % de agregado fino

Del gráfico se observó que, el mayor valor de peso unitario compactado del agregado global, es decir, la máxima compactación de la mezcla de agregados correspondió a la proporción de 50% de agregado fino y 50 % de agregado grueso.

El tratamiento de datos de peso unitario compactado del agregado global y los cálculos respectivos han sido dispuestos en el Anexo D.

b) Granulometría

En el ítem anterior, se determinó que la proporción en peso del 50% de agregado fino y 50% de agregado grueso han producido el mayor valor de peso unitario compactado del agregado global. Gracias a ello, se obtuvo la curva granulométrica mostrada en la Figura N°6.

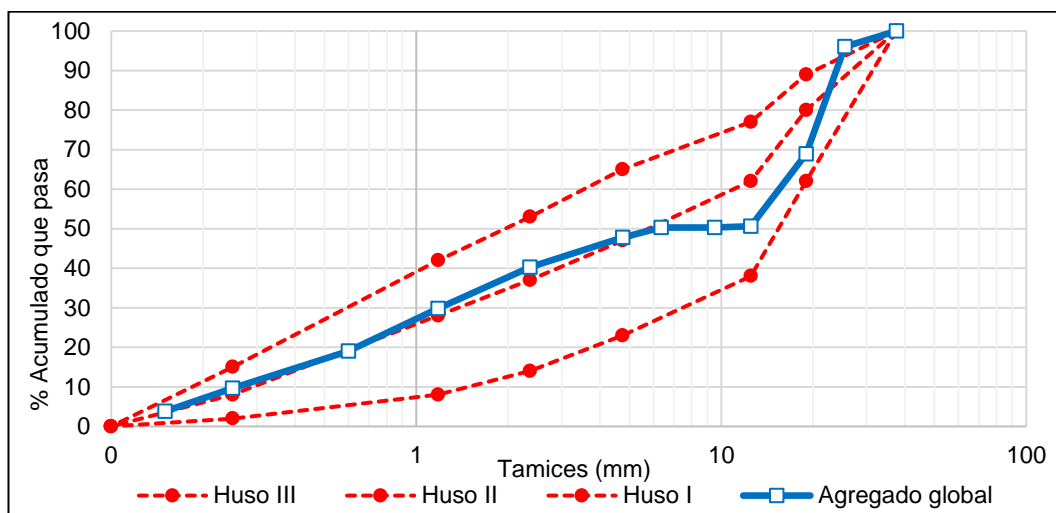


Figura N°6 Curva granulométrica del agregado global

Los cálculos correspondientes para la determinación de la granulometría han sido dispuestos en el Anexo D.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS

5.1. GENERALIDADES

El diseño de mezcla del concreto ha sido un proceso en el cual se han seleccionado los componentes en proporciones adecuadas con el objetivo de que el producto haya sido económico y haya cumplido con las especificaciones mínimas de manejabilidad, resistencia y durabilidad según sea requerido (Neville y Brooks, 1998).

Abanto (2009) indicó que, para la definición de las proporciones de los materiales para diseño del concreto, ha sido necesario realizar un balance económico y técnico en cuanto a las propiedades requeridas, las cuales han sido establecidas en función del uso final de la estructura y condiciones de mezclado y colocación en su elaboración.

Para la presente investigación, los ensayos realizados para el diseño de mezcla del concreto se ejecutaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

5.2. REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA

Matallana (2019) mencionó que los principales requerimientos para una mezcla de concreto han sido la economía y la trabajabilidad en el estado fresco, mientras que, para el estado endurecido, han sido la resistencia, durabilidad, densidad y aspecto final.

Para Sánchez (2001) han existido tres áreas que han debido ser atendidas para un diseño de mezcla del concreto tales como:

- **Economía:** la disponibilidad económica ha estado relacionada con el costo de los materiales (agregados, cemento, agua y aditivos), mano de obra, maquina a emplear y el grado de control de calidad en la obra. Por ello, el diseño de mezcla ha tenido que ser eficiente en la optimización y propiedades de cada uno de los materiales componentes y la mezcla producida ha tenido que ser manejable para el no incremento de costos de mano de obra ni la generación de inconvenientes en los procesos.

- Especificaciones: las especificaciones de cada obra han dependido del tipo de estructura, condiciones ambientales, sistema constructivo, tiempo y costos del proyecto, etc., los cuales han asignado las características y propiedades particulares que el concreto ha tenido que cumplir tales como: asentamiento, resistencia a la compresión, máxima relación a/c, aditivos, entre otros.
- Tecnología existente: la tecnología existente de acuerdo con la magnitud de la obra ha sugerido diferentes sistemas de dosificación del concreto, así como también una amplia variación en procesos de elaboración, transporte, colocación y curado, los cuales han intervenido en las propiedades del concreto (Sánchez, 2001).

5.3. FACTORES QUE CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE MEZCLA

Zongjin (2011) mencionó los siguientes factores a considerar para el diseño de mezcla del concreto.

- Relación a/c: la selección de la relación agua/cemento ha sido por criterios de resistencia a la compresión y por durabilidad en función a las características del entorno para la estructura de concreto.
- Trabajabilidad: la trabajabilidad ha sido determinada en función a la fluidez y la cohesión; la primero ha estado referida a la geometría y distribución de los elementos, y el segundo, al grado de compactación.
- Tipo de cemento: las propiedades del cemento empleado han dependido de la resistencia desarrollada, del ataque químico y el clima.
- Granulometría de agregados: la granulometría de los agregados ha influido en las propiedades del concreto y para el espaciamiento del refuerzo en caso se haya tratado concreto armado (Zongjin, 2011).

5.4. CRITERIO DEL DISEÑO DE MEZCLA

Distintos métodos para diseños de mezcla de concreto han sido propuestos, los cuales han sido de carácter analítico, experimental, semianalítico y empírico. Asimismo, el costo del cemento comparado con el de los agregados ha sido mayor, razón por la cual, una adecuada proporción de materiales ha permitido disminuir la cantidad de cemento sin la afectación de las propiedades requeridas del concreto (ASOCRETO, 2010).

Neville y Brooks (1998) afirmaron que un diseño de la mezcla de concreto exacto no ha sido posible, pues ha supuesto una óptima combinación de materiales cuyas propiedades, dada su naturaleza, no han podido ser determinadas de forma precisa. Por ello, para la obtención de un diseño de mezcla adecuado, se han comprobado las proporciones determinadas por medio de mezclas preliminares (o de prueba) para la mejora en las proporciones utilizadas.

Gambhir (2006) mencionó que las mezclas preliminares han tenido un enfoque experimental para la producción de una mezcla de concreto con la mínima cantidad de vacíos y de máxima densidad. Para ello, se ha mezclado agregado fino y grueso, de tal manera que, el máximo peso del conjunto (agregado global o combinado) haya garantizado la máxima materia sólida y por lo tanto, la menor cantidad de vacíos, lo cual ha necesitado de menor cantidad de cemento para la producción de un concreto económico con determinado a/c y asentamiento.

Pasquel (1998) destacó el estudio de la granulometría de los agregados para la optimización en el acomodo de las partículas, ya que ha ayudado a la elaboración de un producto compacto, trabajable y resistente. Asimismo, Karadumpa y Pancharathi (2021) mencionaron que la contribución de la densidad a la mezcla debido a los agregados es mayor comparado con la fase aglomerante.

Adicionalmente, se ha notado que una alta cantidad de agregado grueso junto con una mínima cantidad de finos y un mínimo contenido de cementos ha producido mezclas ásperas con baja trabajabilidad. (Sbia et al., 2015). Razón por la cual, la trabajabilidad ha tenido que ser evaluada con la consideración del efecto combinado de los agregados y la pasta (Zhang et al., 2020).

Cachay (1995) desarrolló el método del módulo de finura y combinación de agregados (método del agregado global) para el diseño de mezcla del concreto, el cual ha estado basado en la compacidad de la granulometría total de agregados y en las propiedades del concreto según la relación a/c, asentamiento, entre otros.

5.5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA

Para la presente investigación, el método de diseño para la mezcla del concreto fue el del módulo de finura y combinación de agregados (agregado global) desarrollado por Cachay en 1995.

5.6. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA

Una vez determinadas las propiedades físicas de los agregados y el cemento, la secuencia para el diseño de mezclas del método del módulo de finura y combinación de agregados (método del agregado global) fueron los siguientes:

- a) Se definió la resistencia a la compresión según requerimientos.
- b) Se eligió el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- c) Se definió el valor de asentamiento a obtener en la mezcla.
- d) Se definió el uso o no del aire incorporado en la mezcla, y se estimó el porcentaje de aire atrapado por m³ de mezcla en función del TMN del agregado grueso de las Tabla del ACI 211 (ver en Anexo E, Tabla E-1).
- e) Se definió la cantidad de agua por m³ de mezcla.
- f) Se seleccionó la relación a/c según condiciones de resistencia y durabilidad.
- g) Se halló el peso del cemento a partir de la relación a/c y de la cantidad de agua definida previamente así:

$$\text{Peso}_{\text{cemento}} = \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{\text{Relación a/c}}$$

- h) Se halló el volumen absoluto (Vol. Abs.) del agua y el cemento así:

$$\text{Vol. Abs.}_{\text{agua}} = \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{\text{Peso específico}_{\text{agua}}}$$

$$\text{Vol. Abs.}_{\text{cemento}} = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico}_{\text{cemento}}}$$

- i) Se halló el volumen absoluto ocupado por los agregados así:

$$\text{Vol. Abs.}_{\text{agregados}} = 1 - (\text{Vol. Abs.}_{\text{cemento}} + \text{Vol. Abs.}_{\text{agua}} + \text{Vol. Abs.}_{\text{aire atrapado}})$$

- j) Se halló el volumen absoluto del agregado fino y grueso considerando que:

$$\text{Vol. Abs.}_{\text{ag. fino}} + \text{Vol. Abs.}_{\text{ag. grueso}} = \text{Vol. Abs.}_{\text{agregados}}$$

$$\% \text{ Ag. Fino} = \frac{\text{PE}_{\text{ag. fino}} * \text{Vol. Abs.}_{\text{ag. fino}}}{\text{PE}_{\text{ag. fino}} * \text{Vol. Abs.}_{\text{ag. fino}} + \text{PE}_{\text{ag. grueso}} * \text{Vol. Abs.}_{\text{ag. grueso}}}$$

- k) Se hallaron los pesos secos del agregado fino y grueso así:

$$\text{Peso seco}_{\text{ag. fino}} = \text{Vol. Abs.}_{\text{ag. fino}} * \text{PE}_{\text{ag. fino}}$$

$$\text{Peso seco}_{\text{ag. grueso}} = \text{Vol. Abs}_{\text{ag. grueso}} * \text{PE}_{\text{ag. grueso}}$$

- l) Se halló la cantidad de agua aportada por el agregado fino y grueso así:

$$\text{Agua}_{\text{ag. fino}} = \frac{\text{Peso seco}_{\text{ag. fino}} * (\%CH_{\text{ag. fino}} - \%Absorción_{\text{ag. fino}})}{100}$$

$$\text{Agua}_{\text{ag. grueso}} = \frac{\text{Peso seco}_{\text{ag. grueso}} * (\%CH_{\text{ag. grueso}} - \%Absorción_{\text{ag. grueso}})}{100}$$

- m) Se halló la corrección de la cantidad de agua en la mezcla así:

$$\text{Agua}_{\text{mezcla corregida}} = \text{Agua}_{\text{inicial}} - (\text{Agua}_{\text{ag. fino}} + \text{Agua}_{\text{ag. grueso}})$$

- n) Se hallaron los pesos húmedos del agregado fino y grueso así:

$$\text{Peso húmedo}_{\text{ag. fino}} = \text{Peso seco}_{\text{ag. fino}} * (1 + \%CH_{\text{ag. fino}})$$

$$\text{Peso húmedo}_{\text{ag. grueso}} = \text{Peso seco}_{\text{ag. grueso}} * (1 + \%CH_{\text{ag. grueso}})$$

- o) Se culminó el diseño de mezcla para un 1m³ de concreto con los pesos de cemento, agua y pesos húmedos de agregados.

5.7. APLICACIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA

A continuación, se ha mostrado la secuencia de pasos descritos en el ítem anterior solo para uno de los diseños preliminares, los cuales han sido los mismos procedimientos para los diseños de mezcla tanto preliminares como finales. En el Anexo E se ha mostrado todo el proceso realizado para el diseño de mezcla.

5.7.1. Diseño de mezcla preliminar

En la Figura N°7 se obtuvo que, la proporción en peso de agregados que produjo el mayor valor de peso unitario compactado fue del 50% tanto en agregado fino como en agregado grueso. Estos porcentajes han simbolizado la primera aproximación para la obtención de un concreto económico pues ha presentado un mínimo de vacíos y la optimización de la cantidad de cemento en la mezcla.

Para la investigación, se han utilizado concretos de mediana a baja resistencia, cuyas relaciones a/c fueron de 0.60, 0.65 y 0.70, de las cuales, ha sido elegida la relación promedio a/c de 0.65 para los diseños de mezcla preliminares.

a) Agua patrón

El objetivo de esta etapa fue obtener la cantidad de agua empírica que haya producido un concreto de relación a/c de 0.65 un asentamiento de 4". Para ello, se varió la cantidad de agua por m³ en diseño seco y se emplearon las propiedades físicas de los agregados (ver Tabla N°9) y la proporción adecuada producto del máximo valor del PUC del agregado global (primera aproximación: 50% para agregado fino y 50% para agregado grueso, ver Figura N°6).

A continuación, se ha mostrado la secuencia aplicada al diseño de mezcla preliminar (Diseño de Mezcla 1 para agua patrón), este procedimiento ha sido el mismo para el resto de los diseños.

Las propiedades de los agregados han sido mostradas en la Tabla N°9.

Tabla N°9 Propiedades de agregados para diseño de mezcla

Propiedades físicas de los agregados	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso Específico (PE)	gr/cm ³	2.59	2.67
Peso Unitario Suelto (PUS)	Kg/m ³	1552	1397
Peso Unitario Compactado (PUC)	Kg/m ³	1662	1544
Contenido de Humedad (CH%)	%	3.14%	0.35%
Porcentaje de Absorción (%Abs)	%	1.72%	0.55%
Tamaño Nominal Máximo (TMN)	-	-	1"
Módulo de Finura (MF)	-	3.01	7.60

De igual manera, la propiedad de peso específico para el cemento Portland tipo 1 Sol ha sido 3.15 gr/cm³.

- a) La resistencia a la compresión fue dada por la relación a/c base de 0.65.
- b) El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue 1".
- c) El valor del asentamiento a obtener en la mezcla se encontró en el rango de 3" a 4".
- d) No se empleó aire incorporado a la mezcla de concreto y según el TMN de 1" del agregado grueso, el aire atrapado fue del 1.5% (ver Tabla E-1).
- e) La cantidad de agua por m³ de concreto fue definida por tanteo, la cantidad inicial considerada fue 250 litros.
- f) La relación a/c de 0.65 permaneció invariable por motivo de investigación.
- g) Se realizó los cálculos hasta la determinación de los pesos húmedos de agregados, cantidad de agua corregida y cemento, estos valores se convirtieron numéricamente para una tanda de 50 kg en laboratorio.

El resumen de los cálculos realizados se mostró en la Tabla N°10.

Tabla N°10 Diseño de Mezcla 1 para agua patrón, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	384.615	0.122	1.000	384.615	1.000	8.48
Agua	250.000	0.250	0.650	240.405	0.625	5.30
Arena	794.743	0.306	3.179	819.692	2.131	18.08
Piedra	819.409	0.306	1.031	822.277	2.138	18.14
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			5.894	50.00

Luego de realizado el ensayo de asentamiento para cada una de las mezclas, se determinó que el agua patrón es de 288 litros por m³ de concreto, es decir, la cantidad empírica que generó 4" de asentamiento (ver Figura N°7).

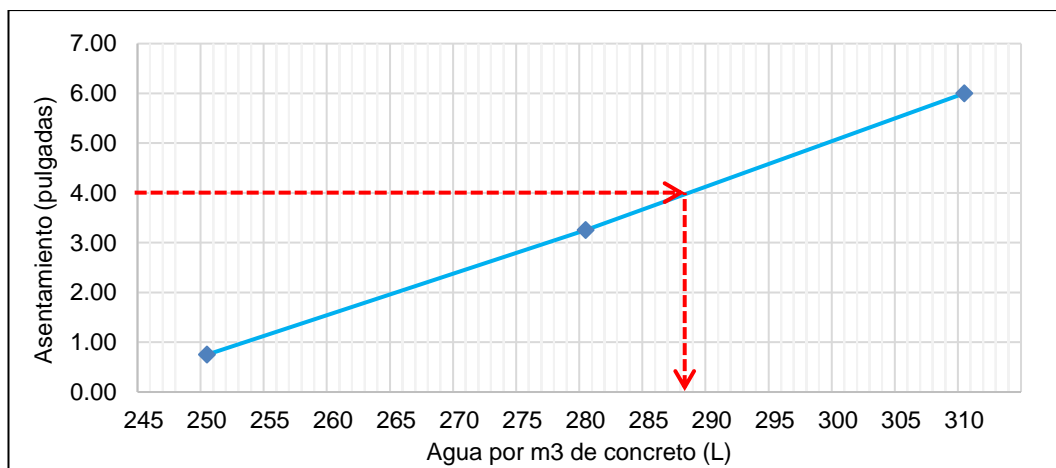


Figura N°7 Agua por m3 de concreto vs. Asentamiento, a/c de 0.65

b) Relación de agregados por resistencia

Luego de la obtención del agua patrón de 288 litros por m³, se realizó una segunda aproximación para la optimización de la proporción en peso de agregados para el diseño de mezcla final ya que, un valor máximo de peso unitario compactado del agregado global, que ha originado una mínima cantidad de vacíos, no ha sido suficiente para la obtención de un concreto trabajable y de resistencia a la compresión adecuada pues solo se ha considerado la granulometría del agregado global y no la de la pasta de cemento.

Para ello, se varió la proporción en peso de agregados en $\pm 3\%$ como se mostró en la Tabla N°11.

Tabla N°11 Proporción en peso de agregados

% Agregado fino	% Agregado grueso
47.00%	53.00%
50.00%	50.00%
53.00%	47.00%
56.00%	44.00%

En base a estas combinaciones, se realizaron nuevos diseños de mezcla, los cuales fueron mostrados en el Anexo E. Con las cantidades mostradas, se elaboraron probetas de concreto que, luego de 7 días de edad, fueron ensayadas por resistencia a la compresión para la determinación de aquella combinación que haya presentado el valor máximo alcanzado. En la Tabla N°12 y Figura N°8 se observaron los resultados obtenidos.

Tabla N°12 Resumen de ensayo de resistencia a la compresión, a/c de 0.65

Agregados		Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
% Agregado fino	% Agregado grueso	
47.00%	53.00%	225.42
50.00%	50.00%	235.90
53.00%	47.00%	212.37
56.00%	44.00%	218.68

En la Figura N°8 se observó la superposición de gráficas del Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado global y la resistencia a la compresión alcanzada según el porcentaje de agregado fino empleado, y se determinó que la proporción en peso de agregado fino y grueso definitivo fue de 49.60% y 50.40% respectivamente. En el Anexo E se ha mostrado con mayor amplitud la información obtenida.

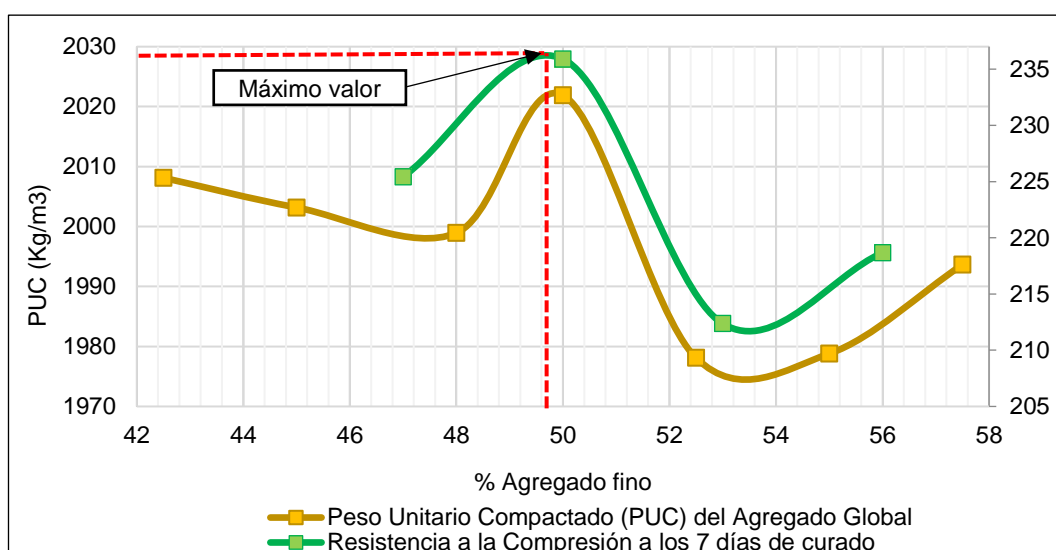


Figura N°8 Superposición de PUC y Resistencia a la compresión, a/c de 0.65

5.7.2. Diseño de mezcla final

En esta última fase del diseño, las proporciones en peso de agregados determinados en el ítem anterior han sido los definitivos, es decir, se presentó una participación del 49.60% para el agregado fino y el 50.40% para el agregado grueso para el diseño de mezcla final del concreto en las tres relaciones a/c.

El diseño de mezcla final se logró luego de encontrada la cantidad de agua por m³ de concreto que haya garantizado un asentamiento en el rango de 3" – 4" para cada una de las relaciones a/c de la presente investigación.

A continuación, en la Tabla N°13, Tabla N°14 y Tabla N°15, se mostraron los diseños definitivos para una tanda de 50 kg en laboratorio.

Tabla N°13 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.60

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	458.333	0.146	1.000	458.333	1.000	10.19
Agua	275.000	0.275	0.600	258.475	0.564	5.75
Arena	747.625	0.280	2.719	768.398	1.677	17.09
Piedra	761.271	0.285	1.018	763.308	1.665	16.97
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.906	50.00

Tabla N°14 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	392.308	0.125	1.000	392.308	1.000	8.63
Agua	255.000	0.255	0.650	237.276	0.605	5.22
Arena	801.874	0.300	3.145	824.154	2.101	18.13
Piedra	816.510	0.305	1.018	818.695	2.087	18.01
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			5.792	50.00

Tabla N°15 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.70

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	357.143	0.113	1.000	357.143	1.000	7.85
Agua	250.000	0.250	0.700	231.803	0.649	5.09
Arena	823.281	0.308	3.293	846.156	2.369	18.59
Piedra	838.308	0.313	1.018	840.551	2.354	18.47
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			6.372	50.00

CAPÍTULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

6.1. GENERALIDADES

Neville (2013) señaló que las propiedades del concreto en estado fresco tales como la consistencia de la mezcla, trabajabilidad, adaptabilidad a la colocación, compactación y acabado sin segregación han estado relacionadas con el grado de compactación de la mezcla y han sido importantes pues ha comprometido a la resistencia final del concreto.

Asimismo, Sánchez (2001) realizó la importancia de las propiedades del concreto en estado fresco, que dependiendo de los procesos elaboración respectivos, han influido en las propiedades del concreto en estado endurecido. De igual manera, el control de las propiedades del concreto ha mejorado el desempeño de los procesos constructivos y ha incrementado la vida útil de las estructuras, razón por la cual, su estudio ha sido significativo (ASOCRETO, 2010).

Para la presente investigación, los ensayos realizados en el concreto en estado fresco fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

6.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

6.2.1. Asentamiento

INACAL (2022) en la NTP 339.035 señaló que el asentamiento en el concreto plástico de cemento hidráulico ha sido la contracción vertical entre la posición de inicio y final medida desde el punto central de la superior inicial. Asimismo, esta norma ha sido aplicable para concretos con agregado grueso de hasta 37,5 mm (1 ½ pulg) de tamaño como el caso de la presente investigación.

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.035 fue el siguiente:

- Se dispuso de la cantidad de muestra en el interior del molde, el cual fue colocado sobre una base amplia, firme y de superficie plana, libre de vibración y no absorbente.
- Se sujetaron las aletas del molde con los pies las abrazaderas de este y se vació el concreto hasta llenar 1/3 del volumen del molde y con la

barra compactadora, se golpeó 25 veces distribuidos en forma de espiral en toda la sección de la primera capa.

- Se repitió el procedimiento de llenado, se compactaron las dos capas restantes con una penetración de 25 mm de la capa inmediatamente inferior y se llenó por exceso en la última capa.
- Se eliminó el exceso de concreto con la rodadura de la barra compactadora en el borde superior del molde, se levantó verticalmente el molde una altura de 30 cm en un lapso de 3 a 7 segundos y se midió el asentamiento de la muestra de concreto.
- Como observación, el tiempo total empleado en el ensayo fue menor o igual a 2 minutos 30 segundos (INACAL, 2022).

6.2.2. Peso unitario o densidad

INACAL (2019) en la NTP 339.046 señaló que el peso unitario ahora ha sido llamado densidad, cuya definición ha sido la masa por unidad de volumen. Así también, la capacidad de los recipientes ha estado en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso (en Anexo F, ver Tabla F-2).

Previamente al ensayo, se elaboró y seleccionó la muestra de concreto según la NTP 339.036. Luego, se aplicó como método de consolidación el apisonado ya que el asentamiento fue mayor a 75mm así (INACAL, 2019):

- Se registró la masa del recipiente y se vació el concreto en el recipiente hasta un 1/3 de su capacidad.
- Se compactó con la barra mediante 25 golpes y se golpeó con el mazo en los lados exteriores del recipiente de 10 a 15 veces.
- Se repitió el procedimiento de llenado, se compactó las dos capas restantes con una penetración de 25 mm en la capa inmediatamente inferior y se golpeó lateralmente en el exterior con el mazo.
- Se enrasó, se alisó la última capa del concreto, se limpió el recipiente del concreto adherido a su superficie lateral exterior.
- Se registró la masa total del recipiente y de la mezcla del concreto y se calculó el peso unitario (densidad) así (INACAL, 2019):

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa total de recipiente y concreto} - \text{Masa de recipiente}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

6.2.3. Contenido de Aire

ASOCRETO (2010) como organismo ha definido al contenido de aire como el aire atrapado de manera natural o intencional en la mezcla de concreto, el cual ha influenciado en los requerimientos de agua de la mezcla.

INACAL (2017a) en la NTP 339.080 afirmó que el contenido de aire ha sido determinado a partir de la variación del volumen de la mezcla de concreto mediante un cambio de presión, el cual ha correspondido a la mezcla de concreto fresco sin la consideración del contenido que aire en los vacíos de las partículas de agregados. Asimismo, el valor fue obtenido según el medidor B así:

- Se dispuso de la muestra de concreto y se compactó la muestra como en el caso de peso unitario.
- Se instaló la tapa con cerrado hermético, se cerró la válvula principal de aire y se abrieron los dos grifos de la superficie superior.
- Se introdujo agua en un grifo hasta que salió expelido por el otro grifo y se vibró suavemente el medidor de aire hasta que el aire fue expulsado.
- Se cerró la válvula de purga, se bombeó aire dentro de la cámara hasta que la manecilla se haya encontrado en la línea de presión inicial.
- Se cerraron ambos grifos, se abrió la válvula principal de aire, se golpeó con el mazo en los lados exteriores del recipiente y se estabilizó la manecilla con golpes suaves al manómetro.
- Se registró el porcentaje de aire que se observó en el manómetro y se descargó la válvula principal de aire (INACAL, 2017a).

6.2.4. Exudación

INACAL (2020e) en la NTP 339.077 definió a la exudación como la salida a la superficie del agua de mezcla que ha estado presente en el concreto o mortero, y que fue generado por el asentamiento de los componentes sólidos de la mezcla. El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.077 fue el siguiente:

- Se elaboró la mezcla de concreto según la NTP 339.183 y se registró la masa del molde de $\frac{1}{2}$ pie³ y se vació el concreto en él en tres capas compactadas con 25 golpes por cada una y se llenó hasta una altura a 1" de llegar al extremo superior del recipiente.

- Se registró la masa del molde con la mezcla de concreto en él y se cubrió el recipiente mientras duró el ensayo.
- Se extrajo con una pipeta el agua exudada cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y luego cada 30 minutos hasta el término del proceso.
- Se colocó un taco de 5 cm debajo del molde para la facilitación de la extracción del agua exudada 2 minutos antes de cada horario establecido de lectura, y una vez culminado, se retornó el molde a la posición horizontal inicial. Se calculó el porcentaje así (INACAL, 2020e):

De los datos de laboratorio y de diseño:

$$\text{Masa}_{\text{agua de la muestra}} = \frac{\text{Masa}_{\text{agua de mezclado de la tanda}}}{\text{Masa}_{\text{total de la tanda}}} \times \text{Masa}_{\text{total de la muestra}}$$

Por lo tanto, el porcentaje de exudación:

$$\% \text{ de Exudación} = \frac{\text{Masa}_{\text{agua exudada}}}{\text{Masa}_{\text{agua de la muestra}}} \times 100$$

6.2.5. Índice de consistencia

INACAL (2016) en la NTP 339.085 definió como consistencia al grado de fluidez de una mezcla basado en el método de la mesa de sacudidas, el cual ha sido aplicado en concretos plásticos conformados por agregado grueso de hasta 37,5 mm (1 ½”) de tamaño, caso contrario, el material tuvo que pasar por el tamiz de 37,5 mm (1 ½”).

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.085 fue el siguiente:

- Se elaboró la mezcla de concreto y se obtuvo la muestra respectiva. Luego, se instaló el molde al centro de la mesa de sacudidas, se vació la mezcla de concreto en dos capas y se compactó cada una con 25 golpes distribuidos de manera uniforme.
- Para la segunda capa, se llenó con exceso el molde y se compactó uniformemente en el área penetrando en la capa inferior y habiendo rellenado los vacíos.
- Se apartó el exceso de concreto, se limpió la mesa de sacudidas y se retiró verticalmente el molde de manera rápida.

- Se giró la manivela 15 veces a velocidad constante, y con ella se logró levantar la mesa una altura de 12.5 mm y en 15 segundos por cada vez.
- Se registró, de forma simétrica, 6 medidas de diámetro de la mezcla de concreto extendida con aproximación de 5 mm y se calculó el índice de consistencia con el cálculo del porcentaje de aumento del diámetro respecto al diámetro inicial de la siguiente forma (INACAL, 2016):

$$\text{Índice de consistencia (\%)} = \frac{\text{Diámetro promedio (cm)} - 25}{25} \times 100$$

6.2.6. Tiempo de fraguado

INACAL (2021e) en la NTP 339.047 definió al fraguado como el proceso de reacciones químicas por la adición de agua de mezclado a la mezcla cementosa lo cual generó el desarrollo progresivo de rigidez en la misma. Asimismo, el tiempo de fraguado ha sido definido como el tiempo transcurrido a partir de la añadidura de agua a la mezcla cementosa, hasta que la mezcla haya presentado un nivel determinado de rigidez, de las cuales se han distinguido:

- Tiempo de fraguado inicial del concreto: tiempo transcurrido luego del contacto inicial del agua y el cemento, en el cual el mortero tamizado del concreto adquirió 4,50 MPa (500 psi) de resistencia a la penetración.
- Tiempo de fraguado final del concreto: tiempo transcurrido luego del contacto inicial del agua y el cemento, en el cual el mortero tamizado del concreto adquirió 27,6 MPa (4000 psi) de resistencia a la penetración.

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.082 fue el siguiente:

- Se elaboró el concreto según la NTP 339.034 y se registró el tiempo en donde empezó el contacto entre el agua y cemento.
- Se dispuso del mortero de la mezcla de concreto pasado a través del tamiz N° 4 de 4,75 μm en función a la NTP 339.036.
- Se llenó en una sola capa el recipiente contenedor del mortero y se consolidó por compactación.
- Se niveló la superficie, la cual quedó al menos ½ pulg debajo del nivel superior del recipiente y se golpeó lateralmente el recipiente.

- Se retiró el agua exudada junto antes de 2 minutos de iniciadas las lecturas de penetración.
- Se prepararon las agujas de diámetros en el orden de 1 pulg², 1/2 pulg², 1/4 pulg², 1/10 pulg², 1/20 pulg² y 1/40 pulg².
- Se instaló la primera aguja, se aplicó una fuerza vertical constante en un lapso de tiempo de 10 ± 2 seg, y se penetró en el mortero hasta la marca de la aguja.
- Se registró el tiempo transcurrido y la lectura de fuerza empleada y se repitió el procedimiento anterior para el resto de las agujas en el orden mencionado.
- Se calculó la resistencia a la penetración como el cociente de la fuerza aplicada entre el área de la aguja empleada y se determinó el tiempo de fraguado gráficamente (INACAL, 2017b).

6.2.7. Resumen de propiedades del concreto en estado fresco

Finalmente, las propiedades del concreto en estado fresco han sido mostradas en la Tabla N°16.

Tabla N°16 Resumen de las propiedades del concreto en estado fresco

Propiedades del concreto al estado fresco	Unidad	Relación a/c		
		0.60	0.65	0.70
Asentamiento	pulg	3 3/4	3 3/4	3 3/8
Peso Unitario	kg/m ³	2268	2254	2247
Contenido de aire	%	1.10	1.20	1.35
Exudación	%	0.821	0.976	0.551
Fluidez	%	39.00	39.00	21.50
Tiempo de fraguado inicial	min	237	240	246
Tiempo de fraguado final	min	309	319	342

En el Anexo F se han dispuesto los cálculos correspondientes para todos los ensayos descritos en los ítems anteriores.

CAPÍTULO VII: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

7.1. GENERALIDADES

Las propiedades físicas, químicas y de interacción entre cada uno de los materiales que han conformado al concreto, le otorgaron propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, acústicas, entre otras; en el caso de las propiedades mecánicas principalmente han sido influenciadas por la capacidad de resistencia de la pasta de cemento en estado endurecido, por los agregados utilizados y por la interrelación entre ellos, los cuales han dependido también de los procesos de elaboración de la mezcla y posterior curado (ASOCRETO, 2010).

Neville (2013) mencionó que, de todas las propiedades que ha presentado el concreto, la más significativa, ha sido la resistencia que se ha adquirido en la mayoría de los casos como parte del requerimiento de diseño estructural y ha estado estrechamente vinculada con la estructura de la pasta de cemento hidratada y la calidad del concreto; aunque, aspectos de durabilidad y permeabilidad han podido también ser más significativas, dependiendo del caso.

Sánchez (2001) afirmó que no ha existido una ley general que describa el comportamiento de una estructura de concreto sometido a los diferentes estados de esfuerzo, razón por la cual, se ha empleado a la resistencia a la compresión simple como punto de origen para el estudio de propiedades como resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia al corte del concreto.

Para la presente investigación, los ensayos realizados en el concreto en estado endurecido se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

7.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

7.2.1. Resistencia a la compresión

Matallana (2019) definió a la resistencia del concreto como la capacidad de soporte de esfuerzos en distintos tipos y niveles, los cuales han sido de compresión, tracción, etc. La obtención de la resistencia a la compresión se ha dado al dividir la carga máxima por el área soportada por una muestra de concreto hasta que haya llegado a la falla por agrietamiento o rotura (Abanto, 2009).

INACAL (2021g) en la NTP 339.034 precisó que los valores de resistencia alcanzados han dependido del tamaño y forma de la muestra de concreto, dosificación, proceso de mezclado, método de muestreo, moldeo y elaboración, edad, temperatura y condiciones de humedad en la fase de curado.

El procedimiento del ensayo basado en la NTP 339.034 fue el siguiente:

- Se elaboró la mezcla de concreto según la NTP 339.183 (laboratorio), así: se añadió el agregado grueso en la mezcladora mecánica y se encendió; luego, se añadió el agregado fino, cemento y agua y se volvió a encender.
- Todos los componentes fueron mezclados por tres minutos, luego, reposaron otros tres minutos y se volvieron a mezclar otros dos minutos.
- Se elaboraron los especímenes de concreto con probetas de dimensiones 100 mm x 200 mm, con método de consolidación de varillado dos capas y en cada una, compactada con 25 golpes distribuidos uniformemente en su sección.
- Se desmoldaron las probetas luego de 24 horas y se inició la fase de curado.
- A los 28 días de edad, las probetas (en condición húmeda) fueron ensayadas por resistencia a la compresión con una tolerancia permisible de 30 min.
- Se registraron los diámetros perpendiculares cerca de la zona central vertical de la probeta y se instalaron en la máquina de ensayo correctamente.
- Se constató que la carga aplicada antes de iniciar el ensayo haya estado en cero, y se aplicó la carga de manera continua y sin impacto hasta que la probeta de concreto haya llegado a su estado de rotura.
- Se registró la carga de rotura de la probeta, tipo de fractura y se calculó la resistencia a la compresión de la siguiente forma (INACAL, 2021g):

$$\text{Resistencia a la compresión del concreto} = \frac{\text{Carga de rotura (Kg)}}{\text{Área de probeta (cm}^2\text{)}}$$

- Finalmente, con los datos obtenidos, se calculó la desviación estándar y coeficiente de variación.

Según Pasquel (1998) para condiciones de laboratorio, la desviación estándar, se ha considerado excelente si ha sido menor a 14.1, muy bueno ha estado entre 14.1 y 17.6, bueno si ha estado entre 17.6 y 21.1, suficiente si ha estado entre 21.1 y 24.6, y deficiente si ha estado mayor a 24.6. Para el coeficiente de variación, se considera excelente si ha sido menor a 2, muy bueno si ha estado entre 2 y 3, bueno si ha estado entre 3 y 4, suficiente si ha estado entre 4 y 5, y deficiente si ha sido mayor a 5.

A continuación, los resultados de los ensayos la resistencia a la compresión por cada relación a/c han sido mostrados en la Figura N°9.

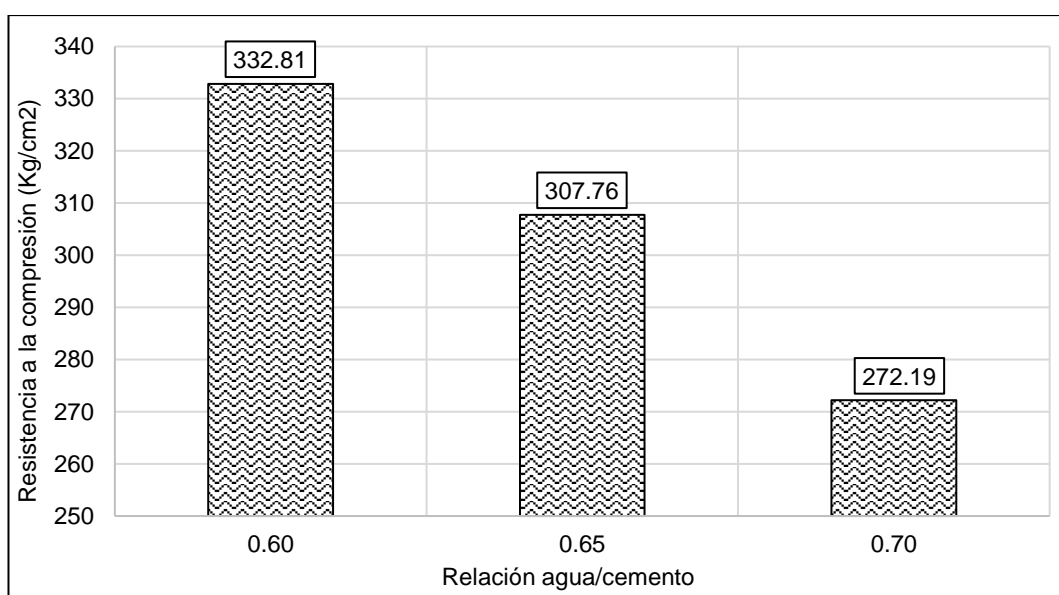


Figura N°9 Resistencia a la compresión para cada relación a/c

En el Anexo G, en la Tabla G-1, Tabla G-2 y Tabla G-3 se ha mostrado la data de resistencias a la compresión para cada relación a/c.

7.2.2. Absorción

INACAL (2021e) en la NTP 339.047 se refirió a la absorción como el proceso en el cual un líquido se ha introducido a través los poros permeables de un cuerpo y de esta manera, los llenó; también lo ha definido como el incremento de la masa de un cuerpo poroso producto de la inserción del líquido en sus poros permeables. Asimismo, resaltó que el líquido en la absorción de agregados y de concreto ha sido el agua y que para el incremento de masa, no se ha considerado el agua presente en la superficie externa; además, ha sido determinado a partir de la masa seca, el cual fue conseguido a una temperatura entre 100 °C y 110 °C.

Con base a la descripción anterior, el procedimiento del ensayo acondicionado para la presente investigación fue el siguiente:

- Se retiraron las probetas de concreto de 28 días de edad y fueron secadas en el horno a una temperatura de 100 °C por 24 horas.
- Se registraron los pesos secos y se sumergieron en un recipiente con agua por 24h.
- Luego de 24 horas en el agua, se secó la superficie externa de las probetas y registró el peso húmedo de cada una.
- Se determinó el porcentaje de absorción de las probetas de concreto de la siguiente manera:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

A continuación, los resultados fueron mostrados en la Figura N°10.

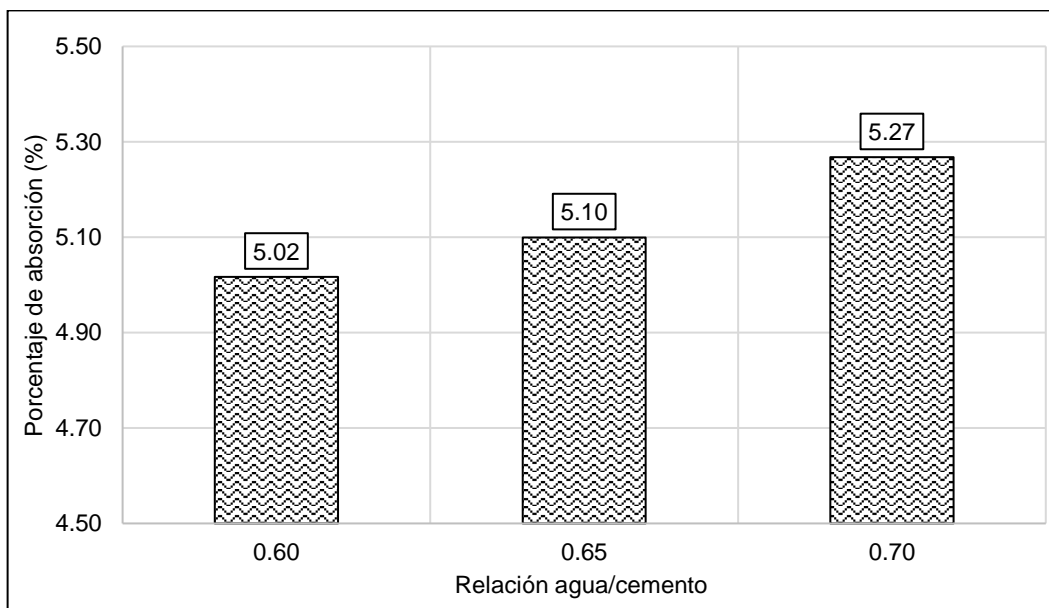


Figura N°10 Valores de absorción para cada relación a/c

En el Anexo G, en la Tabla G-4, Tabla G-5 y Tabla G-6 se ha mostrado la data de absorción para cada relación a/c.

CAPÍTULO VIII: MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADO

8.1. MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADO EMPLEADO

El método de corrosión acelerado utilizado ha estado basado en ciclos continuos de humedecimiento, secado y pesado de muestras, fue desarrollado en 1994 por Díaz en la tesis de investigación “Corrosión del cemento por ataque del sulfato” en la Universidad Nacional de Ingeniería (Rimarachín, 2013).

El objetivo de la investigación fue analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades físicas y resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia expuesto a ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L, para ello, se estudiaron dichas propiedades en probetas de concreto simple y concreto armado con acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " en las cuales se aplicó el método de corrosión acelerado una vez culminado el proceso de curado a los 28 días de edad para las tres relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 por un periodo de 30 ciclos, que fue equivalente a 60 días.

8.1.1. Materiales y equipos

Los materiales y equipos usados para la elaboración de probetas fueron los siguientes: cemento Portland Tipo I – Sol (de la empresa UNACEM), agregado fino (de la cantera Valle Grande), agregado grueso (de la cantera Carapongo), agua potable (de las instalaciones del LEM), barras de acero de $\varnothing 5/8$ " (marca aceros Arequipa) de longitud 10 cm, moldes de probeta de plástico de diámetro de 4" y altura de 8" y una mezcladora para concreto (de las instalaciones del LEM).

Al elaborar la probeta de concreto armado, la barra de acero de 10 cm fue colocada a un recubrimiento de 2" a la superficie del molde (ver Figura N°11).

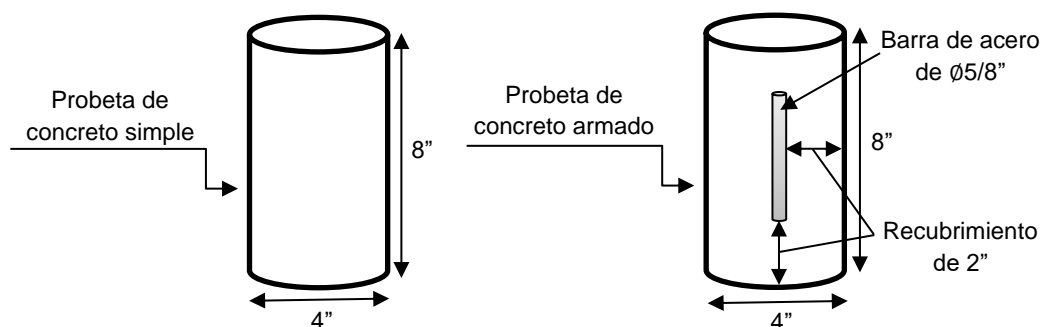


Figura N°11 Esquema de probetas de concreto

Luego, para el proceso de curado de las probetas hasta los 28 días de edad, se empleó agua potable (de las instalaciones del LEM), poza de curado (de las instalaciones del LEM) y probetas de concreto simple y armado.

Finalmente, para la aplicación del método de corrosión acelerado, se necesitó de una solución de cloruro de sodio de concentración 100 g/L (ver Figura N°12), probetas de concreto simple y concreto armado, balanzas electrónicas de 15 kg de capacidad máxima y sensibilidad 0.5 gramos (ver Figura N°13), plástico azul y guantes.



Figura N°12 Solución de cloruro de sodio a 100 g/L



Figura N°13 Balanza electrónica a emplear

8.1.2. Procedimiento

Torres (2019) señaló dos fases para el método de corrosión acelerado: la fase inicial y la fase de inmersión, las cuales fueron descritas de la siguiente forma:

Fase inicial:

- Se secaron las muestras durante 24 horas a temperatura ambiente.
- Se registraron el peso inicial de las muestras (peso inicial)

Fase de inmersión:

- Se sumergieron las muestras en la solución salina durante 24 horas (etapa de humedecido), ver Figura N° 14.
- Se secaron las muestras durante 24 horas a temperatura ambiente (etapa de secado), ver Figura N° 15.
- Se registraron los pesos de las muestras (peso del ciclo 1).
- Se sumergieron las muestras en la solución salina durante 24 horas.
- Se secaron las muestras durante 24 horas a temperatura ambiente.
- Se registraron los pesos de las muestras (peso del ciclo 2)
- Se repitió el procedimiento anterior hasta completar los 30 ciclos.

La duración de un ciclo abarcó dos días, el primer día correspondió a la etapa de humedecido por 24 horas, y el segundo día, a la etapa de secado por 24 horas, seguidamente, se registraron los pesos de las muestras, lo cual representó un ciclo culminado.



Figura N°14 Etapa de humedecido en probetas



Figura N°15 Etapa de secado en probetas

8.1.3. Distribución de actividades y ensayos

Las actividades y ensayos en las probetas de concreto simple y concreto armado estuvieron distribuidos como lo mostrado en la Tabla N°17.

Tabla N°17 Distribución de actividades y ensayos

Distribución de probetas		Cantidad de muestras por relación a/c			Descripción
		0.60	0.65	0.70	
Concreto patrón	Muestras patrón	20	20	20	Ensayo de resistencia a la compresión
	Muestras patrón	5	5	5	Ensayo de absorción
Aplicación del método	Concreto simple	30	30	30	Registro de peso
	Muestras al ciclo 4	10	10	10	Ensayo de resistencia a la compresión
	Muestras al ciclo 15	10	10	10	Ensayo de resistencia a la compresión
	Muestras al ciclo 30	10	10	10	Ensayo de resistencia a la compresión
	Concreto armado	30	30	30	Registro de peso
	Muestras al ciclo 30	5	5	5	Ensayo de absorción
Después del método	Muestras a los 2 meses de finalizar el método.	5	5	5	Ensayo de absorción
Total		95	95	95	Total de muestras: 285

El **concreto patrón** se caracterizó por haber tenido **28 días de edad** cuando fue ensayado por resistencia a la compresión y absorción. Durante la **aplicación del método**, las **edades** del concreto comprendieron desde los **28 días hasta los 91 días**. Finalmente, **después del método**, las probetas con **150 días de edad** fueron ensayadas por absorción.

CAPÍTULO IX: RESULTADOS DE ENSAYOS

9.1. GENERALIDADES

Luego de la aplicación del método de corrosión acelerado tanto en el concreto simple como en el concreto armado a lo largo de los 30 ciclos, se obtuvo el siguiente esquema de resultados mostrados en la Figura N°16. Los datos recolectados han sido dispuestos en el Anexo H.

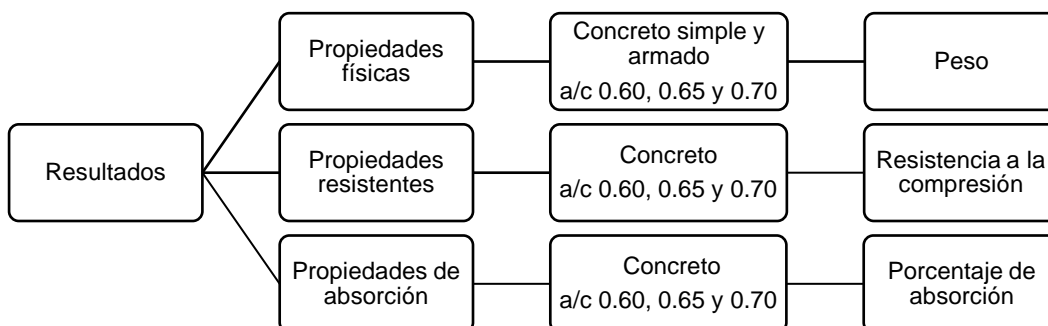


Figura N°16 Esquema de resultados

9.2. PROPIEDADES FÍSICAS

9.2.1. Concreto simple

a) Peso registrado

Se presentó en la Tabla N°18 el rango de pesos mínimos, máximos y la variación entre ellos respecto del peso inicial para las 10 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30 para cada relación a/c; así también, en la Tabla N°19, se mostraron similares resultados aplicado al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°17.

Tabla N°18 Pesos para concreto simple

a/c	Peso inicial (g)	Peso mínimo (g)	Peso máximo (g)	Variación	
				(g)	(%)
0.60	[3688.6 - 3730.4]	[3685.9 - 3730.4]	[3723.8 - 3773.3]	[30 - 45]	[0.80 - 1.25]
0.65	[3671.8 - 3771.8]	[3657.4 - 3764.9]	[3710.2 - 3811.7]	[45 - 51]	[1.25 - 1.40]
0.70	[3667.9 - 3909.8]	[3667.9 - 3907.5]	[3716.5 - 3963.0]	[50 - 57]	[1.30 - 1.55]

Tabla N°19 Peso promedio para concreto simple

a/c	Peso inicial promedio (g)	Peso mínimo promedio (g)	Peso máximo promedio (g)	Variación	
				(g)	(%)
0.60	3717.9	3717.9	3756.3	38.4	1.03
0.65	3713.9	3704.8	3753.8	49.1	1.32
0.70	3709.9	3709.9	3762.3	52.4	1.41

La tendencia del peso promedio para las tres relaciones agua/cemento fue mostrada en la Figura N°17.

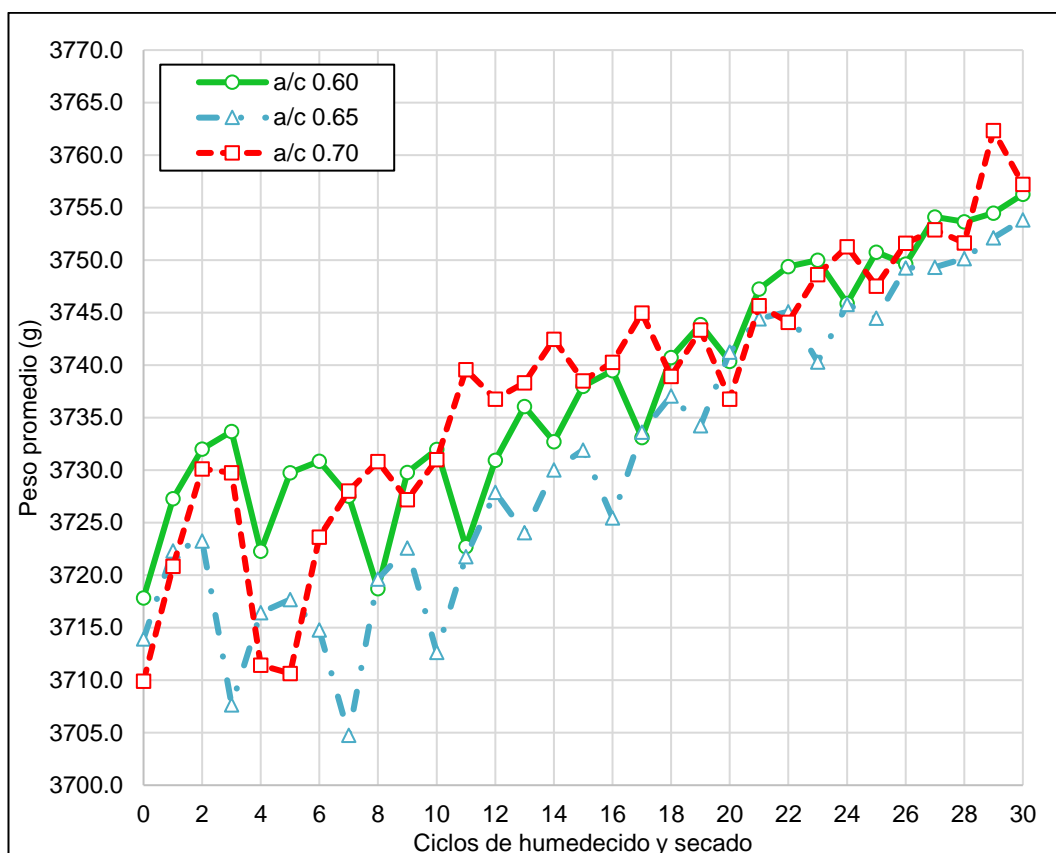


Figura N°17 Pesos del concreto simple

Los ciclos de humedecido y secado estuvieron relacionados a las edades del concreto según la Tabla N°20.

Tabla N°20 Relación ciclos y edad del concreto

Ciclos	Edad (días)	Ciclos	Edad (días)	Ciclos	Edad (días)	Ciclos	Edad (días)
0	28	8	45	16	61	23	75
1	31	9	47	17	63	24	79
2	33	10	49	18	65	25	81
3	35	11	51	19	67	26	83
4	37	12	53	20	69	27	85
5	39	13	55	21	71	28	87
6	41	14	57	22	73	29	89
7	43	15	59	23	75	30	91

b) Variación del peso registrado

La variación de peso registrado de un ciclo relativo se obtuvo de la diferencia de pesos consecutivos y se expresó en porcentaje respecto del peso

inicial de la muestra. Se presentó en la Tabla N°21 el rango de variaciones de reducciones y aumentos de pesos respecto del peso inicial para las 10 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30 para cada relación a/c. Así también, en la Tabla N°22, se mostraron similares resultados aplicado al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°18.

Tabla N°21 Variaciones de pesos para concreto simple

a/c	Máxima reducción de peso		Máximo aumento de peso	
	(g)	(%)	(g)	(%)
0.60	[(-13) - (-9)]	[(-0.35) - (-0.25)]	[9 - 13]	[0.25 - 0.35]
0.65	[(-17) - (-14)]	[(-0.45) - (-0.35)]	[14 - 16]	[0.35 - 0.45]
0.70	[(-19) - (-17)]	[(-0.55) - (-0.45)]	[12 - 15]	[0.32 - 0.45]

Tabla N°22 Variaciones del peso promedio para concreto simple

a/c	Máxima reducción de peso		Máximo aumento de peso	
	(g)	(%)	(g)	(%)
0.60	-11.4	-0.31	11.1	0.30
0.65	-15.6	-0.42	14.9	0.40
0.70	-18.3	-0.49	13.0	0.35

La tendencia de la variación del peso promedio para las tres relaciones agua/cemento fue mostrada en la Figura N°18.

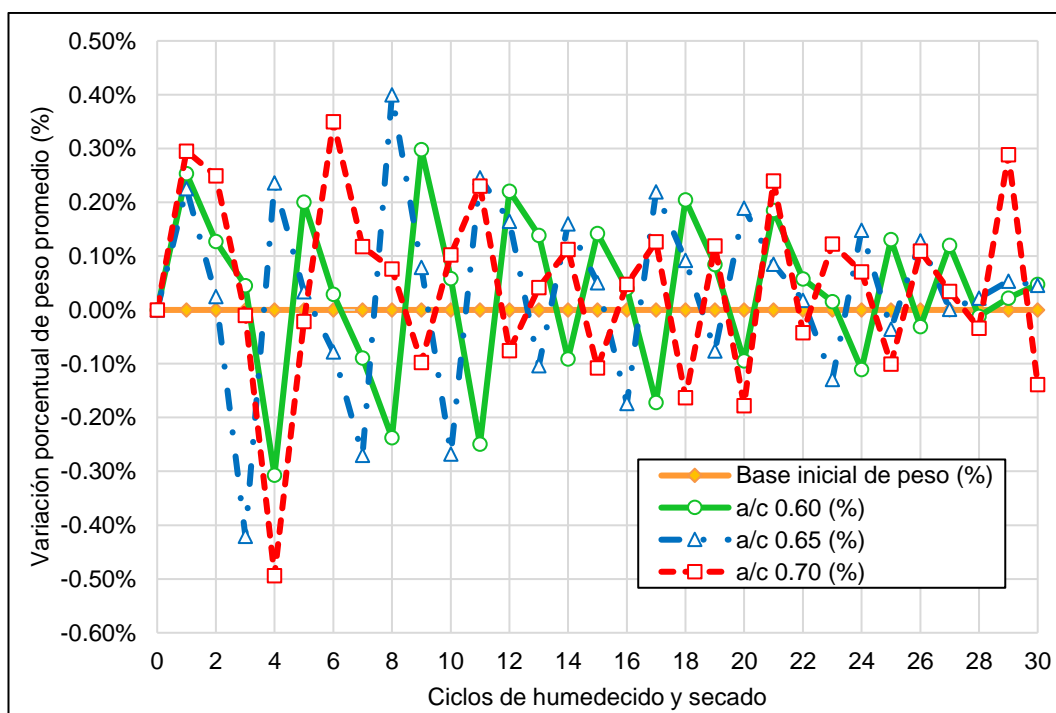


Figura N°18 Variación porcentual de peso del concreto simple

c) Variación acumulada del peso registrado

La variación acumulada del peso registrado se obtuvo de la suma acumulada de variación de peso porcentual al ciclo relativo. Se presentó en la Tabla N°23 el rango de variación acumulada de los pesos para las 10 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30 para cada relación a/c. Así también, en la Tabla N°24, se mostraron similares resultados aplicado al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°19.

Tabla N°23 Variación acumulada de pesos para concreto simple

a/c	Al ciclo 5 (%)	Al ciclo 10 (%)	Al ciclo 15 (%)	Al ciclo 20 (%)	Al ciclo 25 (%)	Al ciclo 30 (%)
0.60	[(-0.03) - (0.46)]	[(-0.14) - (0.59)]	[0.25 - 0.78]	[0.33 - 0.86]	[0.59 - 1.14]	[0.70 - 1.33]
0.65	[(-0.03) - (0.16)]	[(-0.14) - (0.04)]	[0.41 - 0.54]	[0.63 - 0.78]	[0.75 - 0.88]	[0.98 - 1.14]
0.70	[(-0.06) - (0.07)]	[0.41 - 0.71]	[0.62 - 0.92]	[0.61 - 0.85]	[0.87 - 1.20]	[1.19 - 1.44]

Tabla N°24 Variación acumulada del peso promedio para concreto simple

a/c	Al ciclo 5 (%)	Al ciclo 10 (%)	Al ciclo 15 (%)	Al ciclo 20 (%)	Al ciclo 25 (%)	Al ciclo 30 (%)
0.60	0.32	0.38	0.54	0.61	0.89	1.03
0.65	0.10	-0.03	0.48	0.74	0.82	1.07
0.70	0.02	0.57	0.77	0.72	1.01	1.27

La tendencia de la variación acumulada del peso promedio para las tres relaciones agua/cemento fue mostrada en la Figura N°19.

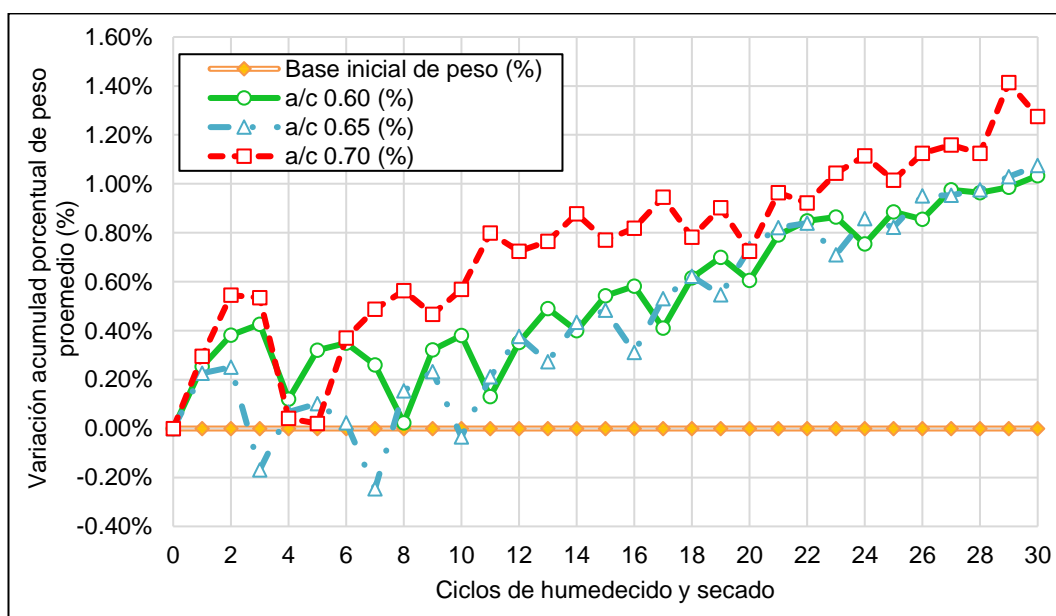


Figura N°19 Variación acumulada porcentual de peso del concreto simple

9.2.2. Concreto armado

a) Peso registrado

Se presentó en la Tabla N°25 el rango de pesos mínimos, máximos y la variación entre ellos respecto del peso inicial para las 30 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30 para cada relación a/c; así como también, en la Tabla N°26, se mostraron similares resultados aplicados al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°20.

Tabla N°25 Pesos para concreto armado

a/c	Peso inicial (g)	Peso mínimo (g)	Peso máximo (g)	Variación	
				(g)	(%)
0.60	[3788.3 - 3869.0]	[3781.8 - 3861.7]	[3810.8 - 3888.0]	[22 - 35]	[0.55 - 0.95]
0.65	[3788.6 - 3997.8]	[3779.1 - 3989.4]	[3828.3 - 4040.3]	[45 - 52]	[1.15 - 1.35]
0.70	[3781.1 - 4016.0]	[3780.7 - 4015.7]	[3834.3 - 4067.5]	[52 - 57]	[1.30 - 1.50]

Tabla N°26 Pesos promedio para concreto armado

a/c	Peso inicial promedio (g)	Peso mínimo promedio (g)	Peso máximo promedio (g)	Variación	
				(g)	(%)
0.60	3829.3	3818.0	3845.8	27.8	0.73
0.65	3828.5	3820.9	3869.7	48.9	1.28
0.70	3881.0	3880.6	3934.0	53.4	1.38

La tendencia del peso promedio para las tres relaciones agua/cemento fue mostrada en la Figura N°20.

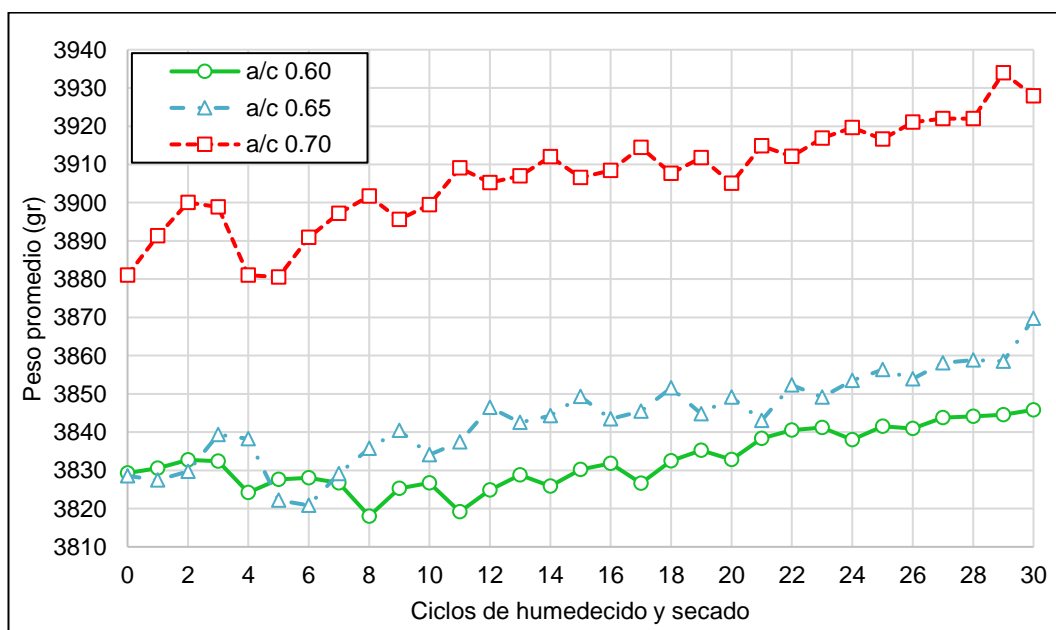


Figura N°20 Pesos del concreto armado, a/c 0.60, 0.65 y 0.70

Los ciclos de humedecido y secado estuvieron relacionados a las edades del concreto según la Tabla N°20 anteriormente mostrada.

b) Variación del peso registrado

La Tabla N°27 presentó el rango de variaciones de pesos mínimos, máximos y la variación entre ellos respecto del peso inicial considerando las 30 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30. Así también, en la Tabla N°28, se mostraron similares resultados aplicado al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°21.

Tabla N°27 Variaciones de pesos para concreto armado

a/c	Máxima reducción de peso		Máximo aumento de peso	
	(g)	(%)	(g)	(%)
0.60	[(-12) - (-8)]	[(-0.30) - (-0.20)]	[6 - 9]	[0.15 - 0.25]
0.65	[(-17) - (-13)]	[(-0.45) - (-0.35)]	[10 - 13]	[0.25 - 0.35]
0.70	[(-21) - (-16)]	[(-0.55) - (-0.43)]	[11 - 16]	[0.30 - 0.40]

Tabla N°28 Variaciones de pesos promedio para concreto armado

a/c	Máxima reducción de peso		Máximo aumento de peso	
	(g)	(%)	(g)	(%)
0.60	-8.7	-0.23	7.3	0.19
0.65	-16.1	-0.42	11.2	0.29
0.70	-17.8	-0.46	12.0	0.31

La tendencia de la variación del peso fue mostrada en la Figura N°21.

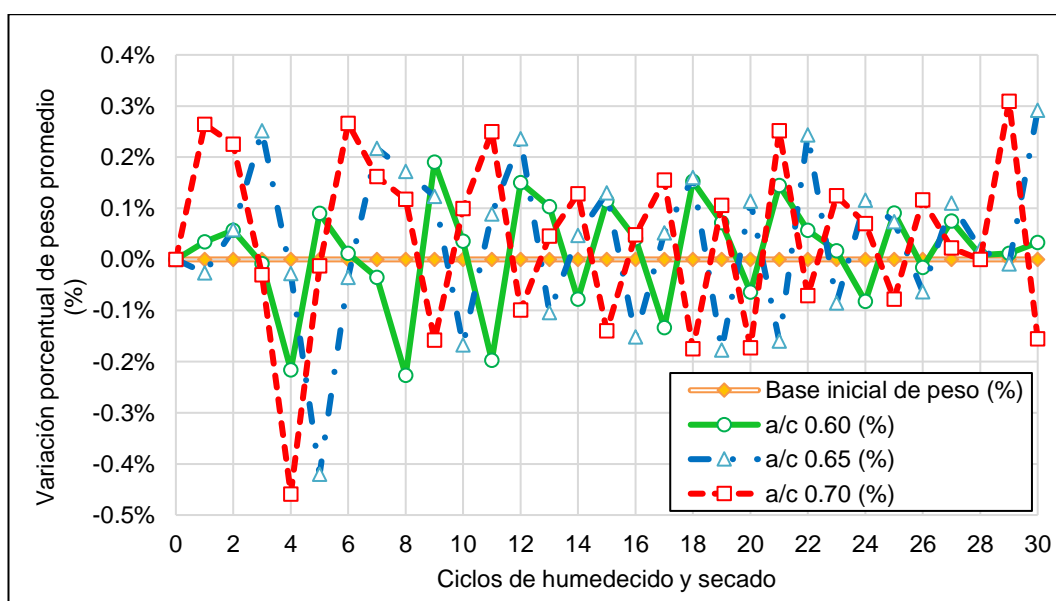


Figura N°21 Variación porcentual de peso del concreto armado

c) Variación acumulada del peso registrado

La variación acumulada del peso registrado se obtuvo de la suma acumulada de variación de peso porcentual al ciclo relativo. Se presentó en la Tabla N°29 el rango de variación acumulada de los pesos para las 30 muestras en que fue aplicado el método de corrosión acelerado hasta el ciclo 30 para cada relación a/c. Así también, en la Tabla N°30, se mostraron similares resultados aplicado al peso promedio de muestras, el cual reflejó la tendencia en la Figura N°22.

Tabla N°29 Variación acumulada de pesos para concreto armado

a/c	Al ciclo 5 (%)	Al ciclo 10 (%)	Al ciclo 15 (%)	Al ciclo 20 (%)	Al ciclo 25 (%)	Al ciclo 30 (%)
0.60	[(-0.15) - (0.17)]	[(-0.18) - (0.26)]	[(-0.15) - (0.38)]	[(-0.07) - 0.40]	[0.12 - 0.67]	[0.22 - 0.82]
0.65	[(-0.20) - (-0.02)]	[(-0.11) - (0.27)]	[0.50 - 0.64]	[0.47 - 0.65]	[0.65 - 0.83]	[0.95 - 1.20]
0.70	[(-0.12) - (0.15)]	[0.38 - 0.61]	[0.57 - 0.79]	[0.52 - 0.77]	[0.84 - 1.08]	[1.12 - 1.37]

Tabla N°30 Variación acumulada del peso promedio para concreto armado

a/c	Al ciclo 5 (%)	Al ciclo 10 (%)	Al ciclo 15 (%)	Al ciclo 20 (%)	Al ciclo 25 (%)	Al ciclo 30 (%)
0.60	-0.04	-0.07	0.02	0.09	0.32	0.43
0.65	-0.14	0.17	0.57	0.57	0.75	1.10
0.70	-0.01	0.47	0.66	0.62	0.92	1.21

La tendencia de la variación del peso fue mostrada en la Figura N°22.

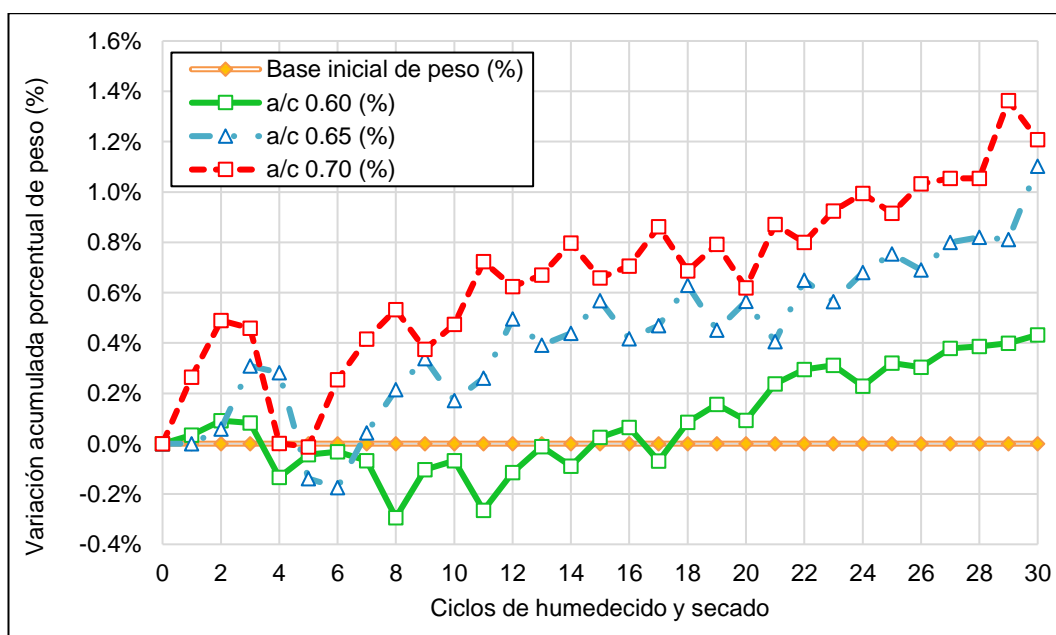


Figura N°22 Variación acumulada porcentual de peso del concreto armado

9.3. PROPIEDADES RESISTENTES

9.3.1. Concreto

a) Resistencia a la compresión

Se mostró la variación de la resistencia a la compresión del concreto en la Tabla N°31.

Tabla N°31 Variación de la resistencia a la compresión

a/c	F'c patrón (28 días de edad)	F'c al ciclo 4 (37 días de edad)	F'c al ciclo 15 (59 días de edad)	F'c al ciclo 30 (91 días de edad)
0.60	332.81	360.65	357.79	349.00
0.65	307.76	332.40	328.02	300.85
0.70	272.19	288.20	282.96	261.17

De forma gráfica, resultó la Figura N° 23.

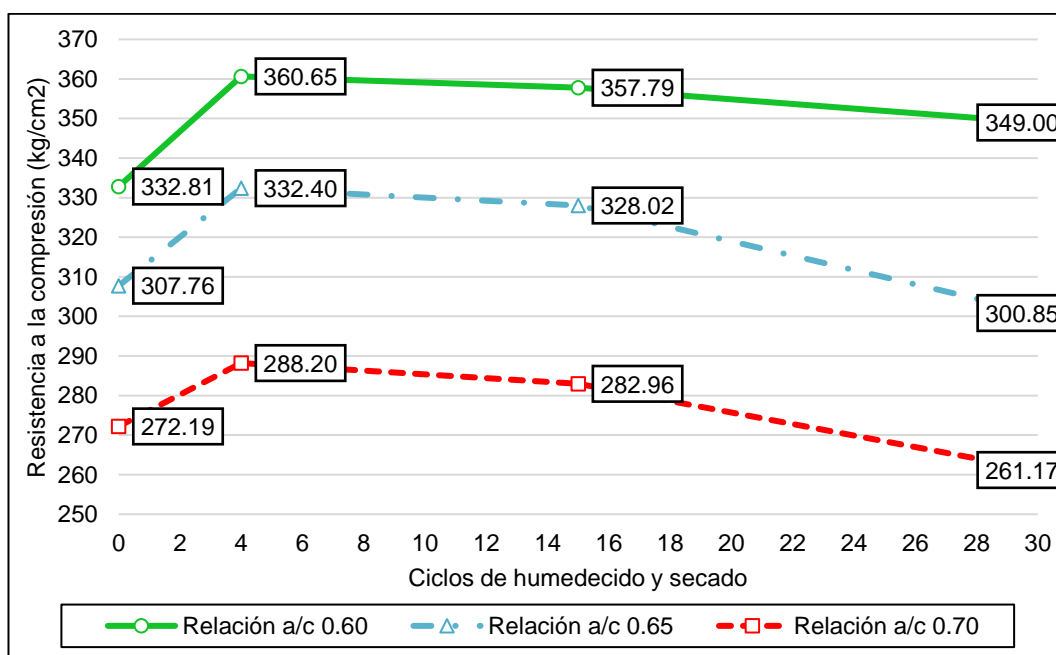


Figura N°23 Resistencia a la compresión para concreto simple

Así también, el valor de la resistencia a la compresión respecto del valor de resistencia del concreto patrón se mostró en la Tabla N°32.

Tabla N°32 Variación de la resistencia a la compresión

a/c	F'c patrón (28 días de edad)	F'c al ciclo 4 (37 días de edad)	F'c al ciclo 15 (59 días de edad)	F'c al ciclo 30 (91 días de edad)
0.60	100	108.37	107.51	104.87
0.65	100	108.01	106.59	97.76
0.70	100	105.88	103.96	95.95

De forma gráfica, resultó la Figura N°24.

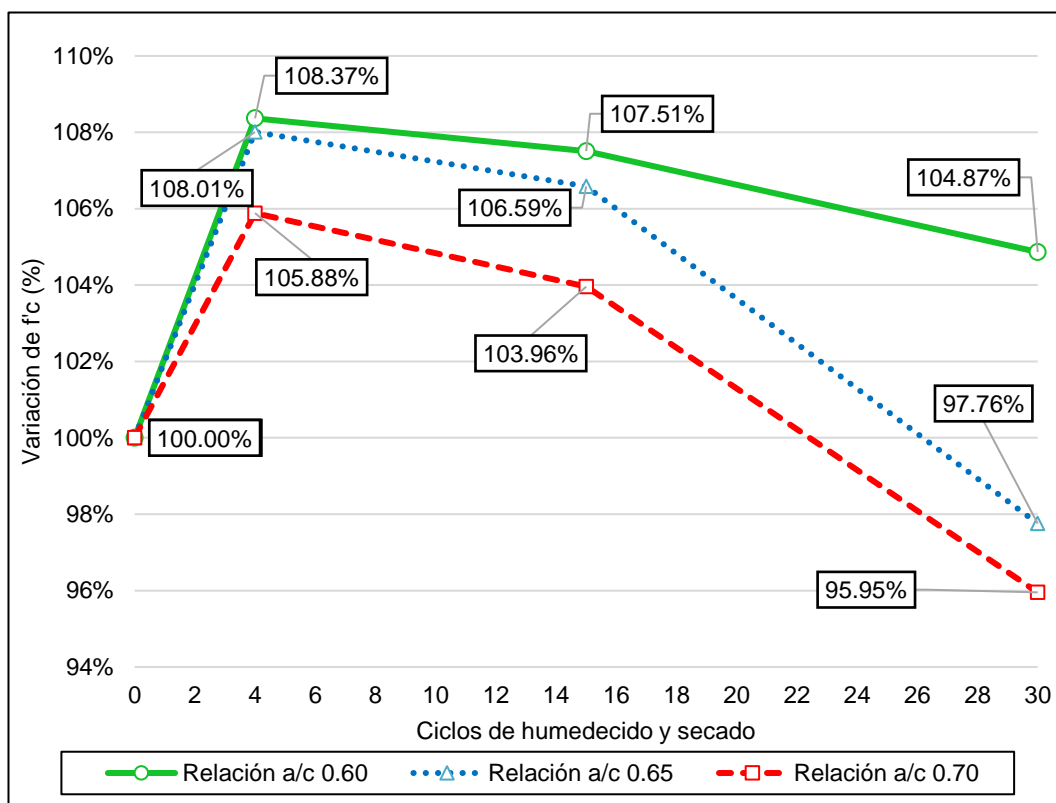


Figura N°24 Variación porcentual de resistencia a la compresión

b) Absorción

Se mostró la variación de la absorción del concreto en la Tabla N°33.

Tabla N°33 Variación de la absorción

a/c	Absorción inicial (%) (28 días de edad)	Absorción final (%) (91 días de edad)	Absorción después del método (%) (150 días de edad)
0.60	5.02	1.14	3.47
0.65	5.10	1.23	3.11
0.70	5.27	1.78	2.87

Así también, el valor de la absorción al final de la aplicación del método respecto del valor de absorción inicial en el concreto patrón se mostró en la Tabla N°34.

Tabla N°34 Variación de la absorción respecto del valor inicial

a/c	Absorción inicial (%) (28 días de edad)	Absorción final (%) (91 días de edad)	Absorción después del método (%) (150 días de edad)
0.60	100.00	22.65	69.14
0.65	100.00	24.11	61.02
0.70	100.00	33.71	54.54

De forma gráfica, resultó la Figura N°25.

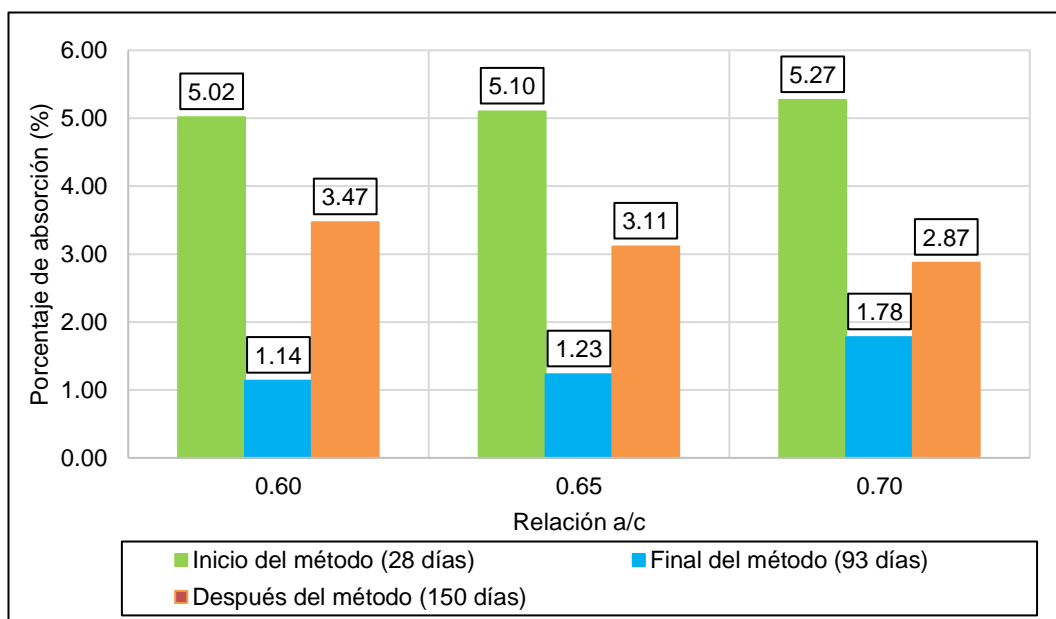


Figura N°25 Porcentaje de absorción del concreto

9.4. ASPECTOS FISICOS

A los dos meses de finalizado el método de corrosión acelerado (después del método con 150 días de edad), las probetas de concreto simple y armado con acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ " presentaron los siguientes cambios físicos.

Para las muestras de concreto simple, en las tres relaciones a/c se observó:

- Desprendimiento superficial (ver Figura N°26).
- Picaduras de 1mm de ancho y de 1mm de profundidad en promedio (ver Figura N°27).

Mientras que para las muestras de concreto armado, se observó:

- Desprendimiento superficial (ver Figura N°28).
- Muestras con coloración roja cobriza clara en la superficie (ver Figura N°29).
- Picaduras de 1mm de ancho y de 1mm de profundidad en promedio (ver Figura N°30)
- Productos de corrosión en la barra de refuerzo (ver Figura N°31).
- Fisuras de 0.7 cm a 1.3 cm de longitud (ver Figura N°32).



Figura N°26 Desprendimiento superficial en concreto simple



Figura N°27 Picaduras en concreto simple



Figura N°28 Desprendimiento superficial en concreto armado



Figura N°29 Muestras con coloración rojo cobrizo claro en concreto armado



Figura N°30 Picaduras en concreto armado



Figura N°31 Productos de corrosión en la barra de refuerzo



Figura N°32 Fisuras en concreto armado

9.5. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

9.5.1. Peso registrado

Luego de ejecutado el programa SPSS versión 28 y realizada la prueba de correlación de Pearson para los pesos promedio del concreto simple (CS) y concreto armado (CA) de relación a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y los ciclos de humedecido y secado a los que estuvieron expuestos para la determinación de la relación estadística, se obtuvo la Tabla N°35 (ver Anexo I para mayor detalle).

Tabla N°35 Correlación de Pearson para peso de concreto

Variables	r	p	N
Peso registrado CS60 y ciclos	0.914	0.000	31
Peso registrado CS65 y ciclos	0.930	0.000	31
Peso registrado CS70 y ciclos	0.918	0.000	31
Peso registrado CA60 y ciclos	0.776	0.000	31
Peso registrado CA65 y ciclos	0.906	0.000	31
Peso registrado CA70 y ciclos	0.914	0.000	31

Donde r fue el coeficiente de correlación de Pearson, p fue el nivel de significancia y N fue la cantidad de datos evaluados.

9.5.2. Resistencia a la compresión

De igual manera, se realizaron las pruebas de Scheffé y Tamhane para las resistencias a la compresión del concreto de relación a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 en los ciclos de humedecido y secado a los que estuvieron expuestos para la determinación de la diferencia numérica estadística, se obtuvo la Tabla N°36 (ver Anexo I para mayor detalle).

Tabla N°36 Prueba de Scheffé y Tamhane para resistencia a la compresión

Comparaciones	p	p	p
	a/c 0.60	a/c 0.65	a/c 0.70
F'c patrón y F'c en el ciclo 4	0.000	0.000	0.174
F'c patrón y F'c en el ciclo 15	0.000	0.001	0.793
F'c patrón y F'c en el ciclo 30	0.041	0.715	0.315
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 15	0.976	0.825	0.997
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 30	0.335	0.000	0.020
F'c en el ciclo 15 y F'c en el ciclo 30	0.580	0.000	0.213

Donde p fue el nivel de significancia.

9.5.3. Porcentaje de absorción

De igual manera, se realizaron las pruebas de Tukey y Tamhane para los porcentajes de absorción del concreto de relación a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 antes de iniciado con el método de corrosión (28 días de edad), una vez finalizado la aplicación (91 días de edad) y luego de dos meses de finalizado (después del método con 150 días de edad), de los cuales se obtuvo la Tabla N°37 (ver Anexo I para mayor detalle).

Tabla N°37 Prueba de Tukey y Tamhane para porcentaje de absorción

Variables	p	p	p
	a/c 0.60	a/c 0.65	a/c 0.70
Absorción (28 días de edad) y Absorción (91 días de edad)	0.000	0.000	0.000
Absorción (28 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	0.000	0.000	0.000
Absorción (91 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	0.000	0.000	0.000

Donde p fue el nivel de significancia.

CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1. GENERALIDADES

Luego de aplicado el método de corrosión acelerado en las probetas de concreto simple y armado durante 30 ciclos y en simultáneo, haber registrado los pesos durante los 30 ciclos y ejecutado los ensayos de resistencia a la compresión a los 4, 15 y 30 ciclos en el concreto, se ha presentado el siguiente análisis de resultados cuya estructura ha sido conforme al del capítulo anterior.

10.2. PROPIEDADES FISICAS

10.2.1. Concreto simple

a) Peso registrado

De la Figura N°19, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que el valor del peso aumentó cada 3, 4 o 5 ciclos consecutivos comenzando desde el ciclo 0; el peso se incrementó y se redujo, y luego volvió a incrementarse y reducirse sucesivamente conforme al avance de ciclos de humedecido y secado.

Dada la importancia de la identificación de los ciclos en que se produjeron los pesos máximos y mínimos, se presentaron los rangos de los pesos iniciales, pesos mínimos y pesos máximos, así como la variación entre ellos, ello fue aplicado para cada una de las muestras y, dado que la tendencia de pesos entre ellas fue similar, también fue aplicado al peso promedio.

De la Tabla N°18, Tabla N°19 y Figura N°17, para el concreto con **a/c 0.60**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3717.9 gramos, en un rango de [3688.6 - 3730.4] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio correspondió al peso inicial de 3717.9 gramos, en un rango de [3685.9 - 3730.4] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3756.3 gramos, en un rango de [3723.8 - 3773.3] gramos. El valor promedio fue **1.03% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 30**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 38.4 gramos, en un rango de [30 - 45] gramos. El valor promedio fue **1.03% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.80 - 1.25] %.

De la Tabla N°18, Tabla N°19 y Figura N°17, para el concreto **a/c 0.65**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3713.9 gramos, en un rango de [3671.8 - 3771.8] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio fue de 3704.8 gramos, en un rango de [3657.4 - 3764.9] gramos. El valor promedio fue **0.25% menor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 7**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3753.8 gramos, en un rango de [3710.2 - 3811.7] gramos. El valor promedio fue **1.07% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 30**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 49.1 gramos, en un rango de [45 - 51] gramos. El valor promedio fue **1.32% mayor** al peso inicial, en un rango de [1.25 - 1.40] %.

De la Tabla N°18, Tabla N°19 y Figura N°17, para el concreto **a/c 0.70**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3709.9 gramos, en un rango de [3667.9 - 3909.8] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio corresponde al peso inicial de 3709.9 gramos, en un rango de [3667.9 - 3907.5] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3762.3 gramos, en un rango de [3716.5 - 3963.0] gramos. El valor promedio fue **1.41% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 29**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 52.4 gramos, en un rango de [50 - 57] gramos. El valor promedio fue **1.41% mayor** al peso inicial, en un rango de [1.30 - 1.55] %.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de peso, que la tendencia en el máximo valor en peso y en variación de peso se dio conforme aumentó la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

Finalmente, de la Figura N°17, para el concreto en las tres **relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70**, no se observó pérdida de peso dado que no hubo valor máximo de peso del cual luego se haya reducido su valor en los ciclos siguientes.

b) Variación del peso registrado

De la Figura N°18, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que el peso aumentó progresivamente, lo cual generó pendientes positivas en algunos ciclos consecutivos; mientras que en otros, el peso siguió aumentando pero a una tasa menor al ciclo anterior y luego fue reduciéndose, lo cual generó pendientes negativas.

Dada la importancia de la identificación de los ciclos en que se produjeron las máximas variaciones del peso registrado, se presentaron los rangos de mínima y máxima variación de pesos en ciclos consecutivos para cada una de las muestras y al promedio.

De la Tabla N°21, Tabla N°22 y Figura N°18, para el concreto **a/c 0.60**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -11.4 gramos, en un rango de [(-13) - (-9)] gramos. El valor promedio fue **0.31% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.35) - (-0.25)] % y ocurrió en el **ciclo 9**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 11.1 gramos, en un rango de [9 - 13] gramos. El valor promedio fue **0.30% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.25 - 0.35] % y ocurrió en el **ciclo 4**.

De la Tabla N°21, Tabla N°22 y Figura N°18, para el concreto **a/c 0.65**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -15.6 gramos, en un rango de [(-17) - (-14)] gramos. El valor promedio fue **0.42% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.45) - (-0.35)] % y ocurrió en el **ciclo 3**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 14.9 gramos, en un rango de [14 - 16] gramos. El valor promedio fue **0.40% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.35 - 0.45] % y ocurrió en el **ciclo 8**.

De la Tabla N°21, Tabla N°22 y Figura N°18, para el concreto **a/c 0.70**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -18.3 gramos, en un rango de [(-19) - (-17)] gramos. El valor promedio fue **0.49% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.55) - (-0.45)] % y ocurrió en el **ciclo 4**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 13.0 gramos, en un rango de [12 - 15] gramos. El valor promedio fue **0.35% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.32 - 0.45] % y ocurrió en el **ciclo 6**.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de aumento y reducción de peso en ciclos consecutivos, que la tendencia en los máximos valores de éstos se dio conforme aumentó la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

c) Variación acumulada del peso registrado

De la Figura N°19, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que la tendencia de la variación acumulada del peso fue la misma que la del peso con la diferencia de que los valores fueron expresados en porcentaje respecto del peso inicial, el cual fue representado por el 0%.

Para la observación de la tendencia en el crecimiento del peso a lo largo de los ciclos, se presentaron los rangos de incremento de peso a los 5, 15 y 30 ciclos de aplicación del método para cada una de las muestras y al promedio.

De la Tabla N°23, Tabla N°24 y Figura N°19, para el concreto **a/c 0.60**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de 0.32%, en un rango de $[(-0.03) - (0.46)]$ %.
- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.54%, en un rango de $[0.25 - 0.78]$ %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 1.03%, en un rango de $[0.70 - 1.33]$ %.

De la Tabla N°23, Tabla N°24 y Figura N°19, para el concreto **a/c 0.65**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de 0.10%, en un rango de $[(-0.03) - (0.16)]$ %.
- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.48%, en un rango de $[0.41 - 0.54]$ %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 1.07%, en un rango de $[0.98 - 1.14]$ %.

De la Tabla N°23, Tabla N°24 y Figura N°19, para el concreto **a/c 0.70**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de 0.02%, en un rango de $[(-0.06) - (0.07)]$ %.

- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.77%, en un rango de [0.62 - 0.92] %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 1.27%, en un rango de [1.19 - 1.44] %.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de variación acumulada de peso que, a excepción del ciclo 5, en los ciclos 15 y 30, la tendencia del valor acumulado se incrementó conforme aumentó la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

10.2.2. Concreto armado

a) Peso registrado

De la Figura N°20, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que el valor del peso aumentó cada 3, 4 o 5 ciclos consecutivos comenzando desde el ciclo 0; el peso se incrementó y se redujo, y luego volvió a incrementarse y reducirse sucesivamente conforme al avance de ciclos de humedecido y secado.

Dada la importancia de la identificación de los ciclos en que se produjeron los pesos máximos y mínimos, se presentaron los rangos de los pesos iniciales, pesos mínimos y pesos máximos, así como la variación entre ellos, ello fue aplicado para cada una de las muestras y, dado que la tendencia de pesos entre ellas fue similar, también fue aplicado al peso promedio.

De la Tabla N°25, Tabla N°26 y Figura N°20, para el concreto **a/c 0.60**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3829.3 gramos, en un rango de [3788.3 - 3869.0] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio fue de 3818.0 gramos, en un rango de [3781.8 - 3861.7] gramos. El valor promedio fue **0.29% menor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 8**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3845.8 gramos, en un rango de [3810.8 - 3888.0] gramos. El valor promedio fue **0.43% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 30**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 27.8 gramos, en un rango de [22 - 35] gramos. El valor promedio fue **0.73% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.55 - 0.95] %.

De la Tabla N°25, Tabla N°26 y Figura N°20, para el concreto **a/c 0.65**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3828.5 gramos, en un rango de [3788.6 - 3997.8] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio fue de 3820.9 gramos, en un rango de [3779.1 - 3989.4] gramos. El valor promedio fue **0.20% menor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 6**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3869.7 gramos, en un rango de [3828.3 - 4040.3] gramos. El valor promedio fue **1.10% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 30**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 48.9 gramos, en un rango de [45 - 52] gramos. El valor promedio fue **1.28% mayor** al peso inicial, en un rango de [1.15 - 1.35] %.

De la Tabla N°25, Tabla N°26 y Figura N°20, para el concreto **a/c 0.70**:

- El **peso inicial** promedio fue de 3881.0 gramos, en un rango de [3781.1 - 4016.0] gramos y ocurrió en el **ciclo 0**.
- El **mínimo valor de peso** promedio fue de 3880.6 gramos, en un rango de [3780.7 - 4015.7] gramos. El valor promedio fue **0.01% menor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 5**.
- El **máximo valor de peso** promedio fue de 3934.0 gramos, en un rango de [3834.3 - 4067.5] gramos. El valor promedio fue **1.36% mayor** al peso inicial y ocurrió en el **ciclo 29**.
- La **variación** entre el peso máximo y mínimo promedio fue de 53.4 gramos, en un rango de [52 - 27] gramos. El valor promedio fue **1.38% mayor** al peso inicial, en un rango de [1.30 - 1.50] %.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de peso, que la tendencia en el máximo valor en peso y en variación de peso se dio conforme aumenta la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

Finalmente, de la Figura N°20, para el concreto en las tres **relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70**, no se observó pérdida de peso dado que no hubo valor máximo de peso del cual luego se haya reducido su valor en los ciclos siguientes.

b) Variación del peso registrado

De la Figura N°21, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que el peso aumentó progresivamente, lo cual generó pendientes positivas en algunos ciclos consecutivos; mientras que, en otros, el peso siguió aumentando a una tasa menor al ciclo anterior y luego se redujo, lo cual generó pendientes negativas.

Dada la importancia de la identificación de los ciclos en que se produjeron las máximas variaciones del peso registrado, se presentaron los rangos de mínima y máxima variación de pesos en ciclos consecutivos para cada una de las muestras y al promedio.

De la Tabla N°27, Tabla N°28 y Figura N°21, para el concreto **a/c 0.60**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -8.68 gramos, en un rango de [(-12) - (-8)] gramos. El valor promedio fue **0.23% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.30) - (-0.20)] % y ocurrió en el **ciclo 8**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 7.27 gramos, en un rango de [9 - 13] gramos. El valor promedio fue **0.19% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.15 - 0.25] % y ocurrió en el **ciclo 9**.

De la Tabla N°27, Tabla N°28 y Figura N°21, para el concreto **a/c 0.65**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -16.1 gramos, en un rango de [(-17) - (-13)] gramos. El valor promedio fue **0.42% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.45) - (-0.35)] % y ocurrió en el **ciclo 5**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 11.2 gramos, en un rango de [10 - 13] gramos. El valor promedio fue **0.29% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.25 - 0.35] % y ocurrió en el **ciclo 30**.

De la Tabla N°27, Tabla N°28 y Figura N°21, para el concreto **a/c 0.70**:

- La **máxima reducción de peso** promedio fue de -17.8 gramos, en un rango de [(-21) - (-16)] gramos. El valor promedio fue **0.46% menor** al peso inicial, en un rango de [(-0.55) - (-0.43)] % y ocurrió en el **ciclo 4**.
- El **máximo aumento de peso** promedio fue de 12.0 gramos, en un rango de [11 - 16] gramos. El valor promedio fue **0.31% mayor** al peso inicial, en un rango de [0.30 - 0.40] % y ocurrió en el **ciclo 29**.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de aumento y reducción de peso en ciclos consecutivos, que la tendencia en los máximos valores de éstos dio conforme aumentó la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

c) Variación acumulada del peso registrado

De la Figura N°22, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que la tendencia de la variación acumulada del peso fue la misma que la del peso con la diferencia de que los valores fueron expresados en porcentaje respecto del peso inicial, el cual fue representado por el 0%.

Dada la importancia de observar la tendencia en el crecimiento del peso a lo largo de los ciclos, se presentaron los rangos de incremento de peso a los 5, 15 y 30 ciclos de aplicación del método para cada una de las muestras y al promedio.

De la Tabla N°29, Tabla N°30 y Figura N°22, para el concreto **a/c 0.60**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de -0.04%, en un rango de $[(-0.15) - (0.17)]$ %.
- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.02%, en un rango de $[(-0.15) - (0.38)]$ %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 0.43%, en un rango de $[0.22 - 0.82]$ %.

De la Tabla N°29, Tabla N°30 y Figura N°22, para el concreto **a/c 0.65**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de -0.14%, en un rango de $[(-0.20) - (-0.02)]$ %.
- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.57%, en un rango de $[0.50 - 0.64]$ %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 1.10%, en un rango de $[0.95 - 1.20]$ %.

De la Tabla N°29, Tabla N°30 y Figura N°22, para el concreto **a/c 0.70**:

- Al **ciclo 5**, la variación acumulada de peso fue de -0.01%, en un rango de $[(-0.12) - (0.15)]$ %.

- Al **ciclo 15**, la variación acumulada de peso fue de 0.66%, en un rango de [0.57 - 0.79] %.
- Al **ciclo 30**, la variación acumulada de peso fue de 1.21%, en un rango de [1.12 - 1.37] %.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció tanto en el valor promedio como en los rangos de variación acumulada de peso que, a excepción del ciclo 5, en los ciclos 15 y 30, que la tendencia del valor acumulado se incrementó conforme aumentó la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

10.3. PROPIEDADES RESISTENTES

Luego haber sometido las muestras de concreto durante 30 ciclos al método de corrosión acelerado, se obtuvo lo siguiente:

10.3.1. Concreto

De la Figura N°23, para las tres relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, se observó que la tendencia de resistencia a la compresión fue de incrementarse hasta el ciclo 4, y posteriormente fue decrecer hasta el ciclo 30 de análisis.

De la Tabla N°31, Tabla N°32, Figura N°23 y Figura N°24, **para la relación a/c 0.60**, cuya resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de edad fue de **332.81 kg/cm²**:

- Al **ciclo 4** (37 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **360.65 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 108.37%**.
- Al **ciclo 15** (59 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **357.79 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 107.51%**.
- Al **ciclo 30** (91 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **349.00 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 104.87%**.
- Así también, se observó la tendencia del incremento del valor de la resistencia a la compresión al ciclo 4 y luego, una disminución de su valor al ciclo 15 y al ciclo 30, el cual este último valor no resultó ser menor que el concreto patrón.

De la Tabla N°31, Tabla N°32, Figura N°23 y Figura N°24, **para la relación a/c 0.65**, cuya resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de edad fue de **307.76 kg/cm²**:

- Al **ciclo 4** (37 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **332.40 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 108.01%**.
- Al **ciclo 15** (59 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **328.02 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 106.59%**.
- Al **ciclo 30** (91 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **300.85 kg/cm²** y se experimentó una **reducción del 100%** (del concreto patrón) **a un 97.76%**.
- Así también, se observó la tendencia del incremento del valor de la resistencia a la compresión al ciclo 4 y luego, una disminución de su valor al ciclo 15 y al ciclo 30, el cual este último valor resultó ser menor que el concreto patrón.

De la Tabla N°31, Tabla N°32, Figura N°23 y Figura N°24, **para la relación a/c 0.70**, cuya resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de edad fue de **272.19 kg/cm²**:

- Al **ciclo 4** (37 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **288.20 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 105.88%**.
- Al **ciclo 15** (59 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **282.96 kg/cm²** y se experimentó un **incremento del 100%** (del concreto patrón) **a un 103.96%**.
- Al **ciclo 30** (91 días de edad), el valor de la resistencia a la compresión fue de **261.17 kg/cm²** y se experimentó una **reducción del 100%** (del concreto patrón) **a un 95.95 %**.
- Así también, se observó la tendencia del incremento del valor de la resistencia a la compresión al ciclo 4 y luego, una disminución de su valor al ciclo 15 y al ciclo 30, el cual este último valor resultó ser menor que el concreto patrón.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció que el valor promedio de resistencia a la compresión del concreto varió conforme al incremento de cantidad de ciclos y en la relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$.

Complementariamente, de la Figura N°25, se observó la tendencia en la absorción del concreto fue reducirse al finalizar el método de corrosión acelerado (edad de 91 días) e incrementarse después del método de corrosión (edad de 150 días).

De la Tabla N°33, Tabla N°34 y Figura N°25, **para la relación a/c 0.60**, cuya absorción del concreto patrón a los 28 días de edad (al iniciar) fue de **5.02%**:

- Al **ciclo 30** (91 días de edad), al finalizar el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 22.65%**.
- Después del método (150 días de edad), luego de dos meses de finalizado el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 69.14%**.

De la Tabla N°33, Tabla N°34 y Figura N°25, **para la relación a/c 0.65**, cuya absorción del concreto patrón a los 28 días de edad (al iniciar) fue de **5.10%**:

- Al **ciclo 30** (91 días de edad), al finalizar el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 24.11%**.
- Después del método (150 días de edad), luego de dos meses de finalizado el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 61.02%**.

De la Tabla N°33, Tabla N°34 y Figura N°25, **para la relación a/c 0.70**, cuya absorción del concreto patrón a los 28 días de edad (al iniciar) fue de **5.27%**:

- Al **ciclo 30** (91 días de edad), al finalizar el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 33.71%**.
- Después del método (150 días de edad), luego de dos meses de finalizado el método de corrosión, el valor del porcentaje de absorción, del **100%** del concreto patrón, **se redujo a 54.54%**.

Dadas las observaciones anteriores, se evidenció que el valor promedio de absorción del concreto al finalizar el método de corrosión acelerado fue mayor conforme al aumento de relación a/c así: $0.60 < 0.65 < 0.70$, mientras que en el después del método el valor fue mayor así: $0.70 < 0.65 < 0.60$.

10.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

10.4.1. Peso registrado

De la Tabla N°35, las **tres relaciones a/c 0.60 0.65 y 0.70**, presentaron un coeficiente de correlación de Pearson (r) mayores a 0.90 (a excepción del concreto armado de relación a/c 0.60) por lo que se presentó una **correlación positiva fuerte** entre la cantidad de ciclos de humedecido y secado y los valores de peso registrados, ya que a mayor cantidad de ciclos, se obtuvo mayor cantidad de peso. Para el **concreto armado de relación a/c 0.60**, se tuvo un valor de 0.776, el cual fue mayor a 0.75, por lo que presentó una **correlación positiva significativa**.

10.4.2. Resistencia a la compresión

De la Tabla N°36, para la **relación a/c 0.60**, debido a que el nivel de significancia (p) fue menor a 0.05, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la comparación del valor de la resistencia a la compresión patrón y el valor de resistencia a la compresión al ciclo 4; sucedió lo mismo entre la resistencia del concreto patrón con la resistencia al ciclo 15 y al ciclo 30. En los demás casos de comparaciones de resistencias en pares, la diferencia no fue significativa estadísticamente.

De la Tabla N°36, para la **relación a/c 0.65**, debido a que el nivel de significancia (p) fue menor a 0.05, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la comparación del valor de la resistencia a la compresión patrón y el valor de resistencia a la compresión al ciclo 4; sucedió lo mismo entre la resistencia del concreto patrón con la resistencia al ciclo 15. En los demás casos de comparaciones de resistencias en pares incluyendo la resistencia del concreto patrón y la resistencia al ciclo 30, la diferencia no fue significativa estadísticamente.

De la Tabla N°36, para la **relación a/c 0.70**, debido a que el nivel de significancia (p) fue mayor a 0.05 en todos los casos a excepción de la comparación entre la resistencia a la compresión al ciclo 4 y al ciclo 30, no se

presentaron diferencias estadísticamente significativas. Solo entre la resistencia al ciclo 4 y al ciclo 30 se encontraron diferencias significativas estadísticamente.

10.4.3. Porcentaje de absorción

De la Tabla N°37, para las tres **relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70**, debido a que el nivel de significancia (p) fue menor a 0.05, se presentaron diferencias significativas en todos los tipos de comparaciones.

CONCLUSIONES

Una vez desarrollada la investigación titulada “Corrosión del concreto armado de mediana a baja resistencia por cloruro de sodio, usando cemento Portland tipo I Sol”, el cual consistió en el estudio de las propiedades del concreto armado reforzado con acero de $\varnothing 5/8$ ” expuesto hasta en 30 ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L, y en donde se elaboraron probetas de concreto de dimensiones 4” x 8” que contuvieron en su interior a una barra de acero de $\varnothing 5/8$ ” de 10 cm de longitud y a 2” de recubrimiento para las relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70, se concluyó lo siguiente:

- Respecto al objetivo general, los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L sí produjeron variaciones en orden creciente al número de ciclos y de la relación agua/cemento ($0.60 < 0.65 < 0.70$) en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8$ ”.
- Respecto al primer objetivo específico, los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L sí produjeron variaciones en orden creciente al número de ciclos y a mayor relación agua/cemento ($0.60 < 0.65 < 0.70$) en el peso (propiedad física) del concreto armado, ya que a mayor cantidad de ciclos se presentó una mayor cantidad de peso en las probetas de concreto armado reforzado con acero de $\varnothing 5/8$ ”, donde la relación entre ciclos de humedecido y secado y el peso promedio fue positiva significativa y fuerte estadísticamente. El incremento al finalizar el método a los 91 días resultó así:
 - Para la relación a/c de 0.60 el valor fue de 0.43% al peso inicial en promedio, con una variación acumulada de peso en un rango de [0.22-0.82]% respecto del peso inicial.
 - Para la relación a/c de 0.65 el valor fue de 1.10% al peso inicial en promedio, con una variación acumulada de peso en un rango de [0.95-1.20]% respecto del peso inicial.
 - Para la relación a/c de 0.70 el valor fue de 1.21% al peso inicial en promedio, con una variación acumulada de peso en un rango de [1.12-1.37]% respecto del peso inicial.

- Respecto al segundo objetivo específico, los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L sí produjeron variaciones en orden creciente al número de ciclos y a mayor relación agua/cemento ($0.60 < 0.65 < 0.70$) en la resistencia a la compresión (propiedad resistente) del concreto, ya que a mayor cantidad de ciclos se presentó una tendencia a disminuir el valor de la resistencia donde algunos de los valores fueron significativamente diferentes estadísticamente. La variación al finalizar el método a los 91 días resultó así:
 - Para la relación a/c de 0.60, la resistencia a la compresión de las probetas, del 100% del concreto patrón se incrementó a 104.87%.
 - Para la relación a/c de 0.65, la resistencia a la compresión de las probetas, del 100% del concreto patrón se redujo a 97.76%.
 - Para la relación a/c de 0.70, la resistencia a la compresión de las probetas, del 100% del concreto patrón se redujo a 95.95%.
- Adicionalmente, respecto a los aspectos físicos encontrados una vez finalizado el método de corrosión acelerado, las probetas de concreto armado reforzado con acero de $\varnothing 5/8$ " a la edad de 150 días evidenciaron desprendimiento superficial, coloración roja cobriza clara en la superficie, picaduras, productos de corrosión en la barra de refuerzo y fisuras.

RECOMENDACIONES

- Dada la tendencia creciente en el peso y decreciente en la resistencia a la compresión del concreto en la presente investigación, se recomienda a las siguientes investigaciones ampliar la cantidad de ciclos utilizando el método de corrosión acelerado aplicado para el estudio de la tendencia del comportamiento.
- Como modificación al método de corrosión acelerado empleado, se recomienda a las siguientes investigaciones variar la temperatura, así como también variar la concentración de la sal de cloruro de sodio en solución.
- De igual manera, se recomienda a las siguientes investigaciones variar los diámetros del acero de refuerzo a 3/8", 1/2" y 3/4", también variar el recubrimiento del acero de refuerzo, el agente agresivo en solución, el tipo de cemento y la posible añadidura de aditivos y/o adiciones para la elaboración de la mezcla del concreto.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto (2da ed.)*. San Marcos. ISBN 978-612-302-060-6.
- Abdallah, M., (2018) *Steel Reinforced Concrete Structures, Assessment and Repair of Corrosion (2da ed.)*. Taylor & Francis Group. ISBN 13: 978-1-138-06698-4
- ACI Committee 211. (2009). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2002)*. ACI 211.1. ISBN: 9780870310171
- Andrew, R. (2019). *Global CO2 emissions from cement production, 1928-2018*. (1. Copernicus Publications (11, Ed.) Earth System Science Data, 1675-1710. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>
- Asociación Colombiana de Productores de Cemento. (2010). *Tecnología del Concreto (3ra ed., vol. 1)*. Nomos Impresores. ISBN 978-958-8564-03-6
- Asociación de Productores de Cemento. (2019a). *Panorama Mundial de la Industria del Cemento*. ASOCEM. <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision%20General%20de%20la%20Industria%20del%20Cemento%20y%20sus%20Principales%20Actores.pdf>
- Asociación de Productores de Cemento. (2019b). *Reporte ASOCEM - Estadísticas Internacionales 2019*. ASOCEM. <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte%20ASOCEM%20-%20Estad%3%ADsticas%20Internacionales%202019.pdf>
- Avendaño, A. (2000). *Corrosión del Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio con Cemento Portland Tipo I [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4308>
- Bizcok, I. (1964). *Corrosión y protección del Hormigón*. Urmo.
- Böhni, H. (2005). *Corrosion in reinforced concrete structures (1ra ed., vol. 1)*. Woodhead Publishing Limited. ISBN 978-1-85573-768-6
- Broomfield, J. (2007). *Corrosion of Steel in Concrete (2da ed., vol. 1)*. Taylor y Francis. ISBN 0-203-41460-8
- Cachay, R. (1995). *Diseño de Mezclas - Método de Agregado Global y Módulo de Finura, para Concretos de Mediana a Alta Resistencia [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/6222>

- Cámara Peruana de la Construcción. (2018). Nueva iniciativa de CAPECO por la construcción responsable: Construyendo formalidad (N° 344-345). *Construcción e Industria*. <https://issuu.com/capeco.org/docs/rcei070818>
- Carnot, A., Frateur, I., Marcus, P., y Tribollet, B. (2002). *Corrosion mechanisms of steel concrete moulds in the presence of a demoulding agent*. *Journal of Applied Electrochemistry*, 32, 865-869.
- Carrillo, J., Cárdenas, P., y Aperador, W. (2015). Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 149-171. 10.14482/inde.33.2.7075
- Casabonne, C. (1998). *I Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción*.
- Castañeda, A., y Rodríguez, M. (2014). Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. *CENIC Ciencias Químicas*, 45(1), 52-59. ISSN 1015-8553
- Cerdán, W. E. (2012). *Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia con Aditivo Anticorrosivo y Cemento Portland Tipo I [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3695>
- Chacón, M. (2018). *Estudio de la Corrosión del Concreto de Mediana Resistencia por Efecto de los Sulfatos Utilizando Cemento Quisqueya tipo I – Lima 2018 [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25013>
- Chalco, A. (2002). *Corrosión del Concreto de Mediana a Alta Resistencia con Cemento Portland Tipo I y Aditivo Plastificante por Acción del Cloruro de Sodio [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4321>
- Del Valle, A., Pérez, T., y Martínez, M. (2001). *El Fenómeno de la Corrosión en Estructuras de Concreto Armado*. Instituto Mexicano del Transporte. ISSN: 0188-7297
- Díaz, J. (1994). *Corrosión del Cemento por Ataque de Sulfatos [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/20185>
- Dyer, T. (2014). *Concrete Durability (1ra ed., vol. 1)*. Taylor y Francis Group. ISBN 978-0-203-86211-7
- Espejo, H. (2004). *Corrosión del Concreto de Mediana a Alta Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio usando Cemento Portland Tipo I y Aditivo*

- Superplastificante y Autocompactante [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].* Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3101>
- Feng, W., Tarakbay, A., Ali, S., Tang, W., Cui, H. (2021). Methods of accelerating chloride-induced corrosion in steel-reinforced concrete: A comparative review. *Construction and Building Materials*, 289 (págs. 123-165). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123165>
- Francois, R., Laurens, S., y Deby, F. (2018). Steel Corrosion in Reinforced Concrete. En R. Francois, S. Laurens, y F. Deby, *Corrosion and Its Consequences for Reinforced Concrete Structures* (págs. 1-41). ISTE Press - Elsevier. 10.1016/b978-1-78548-234-2.50001-9
- Gambhir, M. (2006). *Concrete Technology*. Mc Graw Hill (3ra ed.) ISBN 0-07-058374-9
- García, C. (2001). *La Corrosión del Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio usando Cemento Portland Tipo I y Aditivo Plastificante [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].* Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4317>
- García, N. (2020). *Primordiales Problemas de la Durabilidad del Concreto: una revisión general [tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás].* Repositorio Institucional USTA. <http://hdl.handle.net/11634/30408>
- González de la Cotera, M. (1998). *La corrosión del concreto en ambiente marino*. Editorial ASOCEM. http://web.asocem.org.pe/asocem/bib_img/67826-8-1.pdf
- Hansson, C. (2016). An introduction to corrosion of engineering materials. En A. Poursaei, *Corrosion of Steel in Concrete Structures* (págs. 3-18). Woodhead Publishing. 10.1016/b978-1-78242-381-2.00001-8
- Hernández, J. (2012) Diagramas de Pourbaix: herramienta termodinámica aplicada a los problemas de corrosión. *REDIP. UNEXPO*, 2(5). <http://redip.bqto.unexpo.edu.ve>
- Hernández, Y., Rincón, O., Torres, A., Delgado, S., Rodríguez, J., y Morón, O. (2016). Relación entre la Velocidad de Corrosión de la Armadura y el Ancho de las Fisuras en Vigas de Concreto Armado Expuestas a Ambientes que Simulan el Medio Marino. *Revista ALCONPAT*, 6(3), 271-282. <https://doi.org/10.21041/ra.v6i3.152>
- Hunkeler, F. (2005). Corrosion in reinforced concrete: processes and mechanisms. En H. Bohni, *Corrosion in Reinforced Concrete Structures* (págs. 1-45). Woodhead Publishing. 10.1533/9781845690434.1

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2017). Patología y durabilidad del concreto. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 6 (12).
<http://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2002). *Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso (NTP400.021) (2da ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=32439>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020a). *Cementos. Cementos Pórtland. Requisitos (NTP 334.009) (7ma ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=32579>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020b). *Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos (NTP 400.011) (3ra e.d.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=31761>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020c). *Agregados. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP400.017) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=31763>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020d). *Agregados. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo (NTP400.021) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=32439>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021a). *Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones (NTP 339.088) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33398>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021b). *Agregados. Agregados para concreto. Especificaciones (NTP 400.037) (5ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33406>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021c). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo (NTP400.012) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33404>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021d). *Agregados. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo (NTP339.185) (3ra ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33401>

- Instituto Nacional de Calidad. (2021e). *Concreto. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados (NTP339.047) (4ta ed.)*.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33397>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021f). *Agregados. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo (NTP 400.022) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33405>
- Instituto Nacional de Calidad. (2022). *Concreto. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo (NTP339.035) (5ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=34704>
- Instituto Nacional de Calidad. (2016). *Hormigón (Concreto). Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de hormigones frescos, por el método de mesa de sacudidas (NTP339.085) (1ra ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=22878>
- Instituto Nacional de Calidad. (2017a). *Concreto. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión (NTP339.080) (3ra ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=25028>
- Instituto Nacional de Calidad. (2017b). *Concreto. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración (NTP339.082) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=25030>
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). *Concreto. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto (NTP339.046) (3ra ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=31457>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020e). *Concreto. Determinación de la exudación del concreto. Métodos de ensayo (NTP339.077) (4ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=32565>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021g). *Concreto. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo (NTP339.034) (5ta ed.)*. INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/datos.aspx?id=33396>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Resultados Definitivos Censo 2017 (Tomo I)*. INEI.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1544/00TOMO_01.pdf

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Venta local de cemento por empresa, según departamento*. Editorial INEI. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/indices_tematicos/18.02.xlsx
- International Cement Review. (2017). *The global Cement Report (12 ed., vol. 1)*. Tradeship Publications Ltd.
- Jiménez, K., y Lozano, H. (2018). *Análisis de la Influencia de Sulfatos y Cloruros en el Deterioro de Estructuras en Concreto en Zonas Costeras del Atlántico Colombiano*. [tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10983/22815>
- Karadumpa, C., y Pancharathi, R. (2021). *Developing a novel mix design methodology for slow hardening composite cement concretes through packing density approach*. *Construction and Building Materials*, 303, 124391. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.124391
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., y Payer, J. (2016). *International Measures of Prevention, Application and Economics of Corrosion Technologies Study*. Nace International Impact. <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>
- Kwan, A., Wong, V., y Fung, W. (2015). *A 3-parameter packing density model for angular rock aggregate particles*. *Powder Technology*. 274, 154-162, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.12.054>.
- Marcotte, T., y Hansson, C. (2003). The influence of silica fume on the corrosion resistance of steel in high performance concrete exposed to simulated sea water. *Journal of Materials Science*, 38(23), 4765-4776. 10.1023/a:1027431203746
- Matallana, R. (2019). *El Concreto, Fundamentos y Nuevas Tecnologías (1ra ed.)*. Coordinador Editorial Juan Arango. ISBN 978-958-57497-4-0
- Meza, E. (2003). *Proceso de Corrosion en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Accion del Sulfato de Magnesio, usando Cemento Potland Tipo I [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3063>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Informe de Actualización de Proyecciones Macroeconómicas 2021-2024*. MEF. https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/marco_macro/IAPM_2021_2024.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético INDUSTRIAS CEMENTERAS*. MINEM. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energe>

- tica/publicaciones/guias/12_%20%20guia%20industrias%20cementeras%20DGEE%2006-09-19.pdf
- Neville, A. (2013). *Tecnología del Concreto (4ta ed.)*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC. ISBN 968-464-092-7
- Neville, A., y Brooks, J. (1998). *Tecnología del Concreto (1ra ed.)*. Trillas. ISBN 968-24-0461-4
- Neville, A., y Brooks, J. (2010). *Tecnología del Concreto (2da ed., vol. 1.)*. Prentice Hall. ISBN 978-0-273-73219-8
- Newman, J., y Seng, B. (2003). *Advanced Concrete Technology, Concrete Properties (1ra ed., vol. 2)*. Elsevier. ISBN 0 7506 5104 0
- Nishibayashi, S., Yamura, K., y Inoue, S. (1980). Durability of Concrete in Sea Water: Method of Accelerated Testing and Evaluation. *International Concrete Abstracts Portal*. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/6362>
- Orozco, L. (2001). *Corrosión Acelerada del Concreto de Mediana a Alta Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio con Cemento Portland Tipo I*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4331>
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú (2da ed.)*. Colegio de Ingenieros del Perú.
- Popov, B. (2015). *Pitting and Crevice Corrosion, Corrosion Engineering Principles and Solved Problems (1ra ed.)*. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-62722-3.00007-0>
- Pourbaix, M. (1974). *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. national Association of Corrosion Engineers.
- Poursaee, A. (2016). Corrosion of steel in concrete structures. En A. Poursaee, *Corrosion of Steel in Concrete Structures* (págs. 19-33). Woodhead Publishing. 10.1016/b978-1-78242-381-2.00002-x
- Ramírez, E. (1994). *Corrosión de las armaduras embebidas en hormigón en ambientes de extrema agresividad. Posibilidades de protección mediante inhibidores*. [tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional de la UCM. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/2107/>
- Real Academia Española. (2021). *Diccionario de la lengua española (edición del tricentenario)*. <https://dle.rae.es/corrosi%C3%B3n>
- Rendon, L., y Koleva, D. (2017). *Concrete Durability*. Springer International Publishing. 10.1007/978-3-319-55463-1

- Rimarachín, L. (2013). *Corrosión del Mortero de Cemento con Armadura, por Ataque del Cloruro de Sodio*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3445>
- Rivva, E. (2006). *Durabilidad y Patología del Concreto (1ra ed., vol. 1)*. Fondo Editorial ICG. <https://es.scribd.com/doc/216929690/Durabilidad-y-Patologia-del-Concreto-ENRIQUE-RIVVA-L>
- Rojas, J. (2021). *Efectos en el Concreto Armado por Acción del Cloruro Férrico*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Sánchez de Guzmán. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero (5ta ed.)*. Bhandar Editores. ISBN 9589247040
- Sbia, L., Peyvandi, A., Soroushian, P., Balachandra, A. y Sobolev, K. (2015). *Evaluation of modified-graphite nanomaterials in concrete nanocomposite based on packing density principles*. Construction Building Materials, 76 (413-422), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.019>
- Torres, P. (2019). *Deterioro del Concreto Armado por Ataque del Cloruro Férrico*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/18713>
- Unión Andina de Cementos. (2012). *Ficha Técnica Cemento Sol*. Cemento Sol. <https://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2012/03/Ficha-Sol.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto (1ra ed., vol. 1)*. Limusa. ISBN 968-18-4980-9
- Val, D. (2005). Effect of Different Limit States on Life-Cycle Cost of RC Structures in Corrosive Environment. *Journal of Infrastructures Systems*, 11(4), 231-240. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2005\)11:4\(231\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:4(231))
- Verbeck, G. (1995). *Carbonation of Hydrated Portland Cement*. Portland Cement Association. 10.1520/STP39460S
- Zhang, G., Yan, Z., He, F., Wang, R. y Chen, C. (2020). *Study on concrete workability based on comparison between the minimum paste demand and the closest packing density*. Mathematical Problems in Engineering, <https://doi.org/10.1155/2020/8934684>.
- Zhao, Y., y Jin, W. (2016). *Steel Corrosion - Induced Concrete Cracking*. China Science Publishing & Media Ltd. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809197-5.00002-5>
- Zongjin, L. (2011). *Advanced Concrete Technology (1ra ed., vol. 1)*. John Wiley y Sons. ISBN 978-0-470-43743-8

ANEXOS

ANEXO A

INTRODUCCIÓN

Schlüsselbauer Technology GmbH & Co KG, 4673 Gaspoltshofen, Austria

American Concrete Products Co. is investing in the highly efficient production of corrosion-resistant concrete wastewater pipes

■ Christian Weinberger, Schlüsselbauer Technology GmbH & Co KG, Austria

After a year of gaining experience with the Perfect Pipe concrete-plastic composite pipe in select projects, American Concrete Products Co. installed a fully automatic system for the production of HDPE liner cylinders in summer 2020. This means the liners required for the innovative Perfect Pipe wastewater pipe can now be produced on an industrial scale. The "American Perfect Pipes" are produced in six nominal widths from DN 600 to DN 1500 and an installation length of 3 m at the Omaha site. The decision to invest further in this new technology was made based on specific experiences and feedback from the market. In the past, prefabricated liners were processed in Omaha and pipes were thus made available for the first civil engineering projects, but now the complete manufacturing process has been set up at the site.

Decisions Based on Positive Experiences

The main wastewater collection system in the city of Smithville, Missouri was restored in 2019. GRP pipes were installed at the beginning of the project. Over the course of the installation, however, the executing firm Blue Nile Construction began running into more and more problems. Deformations and leaky pipe connections made it impossible to implement the measure according to the plan. While looking for a reliable solution for this pipeline to be constructed in incon-



American Perfect Pipe is installed in Nebraska. A corrosion-protected flexible pipe system is produced immediately after the pipe has been installed.

sistent ground conditions, they made a true find with American Concrete Products Co. The Perfect Pipe pipe system offered all the required properties of a robust pipe type that maintains stability through the entire pipeline even with little lateral support due to the sandy soil. In addition to the resilience of the pipe, the continuous corrosion protection in



In contrast to conventional concrete pipes, production takes place on a needs-based manner, with correspondingly low stock levels and tied-up capital.

Figura A-1 Corrosión en tubería de Concreto, parte 1.

Fuente: Weinberger (2020)

CONCRETE PIPES AND MANHOLES



The fully automatic HDPE liner welding system from Schlüsselbauer Technology supplies liner cylinders from DN 300 to DN 1500 for a max. pipe length of 3 m.

the pipe and in the flexible pipe connections as well as the simple installation were important for the construction company. Details about this measure where GRP pipes DN 900 were replaced by the American Perfect Pipe can be found on the website of American Concrete Products Co. (www.amconco.com/projects/1/2/utility-projects/smithville-mo-waste-water-treatment-facility/).

The feedback from this and other projects reassured the decision makers from American Concrete Products Co. and the owners of Enterprise Properties Inc. about their intention to prepare themselves for future requirements in the pipeline

market via new technologies. After taking over the production site from a traditional concrete pipe manufacturer, Enterprise Properties Inc. endeavored from the beginning to introduce new and promising civil engineering products in addition to the tried-and-tested concrete pipe. While in the USA small pipe diameters are also increasingly being produced as plastic pipes, there is great market potential for concrete pipes, not least due to the ever-present high demand for new building construction. However, requirements are changing in both areas - surface drainage and wastewater discharge. "Zero leak"—the absolute water-tightness of pipelines—is now not only required by planners, but also consistently checked during implementation. This is a development that benefits quality-focused manufacturers such as American Concrete Products Co. and which has now spread to the entire nation, as demonstrated by the installation of this plant in the Midwestern state of Nebraska.

Insights into Needs-Based Production

As a first step for Perfect Pipe production at American Concrete Products Co., a liner sheet corresponding to the diameter is cut from a coil whose width corresponds to the subsequent length of the pipe. This HDPE sheet is moulded into a cylinder in the system supplied by Schlüsselbauer Technology and welded fully automatically. This ensures the consistent high quality of the weld seam and thus the tightness of the liner. The ends of the liner cylinder are then heated and moulded in a thermoplastic process. This creates the mount for the connectors to seal the pipes. The prefabricated HDPE cylinder is pushed over the shrink core of the casting mould



After the welding and cooling phase, the liner cylinder is ejected from the machine and is immediately ready for the next production step.

Figura A-2 Corrosión en tubería de Concreto, parte 2.
Fuente: Weinberger (2020)



PERFECT 
FORMING TECHNOLOGY

Your
CUTTING EDGE TECHNOLOGY
Reap the benefits for
years to come.

Your investment will ensure
sustained profitability.

PERFECT FORMING TECHNOLOGY.
The new state of the art for mold-hardened
concrete/HDPE composite pipes.

Broaden your competitive advantage with its
ingenious engineering and cost efficiency.

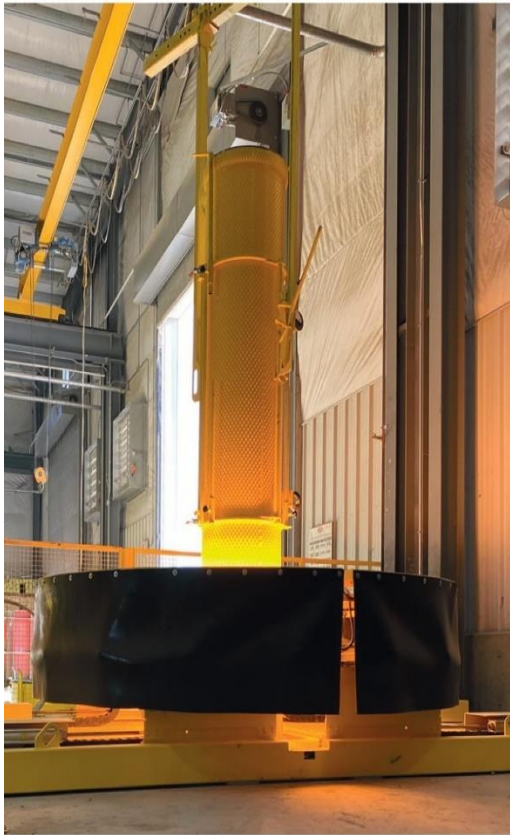
Let's start a conversation about what exceptional design
and cost effectiveness can do for you.

 +43 7735 7144-0  sbm@sbm.at  sbm.at

SCHLUSSELBAUER 
Technology for people

Figura A-3 Corrosión en tubería de Concreto, parte 3.
Fuente: Weinberger (2020)

CONCRETE PIPES AND MANHOLES



The ends of the liner cylinder are moulded in a thermo-plastic process to make room for connecting the Perfect Pipe Connectors with external seals.

and fixed in its circular cross-section by widening the core. After inserting the reinforcement cage, the casting mould is closed and filled with self-consolidated concrete. The pipes with the fixed liner connection in the concrete harden in mould. This permanent bond is created through numerous anchors on the back of the liner. American Concrete Products Co. can manufacture two pipes per day per casting mould using the Perfect Forming Technology system. A hydraulic turning gripper is used for demoulding, which removes the pipes from the mould. As the final production steps, the connectors with external tilting lip seals are mechanically pressed into the bell and a label is adhered to the pipes which provides information on product and production data.

Additional consulting services from American Concrete Products Co. will be required for customers since Perfect Pipe will be used to specifically supply those wastewater drainage projects for which concrete pipes are generally no longer considered to be sufficiently resistant to biogenic sulfuric acid corrosion. Decision-makers in communities and the executing companies for planning and installation must first be made aware of the advantages of the new type of pipe. This phase

of the introduction and consultation gives American Concrete Products Co. the opportunity to promptly adapt to specific requirements and to produce in a needs-based manner. This is particularly advantageous for the manufacturer during the market launch phase, since barely any additional capital is tied up through large-scale storage. The same applies to the manhole components in these projects. Perfect manhole manufacturing has also been in operation at the Omaha site for several years, where custom manhole bases are also produced as needed (see report in CPI 01/2019).

Efficient Production and Efficient use of Resources

The higher corrosion protection for wastewater pipes—which is being increasingly required—places high demands on pipe manufacturers. This is becoming increasingly relevant for concrete pipe manufacturers, as demonstrated by a number of tests from recent years, in which pipes must have a higher surface resistance to chemicals through coatings or additives in the concrete mixture. Protection via liners also shows a wide range of attempts to solve the problem of corrosion protection. We can now look back at a variety of coating, additive and liner variants which have proven to be impractical for long-term use. The reasons for this may lie in technical failure, an inadequate cost-benefit ratio, or both. New approaches to concrete pipe corrosion protection often failed to meet even the basic requirement for simple and clear traceability of the existing protection. It was at this point that the development of Perfect Pipe began.

Corrosion protection must be identifiable and easy to measure even after decades of use. The protection system must naturally have a reliable, strong connection to the concrete pipe. Last but not least, the protection system must also be economically beneficial. All these requirements are met through the minimum wall thickness of the Perfect Liner of



The Perfect Forming Technology moulding system for processing self-compacting concrete is a key element of the Perfect Pipe production process.

Figura A-4 Corrosión en tubería de Concreto, parte 4.
Fuente: Weinberger (2020)

CONCRETE PIPES AND MANHOLES

AMERICAN CONCRETE PRODUCTS

ABOUT UTILITY PRODUCTS RAILROAD PRODUCTS PROJECTS CERTIFICATIONS CONTACT

HOPE-LINER CONCRETE SANITARY PIPE
PIPE
MANHOLES & JUNCTION BOXES
HIGH CHASE PIPES
UTILITY VALVES
INLET STRUCTURES
CREASE INTERCEPTORS
SPECIALTY PRODUCTS
WATER QUALITY UNITS

Introducing PERFECT Pipe – Technology that Sets a New Quality Standard in Sanitary Sewer Construction

For sanitary sewer pipelines required to withstand earth loads and chemical attack, High Density Polyethylene (HDPE) and Reinforced Concrete is the only viable solution.

www.amconco.com/utility-products/perfect-pipe



1.65 mm and the large number of anchors on the back of the liner. The thickness is sufficient to achieve a 100-year service life with a high level of security assuming the normal amount of abrasion. The number of anchors is selected so that the Perfect Liner has a very high extraction force. The wall thickness of 1.65 mm is also ideal for efficient production. Processing is reliable with consistent high quality, and material consumption can be kept to a minimum. If a pipeline is removed, the materials used can be recycled, avoiding the need for disposal of problematic materials. In the overall context of “use of resources + technical implementation + economic suitability”, Perfect Pipe now provides concrete pipe manufacturers with a solution to the aforementioned corrosion protection problem. In addition, the company’s own range of services is expanded to include a product with high growth potential.

Construction companies value the simplicity of the Perfect Pipe installation. Regardless of the trench depth and the soil properties, the correct installation of the pipeline is much easier than with flexible pipes made of GRP or plastic.

Perfect Forming Technology

The mould system developed by Schlüsselbauer Technology with the introduction of the Perfect manhole bases forms an essential foundation for the production of the Perfect Pipe concrete-plastic composite pipe. Regardless of whether moulds are used in small batches or whether dozens of moulds are part of the fully automatic production concept, the result is always a high-quality concrete pipe. The same applies to the pipe geometry and installation variant. Regardless of whether bell-shaped joint pipes, foot pipes or jacking pipes are needed, these can also be manufactured together in one production plant with mould hardening. Details in the casting moulds developed by Schlüsselbauer Technology, such as the maintenance-free shrink core, make up the special advantages of Perfect Forming Technology and their effects are evident in the end product. Owing to the continuous development of mould technology, both the quality of the end products and the profitability of large-scale wet cast production are continuously increased.

Schlüsselbauer sponsored the free download possibility of the pdf of this article for all readers of CPI. Please check the website www.cpi-worldwide.com/en/channels/schlusselfbauer or scan the QR code with your smartphone to get direct access to this website.

FURTHER INFORMATION



American Concrete Products Co.
8707 N 300th Street
Valley, NE 68064, USA
T +1 402 331 5775
www.enterprise-properties.com



Schlüsselbauer Technology GmbH & Co KG
Hörbach 4, 4673 Gaspoltshofen, Austria
T +43 7735 71440
sbm@sbm.at, www.sbm.at

www.cpi-worldwide.com

CPI – Concrete Plant International - 5 | 2020 105

Figura A-5 Corrosión en tubería de Concreto, parte 5.
Fuente: Weinberger (2020)

ANEXO B

MARCO TEÓRICO

SP 65-20

Durability of Concrete in Sea Water:
Method of Accelerated Testing and Evaluation

By Shinzo Nishibayashi, Kiyoshi Yamura, and
Shoichi Inoue

Synopsis: The seawater resistance of concrete must be considered when it is used for construction on the sea-shore or in the ocean. This paper describes an accelerated test method for assessing durability by subjecting the concrete to repeated cycles of seawater immersion and oven-drying.

Test were ^{llevar a cabo} carried out to evaluate the procedure in which, in addition to visual observation, reduction in dynamic modulus and length changes of the concrete up to 200 cycles were measured. Resistance indicators are proposed which combine these factors.

Among the variables included in the test specimens it was found that seawater resistance of concrete is mainly affected by the type of cement, the water-cement ratio, the mixing water (fresh or seawater) and the age at immersion (period of pre-curing).

Keywords: accelerated tests; concrete durability; corrosion resistance; dynamic modulus of elasticity; immersion tests (corrosion); sea water; shrinkage.

351

Seashore n. costa, playa, orilla o ribera del mar
asses v.t. valorar, apreciar, tasar, calcular

Fuente : American Concrete Institute **ACI**
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment

Figura B-1 Método de corrosión acelerado, parte 1.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

S. Nishibayashi, a member of ACI, is a professor of Civil Engineering and the dean of Faculty of Engineering at Tottori University, Japan, and a graduate of Kyoto University, Japan, M.Sc. in 1959 and Dr.Eng. in 1968. He has been active in concrete research for about 20 years and has numerous publications in the area.

ACI member, K. Yamura is an associate professor of Civil Engineering at Tottori University. He graduated in 1967, received his M.Sc. in 1969 and got Dr.Eng. in 1980 from the Kyoto University. He was an associate researcher from 1971 to 1979 at Kyoto University.

S. Inoue is a lecturer of Civil Engineering at Tottori University. He graduated from Tottori University in 1972 and obtained his M.Sc. from Gifu University in 1974. He was an associate researcher from 1974 to 1979 at Tottori University.

INTRODUCTION

Recently, in Japan, much attention has begun to be paid to marine construction. In such construction, steel and concrete are commonly used just as on land, but it must be ascertained that these materials will perform satisfactorily.

Structures at the seaside or in the ocean fundamentally undergo attack by seawater, and in addition are exposed to the severe weather conditions of the marine environment. For these structures, therefore, sufficient durability and safety are essential, as reinforcement and repair work after construction are generally very difficult to carry out, and maintenance-free conditions are consequently required.

MATERIALS

Two kinds of cement, i.e., normal portland cement (NP cement) and seawater-resisting cement (SR cement containing about 80 percent of blended blast-furnace slag) for marine underwater work were used. The physical properties and chemical compositions are shown in Table 1.

The aggregates used were crushed stone (specific gravity, 2.65; bulk density, 1550 kg/m³; absorption, 0.92% and F.M., 7.13) and river sand (specific gravity, 2.59; absorption, 1.33% and F.M., 2.73). All aggregates were used in a saturated surface dry condition

352

lecturer n. conferenciante; conferencista;
lector (de una universidad).

ascertain v.t. averiguar, descubrir, determinar

perform v. ejecutar, llevar a cabo, cumplir, hacer

undergo v.t. sufrir, padecer, experimentar, aguantar,
soportar a

Fuente: American Concrete Institute ACI
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment

Figura B-2 Método de corrosión acelerado, parte 2.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

when mixing concrete.

A typical water-reducing admixture, Pozzolith No. 8A, was used for the purposes of reducing water content, entraining air, and improving the workability of fresh concrete.

Because, in practice, supplying large quantities of fresh water may be difficult out in the ocean, to examine the effect of the mixing water on the properties of concrete both fresh water and seawater were used.

Mix proportions to obtain constant a slump of 6 to 9 cm, an air content of 4 to 6% and two levels of water cement ratio of 0.40 and 0.60 were determined from trial batches for all combinations of proportions. These mix proportions are shown in Table 2.

TEST PROGRAM, CONDITIONS, AND METHODS

The scope of the tests performed is summarized in Table 3. The test method adopted for this study may be broadly divided into the following:

- a) Long-term Immersion Test... Changes in properties of concrete immersed in fresh water and seawater were measured for approximately 1,000 days.
- b) Accelerated Test... In order to accelerate changes, specimens after standard curing (20°C in water) for 3 or 28 days were subjected to repeated cycles of immersion in seawater for 24 hours and drying in an oven (temperature; 60 to 80°C) for 24 hours, in accordance with the wetting and drying test methods of the U.S. Bureau of Reclamation[1] and Nishibayashi[2].

In the accelerated test, in addition to visual observation, the reduction in dynamic modulus of elasticity in flexural vibration (sonic method) and length changes using a Hugenberger strain meter having a gauge length of 10 in. were measured. These measurements were made with the concrete in the saturated condition, after immersion and just before drying, every 10 cycles for 200 cycles. Whenever the accelerated test had to be suspended midway, specimens were stored in a room of constant temperature and humidity (20 ± 2°C, 90% R.H.), and testing was resumed from the immersion stage. All of the accelerated tests terminated at 200 cycles and the values then were adopted as ultimate characteristic values.

In long-term immersion tests, in addition to measurements of dynamic modulus of elasticity, E_D , and length change every month, compressive strength tests were carried out about every three months.

Four 10x10x40 cm specimens for immersion test and 10x20 cm cylinders for compressive strength test were prepared for each test item and the results of tests

353

long-term : Plazo largo

bulk density : densidad de masa

bulk specific gravity : peso específico de la masa

Fuente: American Concrete Institute ACI, cuando, siempre que, cada vez que
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment

Figura B-3 Método de corrosión acelerado, parte 3.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

are shown as averages. Both fresh water and seawater in the testing baths were renewed every month.

RESULTS AND DISCUSSIONS

(1) Long-term Immersion Test

The results of the long-term immersion tests are shown in Fig. 1 through 8. For convenience, the characteristic values of relative dynamic modulus of elasticity (RE_D) and relative compressive strength (specific strength) are expressed as ratios of the data at age of 28 days, and length changes by their absolute values ($\times 10^{-4}$) (positive indicates expansion; negative indicates shrinkage).

According to the results, when NP cement (NW and NS) was used, the tendency for deterioration was most evident in concrete having the higher water-cement ratio, having seawater as the mixing water, when immersed in seawater, and subjected to 28-days pre-curing. In particular, with the combination of higher water-cement ratio and seawater as mixing water, deterioration took place with certainly regardless of the age at the start of immersion. Pre-curing was not effective for improvement of durability of the concrete having the higher water-cement ratio.

When using SR cement (SW and SS), there was no recognizable deterioration during the observation period of about 1,000 days.

(2) Accelerated Test

The RE_D and length-change values of specimens repeatedly subjected to immersion and drying are shown in Fig. 9 through 16. The characteristic values at the beginning of the accelerated tests were taken as the reference values, and representative values at every 20 to 30 cycles were plotted.

In concretes made with NP cement (NW and NS), length changes tended to be large at early cycles, but the rate of change decrease and approached a maximum value. On the other hand, with concretes containing SR cement (SW and SS), it was found that length changes were very small up to 100 cycles, but suddenly began to increase at 100 cycles or more.

This difference due to kind of cement used may depend on the compositions of the cement. The chemical reaction between seawater and NP cement begins at an early stage, while with SR cement, the reaction is delayed until after a certain number of cycles.

With concrete mixed using NP cement and seawater and subjected to accelerated testing at the age of 3 days, the length change was especially great, presumably because of expansive material (ettringite) produced by a reaction between sulfates in the seawater and cer-

354

Shrinkage n. contracción; merma; encogimiento

Fuente : American Concrete Institute ACI
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment

Figura B-4 Método de corrosión acelerado, parte 4.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

tain chemical components of the cement.

With NP cement, the reduction in RE_D tends to be large from some early cycle less than 100 cycles. With SR cement, the reduction does not begin until after at least 100 cycles.

Pre-curing for improvement of durability against seawater does not appear to be effective regardless of kind of cement. O. E. Gjørsv[3] and Fukuoka et al[4] have also reported that seawater resistance of pre-cured concrete is inferior. This is assumed to be so because when ettringite is produced at an early stage of cement hydration the restraint of expansion of the ettringite is small and the disruption of the structure caused by this expansion may be repaired with the progress of hydration. On the other hand, when ettringite is produced at a stage of advanced hydration, the restraint of expansion is large and the structure may be disrupted by stresses due to restraint.

ESTIMATION OF SEAWATER RESISTANCE BY ACCELERATED TEST

The results obtained from the accelerated test are shown in Table 4. Values of E_D at 200 cycles were lower than 100 percent for all of the concretes except NW-3W, and RE_D values in about half the specimens were less than 60%. Length changes were very large in NW-40-28S, NS-40-3S, NS-60-3W and 3S, being in the order of 40×10^{-4} .

The deterioration of concrete due to the action of seawater can be judged to a certain extent simply by comparing the various characteristic values at 200 cycles, but an assessment of seawater resistance considered comprehensively by characteristic values and number of cycles can not be made.

Therefore, indexes similar to the durability factor in freezing and thawing tests were defined and estimations of seawater resistance were tried based on these indexes.

Seawater resistance factor (1) (SDF(1)) calculated by the following expression are shown in Table 5.

$$SDF(1) = nP/m$$

where, $P = RE_D = 60\%$ (if $RE_D < 60\%$ at 200 cycles, P to be RE_D measured), $m = 200$ cycles, and $n =$ number of cycles at RE_D of 60% (200 cycles if $RE_D < 60\%$).

The concretes for which SDF (1) values were less than 30% and the seawater resistances judged to be particularly inferior were NW-60-28S, NS-40-28S, NS-60-3S, NS-60-28S, and SS-40-28S. Therefore, from this index, with NP cement, it can be judged that concrete having either one or a combination of the conditions high water-cement ratio, seawater as mixing water, precuring,

355

regardless of sin hacer caso de, prescindiendo de
restraint n. restricción; reserva, circunspección

Fuente : American Concrete Institute ACI
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment

Figura B-5 Método de corrosión acelerado, parte 5.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

and immersion in seawater will have inferior seawater resistance. On the other hand, using SR cement, it can be assumed that deterioration will be marked only when seawater as mixing water, pre-curing and immersion in seawater are selected as conditions of testing.

Another index of seawater resistance (SDF(2)) evaluated through combinations of a number of factors such as P, n, m and length change at 200 cycles, l, calculated by the following formula, is also shown in Table 5.

$$SDF (2) = Pn/lm \times 100$$

With NP cement, the SDF(2) indexes of all concretes except for NW-40-3W, NW-60-3W and NS-40-3W are low, and therefore, it can be judged that deterioration has progressed. In other words, when immersed in seawater, both length change and reduction in RE_D became large, and these tendencies were more pronounced when seawater was used as mixing water. On the other hand, with SR cement, the indexes of SS-40-3S, SS-40-28S, SS-60-3S and SS-60-28S are low, and therefore, it can be judged that deterioration of concrete using seawater for mixing and immersed in seawater is very pronounced. Moreover, concretes showing low indexes, either SDF (1) or (2), were NW-40-28S, NW-60-28S, NS-40-28S, NS-60-3S, NS-60-28S and SS-60-28S, and therefore, it may be stated that the seawater resistance of a concrete for which four conditions such as NP cement, seawater as mixing water, pre-curing for 28 days, and immersion in seawater overlap, will be particularly inferior.

RELATIONSHIP BETWEEN ACCELERATED AND LONG-TERM IMMERSION TEST

The reliability of the accelerated test must be proven in comparison with the long-term immersion test. As the long-term immersion test results obtained in the present study are only for approximately 1,000 days, they are not adequate for a direct comparison with the results of the accelerated tests. Therefore, the reliability of the accelerated test is discussed here with reference to the 30-year test results reported by Gjorv[3]. His data are the results from concretes of nearly the same kind and condition as in the present study relative to such factors as cement type, mix proportions, and with or without pre-curing.

When compared with Gjorv's data, it appears that the characteristic values after 200 cycles of immersion in seawater and drying in an oven are very close to the values of specimens immersed in seawater for approximately 30 years. Therefore, one cycle in the acceler-

**Fuente : American Concrete Institute ACI
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment**

Figura B-6 Método de corrosión acelerado, parte 6.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

ated treatment may roughly correspond to immersion in seawater for 50 to 60 days.

CONCLUDING REMARKS

In this study, an accelerated method for evaluating the seawater resistance of concrete by repeated cycles of immersion in seawater and drying in an oven has been proposed and test results presented. The resistance was estimated from the rates of reduction in dynamic modulus of elasticity, RE_D , and the length changes of specimens.

The conclusions of the present study are summarized as follows:

- 1) The seawater resistance of concrete using SR cement is considerably superior to that of concrete using NP cement
- 2) The degree of deterioration under action of seawater is greatest with higher water-cement ratio, seawater as mixing water, and pre-curing.
- 3) The most satisfactory estimation of seawater resistance is obtained by indexes derived from combinations of several factors such as number of cycles of immersion in seawater and oven-drying, reduction in dynamic modulus of elasticity, and length change, similar to the durability factor of freezing and thawing test.
- 4) As changes in characteristics of concrete appear rapidly and evaluation of seawater resistance can be made fairly distinctly, the method is useful as an accelerated durability test.

The effects of concentrated seawater, use of artificial seawater, intervals of wetting and drying, quantitative X-ray diffraction analysis of chemical products formed by immersion in seawater, and relationships between deterioration of concrete and the chemical products thereof are now being examined.

ACKNOWLEDGMENTS

This project was made possible by a grant from the Ministry of Education, Japan, and testing was done at the Civil Engineering Laboratory of Tottori University. The authors express their gratitude to research fellows at the laboratory for their enthusiastic cooperation in the study.

**Fuente : American Concrete Institute ACI
SP 65 Performance of Concrete in Marine Environment**

Figura B-7 Método de corrosión acelerado, parte 7.

Fuente: Nishibayashi et al. (1980)

Diagrama de Pourbaix

Según Hernández (2012) los diagramas de Pourbaix o diagramas potencial-pH han representado tanto la estabilidad de un metal como de sus productos de corrosión en función al potencial y del pH (medio ácido o alcalino) en la solución del disolvente agua. Además, han sido construidos en base a la termodinámica mediante la ecuación de Nerst y propiedades de solubilidad de los metales representando condiciones de equilibrio sin la predicción de la velocidad de reacción.

El diagrama de Pourbaix del hierro (ver Figura B-8), se definió en el rango del potencial electroquímico y del pH donde el sistema Fe-H₂O a 25°C bajo un entorno alcalino que típicamente se han encontrado dentro el concreto (Pourbaix, 1974).

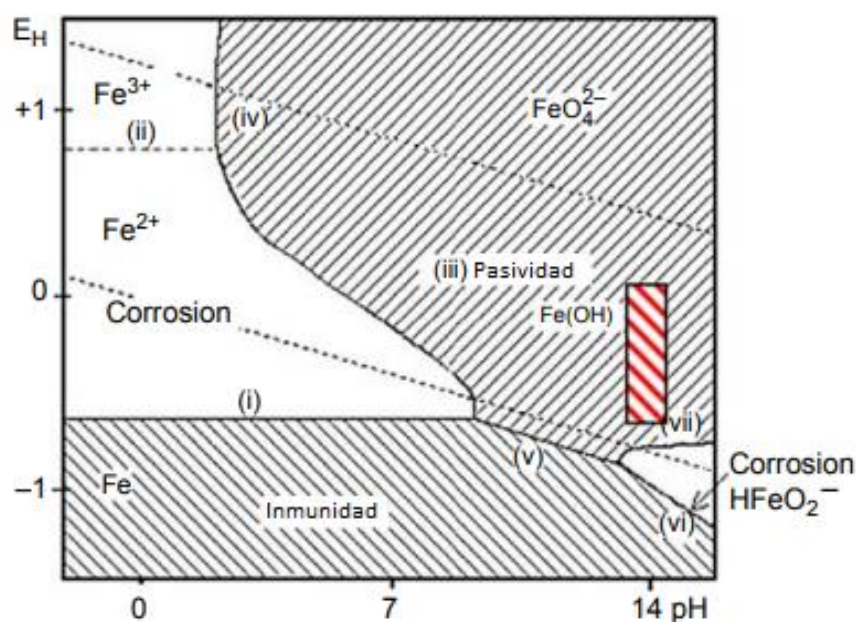


Figura B-8

Fuente: Pourbaix (1974)

En los diagramas de Pourbaix, se ha podido apreciar las siguientes zonas: zona de corrosión, en donde el metal se ha corroído debido a la reacción con su entorno no metálico; zona de inmunidad, en donde el metal no ha podido corroerse (ha sido termodinámicamente imposible); y la zona de pasividad, en donde el metal ha sido protegido por la capa pasiva (superficie modificada del acero que ha actuado como protección y fue formado por la alcalinidad del concreto) ante un proceso corrosivo (Pourbaix, 1974).

Ataque de cloruros al concreto armado

Según Neville (2013), cuando ha existido una diferencia de potencial eléctrico a lo largo del acero en el concreto, se ha establecido una celda electroquímica, es decir, se formaron regiones anódicas y catódicas, las cuales estuvieron conectadas por el electrólito en la forma del agua de poros en la pasta de cemento endurecido. Los iones ferrosos con carga positiva Fe^{+2} del ánodo pasaron a la solución, mientras que los electrones libres con carga negativa e^- pasaron a través del acero dentro del cátodo donde los constituyentes del electrolito los absorbieron y se combinaron con el agua y el oxígeno, ello formó iones de hidróxido $(OH)^-$, estos iones viajaron a través del electrolito y se combinaron con los iones ferrosos, en consecuencia, formaron óxido férrico que se convirtió por oxidación adicional en herrumbre como se ha podido apreciar en la Figura B-9.

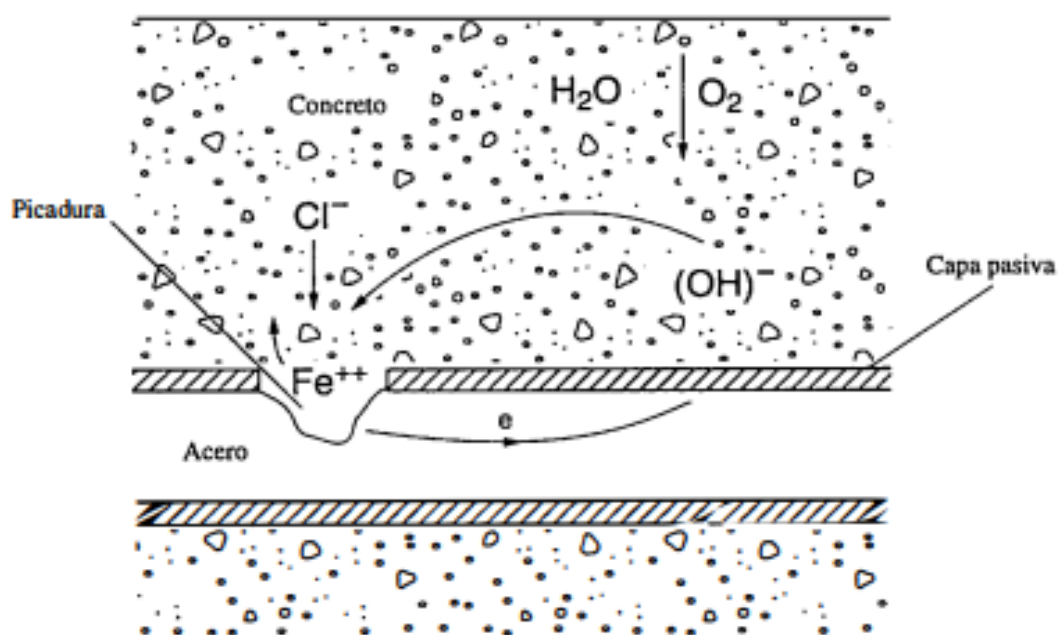
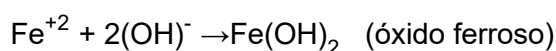
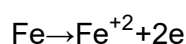


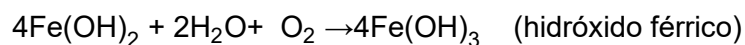
Figura B-9 Representación gráfica de corrosión electroquímica en presencia de cloruros.

Fuente: Neville (2013)

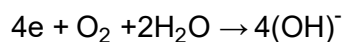
Las reacciones comprendidas fueron las siguientes:

Reacciones anódicas:





Reacción catódica:



Se ha podido apreciar que el oxígeno se consumió y el agua se regeneró, pero esto ha sido necesario para que el proceso haya continuado. Es por ello que, no ha habido corrosión en el concreto seco, probablemente a una humedad relativa menor de 60 por ciento. La humedad relativa óptima para la corrosión ha sido de 70 a 80 por ciento. A humedades relativas más altas, la difusión de oxígeno a través del concreto se ha reducido considerablemente (Neville, 2013).

ANEXO C

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A continuación, los formatos utilizados para el registro de datos.

Tabla C-1 Formato para registro de peso de probetas por ciclos

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4
1
2
...
Promedio

Registro de ciclos

Registro de peso

Obtención de peso promedio

Tabla C-2 Formato para el registro de resistencia del concreto

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D ₁	D ₂	D _{prom.}			
1
2	
3	
...	
...	

Registro de diámetros

Obtención de diámetro promedio

Registro de carga de rotura

Obtención de f'c parcial

Obtención de f'c promedio

Tabla C-3 Formato para análisis de peso de probeta por ciclos

Ciclos	Peso promedio (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación de peso acumulado (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0
1
2
...
30

Peso promedio ya obtenido

Obtención de pérdida de peso, aumento de peso, variación de peso y variación de peso acumulada

Tabla C-4 Formato para análisis de resistencia a la compresión del concreto por ciclos

a/c	F'c patrón (28 días de edad)	F'c al ciclo 4 (37 días de edad)	F'c al ciclo 15 (59 días de edad)	F'c al ciclo 30 (91 días de edad)
0.60
0.65
0.70

Obtención de comparaciones

Tabla C-5 Formato para determinar del porcentaje de absorción del concreto

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1
2
3
4
5
			Promedio

Obtención de % Absorción

Registro de masa seca ← Registro de masa húmeda → Obtención de diferencias de masa → % Absorción promedio

Tabla C-6 Formato para análisis de variación de porcentaje de absorción del concreto por ciclos

a/c	Absorción inicial (%) (28 días de edad)	Absorción final (%) (91 días de edad)	Absorción después de método (%) (150 días de edad)
0.60
0.65
0.70

Obtención de comparaciones

Tabla C-7 Matriz de consistencia

TITULO: CORROSION DEL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA POR CLORURO DE SODIO USANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I SOL			
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables de Investigación
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente
¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?	Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.	Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$.	Número de ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Secundarias	Variable Dependiente
¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?	Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.	Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$.	Propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia
¿Qué efectos se producen con el tiempo en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L?	Analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$ expuesto a ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L.	Los ciclos de humedecimiento y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y según las relaciones a/c en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland tipo I Sol y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$.	

Operacionalización de Variables							Metodología
Variables de Investigación		Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Técnicas de Investigación	Instrumentos de Investigación
Variable Independiente	Número de ciclos de humedecido y secado con una solución de cloruro de sodio de 100 g/L	Ciclos reiterativos de humedecido y secado que han generado deterioro en estructuras de concreto (Sánchez, 2001).	-	Número de ciclos de humedecido y secado.	unidad	conteo	libreta de notas
		Definición operacional					
	Naturaleza	Cantidad de ciclos continuos de humedecimiento y secado que fueron expuestos en las probetas de concreto en contacto con la solución de cloruro de sodio de 100 g/L					
Variable Dependiente	Propiedades del concreto armado de mediana a baja resistencia	Definición conceptual	Propiedades físicas	Peso del concreto	gramos	observación	libreta de notas
		Propiedades que ha adquirido el concreto en función a la pasta de cemento, agregados y condiciones de elaboración y curado (ASOCRETO, 2010).					
	Naturaleza	Definición operacional	Propiedades resistentes	Resistencia a la compresión del concreto	kg/cm ²	pruebas	ensayos de laboratorio
		Las propiedades físicas (peso) y resistentes (resistencia a la compresión del concreto en el concreto armado de mediana a baja resistencia, obtenidos mediante las normas respectivas y expresados cuantitativamente.					

Alcance de investigación
Teórico

Nivel de investigación
Explicativo

Enfoque de investigación
Cuantitativo

Diseño de investigación
Cuasiexperimental

Población
Probetas de concreto de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I Sol con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo de $\phi 5/8"$.

Muestra
Probetas de concreto para cada relación a/c.




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

CONSTANCIA



EL JEFE (e) DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:

La Srta. **NANCY ANGÉLICA TARAZONA CARLOS**, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos, en agregados y concreto el marco de la Tesis **"CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA POR CLORURO DE SODIO USANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I SOL"**

Se le brindó las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos desde el 26 de Noviembre del 2021 hasta el 12 de mayo del 2021.


Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 04 de julio del 2022




Ing. OSCAR MIRANDA HOSPINAL
Jefe (e) de Laboratorio

UNI-LEM


La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001




Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú




(511) 381-3343




(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo
de Materiales - UNI




Figura C-1 Certificado emitido por el LEM por las actividades realizadas en la investigación.

ANEXO D

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

1.1. Ensayo de Granulometría

A continuación, la Tabla D-1, Tabla D-2 y Tabla D-3 y la Figura D-1 del ensayo.

Tabla D-1 Requisitos granulométricos para agregado fino

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

Fuente: INACAL (2021b).

Tabla D-2 Pesos retenidos de agregado fino

TAMIZ	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
4,75 mm (N°4)	gr	18.63	28.97	24.20	23.93
2,36 mm (N°8)	gr	70.33	81.47	72.80	74.87
1,18 mm (N°16)	gr	101.13	103.57	108.90	104.53
600 µm (N°30)	gr	104.83	102.07	117.10	108.00
300 µm (N°50)	gr	98.13	90.07	92.90	93.70
150 µm (N°100)	gr	65.03	56.77	54.00	58.60
Fondo	gr	41.93	37.07	30.10	36.37
TOTAL	gr	500.00	500.00	500.00	500.00

Tabla D-3 Porcentaje acumulado que pasa de agregado fino

TAMIZ	Peso Promedio Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
9,50 mm (3/8 pulg)	0.00	0.00	0.00	100.00
4,75 mm (No. 4)	23.93	4.79	4.79	95.21
2,36 mm (No. 8)	74.87	14.97	19.76	80.24
1,18 mm (No. 16)	104.53	20.91	40.67	59.33
600 µm (No. 30)	108.00	21.60	62.27	37.73
300 µm (No. 50)	93.70	18.74	81.01	18.99
150 µm (No. 100)	58.60	11.72	92.73	7.27
Fondo	36.37	7.27	100.00	0.00
TOTAL	500.00	100.00	MF = 3.01	

El valor del módulo de finura (MF) se obtuvo de la siguiente forma:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

$$MF = \frac{(0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 4.79 + 19.76 + 40.67 + 62.27 + 81.01 + 92.73)}{100} = 3.01$$

Para la obtención de la curva granulométrica se emplearon los límites establecidos en la NTP 400.037, los resultados fueron mostrados en Figura D-1.

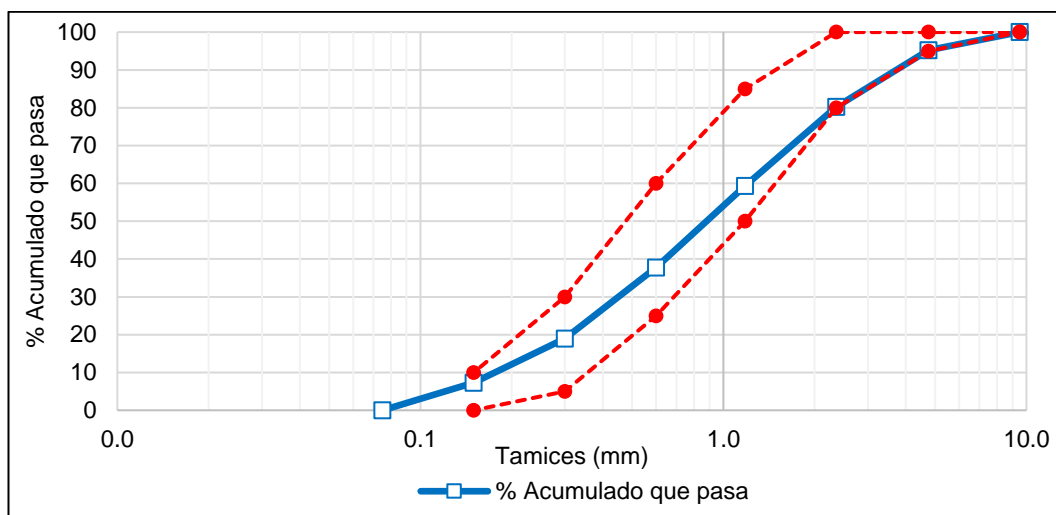


Figura D-1 Curva granulométrica del agregado fino

1.2. Ensayo de Contenido de Humedad

A continuación, la Tabla D-4 y Tabla D-5 del ensayo.

Tabla D-4 Masa mínima de muestra en función del TMN

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado kg
4,75 (0,187)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2
19,0 (3/4)	3
25,0 (1)	4
37,5 (1 ½)	6
50 (2)	8
63 (2 ½)	10
75 (3)	13
90 (3 ½)	16
100 (4)	25
150 (6)	50

Fuente: INACAL (2021d)

Tabla D-5 Contenido de humedad del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa inicial de la muestra = A	gr	500.00	500.00	500.00	
Masa de la muestra seca al horno = B	gr	483.45	485.40	485.50	
Contenido de Humedad = (A-B)*100/B	%	3.42	3.01	2.99	3.14

1.3. Ensayo de Peso Unitario o Densidad aparente

A continuación, la Tabla D-6 y Tabla D-7 del ensayo.

Tabla D-6 Densidad aparente suelta del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa de la muestra + recipiente = A	gr	5855.70	5912.50	5983.70	
Masa del recipiente = B	gr	1572.50	1572.50	1572.50	
Masa de la muestra = A-B	gr	4283.20	4340.00	4411.20	
Volumen del recipiente = C	m3	0.00280	0.00280	0.00280	
Peso unitario suelto = (A-B)/C	Kg/m3	1529.71	1550.00	1575.43	1551.71

Tabla D-7 Densidad aparente compactado del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa de la muestra + recipiente = A	gr	6189.60	6230.90	6259.10	
Masa del recipiente = B	gr	1572.50	1572.50	1572.50	
Masa de la muestra = A-B	gr	4617.10	4658.40	4686.60	
Volumen del recipiente = C	m3	0.00280	0.00280	0.00280	
Peso unitario compactado = (A-B)/C	Kg/m3	1648.96	1663.71	1673.79	1662.15

El volumen del recipiente empleado en el ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino tuvo $1/10 p^3$ de capacidad. Dado que $1 p^3 = 0.028 m^3$. Entonces: Volumen del recipiente = $0.0028 m^3$

1.4. Ensayo de Peso específico o Densidad relativa

A continuación, la Tabla D-8 del ensayo.

Tabla D-8 Densidad relativa del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa de la arena saturada superficialmente seca (SSS)	gr	500.0	500.0	500.0	
Masa del picnómetro	gr	193.2	193.2	193.2	
Masa de la arena SSS + Peso del picnómetro + Peso del agua	gr	1003.7	1003.7	1003.6	
Masa del agua = W	gr	310.50	310.50	310.40	
Masa de la arena seca al horno = A	gr	490.80	492.00	491.80	
Volumen del picnómetro = V	cc	500.00	500.00	500.00	
Peso específico de masa = $A/(V-W)$	gr/cm3	2.59	2.60	2.59	2.59
Peso específico de masa superficialmente seca = $500/(V-W)$	gr/cm3	2.64	2.64	2.64	2.64
Peso específico aparente = $A/((V-W) - (500-A))$	gr/cm3	2.72	2.71	2.71	2.71
Porcentaje de Absorción = $(500-A)/*100/A$	%	1.87	1.63	1.67	1.72

1.5. Porcentaje de Absorción

De la Tabla D-8, se ha podido observar el valor de porcentaje de absorción promedio: 1.72.

2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

2.1. Ensayo de Granulometría

A continuación, la Tabla D-9, Tabla D-10, Tabla D-11, Tabla D-12 y Tabla D-13 y Figura D-2 del ensayo.

Tabla D-9 Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 1/2 pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37,5mm	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37,5 mm a 19 mm	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37,5 a 4,75mm	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4,75 mm	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4,75 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12,5 mm a 4,75 mm	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9,5 mm a 2,36 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9,5 mm a 1,18 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: El agregado fino de huso A según la NTP 339.047, al haber sido combinado con un agregado grueso de huso 8, creó el agregado grueso de huso 89.

Fuente: INACAL (2021b).

Tabla D-10 Mínima cantidad de la muestra de agregado grueso

Tamaño máximo nominal Aberturas cuadradas, mm (pulg)	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo, kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: INACAL (2021, b).

Tabla D-11 Pesos retenidos de agregado grueso

TAMIZ	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
37,50 mm (1 1/2 pulg)	gr	0.00	0.00	0.00	0.00
25,40 mm (1 pulg)	gr	575.30	852.12	931.63	786.35
19 mm (3/4 pulg)	gr	5174.80	5541.52	5591.33	5435.88
12,50 mm (1/2 pulg)	gr	4082.70	3466.72	3389.03	3646.15
9,50 mm (3/8 pulg)	gr	93.00	78.32	51.83	74.38
4,75 mm (No. 4)	gr	38.70	22.32	11.93	24.32
Fondo	gr	35.50	39.02	24.23	32.92
TOTAL	gr	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00

Tabla D-12 Porcentaje acumulado que pasa de agregado grueso

TAMIZ	Peso Promedio Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
37,50 mm (1 1/2 pulg)	0.00	0.00	0.00	100.00
25,40 mm (1 pulg)	786.35	7.86	7.86	92.14
19 mm (3/4 pulg)	5435.88	54.36	62.22	37.78
12,50 mm (1/2 pulg)	3646.15	36.46	98.68	1.32
9,50 mm (3/8 pulg)	74.38	0.74	99.43	0.57
4,75 mm (No. 4)	24.32	0.24	99.67	0.33
Fondo	32.92	0.33	100.00	0.00
TOTAL	10000.00	99.67	MF = 7.60	

El valor del Tamaño máximo fue 37,50 mm (1 1/2 pulg).

El valor del Tamaño máximo nominal fue 25,40 mm (1 pulg).

El valor del módulo de finura (MF) se obtuvo de la siguiente forma:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

$$MF = \frac{(0 + 0 + 0 + 62.22 + 99.43 + 99.67 + 99.67 + 99.67 + 99.67 + 99.67 + 99.67)}{100}$$

$$MF = 7.60$$

Basado en la granulometría del agregado grueso, se determinó que éste ha pertenecido al huso 5, para lo cual, la curva granulométrica resultante y los límites granulométricos fueron los siguientes (ver Tabla B-13 y Figura B-2).

Tabla D-13 Agregado grueso de huso 5

TAMIZ	Límite Inferior Huso 5 según la NTP 400.037	Límite Superior Huso 5 según la NTP 400.037
37,50 mm (1 1/2 pulg)	100	100
25,40 mm (1 pulg)	90	100
19 mm (3/4 pulg)	20	55
12,50 mm (1/2 pulg)	0	10
9,50 mm (3/8 pulg)	0	5

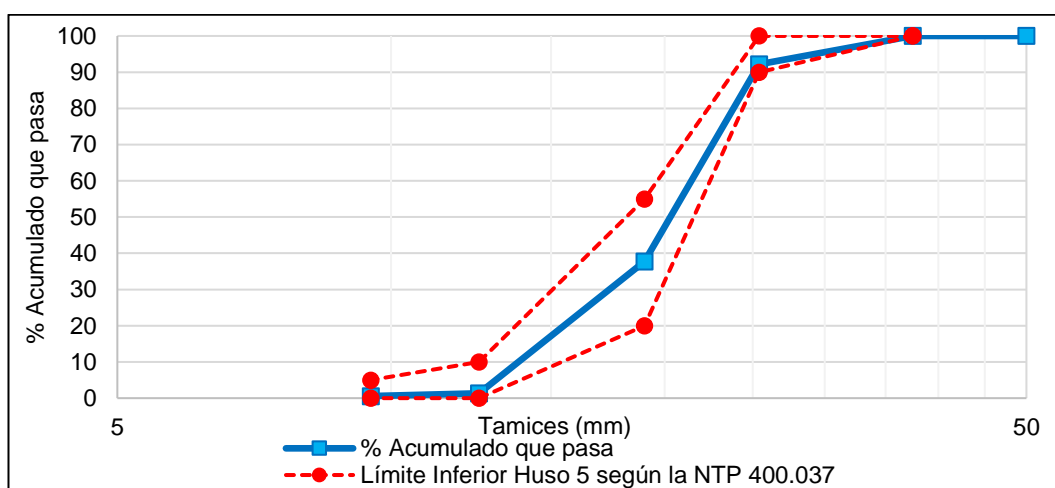


Figura D-2 Curva granulométrica del agregado grueso.

2.2. Ensayo de Contenido de Humedad

A continuación, la Tabla D-14 del ensayo.

Tabla D-14 Contenido de humedad del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa inicial de la muestra = A	gr	4141.60	4186.40	4116.10	
Masa de la muestra seca al horno = B	gr	4126.30	4172.80	4101.40	
Contenido de Humedad = $(A-B) \cdot 100/B$	%	0.37	0.33	0.36	0.35

2.3. Ensayo de Peso Unitario o Densidad aparente

A continuación, la Tabla D-15 y Tabla D-16 del ensayo.

Tabla D-15 Densidad aparente suelta del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa de la muestra + recipiente = A	gr	17490.00	17560.00	17560.00	
Masa del recipiente = B	gr	4350.00	4350.00	4350.00	
Masa de la muestra = A-B	gr	13140.00	13210.00	13210.00	
Volumen del recipiente = C	m3	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso unitario suelto = $(A-B)/C$	Kg/m3	1392.11	1399.53	1399.53	1397.06

Tabla D-16 Densidad aparente compactado del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Promedio
		M1	M2	M3	
Masa de la muestra + recipiente = A	gr	18980.00	18860.00	18920.00	
Masa del recipiente = B	gr	4350.00	4350.00	4350.00	
Masa de la muestra = A-B	gr	14630.00	14510.00	14570.00	
Volumen del recipiente = C	m3	0.0094	0.0094	0.0094	
Peso unitario compactado = (A-B)/C	Kg/m3	1549.97	1537.26	1543.61	1543.61

El volumen del recipiente empleado en el ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso tuvo $1/3 p^3$ de capacidad. Dado que $1 p^3 = 0.0283 m^3$. Entonces: Volumen del balde = $0.0094 m^3$.

2.4. Ensayo de Peso específico o Densidad relativa

A continuación, la Tabla D-17 y Tabla D-18 del ensayo.

Tabla D-17 Mínima cantidad de la muestra de agregado grueso

Tamaño máximo nominal Aberturas cuadradas, mm (pulg)	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo, kg (lb)
12,5 (1/2) o menor	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: INACAL (2020d).

Tabla D-18 Densidad relativa del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA			Prom
		M1	M2	M3	
Masa de la piedra seca al horno = A	gr	3979.50	3974.90	3979.60	
Masa de la piedra SSS = B	gr	4000.00	4000.00	4000.00	
Masa de la piedra SSS + Masa de la canastilla + Peso del agua	gr	3384.90	3384.90	3390.80	
Masa de la canastilla	gr	874.60	874.60	874.60	
Masa de la piedra SSS+ Masa del agua = C	gr	2510.30	2510.30	2516.20	
Peso específico de masa = $A/(V-W)$	gr/cm3	2.67	2.67	2.68	2.67
Peso específico de masa superficialmente seca = $500/(V-W)$	gr/cm3	2.69	2.69	2.70	2.69
Peso específico aparente = $A/((V-W) - (500-A))$	gr/cm3	2.71	2.71	2.72	2.71
Porcentaje de Absorción = $(500-A)/*100/A$	%	0.52	0.63	0.51	0.55

2.5. Porcentaje de Absorción

De la Tabla D-18, se ha podido observar el valor de porcentaje de absorción promedio: 0.55.

3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GLOBAL

3.1. Ensayo de Peso Unitario Compactado

A continuación, en la Tabla D-19 del ensayo, se observó que el registro de peso de tres muestras para cada proporción en mezcla de agregados y los cálculos respectivos para la obtención del valor de peso unitario compactado promedio. El volumen del recipiente empleado en el ensayo fue de $1/3 \text{ pie}^3$, equivalente a 0.009433 m^3 (valor de C en la última columna de la Tabla D-19).

Tabla D-19 Peso Unitario Compactado según proporción de agregados

% Agregado fino	% Agregado grueso	Peso de muestra compactada + Peso de balde (Kg)		Peso de balde (kg): B	Peso de muestra (kg): (A-B)	PUC (kg/m ³): (A-B) / C
		Ensayos	Promedio (kg): A			
42.50	57.5	23.29	23.29	4.35	18.94	2008.13
		23.26				
		23.33				
45.00	55	23.36	23.25	4.35	18.90	2003.18
		23.20				
		23.18				
47.50	52.5	23.06	23.21	4.35	18.86	1998.94
		23.26				
		23.30				
50.00	50	23.41	23.42	4.35	19.07	2021.91
		23.30				
		23.56				
52.50	47.5	22.91	23.01	4.35	18.66	1978.09
		22.89				
		23.23				
55.00	45	22.88	23.02	4.35	18.67	1978.80
		23.01				
		23.16				
57.50	42.5	23.16	23.16	4.35	18.81	1993.64
		23.10				
		23.21				

A manera de resumen, se mostró en la Tabla D-20 los valores promedio de PUC del agregado global según el porcentaje de agregado fino en la mezcla.

Tabla D-20 Peso Unitario Compactado vs % de agregado fino

% Agregado fino	PUC del Agregado Global
42.50	2008.13
45.00	2003.18
47.50	1998.94
50.00	2021.91
52.50	1978.09
55.00	1978.80
57.50	1993.64

Así también, se observó en la Figura D-3 la tendencia de los valores de PUC en función al % de agregado fino, en el cual, el máximo valor de peso unitario compactado de agregado global fue alcanzado al 50% de agregado fino y grueso.

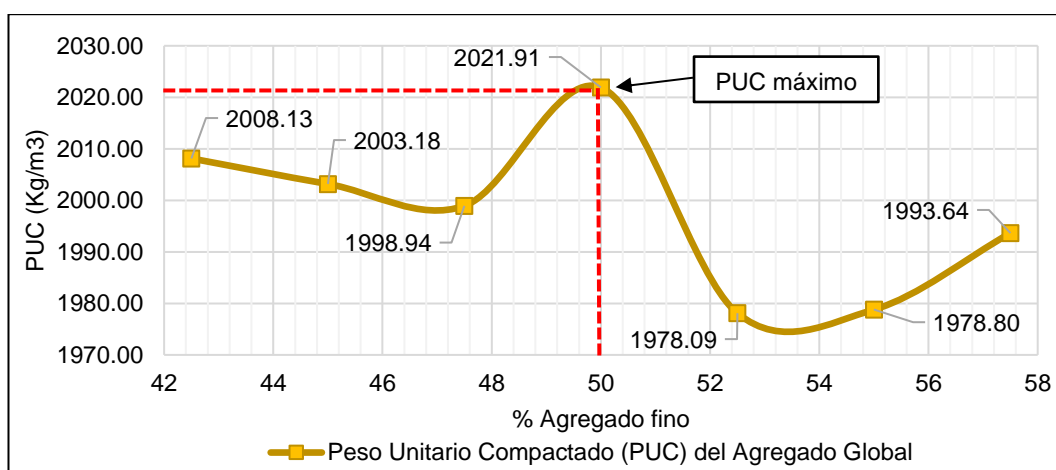


Figura D-3 Peso Unitario Compactado vs % de agregado fino

3.2. Ensayo de Granulometría

En la Tabla D-21 se mostraron los límites granulométricos de los husos DIN 1045. Así también, en base a la proporción anterior, se mostró en la Tabla D-22 la granulometría resultante y en la Figura D-4, la curva granulométrica obtenida.

Tabla D-21 Límites granulométricos del agregado global (Husos DIN 1045)

TAMIZ	Porcentaje Acumulado que pasa		
	Huso I	Huso II	Huso III
37,50 mm (1 1/2 pulg)	100	100	100
19,00 mm (3/4 pulg)	62	80	89
12,50 mm (1/2 pulg)	38	62	77
4,75 mm (No. 4)	23	47	65
2,36 mm (No. 8)	14	37	53
1,18 mm (No. 16)	8	28	42
300 µm (No. 50)	2	8	15

Fuente: Husos DIN 1045

Tabla D-22 Granulometría del agregado global

TAMIZ	% Retenido		50% A.F.	50% A.G.	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
	A.F.	A.G.					
37,50 mm (1 1/2 pulg)		0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	100.00
25,40 mm (1 pulg)		7.86	0.0	3.9	3.9	3.93	96.07
19,00 mm (3/4 pulg)		54.36	0.0	27.2	27.2	31.11	68.89
12,50 mm (1/2 pulg)		36.46	0.0	18.2	18.2	49.34	50.66
9,50 mm (3/8 pulg)		0.74	0.0	0.4	0.4	49.71	50.29
6,35 mm (1/4")		0.00	0.0	0.0	0.0	49.71	50.29
4,75 mm (No. 4)	4.79	0.24	2.4	0.1	2.5	52.23	47.77
2,36 mm (No. 8)	14.97	0.00	7.5	0.0	7.5	59.72	40.28
1,18 mm (No. 16)	20.91	0.00	10.5	0.0	10.5	70.17	29.83
600 µm (No. 30)	21.60		10.8	0.0	10.8	80.97	19.03
300 µm (No. 50)	18.74		9.4	0.0	9.4	90.34	9.66
150 µm (No. 100)	11.72		5.9	0.0	5.9	96.20	3.80
Fondo	7.27	0.33	3.6	0.2	3.8	100.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	50.0	50.0	100.0	MF =	5.30

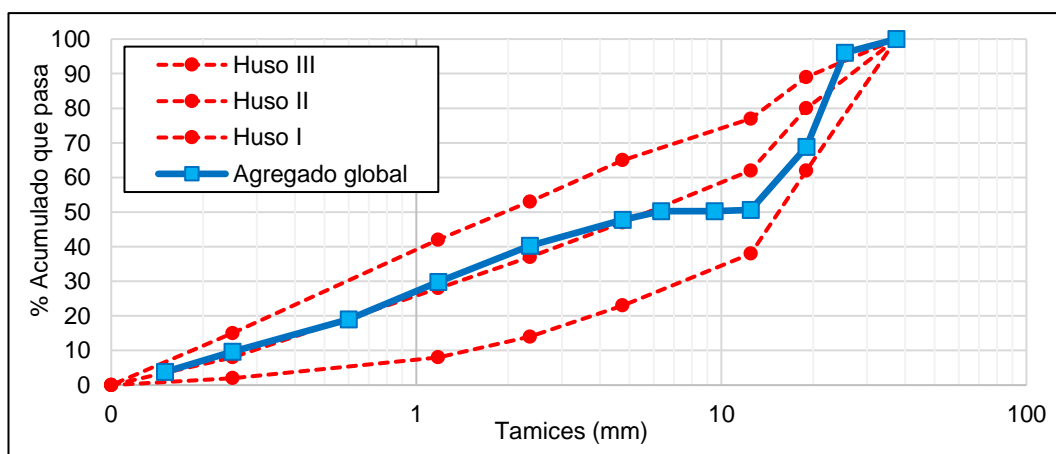


Figura D-4 Curva granulométrica del agregado global

El valor del módulo de finura (MF) fue obtenido de la siguiente forma:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 0 + 0 + 31.11 + 49.71 + 52.23 + 59.72 + 70.17 + 80.97 + 90.34 + 96.20}{100} = 5.03$$

ANEXO E

DISEÑO DE MEZCLA

1. DISEÑO DE MEZCLA

1.1. Diseño de Mezcla Preliminar (tandas de prueba)

Del máximo valor de peso unitario compactado obtenido en la Figura B-3, se obtuvo una primera aproximación a la proporción en peso de agregados para el concreto, el cual fue del 50% para el agregado fino y 50% para el agregado grueso, los cuales, junto con sus propiedades físicas, permitió iniciar con el diseño.

1.1.1 Agua patrón

La Tabla E-1 mostró el porcentaje de aire atrapado en la mezcla según el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla E-1 Porcentaje de aire atrapado según el TMN

TMN del agregado grueso	% Aire atrapado
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: ACI Committee 211 (2009)

Debido a que el TMN del agregado grueso fue 1", se obtuvo que la mezcla poseyó 1.5% de aire atrapado.

En la Tabla E-2, Tabla E-3 y Tabla E-4 fueron mostrados los diseños de mezcla para una tanda de 50 kg con diferente cantidad de agua para la relación a/c base de 0.65 con la proporción de agregados obtenido como primera aproximación.

Tabla E-2 Diseño de Mezcla 1 para agua patrón, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	384.615	0.122	1.000	384.615	1.000	8.48
Agua	250.000	0.250	0.650	240.405	0.625	5.30
Arena	794.743	0.306	3.179	819.692	2.131	18.08
Piedra	819.409	0.306	1.031	822.277	2.138	18.14
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			5.894	50.00

Tabla E-3 Diseño de Mezcla 2 para agua patrón, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	430.769	0.137	1.000	430.769	1.000	9.68
Agua	280.000	0.280	0.650	271.104	0.629	6.09
Arena	736.843	0.284	2.632	759.975	1.764	17.08
Piedra	759.712	0.284	1.031	762.371	1.770	17.14
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			5.163	50.00

Tabla E-4 Diseño de Mezcla 3 para agua patrón, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	476.923	0.151	1.000	476.923	1.000	10.93
Agua	310.000	0.310	0.650	301.803	0.633	6.92
Arena	678.943	0.262	2.190	700.257	1.468	16.05
Piedra	700.015	0.262	1.031	702.466	1.473	16.10
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.574	50.00

Para lo cual, el asentamiento de cada diseño de mezcla fueron los siguientes (ver Tabla E-5):

Tabla E-5 Asentamientos por cada diseño de mezcla; a/c de 0.65

A/C	Agua (L/m3)	Asentamiento (pulg)	Agua Patrón (L/m3)	Asentamiento (pulg)
	250.00	0.75		
0.65	280.00	3.25	287.6	4.00
	310.00	6.00		

De la Figura E-1, se interpoló y se obtuvo la cantidad de agua por metro cúbico de la mezcla que habría producido un asentamiento de 4": 288 litros.

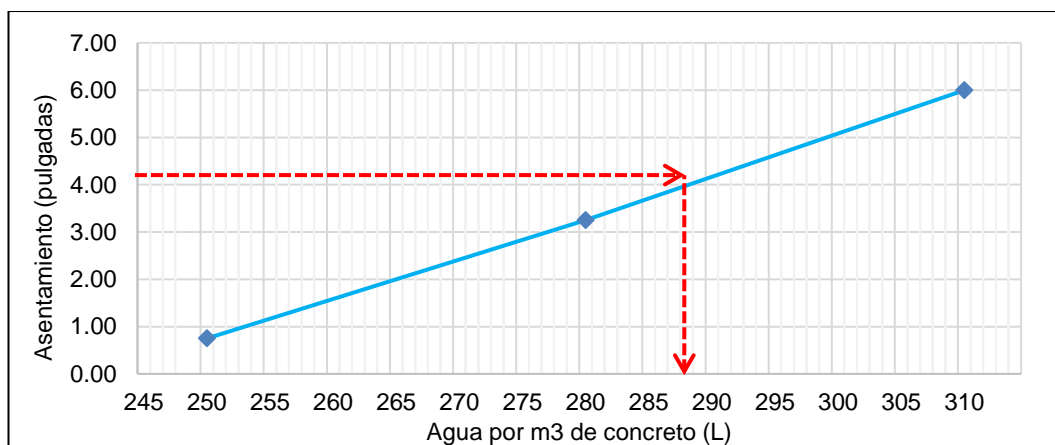


Figura E-1 Agua por m³ de concreto vs. Asentamiento, a/c de 0.65

1.1.2 Relación de agregados por resistencia

En las Tablas E-6, E-7, E-8 y E-9 fueron mostrados los diseños de mezcla para una tanda de 50 kg con la misma cantidad de agua para la relación a/c base de 0.65 obtenido en el ítem anterior y bajo diferentes proporciones de agregados.

Tabla E-6 Diseño de Mezcla 1 (47% A.F. + 53% A.G.), a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	443.077	0.141	1.000	443.077	1.000	10.01
Agua	288.000	0.288	0.650	279.995	0.632	6.32
Arena	678.119	0.261	2.355	699.407	1.579	15.80
Piedra	788.421	0.295	1.163	791.180	1.786	17.87
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.996	50.00

Tabla E-7 Diseño de Mezcla 2 (50% A.F. + 50% A.G.), a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	443.077	0.141	1.000	443.077	1.000	10.01
Agua	288.000	0.288	0.650	279.291	0.630	6.31
Arena	721.403	0.278	2.505	744.050	1.679	16.81
Piedra	743.793	0.278	1.031	746.397	1.685	16.87
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.994	50.00

Tabla E-8 Diseño de Mezcla 3 (53% A.F. + 47% A.G.), a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	443.077	0.141	1.000	443.077	1.000	10.02
Agua	288.000	0.288	0.650	278.587	0.629	6.30
Arena	764.688	0.295	2.655	788.693	1.780	17.83
Piedra	699.166	0.261	0.914	701.613	1.584	15.86
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.992	50.00

Tabla E-9 Diseño de Mezcla 4 (56% A.F. + 44% A.G.), a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio (4") 50 Kg
Cemento	443.077	0.141	1.000	443.077	1.000	10.02
Agua	288.000	0.288	0.650	277.883	0.627	6.28
Arena	807.972	0.312	2.805	833.336	1.881	18.84
Piedra	654.538	0.245	0.810	656.829	1.482	14.85
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.990	50.00

Los resultados de ensayos de resistencia a la compresión a los 7 días de ser elaborado fueron mostrados en la Tabla E-10 y Tabla E-11.

Tabla E-10 Ensayo de resistencia a la compresión en mezclas, a/c de 0.65

Agregados		Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
% A.F.	% A.G.		
47.00%	53.00%	242.94	225.42
		236.47	
		231.52	
		238.94	
		209.22	
		225.64	
		233.75	
		206.41	
		203.84	
50.00%	50.00%	221.42	235.90
		227.01	
		252.13	
		250.02	
		242.57	
		238.69	
		229.45	
		226.18	
		235.61	
53.00%	47.00%	213.75	212.37
		209.50	
		223.86	
		185.65	
		218.27	
		226.18	
		222.66	
		175.39	
		236.04	
56.00%	44.00%	223.33	218.68
		215.85	
		235.46	
		231.25	
		228.33	
		192.42	
		217.59	
		208.99	
		214.88	

Tabla E-11 Resumen de ensayo de resistencia a la compresión en mezclas, a/c de 0.65

Agregados		Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
% Agregado fino	% Agregado grueso	
47.00%	53.00%	225.42
50.00%	50.00%	235.90
53.00%	47.00%	212.37
56.00%	44.00%	218.68

Gráficamente fueron obtenidas la Figura E-2 y Figura E-3.

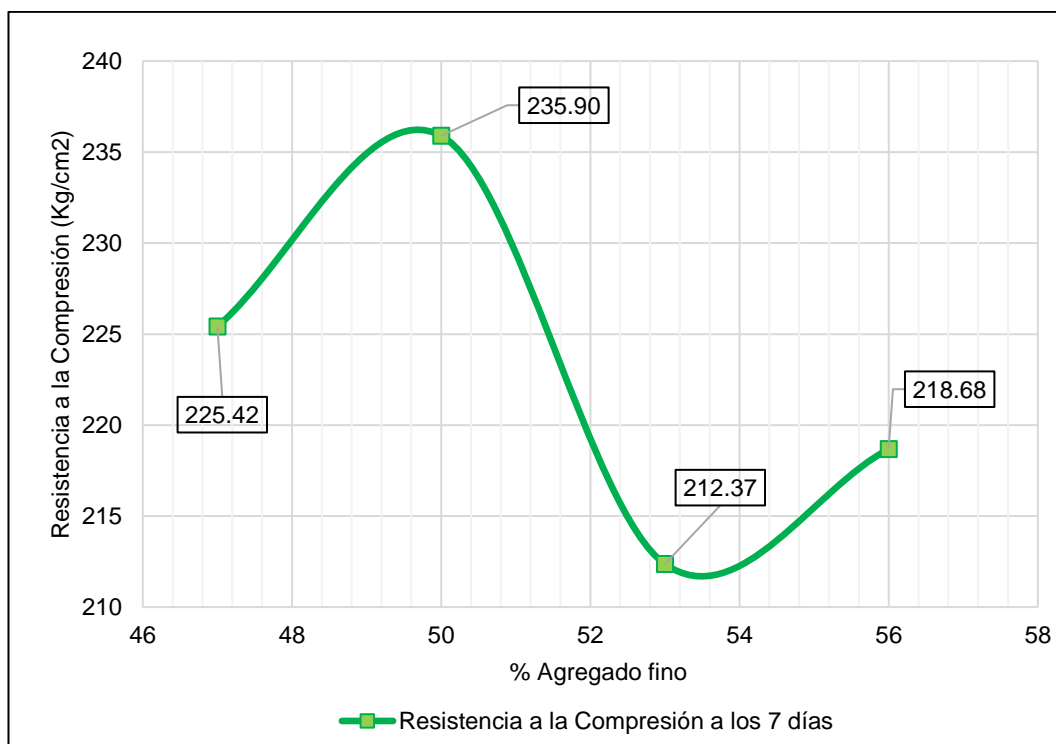


Figura E-2 Resistencia a la compresión según % agregado fino, a/c de 0.65

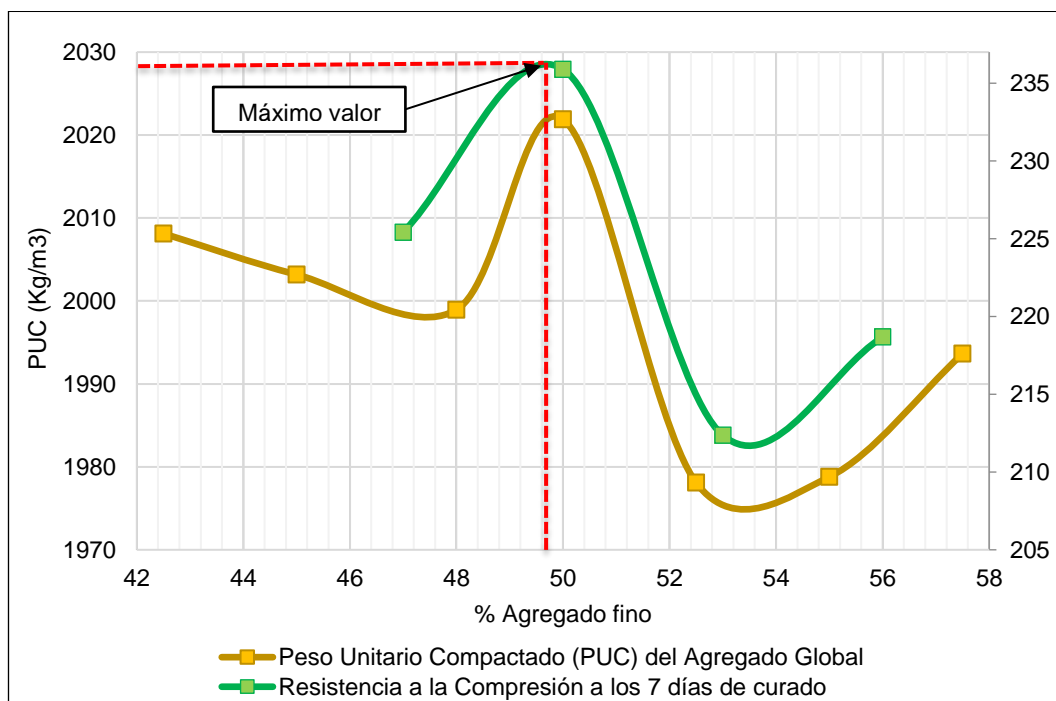


Figura E-3 Superposición de PUC y Resistencia a la compresión, a/c de 0.65

Se determinó que, la proporción adecuada de agregados para elaborar el concreto, fue el 49.60% y 50.40% para el agregado fino y grueso respectivamente.

1.2. Diseño de Mezcla Final

En la Tabla E-12, Tabla E-13 y Tabla E-14 fueron mostrados los diseños de mezcla finales para las tres relaciones a/c, obtenidos con la proporción de agregados determinado por resistencia (49.60% para el agregado fino y 50.40% para el agregado grueso) y con la cantidad de agua adecuada que generó un concreto con asentamientos de 3 a 4”.

Tabla E-12 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.60

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	458.333	0.146	1.000	458.333	1.000	10.19
Agua	275.000	0.275	0.600	258.475	0.564	5.75
Arena	747.625	0.280	2.719	768.398	1.677	17.09
Piedra	761.271	0.285	1.018	763.308	1.665	16.97
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			4.906	50.00

Tabla E-13 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.65

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	392.308	0.125	1.000	392.308	1.000	8.63
Agua	255.000	0.255	0.650	237.276	0.605	5.22
Arena	801.874	0.300	3.145	824.154	2.101	18.13
Piedra	816.510	0.305	1.018	818.695	2.087	18.01
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			5.792	50.00

Tabla E-14 Diseño de Mezcla Final, a/c de 0.70

Materiales	Diseño Seco (Kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario Seco (Kg)	Diseño en Obra (Kg)	Diseño Unitario en Obra (Kg)	Laboratorio 50 Kg
Cemento	357.143	0.113	1.000	357.143	1.000	7.85
Agua	250.000	0.250	0.700	231.803	0.649	5.09
Arena	823.281	0.308	3.293	846.156	2.369	18.59
Piedra	838.308	0.313	1.018	840.551	2.354	18.47
Aire atrapado 1.5%	0.015	0.015				
Sumatoria		1.000			6.372	50.00

ANEXO F

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

1. Ensayo de Asentamiento

A continuación, la Tabla F-1 del ensayo:

Tabla F-1 Asentamiento según a/c

a/c	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg)
0.60	9.53	3 3/4
0.65	9.53	3 3/4
0.70	8.57	3 3/8

2. Ensayo de Peso unitario o densidad

A continuación, la Tabla F-2 y Tabla F-3 del ensayo:

Tabla F-2 Capacidad de los recipientes en función al TMN

Tamaño máximo nominal del agregado grueso Pulg (mm)	Capacidad del recipiente pie ³ (L)
1 (25)	0,2 (6)
1 ½ (37,5)	0,4 (11)
2 (50)	0,5 (14)
3 (75)	1,0 (28)
4 ½ (112)	2,5 (70)
6 (150)	3,5 (100)

Tabla F-3 Peso unitario según a/c

a/c	Masa de muestra + balde (Kg) (A)	Masa de balde (Kg) (B)	Masa de muestra (Kg) (A-B)	Peso Unitario (Kg/m ³) (A-B)/Vbalde
0.60	27.29	5.88	21.41	2268.26
0.65	27.16	5.88	21.28	2254.49
0.70	27.09	5.88	21.21	2247.07

3. Ensayo de Contenido de aire

A continuación, la Tabla F-4 del ensayo:

Tabla F-4 Contenido de aire según a/c

a/c	Contenido de aire (%)
0.60	1.10
0.65	1.20
0.70	1.35

4. Ensayo de Exudación

A continuación, las Tablas F-5, F-6, F-7, F-8, F-9 y F-10 del ensayo:

Tabla F-5 Exudación para a/c 0.60 (1 de 2)

Hora (h:min)	Tiempo Parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Volumen de Agua (ml)	Volumen Acumulado (ml)
09:11	0	0	0.0	0
09:21	10	10	1.5	1.5
09:31	10	20	2.6	4.1
09:41	10	30	2.5	6.6
09:51	10	40	2.1	8.7
10:21	30	70	4.4	13.1
10:51	30	100	3.2	16.3
11:21	30	130	2.0	18.3
11:51	30	160	0.0	18.3

Tabla F-6 Exudación para a/c 0.60 (2 de 2)

Descripción	Resultados
Volumen acumulado (cm3) = A	18.300
Masa del molde + Masa Mezcla (gr) = B	25230.000
Masa del molde (gr) = C	5840.000
Masa total de la muestra (gr) = B-C	19390.000
Masa total de la tanda (gr) = D	50000.000
Masa del agua de mezclado de la tanda (gr) = E	5747.681
Masa del agua de la muestra = $E*(B-C)/D = F$	2228.951
% Exudación = $A*100/F$	0.821%

Tabla F-7 Exudación para a/c 0.65 (1 de 2)

Hora (h:min)	Tiempo Parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Volumen de Agua (ml)	Volumen Acumulado (ml)
09:44	0	0	0.0	0
09:54	10	10	0.2	0.2
10:04	10	20	0.5	0.7
10:14	10	30	1.5	2.2
10:24	10	40	2.2	4.4
10:54	30	70	3.0	7.4
11:24	30	100	2.0	9.4
11:54	30	130	0.0	9.4
12:24	30	160	0.0	9.4

Tabla F-8 Exudación para a/c 0.65 (2 de 2)

Descripción	Resultados
Volumen acumulado (cm3) = A	9.400
Masa del molde + Masa Mezcla (gr) = B	17190.000
Masa del molde (gr) = C	2430.000
Masa total de la muestra (gr) = B-C	14760.000
Masa total de la tanda (gr) = D	80000.000
Masa del agua de mezclado de la tanda (gr) = E	5220.746
Masa del agua de la muestra = $E*(B-C)/D = F$	963.228
% Exudación = $A*100/F$	0.976%

Tabla F-9 Exudación para a/c 0.70 (1 de 2)

Hora (h:min)	Tiempo Parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Volumen de Agua (ml)	Volumen Acumulado (ml)
10:35	0	0	0.0	0
10:45	10	10	0.2	0.2
10:55	10	20	0.5	0.7
11:05	10	30	1.0	1.7
11:15	10	40	1.4	3.1
11:45	30	70	3.5	6.6
12:15	30	100	2.5	9.1
12:45	30	130	0.1	9.2
01:15	30	160	0.0	9.2

Tabla F-10 Exudación para a/c 0.70 (2 de 2)

Descripción	Resultados
Volumen acumulado (cm ³) = A	9.200
Masa del molde + Masa Mezcla (gr) = B	17640.000
Masa del molde (gr) = C	2430.000
Masa total de la muestra (gr) = B-C	15210.000
Masa total de la tanda (gr) = D	50000.000
Masa del agua de mezclado de la tanda (gr) = E	5490.002
Masa del agua de la muestra = E*(B-C)/D = F	1670.059
% Exudación = A*100/F	0.551%

5. Ensayo de Índice de consistencia

A continuación, la Tabla F-11 del ensayo:

Tabla F-11 Índice de consistencia según a/c

a/c	Diámetros en mesa de sacudidas						Diámetro promedio (cm)	Fluidez (%)
	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	D5 (cm)	D6 (cm)		
0.60	36.50	34.00	33.00	35.50	34.00	35.50	34.75	39.00
0.65	33.50	34.00	35.50	36.00	35.50	34.00	34.75	39.00
0.70	31.00	30.50	30.00	30.00	30.00	31.00	30.38	21.50

6. Ensayo de Tiempo de Fraguado

A continuación, las Tablas F-12, F-13 y F-14 y Figuras F-1, F-2 y F-3 del ensayo:

Tabla F- 12 Tiempo de fraguado para a/c 0.60

Hora (h:min)	Tiempo Absoluto (h:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras): A	Área de Aguja (pulg ²): B	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²): A/B
09:37	Inicio				
11:32	01:55	115	19.000	1.000	19
12:12	02:35	155	28.000	0.500	56
13:00	03:23	203	63.000	0.250	252
13:50	04:13	253	91.000	0.100	910
14:45	05:08	308	191.000	0.050	3820
15:05	05:28	328	164.000	0.025	6560

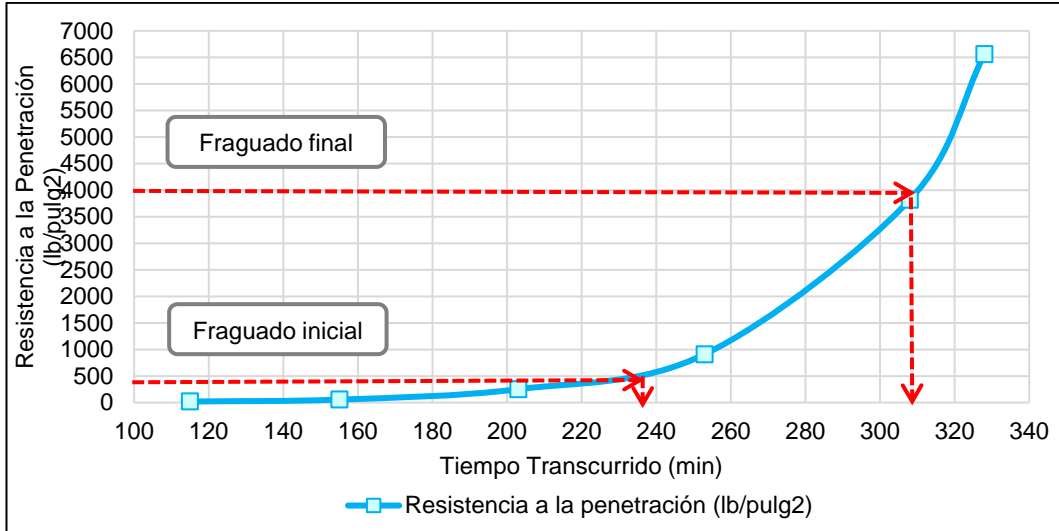


Figura F-1 Resistencia a la penetración en el tiempo, a/c 0.60

Tiempo de Fraguado Inicial	237 min	3h : 57 min
Tiempo de Fraguado Final	309 min	5h : 09 min

Tabla F-13 Tiempo de fraguado para a/c 0.65

Hora (h:min)	Tiempo Absoluto (h:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras): A	Área de Aguja (pulg2): B	Resistencia a la penetración (lb/pulg2): A/B
09:15	Inicio				
12:00	02:45	165	35.000	1.000	35
13:05	03:50	230	183.000	0.500	366
13:25	04:10	250	195.000	0.250	780
13:55	04:40	280	162.000	0.100	1620
14:25	05:10	310	151.000	0.050	3020
14:55	05:40	340	181.000	0.025	7240

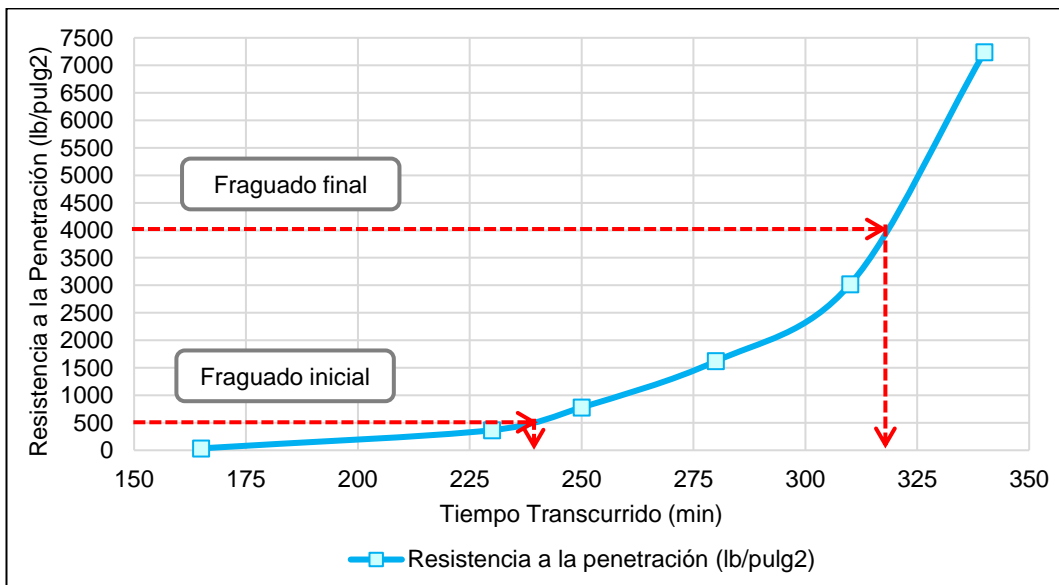


Figura F-2 Resistencia a la penetración en el tiempo, a/c 0.65

Tiempo de Fraguado Inicial	240 min	4h : 00 min
Tiempo de Fraguado Final	319 min	5h : 19 min

Tabla F-14 Tiempo de fraguado para a/c 0.70

Hora (h:min)	Tiempo Absoluto (h:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras): A	Área de Aguja (pulg ²): B	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²): A/B
09:45	Inicio				
12:40	02:55	175	45.000	1.000	45
13:29	03:44	184	82.500	0.500	165
14:16	04:31	271	168.500	0.250	674
14:46	05:01	301	155.500	0.100	1555
15:23	05:38	338	178.500	0.050	3570
15:46	06:01	361	164.000	0.025	6560

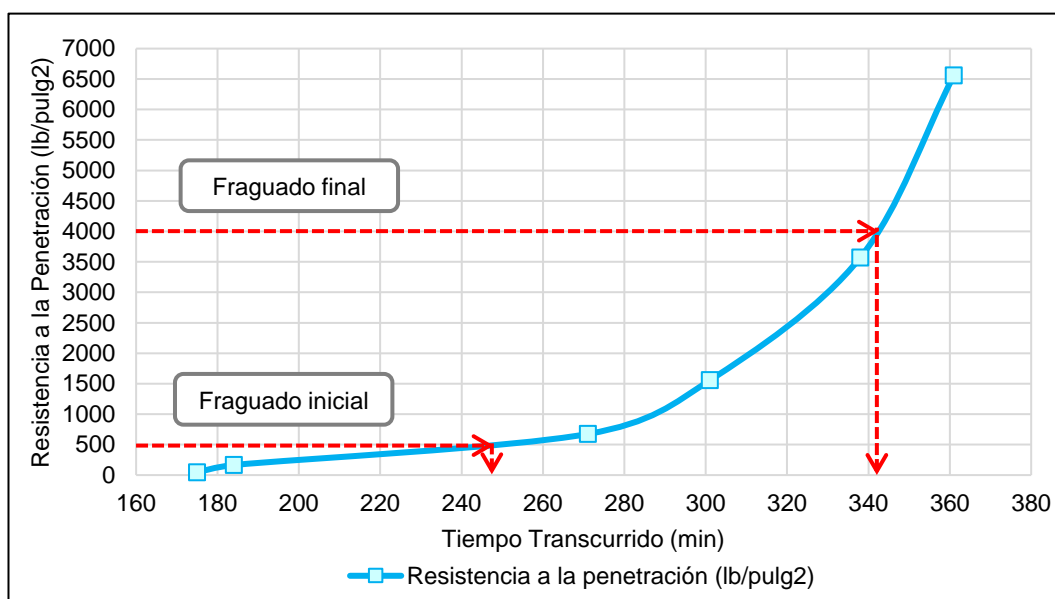


Figura F-3 Resistencia a la penetración en el tiempo, a/c 0.70

Tiempo de Fraguado Inicial	246 min	4h : 06 min
Tiempo de Fraguado Final	342 min	5h : 42 min

ANEXO G

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

1. Ensayo de Resistencia a la compresión

A continuación, la Tabla G-1, Tabla G-2 y Tabla G-3 del ensayo.

Tabla G-1 Ensayo de resistencia a la compresión, a/c 0.60

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.89	9.88	9.89	26025.00	2	339.12	
2	9.94	9.91	9.93	26201.00	5	338.66	
3	9.97	9.90	9.94	25103.00	5	323.82	
4	9.92	9.93	9.93	25674.00	3	331.85	
5	9.95	9.92	9.94	25285.00	2	326.16	
6	9.90	9.93	9.92	25689.00	2	332.71	
7	9.92	9.92	9.92	25830.00	2	334.20	
8	9.91	9.95	9.93	25242.00	2	325.94	
9	9.97	9.94	9.96	25193.00	2	323.67	
10	9.94	9.91	9.93	24490.00	2	316.55	
11	9.94	9.85	9.90	26353.00	3	342.70	332.81
12	9.86	9.91	9.89	26969.00	3	351.42	
13	9.92	9.95	9.94	26820.00	3	345.97	
14	9.93	9.94	9.94	26201.00	2	337.98	
15	9.85	9.88	9.87	25440.00	3	332.84	
16	9.85	9.89	9.87	25778.00	2	336.92	
17	9.87	9.92	9.90	26157.00	5	340.15	
18	9.94	9.95	9.95	24982.00	2	321.61	
19	9.96	9.86	9.91	24856.00	2	322.25	
20	9.95	9.92	9.94	25712.00	2	331.67	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación	Grado de calidad
15.96	0.027 = 2.7 %	Muy bueno

Tabla G-2 Ensayo de resistencia a la compresión, a/c 0.65

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	10.00	9.94	9.97	22823.00	2	292.34	
2	9.94	9.96	9.95	22621.00	2	290.92	
3	9.93	9.88	9.91	24183.00	2	313.84	
4	9.96	9.97	9.97	24946.00	2	319.86	
5	9.95	9.96	9.96	25121.00	1	322.75	
6	9.95	9.95	9.95	22902.00	2	294.54	
7	10.00	10.03	10.02	22541.00	3	286.14	
8	9.91	9.87	9.89	23504.00	3	305.96	
9	9.92	9.96	9.94	24572.00	2	316.65	
10	9.87	9.94	9.91	24483.00	3	317.74	307.76
11	9.95	9.95	9.95	23007.00	2	295.89	
12	9.84	9.85	9.85	24224.00	3	318.22	
13	9.93	9.94	9.94	24279.00	3	313.19	
14	9.93	9.93	9.93	25843.00	3	333.70	
15	9.92	9.93	9.93	25071.00	2	324.06	
16	9.95	9.88	9.92	20397.00	2	264.17	
17	9.93	9.94	9.94	24107.00	3	310.97	
18	9.91	9.96	9.94	26170.00	2	337.58	

19	9.92	9.96	9.94	23161.00	3	298.47
20	9.92	9.96	9.94	23139.00	3	298.18

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación	Grado de calidad
17.69	0.037 = 3.7 %	Bueno

Tabla G-3 Ensayo de resistencia a la compresión, a/c 0.70

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	10.12	10.11	10.12	22189.50	2	276.14	272.19
2	9.92	9.96	9.94	20643.00	2	266.02	
3	9.91	9.93	9.92	21019.00	2	271.96	
4	10.02	9.95	9.99	20839.50	2	266.13	
5	10.00	9.95	9.98	21591.80	2	276.30	
6	9.91	9.92	9.92	21257.00	2	275.31	
7	9.95	9.93	9.94	21214.00	2	273.38	
8	9.93	9.94	9.94	21657.70	2	279.37	
9	10.10	10.08	10.09	21223.50	2	265.43	
10	9.93	9.91	9.92	21726.70	2	281.11	
11	9.94	9.92	9.93	21234.00	2	274.18	
12	9.86	9.91	9.89	20232.00	2	263.63	
13	9.98	9.91	9.95	20838.00	3	268.26	
14	9.94	9.96	9.95	20121.00	2	258.77	
15	10.04	9.99	10.02	21406.90	2	271.75	
16	9.87	9.95	9.91	21070.40	2	273.17	
17	9.95	9.93	9.94	20782.60	3	267.82	
18	10.05	10.00	10.03	20557.20	2	260.44	
19	9.92	9.91	9.92	21609.00	3	279.87	
20	9.96	9.95	9.96	22936.00	2	294.68	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación	Grado de calidad
8.24	0.030 = 3.0 %	Muy bueno

2. Ensayo de Absorción

A continuación, la Tabla G-4, Tabla G-5 y Tabla G-6 del ensayo.

Tabla G-4 Ensayo de absorción al inicio, a/c 0.60

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3515.75	3693.35	177.6	5.05
2	3548.35	3726.25	177.9	5.01
3	3559.25	3736.45	177.2	4.98
4	3578.05	3762.05	184.0	5.14
5	3530.65	3703.65	173.0	4.90
Promedio				5.02

Tabla G-5 Ensayo de absorción al inicio, a/c 0.65

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3503.7	3686.0	182.3	5.20
2	3530.6	3704.3	173.7	4.92
3	3606.2	3799.8	193.6	5.37
4	3565.0	3742.4	177.4	4.98
5	3564.2	3743.5	179.3	5.03
Promedio				5.10

Tabla G-6 Ensayo de absorción al inicio, a/c 0.70

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3577.85	3754.75	176.9	4.94
2	3552.75	3731.65	178.9	5.04
3	3535.25	3719.95	184.7	5.22
4	3540.75	3733.55	192.8	5.45
5	3494.15	3693.1	198.8	5.69
Promedio				5.27

ANEXO H

MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADA

MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADA

1. Peso registrado y promedio del concreto simple y armado

Tabla H-1 Peso registrado para concreto simple, a/c 0.60

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3729.3	3742.2	3747.5	3748.7	3737.7	3745.6	3746.9	3744.3	3734.6	3746.0	3749.0	3739.0	3747.5	3753.0	3750.0	3755.0
2	3713.7	3722.4	3727.5	3728.7	3716.5	3725.4	3725.0	3721.6	3714.0	3726.5	3729.0	3719.0	3728.5	3733.5	3730.0	3736.5
3	3721.2	3729.6	3735.3	3736.7	3723.5	3733.4	3734.8	3731.6	3723.1	3736.0	3738.0	3730.0	3739.5	3744.0	3739.3	3745.5
4	3723.4	3732.6	3738.3	3745.0	3732.6	3740.7	3742.6	3738.9	3730.3	3743.0	3745.5	3735.0	3744.3	3750.5	3747.0	3752.5
5	3717.0	3726.4	3731.7	3733.3	3720.2	3729.0	3730.5	3725.9	3717.1	3730.5	3734.5	3722.8	3732.5	3738.5	3734.3	3740.5
6	3728.9	3737.4	3740.6	3740.9	3733.5	3737.9	3738.6	3737.0	3728.9	3735.5	3737.0	3729.5	3735.5	3739.5	3738.0	3741.5
7	3722.9	3730.8	3737.9	3739.6	3727.5	3735.7	3737.0	3732.5	3724.3	3737.5	3739.0	3730.0	3739.0	3744.5	3741.5	3747.0
8	3703.1	3712.5	3716.7	3717.3	3706.4	3711.7	3712.6	3709.7	3698.2	3707.0	3708.5	3699.0	3706.5	3711.0	3708.0	3712.5
9	3688.6	3698.4	3700.1	3701.9	3689.9	3697.5	3698.7	3695.0	3685.9	3696.5	3698.5	3690.8	3697.0	3702.8	3699.5	3704.5
10	3730.4	3740.5	3744.6	3744.9	3735.2	3740.6	3741.7	3738.8	3730.8	3739.5	3740.8	3732.0	3739.0	3743.5	3739.5	3744.5
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3756.5	3750.5	3757.3	3760.5	3757.5	3764.0	3766.0	3766.5	3764.0	3767.5	3766.8	3770.8	3770.3	3771.0	3773.3	
2	3737.5	3731.0	3740.0	3742.0	3738.8	3745.5	3748.5	3748.5	3743.8	3750.3	3748.5	3753.5	3753.0	3753.3	3755.3	
3	3747.3	3740.3	3749.5	3753.0	3747.5	3755.5	3757.0	3757.3	3753.0	3759.0	3757.5	3761.8	3761.3	3762.0	3764.0	
4	3754.0	3748.0	3755.5	3758.5	3755.5	3762.3	3764.5	3765.0	3760.0	3766.0	3765.3	3770.3	3769.5	3770.5	3773.0	
5	3741.3	3733.5	3742.5	3745.5	3741.5	3750.8	3752.5	3754.3	3748.3	3753.3	3751.5	3757.0	3757.0	3757.3	3758.5	
6	3742.3	3736.0	3742.5	3745.3	3743.5	3747.8	3750.0	3751.0	3748.0	3751.0	3750.0	3753.3	3753.0	3754.5	3755.0	
7	3748.5	3743.5	3750.5	3753.5	3750.0	3756.5	3759.5	3759.5	3754.5	3760.5	3759.3	3765.0	3764.0	3765.5	3767.5	
8	3715.5	3708.8	3715.5	3720.5	3715.5	3722.5	3724.0	3725.0	3721.3	3725.8	3725.3	3729.0	3728.8	3729.0	3730.5	
9	3706.0	3699.0	3707.0	3710.0	3706.3	3713.5	3716.0	3716.5	3713.5	3717.8	3716.5	3721.0	3720.5	3721.5	3723.8	
10	3746.0	3740.5	3747.0	3750.0	3747.5	3754.0	3756.0	3756.3	3752.5	3756.5	3755.5	3759.3	3759.3	3760.3	3761.8	

Tabla H-2 Peso registrado para concreto simple, a/c 0.65

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3671.8	3679.8	3677.6	3660.7	3669.8	3670.7	3668.4	3657.4	3673.5	3676.0	3666.5	3676.0	3683.0	3679.3	3685.5	3686.8
2	3672.4	3681.9	3682.3	3666.3	3675.6	3676.7	3673.4	3663.9	3679.0	3682.0	3672.5	3681.5	3688.0	3683.3	3690.0	3691.5
3	3731.0	3739.7	3740.5	3725.8	3734.0	3735.2	3733.0	3719.8	3734.8	3738.3	3729.0	3737.8	3742.0	3739.0	3745.0	3746.5
4	3694.1	3702.5	3704.3	3688.2	3697.2	3698.6	3695.0	3685.6	3701.0	3704.0	3693.5	3703.5	3710.0	3706.0	3711.5	3713.3
5	3728.7	3736.7	3738.4	3721.8	3730.8	3731.9	3729.1	3718.9	3734.0	3737.0	3726.0	3735.5	3741.5	3737.0	3744.0	3745.0
6	3732.5	3741.1	3743.3	3728.8	3737.2	3738.4	3735.1	3725.5	3740.5	3743.0	3734.0	3742.5	3748.0	3745.0	3750.0	3752.5
7	3713.4	3722.2	3723.2	3707.7	3716.2	3717.4	3714.5	3705.3	3719.5	3722.5	3711.5	3720.5	3727.5	3723.8	3729.5	3732.0
8	3705.5	3712.8	3714.1	3697.9	3706.8	3708.2	3705.8	3696.2	3710.5	3713.5	3703.0	3713.0	3719.3	3714.0	3720.5	3722.5
9	3771.8	3780.8	3781.7	3766.9	3775.6	3777.4	3774.2	3764.9	3778.5	3781.5	3773.0	3781.5	3787.3	3784.5	3789.5	3791.5
10	3718.1	3725.7	3727.2	3712.4	3721.1	3722.5	3719.5	3710.2	3725.0	3728.0	3717.5	3726.0	3732.5	3728.8	3734.8	3737.5
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3680.0	3688.0	3692.5	3689.3	3696.5	3699.8	3700.5	3695.5	3701.5	3700.0	3705.3	3705.5	3706.5	3708.5	3710.2	
2	3684.8	3692.5	3696.0	3693.5	3701.0	3703.8	3704.5	3699.5	3704.5	3703.0	3707.8	3708.5	3709.0	3710.8	3712.5	
3	3740.5	3749.5	3751.3	3748.5	3754.5	3758.5	3760.0	3754.5	3760.3	3759.0	3763.8	3763.3	3764.0	3765.8	3767.5	
4	3706.0	3714.5	3719.5	3715.5	3723.0	3726.5	3726.5	3721.5	3727.8	3726.0	3731.5	3731.3	3732.5	3734.5	3736.2	
5	3739.5	3747.0	3750.5	3748.5	3754.5	3757.8	3759.0	3754.0	3758.8	3757.3	3762.3	3762.5	3762.8	3765.3	3767.0	
6	3745.3	3754.5	3757.5	3754.5	3761.5	3765.3	3765.5	3761.0	3766.3	3765.3	3770.3	3770.0	3771.0	3773.0	3774.7	
7	3725.0	3733.5	3737.0	3734.0	3742.5	3744.5	3745.0	3740.0	3746.0	3744.5	3749.5	3749.8	3750.8	3752.5	3754.2	
8	3716.0	3724.5	3728.3	3726.0	3733.3	3736.8	3738.0	3732.5	3738.5	3736.5	3740.5	3740.5	3741.8	3744.0	3745.7	
9	3787.0	3793.5	3796.0	3794.0	3800.0	3802.5	3803.0	3799.0	3803.5	3803.3	3807.3	3807.8	3808.3	3810.0	3811.7	
10	3730.5	3738.8	3742.0	3738.5	3745.8	3748.8	3749.0	3745.5	3750.8	3750.0	3754.3	3754.0	3754.8	3757.0	3758.7	

Tabla H-3 Peso registrado para concreto simple, a/c 0.70

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3681.4	3692.2	3702.2	3701.7	3682.9	3681.9	3695.3	3700.0	3703.0	3699.0	3702.5	3712.0	3709.8	3710.3	3714.0	3710.0
2	3669.0	3680.1	3689.4	3689.4	3670.7	3669.6	3681.5	3685.5	3688.5	3686.0	3688.5	3696.0	3694.3	3695.5	3699.5	3696.0

3	3695.1	3706.3	3716.5	3716.4	3697.8	3697.6	3709.5	3715.0	3717.0	3714.3	3719.0	3726.0	3723.5	3725.5	3729.0	3726.0
4	3707.0	3718.2	3728.0	3728.2	3709.5	3709.0	3725.0	3727.0	3729.0	3726.8	3729.8	3737.0	3735.0	3736.5	3739.5	3737.5
5	3697.6	3708.9	3717.9	3717.3	3698.9	3697.9	3710.0	3715.8	3719.0	3716.0	3718.8	3728.5	3724.5	3726.5	3730.5	3726.5
6	3678.0	3688.5	3696.4	3696.0	3678.9	3677.2	3690.5	3693.5	3697.5	3691.5	3696.0	3706.3	3701.3	3703.0	3709.5	3703.5
7	3909.8	3919.1	3927.6	3926.6	3908.1	3907.5	3919.5	3925.0	3928.0	3921.5	3926.0	3936.0	3931.5	3934.5	3940.3	3934.0
8	3686.5	3697.6	3706.3	3705.4	3688.7	3688.3	3701.0	3704.0	3707.3	3704.5	3707.8	3715.8	3713.8	3714.3	3718.0	3714.5
9	3667.9	3680.1	3690.2	3690.2	3670.6	3670.4	3684.5	3689.3	3692.0	3688.5	3694.0	3701.5	3699.0	3701.0	3705.5	3701.5
10	3706.8	3717.7	3726.8	3726.5	3708.4	3707.1	3719.5	3725.0	3727.0	3724.0	3727.8	3736.5	3735.0	3736.0	3739.0	3735.5
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3711.5	3716.5	3711.5	3715.8	3708.0	3716.8	3716.0	3719.5	3722.5	3718.3	3722.5	3724.8	3722.8	3733.0	3728.0	
2	3696.5	3700.5	3695.5	3700.0	3693.8	3702.5	3701.0	3704.3	3707.0	3704.0	3708.5	3709.3	3707.0	3716.5	3712.8	
3	3727.0	3731.8	3726.5	3731.3	3723.5	3732.0	3730.5	3735.3	3737.5	3734.5	3738.8	3739.3	3736.5	3746.5	3742.8	
4	3739.0	3743.0	3737.0	3741.0	3736.0	3744.5	3743.3	3748.0	3749.0	3745.0	3748.8	3750.0	3749.0	3757.0	3752.8	
5	3728.3	3733.5	3727.5	3731.5	3725.0	3734.3	3732.0	3737.5	3740.5	3737.8	3741.0	3742.3	3741.0	3754.3	3746.3	
6	3705.0	3710.5	3704.0	3709.0	3701.5	3712.5	3710.0	3715.0	3717.3	3714.0	3717.5	3719.3	3719.0	3733.8	3726.5	
7	3935.5	3942.0	3934.8	3939.5	3933.5	3942.5	3938.5	3943.8	3947.3	3943.8	3948.5	3949.8	3951.5	3963.0	3957.5	
8	3718.5	3722.0	3715.0	3719.0	3713.0	3721.5	3719.8	3724.0	3727.5	3723.0	3726.0	3727.8	3725.8	3736.5	3732.3	
9	3705.5	3709.5	3702.5	3706.0	3699.0	3708.5	3707.5	3713.0	3715.8	3712.0	3716.5	3717.3	3716.3	3725.8	3720.8	
10	3736.0	3740.5	3735.0	3740.5	3734.3	3741.5	3742.3	3746.0	3748.3	3743.0	3748.0	3749.0	3747.5	3757.0	3752.3	

Tabla H-4 Peso registrado para concreto armado, a/c 0.60

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3831.4	3831.8	3833.4	3832.6	3826.0	3827.5	3826.4	3825.0	3816.7	3823.0	3825.0	3817.0	3823.0	3826.5	3823.5	3828.0
2	3812.2	3813.2	3816.2	3816.2	3808.0	3811.8	3811.7	3809.7	3800.2	3807.8	3808.0	3802.0	3807.0	3810.8	3808.8	3812.3
3	3809.2	3810.3	3811.9	3810.2	3802.7	3804.3	3804.7	3804.2	3795.5	3802.0	3804.0	3796.5	3801.5	3805.0	3803.0	3807.0
4	3859.7	3858.4	3858.5	3857.7	3850.6	3852.9	3853.4	3852.1	3844.6	3851.0	3851.5	3843.5	3849.5	3853.0	3850.0	3855.0
5	3814.6	3821.4	3822.0	3822.5	3815.1	3821.1	3822.8	3823.6	3814.8	3822.5	3824.5	3820.0	3824.5	3827.0	3825.5	3829.0
6	3798.8	3800.0	3802.9	3802.7	3792.7	3797.5	3798.9	3796.5	3787.5	3796.3	3797.0	3788.5	3795.5	3800.5	3796.8	3801.8

7	3812.3	3812.0	3814.6	3814.4	3804.5	3808.8	3809.9	3808.0	3797.4	3805.3	3808.0	3799.0	3805.3	3809.8	3807.0	3811.8
8	3855.8	3855.2	3856.2	3855.9	3848.3	3849.4	3849.0	3848.2	3841.4	3848.5	3848.5	3841.5	3845.5	3849.0	3846.0	3849.5
9	3836.8	3839.1	3841.6	3841.3	3833.7	3836.9	3837.3	3836.0	3827.7	3834.5	3835.5	3827.0	3832.5	3837.5	3835.3	3839.0
10	3868.3	3870.2	3873.1	3873.4	3865.6	3869.7	3869.9	3868.8	3861.7	3869.0	3870.0	3864.5	3869.5	3873.0	3870.5	3874.5
11	3810.2	3811.0	3813.3	3813.2	3804.2	3808.0	3808.9	3806.6	3798.1	3806.3	3807.5	3800.0	3806.0	3810.5	3807.0	3811.5
12	3815.8	3817.2	3819.0	3817.9	3811.2	3813.4	3811.8	3810.2	3802.0	3808.0	3809.0	3802.0	3807.0	3810.8	3808.8	3812.0
13	3859.7	3861.7	3864.2	3863.8	3854.9	3858.9	3859.6	3858.2	3849.3	3857.0	3858.0	3850.0	3856.3	3860.8	3857.5	3862.0
14	3805.5	3806.5	3807.5	3806.7	3799.3	3802.1	3802.9	3801.8	3794.0	3800.5	3801.5	3794.5	3800.0	3803.5	3800.5	3804.5
15	3842.9	3843.0	3844.6	3843.1	3834.7	3837.6	3838.2	3837.7	3830.1	3835.5	3837.5	3830.8	3836.5	3839.5	3837.5	3842.0
16	3846.8	3846.4	3848.5	3848.5	3841.1	3843.4	3844.3	3843.1	3836.0	3841.5	3842.0	3836.0	3841.0	3844.3	3841.5	3846.0
17	3806.9	3807.5	3809.4	3809.4	3800.8	3803.8	3804.8	3803.4	3794.1	3800.5	3802.0	3794.0	3799.8	3804.0	3800.8	3804.5
18	3834.1	3833.9	3835.8	3835.0	3827.1	3829.3	3829.6	3828.3	3820.5	3827.3	3828.5	3821.0	3826.0	3829.5	3827.3	3831.0
19	3856.2	3857.6	3860.8	3860.4	3851.8	3856.2	3857.2	3855.5	3843.9	3853.0	3854.5	3845.5	3853.0	3857.5	3854.5	3860.0
20	3847.7	3849.3	3851.8	3851.4	3842.8	3846.7	3847.7	3846.3	3836.9	3844.5	3847.0	3838.5	3844.0	3847.5	3844.3	3848.8
21	3827.7	3828.3	3831.1	3830.6	3822.7	3825.1	3825.1	3824.0	3816.0	3822.5	3824.5	3817.0	3823.3	3827.3	3823.0	3827.0
22	3832.7	3833.2	3835.2	3834.3	3826.6	3829.4	3830.2	3828.7	3822.0	3827.5	3828.5	3821.8	3827.3	3830.5	3828.5	3832.0
23	3846.7	3850.0	3852.4	3852.1	3842.7	3847.5	3847.7	3846.5	3837.3	3845.5	3846.5	3839.5	3845.0	3849.5	3846.5	3850.8
24	3869.0	3870.9	3872.9	3872.0	3864.0	3867.1	3867.3	3866.2	3857.3	3864.0	3864.5	3857.0	3862.5	3866.5	3863.5	3869.0
25	3797.3	3798.5	3801.3	3801.4	3791.9	3796.7	3797.9	3796.2	3786.6	3795.0	3796.3	3788.0	3794.8	3798.5	3794.0	3800.0
26	3851.4	3851.9	3852.8	3852.9	3843.8	3847.7	3848.1	3846.7	3836.8	3844.5	3846.8	3838.5	3843.5	3848.0	3843.8	3848.5
27	3791.5	3793.2	3796.3	3796.3	3789.0	3792.2	3791.7	3790.2	3781.8	3789.0	3790.5	3782.0	3788.5	3793.5	3789.5	3794.0
28	3788.3	3792.8	3796.9	3798.8	3786.3	3793.8	3795.2	3793.0	3782.9	3793.5	3795.5	3786.3	3794.0	3798.5	3794.5	3800.0
29	3839.1	3841.1	3844.1	3844.4	3837.1	3840.4	3840.4	3839.1	3831.3	3838.5	3840.5	3832.8	3838.0	3842.5	3839.0	3844.0
30	3810.1	3812.5	3814.8	3814.3	3806.2	3809.5	3809.7	3807.8	3796.9	3805.5	3807.5	3799.5	3806.0	3810.0	3807.0	3811.5
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3829.5	3824.8	3830.0	3832.0	3829.5	3835.0	3837.5	3838.0	3834.0	3838.3	3837.5	3840.8	3841.0	3841.5	3843.0	
2	3814.0	3809.0	3815.0	3818.5	3815.3	3821.8	3823.8	3824.0	3821.0	3825.3	3824.8	3828.0	3828.0	3828.5	3829.5	
3	3808.0	3804.0	3808.5	3811.0	3810.0	3814.0	3816.0	3817.0	3812.8	3817.0	3816.3	3819.0	3819.8	3820.3	3821.3	
4	3856.8	3852.0	3858.0	3860.5	3857.5	3863.0	3865.5	3866.0	3862.5	3866.3	3865.5	3869.5	3870.0	3870.0	3871.3	

5	3829.0	3825.0	3829.0	3832.3	3830.0	3833.0	3835.0	3834.5	3832.0	3834.0	3833.5	3835.3	3835.5	3836.0	3836.5
6	3804.0	3798.5	3805.5	3807.5	3806.0	3812.5	3814.0	3815.5	3812.5	3816.0	3815.5	3817.8	3818.3	3818.8	3820.5
7	3813.5	3807.0	3814.0	3817.5	3815.0	3821.0	3824.0	3825.0	3820.0	3824.3	3823.5	3827.3	3827.5	3827.5	3829.3
8	3850.8	3846.5	3852.0	3854.5	3852.5	3856.5	3858.8	3859.0	3856.0	3859.8	3859.5	3861.8	3862.5	3862.3	3863.8
9	3841.3	3836.0	3842.0	3845.0	3842.0	3847.5	3850.0	3851.5	3848.0	3851.8	3851.0	3853.5	3854.5	3854.5	3856.8
10	3876.0	3870.5	3876.3	3878.5	3878.0	3882.0	3884.0	3884.8	3883.0	3885.0	3884.5	3886.5	3886.5	3887.0	3888.0
11	3813.5	3807.8	3814.3	3817.3	3814.3	3820.3	3823.5	3823.5	3821.0	3823.8	3823.3	3827.0	3827.0	3827.3	3828.3
12	3814.5	3809.0	3813.5	3815.8	3814.5	3819.0	3821.8	3821.8	3818.3	3821.8	3821.3	3823.8	3824.3	3824.8	3826.0
13	3863.0	3857.5	3864.5	3867.5	3866.0	3871.0	3873.5	3874.0	3871.3	3874.5	3873.8	3877.3	3876.8	3877.5	3878.8
14	3806.0	3802.3	3807.0	3809.3	3807.8	3813.5	3815.0	3815.3	3813.5	3816.5	3815.3	3817.5	3817.8	3818.3	3819.3
15	3843.8	3837.5	3843.0	3845.0	3842.5	3848.0	3849.5	3850.0	3846.5	3849.8	3849.3	3852.0	3852.8	3853.5	3855.0
16	3846.0	3840.5	3845.5	3850.0	3846.5	3851.0	3853.0	3853.5	3851.5	3853.5	3853.0	3855.5	3856.0	3856.5	3857.0
17	3806.5	3801.0	3807.5	3810.3	3806.5	3813.5	3816.0	3817.0	3814.3	3817.8	3816.5	3819.3	3819.5	3820.5	3822.0
18	3832.8	3828.5	3834.0	3836.3	3834.0	3839.5	3840.5	3841.8	3839.3	3842.0	3841.5	3843.8	3844.0	3844.8	3845.5
19	3862.0	3857.8	3863.5	3866.3	3863.3	3870.0	3872.0	3872.5	3870.0	3873.5	3872.5	3876.3	3876.5	3877.5	3878.8
20	3850.0	3846.0	3851.5	3854.0	3852.0	3857.5	3859.5	3860.0	3856.0	3859.5	3859.8	3862.5	3863.5	3863.5	3865.0
21	3828.5	3824.0	3829.5	3831.5	3828.8	3834.5	3836.8	3837.8	3835.0	3837.8	3836.8	3839.5	3840.3	3840.0	3841.5
22	3833.5	3828.5	3834.0	3836.3	3833.5	3839.5	3841.5	3842.5	3840.3	3843.0	3842.8	3845.0	3845.3	3846.5	3847.3
23	3852.5	3847.8	3854.0	3856.5	3854.8	3860.0	3862.5	3863.0	3858.5	3862.8	3863.5	3865.5	3864.8	3865.0	3866.0
24	3869.5	3864.5	3870.5	3874.5	3872.0	3876.5	3878.5	3878.8	3875.0	3878.8	3878.0	3880.8	3881.8	3882.0	3883.0
25	3801.0	3795.0	3801.5	3804.5	3801.5	3808.5	3811.0	3812.5	3808.8	3812.3	3811.5	3814.3	3814.5	3815.0	3816.5
26	3850.8	3845.8	3851.5	3854.0	3851.3	3857.5	3860.0	3861.0	3858.0	3861.3	3860.5	3864.0	3864.5	3865.5	3866.8
27	3796.0	3791.0	3797.5	3799.5	3797.0	3803.3	3805.3	3805.5	3802.5	3806.8	3805.8	3809.0	3809.0	3809.5	3810.8
28	3801.8	3796.0	3803.0	3806.8	3803.5	3810.8	3812.8	3813.3	3809.0	3813.8	3812.8	3816.5	3817.0	3817.8	3819.3
29	3845.5	3839.5	3845.8	3849.0	3846.0	3851.5	3853.5	3854.3	3852.0	3855.5	3855.0	3857.5	3857.3	3857.8	3859.5
30	3813.3	3806.8	3813.8	3816.8	3813.5	3819.5	3822.0	3822.8	3819.0	3823.3	3822.8	3826.8	3827.0	3827.3	3828.8

Tabla H-5 Peso registrado para concreto armado, a/c 0.65

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3919.6	3917.9	3920.3	3929.8	3928.7	3912.3	3909.6	3919.0	3924.5	3928.5	3922.3	3925.8	3936.0	3931.0	3933.0	3939.5
2	3830.3	3828.6	3831.0	3840.5	3839.4	3824.1	3823.0	3830.5	3838.0	3843.3	3836.0	3839.8	3849.5	3845.0	3846.5	3851.8
3	3796.8	3796.8	3799.1	3809.0	3807.6	3791.7	3790.8	3798.5	3806.0	3810.0	3803.5	3806.3	3816.0	3811.3	3812.5	3818.5
4	3997.8	3996.0	3998.4	4009.2	4008.4	3991.3	3989.4	3998.0	4006.0	4009.8	4003.0	4006.5	4016.0	4013.0	4014.5	4019.8
5	3841.8	3840.6	3842.3	3852.1	3851.2	3836.0	3833.9	3843.5	3849.0	3853.5	3847.5	3850.5	3859.0	3856.0	3858.0	3862.8
6	3811.7	3809.5	3812.2	3822.7	3822.4	3806.0	3804.9	3814.0	3820.5	3826.5	3817.5	3822.5	3831.8	3829.3	3829.8	3834.0
7	3856.1	3854.4	3858.1	3868.8	3866.6	3849.4	3850.4	3858.0	3866.5	3869.5	3863.5	3867.0	3876.3	3872.8	3873.5	3879.0
8	3800.8	3800.1	3800.9	3811.9	3810.0	3793.2	3791.6	3801.5	3808.0	3812.3	3807.0	3810.5	3819.5	3815.5	3817.5	3822.0
9	3831.9	3832.1	3834.4	3842.7	3842.0	3826.3	3824.8	3832.5	3839.5	3844.5	3837.3	3840.5	3849.8	3846.0	3847.5	3852.5
10	3815.7	3815.7	3818.0	3827.9	3826.8	3810.9	3810.0	3819.0	3825.0	3831.8	3823.5	3827.5	3835.5	3832.0	3834.0	3838.5
11	3822.4	3821.9	3824.9	3833.5	3833.3	3816.0	3815.0	3823.5	3831.0	3834.5	3827.5	3832.0	3840.8	3836.5	3838.0	3843.3
12	3808.3	3807.3	3808.9	3818.8	3818.2	3802.1	3800.1	3809.0	3815.0	3820.3	3812.0	3817.0	3826.8	3822.0	3823.5	3828.0
13	3840.8	3840.5	3842.0	3851.3	3850.7	3835.0	3834.5	3842.5	3849.0	3854.5	3848.0	3850.8	3859.0	3856.0	3858.0	3862.5
14	3806.6	3805.7	3806.6	3816.7	3815.7	3798.3	3797.9	3805.0	3812.5	3817.0	3812.0	3815.5	3823.5	3820.0	3821.5	3826.5
15	3863.5	3863.2	3865.5	3874.2	3873.1	3857.7	3856.3	3864.0	3869.8	3875.0	3868.0	3872.0	3881.5	3876.3	3878.0	3884.0
16	3830.2	3830.2	3832.5	3841.7	3840.4	3824.3	3823.3	3830.5	3837.5	3843.0	3836.3	3839.0	3847.5	3843.5	3844.8	3850.3
17	3837.0	3833.4	3836.5	3846.5	3845.3	3828.8	3828.0	3836.5	3843.5	3847.0	3842.0	3845.5	3854.0	3850.5	3851.0	3856.5
18	3789.8	3789.6	3791.3	3800.5	3799.7	3784.2	3782.3	3791.0	3797.0	3801.3	3796.5	3799.0	3807.8	3802.5	3804.5	3810.0
19	3805.1	3803.8	3805.0	3815.2	3813.9	3796.2	3795.3	3803.5	3809.5	3815.0	3808.5	3811.5	3821.0	3816.8	3818.5	3824.5
20	3792.8	3789.1	3792.0	3802.3	3800.8	3784.5	3783.0	3791.5	3798.0	3803.0	3795.0	3800.3	3808.5	3804.0	3806.5	3812.0
21	3830.5	3830.5	3834.3	3842.5	3841.0	3825.3	3823.8	3831.5	3838.0	3842.5	3837.0	3840.0	3850.5	3845.5	3849.3	3852.5
22	3831.9	3831.1	3831.1	3842.5	3840.5	3823.3	3823.5	3832.0	3837.5	3843.0	3837.0	3840.0	3848.5	3845.0	3847.0	3851.5
23	3812.9	3811.8	3814.0	3823.6	3822.7	3806.7	3804.9	3814.0	3819.5	3824.5	3817.3	3822.3	3831.3	3826.8	3829.0	3834.0
24	3823.0	3821.5	3823.8	3833.4	3831.6	3814.8	3813.5	3822.5	3829.0	3834.5	3828.8	3831.8	3841.0	3837.0	3839.5	3845.0
25	3819.7	3819.8	3821.6	3830.9	3830.1	3815.1	3813.1	3821.0	3828.0	3830.5	3826.0	3829.0	3836.5	3833.3	3834.5	3838.8
26	3812.0	3811.5	3814.1	3823.2	3822.4	3806.4	3805.0	3813.0	3819.8	3825.0	3817.8	3821.8	3830.5	3827.0	3828.8	3832.5

27	3798.7	3798.1	3801.0	3809.5	3809.9	3797.2	3792.4	3800.5	3806.5	3810.5	3804.8	3806.0	3817.3	3812.3	3815.0	3819.5
28	3788.6	3787.4	3789.9	3799.2	3797.4	3780.4	3779.1	3787.0	3794.5	3798.5	3792.8	3796.0	3805.5	3801.5	3803.0	3808.0
29	3805.5	3805.2	3807.5	3817.1	3816.0	3799.2	3798.4	3807.0	3812.5	3818.0	3811.3	3814.5	3823.0	3819.8	3822.0	3826.8
30	3833.9	3831.8	3834.5	3843.6	3843.4	3829.5	3827.7	3835.0	3841.5	3846.5	3842.0	3843.0	3851.0	3847.5	3850.3	3854.0
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3932.0	3934.8	3941.0	3933.3	3938.5	3933.0	3941.0	3937.8	3941.5	3943.5	3941.8	3946.0	3947.3	3947.5	3960.5	
2	3846.5	3848.0	3854.0	3847.5	3853.0	3847.0	3854.5	3852.5	3856.3	3858.5	3856.5	3861.8	3863.0	3861.5	3873.0	
3	3811.8	3814.5	3820.3	3813.0	3817.0	3811.3	3821.0	3817.5	3821.5	3826.0	3823.0	3826.0	3825.8	3827.8	3838.3	
4	4012.5	4015.0	4021.0	4014.5	4019.0	4013.3	4024.0	4019.5	4023.5	4027.0	4023.8	4030.3	4028.8	4027.8	4040.3	
5	3857.0	3859.5	3865.5	3859.0	3862.8	3856.5	3866.5	3863.0	3867.8	3871.3	3868.0	3873.5	3873.5	3873.5	3884.0	
6	3828.5	3829.5	3835.5	3830.5	3833.8	3828.0	3837.5	3835.0	3838.0	3841.0	3838.5	3842.3	3844.5	3842.0	3855.3	
7	3871.8	3874.5	3880.8	3873.5	3877.8	3873.3	3881.0	3876.5	3881.5	3886.0	3882.0	3886.0	3886.8	3887.8	3897.5	
8	3816.8	3818.0	3824.5	3818.5	3822.8	3815.3	3824.8	3821.3	3826.0	3829.0	3827.5	3831.3	3832.5	3831.0	3843.3	
9	3847.3	3849.5	3857.5	3848.5	3852.8	3846.5	3856.8	3852.0	3857.5	3861.3	3858.3	3863.0	3864.0	3864.0	3873.8	
10	3833.5	3835.5	3842.5	3834.0	3839.0	3832.0	3842.3	3839.5	3845.0	3846.5	3843.8	3850.8	3849.0	3849.0	3861.3	
11	3838.5	3839.0	3846.0	3839.0	3843.0	3835.5	3846.0	3841.5	3846.0	3849.0	3847.0	3851.5	3852.0	3852.5	3863.0	
12	3823.0	3824.0	3830.5	3824.0	3827.5	3823.3	3831.5	3829.5	3832.5	3836.0	3834.0	3836.5	3838.3	3838.5	3850.0	
13	3857.5	3858.0	3863.5	3857.0	3861.5	3856.0	3865.5	3861.0	3865.0	3868.5	3865.8	3869.8	3870.3	3870.5	3881.8	
14	3820.5	3823.0	3828.8	3821.8	3825.5	3819.8	3829.5	3827.5	3833.0	3834.5	3832.5	3836.3	3836.3	3835.0	3847.0	
15	3877.3	3879.5	3885.5	3879.0	3882.5	3877.0	3886.5	3883.0	3887.0	3889.3	3888.8	3892.3	3893.0	3894.5	3904.5	
16	3844.5	3846.5	3852.5	3845.5	3850.3	3844.3	3853.5	3850.5	3855.5	3857.8	3854.8	3859.0	3860.0	3860.5	3872.5	
17	3850.0	3852.5	3858.5	3852.0	3856.0	3850.3	3859.5	3856.0	3860.5	3864.5	3860.5	3865.0	3865.8	3865.0	3876.5	
18	3803.5	3806.5	3813.0	3807.0	3810.0	3804.0	3813.0	3809.3	3814.0	3816.5	3814.0	3818.5	3819.0	3819.0	3830.5	
19	3817.5	3820.5	3826.0	3819.3	3823.5	3817.0	3826.5	3823.8	3828.0	3829.8	3828.3	3833.0	3834.0	3834.8	3844.5	
20	3805.3	3808.0	3814.5	3808.0	3812.0	3806.0	3815.3	3811.8	3816.0	3818.5	3816.5	3821.0	3822.0	3821.8	3833.5	
21	3847.5	3849.0	3855.5	3849.0	3854.0	3846.5	3856.3	3852.5	3857.5	3860.3	3858.3	3862.3	3864.0	3863.3	3873.0	
22	3846.0	3848.3	3855.0	3848.0	3852.5	3845.5	3855.3	3852.8	3857.0	3860.3	3858.3	3861.5	3862.5	3861.5	3872.5	
23	3828.8	3829.8	3835.5	3829.0	3833.3	3827.0	3836.5	3832.5	3836.8	3839.8	3838.0	3841.5	3842.3	3841.5	3853.0	
24	3838.5	3841.0	3846.8	3839.5	3846.5	3838.0	3849.5	3845.0	3849.3	3852.0	3849.5	3854.0	3855.0	3853.8	3865.8	

25	3833.5	3835.0	3840.5	3834.5	3837.5	3832.0	3840.5	3838.0	3841.5	3844.5	3842.0	3845.8	3847.0	3845.5	3856.0
26	3828.0	3830.5	3835.0	3828.0	3832.5	3828.0	3836.0	3832.5	3837.5	3840.0	3836.8	3840.8	3841.5	3839.5	3850.5
27	3814.0	3816.0	3822.0	3815.0	3820.8	3814.5	3822.5	3820.0	3823.5	3826.3	3824.3	3827.5	3828.8	3828.5	3839.8
28	3803.0	3804.5	3810.8	3804.0	3808.0	3801.5	3811.5	3809.0	3814.5	3816.3	3813.5	3817.5	3819.3	3817.3	3828.3
29	3820.5	3823.5	3829.0	3822.3	3827.0	3820.5	3830.0	3828.0	3833.3	3835.5	3833.3	3837.0	3837.5	3837.5	3847.5
30	3849.5	3850.5	3856.5	3850.0	3854.5	3848.5	3856.8	3854.5	3859.0	3861.5	3858.8	3862.5	3863.0	3864.3	3874.0

Tabla H-6 Peso registrado para concreto armado, a/c 0.70

N° probeta / Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3863.4	3872.9	3881.9	3880.4	3862.1	3861.9	3872.5	3877.5	3882.5	3875.5	3880.0	3890.5	3885.0	3886.5	3892.5	3885.5
2	3885.9	3896.1	3904.6	3903.4	3886.0	3885.4	3895.0	3901.0	3905.5	3898.3	3901.5	3912.5	3907.5	3909.0	3914.5	3908.0
3	3820.3	3829.0	3837.7	3836.9	3820.1	3816.4	3826.5	3833.0	3836.5	3831.8	3835.0	3844.5	3839.5	3841.5	3847.5	3842.0
4	3803.6	3814.0	3823.4	3821.4	3804.5	3803.1	3814.5	3820.5	3824.5	3819.0	3822.3	3833.0	3828.8	3830.5	3834.8	3830.5
5	3809.2	3819.1	3827.7	3826.6	3808.3	3807.2	3818.0	3824.5	3829.0	3822.0	3826.3	3835.3	3832.0	3834.0	3839.0	3834.5
6	3855.6	3865.5	3874.1	3873.4	3856.6	3856.7	3865.5	3872.5	3876.0	3870.0	3874.3	3884.5	3879.8	3882.0	3888.0	3881.0
7	3798.2	3808.1	3816.4	3815.8	3798.7	3798.3	3807.0	3814.0	3818.0	3812.5	3816.5	3826.0	3822.5	3824.0	3830.0	3823.5
8	3788.5	3798.1	3805.8	3804.1	3786.3	3786.2	3796.5	3803.0	3807.5	3801.5	3805.8	3815.5	3811.0	3812.5	3818.5	3812.0
9	3782.5	3791.6	3800.4	3799.3	3781.9	3781.3	3791.5	3798.0	3802.3	3795.5	3800.8	3809.5	3805.3	3809.0	3812.0	3807.5
10	3791.2	3800.6	3809.5	3808.2	3791.2	3797.0	3800.5	3807.0	3811.8	3804.5	3808.5	3818.0	3815.5	3815.0	3821.5	3815.5
11	3831.5	3842.5	3849.9	3848.8	3831.1	3830.6	3842.0	3848.5	3852.3	3846.0	3850.3	3859.8	3855.0	3857.5	3862.0	3857.0
12	3963.7	3974.3	3983.7	3982.9	3963.5	3963.4	3975.0	3981.0	3985.0	3980.0	3984.0	3993.5	3989.3	3991.5	3996.0	3993.8
13	3989.4	3999.4	4008.7	4008.0	3989.4	3988.9	4000.5	4006.5	4010.8	4006.0	4010.0	4019.0	4017.0	4017.0	4022.5	4016.5
14	4016.0	4026.3	4035.3	4034.6	4016.2	4015.7	4026.0	4033.3	4037.5	4030.8	4036.5	4045.0	4043.0	4042.0	4046.5	4041.5
15	3781.1	3791.1	3800.8	3798.9	3781.5	3780.7	3791.5	3799.0	3803.5	3796.0	3799.8	3809.3	3805.3	3807.5	3812.8	3807.0
16	3986.1	3995.4	4004.1	4003.0	3985.1	3985.4	3994.5	4000.5	4006.5	4000.5	4002.5	4013.8	4008.5	4010.3	4016.0	4010.3
17	3983.6	3994.2	4003.1	4002.6	3985.1	3983.7	3993.5	4000.5	4005.0	4000.0	4003.5	4012.5	4009.0	4014.0	4015.8	4011.0
18	3940.8	3950.7	3959.0	3957.5	3941.4	3940.6	3951.5	3956.5	3961.0	3954.5	3958.0	3967.5	3964.3	3965.5	3971.3	3965.0

19	3828.1	3838.0	3845.7	3844.4	3829.4	3827.8	3836.5	3841.5	3846.3	3841.0	3844.5	3853.0	3850.3	3851.0	3856.0	3850.5
20	3948.0	3959.3	3968.4	3967.9	3947.4	3947.6	3959.5	3966.5	3970.5	3965.0	3968.5	3979.0	3974.5	3976.0	3981.5	3976.5
21	3793.2	3809.3	3818.0	3815.8	3799.3	3798.2	3808.5	3814.5	3818.8	3811.8	3816.5	3826.5	3822.0	3825.5	3830.0	3823.0
22	3929.6	3939.5	3948.8	3947.8	3929.1	3927.7	3939.0	3946.0	3951.5	3945.5	3948.5	3957.8	3955.5	3957.3	3961.5	3957.5
23	3934.7	3945.6	3955.1	3953.5	3931.3	3929.9	3943.5	3949.5	3954.0	3947.0	3951.5	3962.0	3957.5	3959.0	3964.5	3959.8
24	3822.0	3832.9	3841.2	3839.9	3821.8	3821.9	3831.5	3838.5	3846.0	3838.5	3842.0	3850.0	3846.8	3848.5	3855.5	3848.0
25	3782.3	3791.3	3800.8	3799.0	3781.0	3780.8	3792.0	3797.5	3802.3	3796.5	3800.5	3810.3	3806.0	3809.8	3812.5	3807.8
26	3996.7	4007.1	4015.9	4014.8	3996.7	3997.3	4007.5	4013.0	4018.5	4013.0	4016.8	4025.5	4022.3	4023.5	4027.0	4023.3
27	3974.4	3984.8	3993.7	3991.7	3974.2	3973.3	3983.5	3990.5	3994.0	3988.5	3992.0	4002.0	3998.5	4001.0	4004.5	3999.8
28	3973.9	3985.6	3993.9	3992.6	3975.1	3974.9	3985.5	3991.5	3996.0	3990.0	3993.5	4003.8	4000.0	4001.0	4007.0	4000.5
29	3970.9	3980.7	3989.5	3989.0	3970.4	3970.1	3981.5	3987.5	3991.5	3985.8	3989.0	3998.5	3996.0	3997.0	4002.0	3996.8
30	3786.8	3796.0	3804.5	3803.9	3787.0	3784.8	3796.0	3801.5	3806.8	3800.5	3804.0	3815.3	3810.0	3812.0	3817.0	3812.0
N° probeta / Ciclos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	3888.5	3894.5	3888.0	3891.5	3885.3	3894.5	3891.0	3895.8	3899.0	3897.3	3902.8	3902.5	3904.3	3917.0	3909.3	
2	3910.5	3918.0	3910.5	3914.5	3908.0	3917.3	3914.5	3918.5	3920.8	3919.0	3922.0	3925.0	3928.5	3940.0	3932.8	
3	3843.5	3849.5	3842.5	3846.5	3840.0	3849.5	3847.3	3851.8	3853.8	3852.5	3855.8	3856.8	3857.5	3869.3	3863.5	
4	3832.5	3837.5	3832.5	3835.8	3829.0	3839.5	3836.0	3840.8	3844.0	3839.8	3844.8	3845.0	3844.8	3856.5	3850.0	
5	3836.3	3842.5	3836.5	3839.3	3833.0	3841.8	3839.0	3843.5	3846.5	3843.3	3848.0	3849.0	3850.5	3862.0	3854.8	
6	3883.5	3890.5	3884.0	3887.0	3880.3	3890.0	3887.5	3891.5	3895.0	3891.5	3895.5	3896.8	3896.8	3909.0	3902.8	
7	3826.0	3831.5	3824.5	3828.8	3822.3	3831.5	3828.5	3833.3	3836.0	3833.0	3837.0	3838.5	3838.5	3852.3	3844.3	
8	3816.0	3820.3	3813.8	3819.0	3812.0	3820.5	3817.5	3822.5	3825.5	3822.8	3827.0	3827.8	3828.3	3840.0	3834.3	
9	3808.8	3815.3	3807.5	3812.3	3806.5	3815.5	3812.8	3817.5	3820.0	3817.0	3821.3	3821.8	3822.0	3834.5	3829.8	
10	3817.0	3823.5	3816.5	3822.0	3813.8	3824.0	3821.0	3826.5	3828.3	3825.5	3830.0	3830.8	3832.0	3843.5	3837.0	
11	3859.0	3865.8	3857.5	3862.0	3855.8	3866.0	3862.8	3867.5	3872.3	3867.5	3872.0	3872.5	3871.0	3884.3	3879.5	
12	3994.0	3998.5	3993.0	3996.0	3989.0	3999.5	3995.8	4000.8	4003.8	4000.0	4005.0	4006.0	4004.0	4017.0	4011.5	
13	4018.5	4023.8	4017.0	4021.0	4014.0	4023.8	4022.8	4027.3	4029.0	4025.5	4030.8	4031.5	4030.3	4042.8	4037.0	
14	4043.8	4049.0	4042.5	4047.5	4041.0	4050.5	4047.5	4051.8	4054.5	4052.8	4056.5	4056.5	4055.5	4067.5	4061.8	
15	3808.8	3814.8	3808.5	3812.8	3804.8	3815.0	3812.5	3817.3	3820.0	3816.8	3821.3	3822.3	3822.0	3834.3	3828.0	
16	4011.0	4018.0	4011.8	4014.5	4009.0	4018.0	4016.0	4020.0	4023.0	4020.5	4024.8	4025.8	4026.0	4039.5	4032.8	

17	4013.0	4018.0	4012.5	4016.0	4009.5	4019.8	4017.5	4024.0	4024.0	4020.8	4025.0	4026.0	4024.5	4037.0	4032.0
18	3967.0	3975.5	3966.5	3970.5	3964.5	3973.8	3972.0	3976.5	3979.0	3975.3	3979.5	3980.3	3982.0	3994.0	3986.8
19	3852.3	3858.0	3851.5	3855.5	3849.3	3858.5	3856.0	3860.5	3863.5	3861.5	3865.0	3866.5	3866.5	3877.8	3872.0
20	3978.3	3984.0	3978.5	3981.8	3976.0	3985.3	3981.5	3986.8	3989.3	3986.3	3991.0	3991.5	3990.8	4003.0	3997.8
21	3825.3	3831.0	3824.0	3828.0	3822.5	3832.3	3829.5	3835.5	3837.8	3834.3	3838.3	3838.5	3839.8	3851.3	3845.3
22	3958.5	3964.8	3957.0	3961.5	3955.0	3964.5	3962.3	3967.5	3970.0	3966.8	3972.0	3973.8	3972.0	3984.0	3977.8
23	3960.5	3968.3	3960.5	3964.0	3955.5	3966.8	3964.5	3969.3	3972.3	3969.3	3974.3	3975.0	3974.5	3987.5	3981.0
24	3850.3	3856.0	3849.0	3854.5	3846.5	3856.5	3853.5	3858.3	3862.0	3859.5	3864.5	3866.0	3864.5	3875.5	3869.8
25	3809.3	3815.8	3808.5	3813.0	3805.3	3815.8	3814.3	3818.0	3821.5	3817.8	3823.5	3823.8	3825.3	3836.5	3830.8
26	4025.5	4030.3	4024.8	4028.0	4022.8	4031.0	4028.0	4032.8	4035.3	4032.0	4036.0	4037.5	4036.0	4046.8	4041.3
27	4001.5	4007.3	4000.0	4006.0	3998.5	4008.0	4005.5	4010.3	4013.0	4010.5	4014.5	4015.0	4016.0	4025.8	4021.3
28	4002.5	4009.0	4001.5	4005.8	3999.0	4009.3	4006.3	4011.3	4014.5	4011.0	4018.0	4017.5	4017.0	4029.0	4022.5
29	3998.5	4004.0	3997.0	4001.0	3994.0	4005.8	4001.3	4006.5	4010.0	4005.8	4010.3	4012.3	4010.8	4022.0	4016.8
30	3813.3	3819.3	3812.5	3817.3	3810.0	3820.5	3817.5	3823.5	3824.8	3822.0	3826.3	3826.8	3827.0	3839.0	3833.5

2. Análisis del peso promedio del concreto simple y armado

Tabla H-7 Análisis de datos para concreto simple, a/c 0.60

Ciclos	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3717.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3727.3	0.00	0.00	9.43	0.25	9.43	0.25	0.25
2	3732.0	0.00	0.00	4.74	0.13	4.74	0.13	0.38
3	3733.7	0.00	0.00	1.68	0.05	1.68	0.05	0.43
4	3722.3	-11.40	-0.31	0.00	0.00	-11.40	-0.31	0.12
5	3729.8	0.00	0.00	7.45	0.20	7.45	0.20	0.32
6	3730.8	0.00	0.00	1.09	0.03	1.09	0.03	0.35
7	3727.5	-3.31	-0.09	0.00	0.00	-3.31	-0.09	0.26
8	3718.7	-8.81	-0.24	0.00	0.00	-8.81	-0.24	0.02
9	3729.8	0.00	0.00	11.08	0.30	11.08	0.30	0.32
10	3732.0	0.00	0.00	2.18	0.06	2.18	0.06	0.38
11	3722.7	-9.27	-0.25	0.00	0.00	-9.27	-0.25	0.13
12	3730.9	0.00	0.00	8.22	0.22	8.22	0.22	0.35
13	3736.1	0.00	0.00	5.15	0.14	5.15	0.14	0.49
14	3732.7	-3.37	-0.09	0.00	0.00	-3.37	-0.09	0.40
15	3738.0	0.00	0.00	5.29	0.14	5.29	0.14	0.54
16	3739.5	0.00	0.00	1.49	0.04	1.49	0.04	0.58
17	3733.1	-6.38	-0.17	0.00	0.00	-6.38	-0.17	0.41
18	3740.7	0.00	0.00	7.62	0.20	7.62	0.20	0.62
19	3743.9	0.00	0.00	3.15	0.08	3.15	0.08	0.70
20	3740.4	-3.52	-0.09	0.00	0.00	-3.52	-0.09	0.61
21	3747.2	0.00	0.00	6.88	0.19	6.88	0.19	0.79
22	3749.4	0.00	0.00	2.16	0.06	2.16	0.06	0.85
23	3750.0	0.00	0.00	0.59	0.02	0.59	0.02	0.86
24	3745.9	-4.10	-0.11	0.00	0.00	-4.10	-0.11	0.75
25	3750.8	0.00	0.00	4.88	0.13	4.88	0.13	0.89
26	3749.6	-1.15	-0.03	0.00	0.00	-1.15	-0.03	0.85
27	3754.1	0.00	0.00	4.48	0.12	4.48	0.12	0.98
28	3753.7	-0.43	-0.01	0.00	0.00	-0.43	-0.01	0.96
29	3754.5	0.00	0.00	0.82	0.02	0.82	0.02	0.99
30	3756.3	0.00	0.00	1.78	0.05	1.78	0.05	1.03

Tabla H-8 Análisis de datos para concreto armado, a/c 0.60

Ciclo	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3829.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3830.6	0.00	0.00	1.31	0.03	1.31	0.03	0.03
2	3832.8	0.00	0.00	2.17	0.06	2.17	0.06	0.09
3	3832.4	-0.32	-0.01	0.00	0.00	-0.32	-0.01	0.08
4	3824.2	-8.27	-0.22	0.00	0.00	-8.27	-0.22	-0.13

5	3827.6	0.00	0.00	3.44	0.09	3.44	0.09	-0.04
6	3828.1	0.00	0.00	0.45	0.01	0.45	0.01	-0.03
7	3826.7	-1.36	-0.04	0.00	0.00	-1.36	-0.04	-0.07
8	3818.0	-8.68	-0.23	0.00	0.00	-8.68	-0.23	-0.29
9	3825.3	0.00	0.00	7.27	0.19	7.27	0.19	-0.10
10	3826.7	0.00	0.00	1.37	0.04	1.37	0.04	-0.07
11	3819.1	-7.55	-0.20	0.00	0.00	-7.55	-0.20	-0.27
12	3824.9	0.00	0.00	5.74	0.15	5.74	0.15	-0.12
13	3828.8	0.00	0.00	3.95	0.10	3.95	0.10	-0.01
14	3825.8	-2.98	-0.08	0.00	0.00	-2.98	-0.08	-0.09
15	3830.2	0.00	0.00	4.39	0.11	4.39	0.11	0.02
16	3831.8	0.00	0.00	1.55	0.04	1.55	0.04	0.07
17	3826.7	-5.11	-0.13	0.00	0.00	-5.11	-0.13	-0.07
18	3832.5	0.00	0.00	5.85	0.15	5.85	0.15	0.08
19	3835.3	0.00	0.00	2.76	0.07	2.76	0.07	0.16
20	3832.8	-2.45	-0.06	0.00	0.00	-2.45	-0.06	0.09
21	3838.4	0.00	0.00	5.54	0.14	5.54	0.14	0.24
22	3840.6	0.00	0.00	2.19	0.06	2.19	0.06	0.29
23	3841.2	0.00	0.00	0.65	0.02	0.65	0.02	0.31
24	3838.1	-3.15	-0.08	0.00	0.00	-3.15	-0.08	0.23
25	3841.5	0.00	0.00	3.48	0.09	3.48	0.09	0.32
26	3840.9	-0.62	-0.02	0.00	0.00	-0.62	-0.02	0.30
27	3843.8	0.00	0.00	2.87	0.07	2.87	0.07	0.38
28	3844.1	0.00	0.00	0.33	0.01	0.33	0.01	0.39
29	3844.6	0.00	0.00	0.46	0.01	0.46	0.01	0.40
30	3845.8	0.00	0.00	1.27	0.03	1.27	0.03	0.43

Tabla H-9 Análisis de datos para concreto simple, a/c 0.65

Ciclos	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3713.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3722.3	0.00	0.00	8.39	0.23	8.39	0.23	0.23
2	3723.3	0.00	0.00	0.94	0.03	0.94	0.03	0.25
3	3707.7	-15.61	-0.42	0.00	0.00	-15.61	-0.42	-0.17
4	3716.4	0.00	0.00	8.78	0.24	8.78	0.24	0.07
5	3717.7	0.00	0.00	1.27	0.03	1.27	0.03	0.10
6	3714.8	-2.90	-0.08	0.00	0.00	-2.90	-0.08	0.02
7	3704.8	-10.03	-0.27	0.00	0.00	-10.03	-0.27	-0.25
8	3719.6	0.00	0.00	14.86	0.40	14.86	0.40	0.15
9	3722.6	0.00	0.00	2.95	0.08	2.95	0.08	0.23
10	3712.7	-9.93	-0.27	0.00	0.00	-9.93	-0.27	-0.03
11	3721.8	0.00	0.00	9.13	0.25	9.13	0.25	0.21
12	3727.9	0.00	0.00	6.13	0.17	6.13	0.17	0.38
13	3724.1	-3.84	-0.10	0.00	0.00	-3.84	-0.10	0.27
14	3730.0	0.00	0.00	5.96	0.16	5.96	0.16	0.43
15	3731.9	0.00	0.00	1.88	0.05	1.88	0.05	0.48

16	3725.5	-6.45	-0.17	0.00	0.00	-6.45	-0.17	0.31
17	3733.6	0.00	0.00	8.17	0.22	8.17	0.22	0.53
18	3737.1	0.00	0.00	3.43	0.09	3.43	0.09	0.62
19	3734.2	-2.83	-0.08	0.00	0.00	-2.83	-0.08	0.55
20	3741.3	0.00	0.00	7.03	0.19	7.03	0.19	0.74
21	3744.4	0.00	0.00	3.17	0.09	3.17	0.09	0.82
22	3745.1	0.00	0.00	0.67	0.02	0.67	0.02	0.84
23	3740.3	-4.80	-0.13	0.00	0.00	-4.80	-0.13	0.71
24	3745.8	0.00	0.00	5.50	0.15	5.50	0.15	0.86
25	3744.5	-1.31	-0.04	0.00	0.00	-1.31	-0.04	0.82
26	3749.3	0.00	0.00	4.77	0.13	4.77	0.13	0.95
27	3749.3	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.95
28	3750.2	0.00	0.00	0.83	0.02	0.83	0.02	0.98
29	3752.1	0.00	0.00	1.99	0.05	1.99	0.05	1.03
30	3753.8	0.00	0.00	1.70	0.05	1.70	0.05	1.07

Tabla H-10 Análisis de datos para concreto armado, a/c 0.65

Ciclos	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3828.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3827.5	-1.02	0.00	0.00	0.00	-1.02	-0.03	0.00
2	3829.7	0.00	0.00	2.22	0.06	2.22	0.06	0.06
3	3839.4	0.00	0.00	9.64	0.25	9.64	0.25	0.31
4	3838.3	-1.05	-0.03	0.00	0.00	-1.05	-0.03	0.28
5	3822.2	-16.10	-0.42	0.00	0.00	-16.10	-0.42	-0.14
6	3820.9	-1.36	-0.04	0.00	0.00	-1.36	-0.04	-0.17
7	3829.2	0.00	0.00	8.32	0.22	8.32	0.22	0.04
8	3835.8	0.00	0.00	6.59	0.17	6.59	0.17	0.22
9	3840.5	0.00	0.00	4.71	0.12	4.71	0.12	0.34
10	3834.1	-6.40	-0.17	0.00	0.00	-6.40	-0.17	0.17
11	3837.5	0.00	0.00	3.41	0.09	3.41	0.09	0.26
12	3846.5	0.00	0.00	9.03	0.24	9.03	0.24	0.50
13	3842.5	-3.97	-0.10	0.00	0.00	-3.97	-0.10	0.39
14	3844.3	0.00	0.00	1.79	0.05	1.79	0.05	0.44
15	3849.3	0.00	0.00	4.97	0.13	4.97	0.13	0.57
16	3843.5	-5.80	-0.15	0.00	0.00	-5.80	-0.15	0.42
17	3845.5	0.00	0.00	1.99	0.05	1.99	0.05	0.47
18	3851.6	0.00	0.00	6.12	0.16	6.12	0.16	0.63
19	3844.8	-6.79	-0.18	0.00	0.00	-6.79	-0.18	0.45
20	3849.2	0.00	0.00	4.36	0.11	4.36	0.11	0.57
21	3843.0	-6.12	-0.16	0.00	0.00	-6.12	-0.16	0.41
22	3852.4	0.00	0.00	9.32	0.24	9.32	0.24	0.65
23	3849.1	-3.26	-0.09	0.00	0.00	-3.26	-0.09	0.56
24	3853.5	0.00	0.00	4.42	0.12	4.42	0.12	0.68
25	3856.4	0.00	0.00	2.83	0.07	2.83	0.07	0.75
26	3853.9	-2.43	-0.06	0.00	0.00	-2.43	-0.06	0.69

27	3858.1	0.00	0.00	4.20	0.11	4.20	0.11	0.80
28	3858.9	0.00	0.00	0.75	0.02	0.75	0.02	0.82
29	3858.6	-0.34	-0.01	0.00	0.00	-0.34	-0.01	0.81
30	3869.7	0.00	0.00	11.16	0.29	11.16	0.29	1.10

Tabla H-11 Análisis de datos para concreto simple, a/c 0.70

Ciclos	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3709.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3720.9	0.00	0.00	10.96	0.30	10.96	0.30	0.30
2	3730.1	0.00	0.00	9.26	0.25	9.26	0.25	0.55
3	3729.8	-0.36	-0.01	0.00	0.00	-0.36	-0.01	0.54
4	3711.5	-18.32	-0.49	0.00	0.00	-18.32	-0.49	0.04
5	3710.7	-0.80	-0.02	0.00	0.00	-0.80	-0.02	0.02
6	3723.6	0.00	0.00	12.98	0.35	12.98	0.35	0.37
7	3728.0	0.00	0.00	4.38	0.12	4.38	0.12	0.49
8	3730.8	0.00	0.00	2.82	0.08	2.82	0.08	0.56
9	3727.2	-3.62	-0.10	0.00	0.00	-3.62	-0.10	0.47
10	3731.0	0.00	0.00	3.81	0.10	3.81	0.10	0.57
11	3739.6	0.00	0.00	8.54	0.23	8.54	0.23	0.80
12	3736.8	-2.79	-0.08	0.00	0.00	-2.79	-0.08	0.72
13	3738.3	0.00	0.00	1.54	0.04	1.54	0.04	0.77
14	3742.5	0.00	0.00	4.17	0.11	4.17	0.11	0.88
15	3738.5	-3.98	-0.11	0.00	0.00	-3.98	-0.11	0.77
16	3740.3	0.00	0.00	1.78	0.05	1.78	0.05	0.82
17	3745.0	0.00	0.00	4.70	0.13	4.70	0.13	0.95
18	3738.9	-6.05	-0.16	0.00	0.00	-6.05	-0.16	0.78
19	3743.4	0.00	0.00	4.43	0.12	4.43	0.12	0.90
20	3736.8	-6.60	-0.18	0.00	0.00	-6.60	-0.18	0.72
21	3745.7	0.00	0.00	8.90	0.24	8.90	0.24	0.96
22	3744.1	-1.57	-0.04	0.00	0.00	-1.57	-0.04	0.92
23	3748.6	0.00	0.00	4.55	0.12	4.55	0.12	1.04
24	3751.3	0.00	0.00	2.63	0.07	2.63	0.07	1.11
25	3747.5	-3.73	-0.10	0.00	0.00	-3.73	-0.10	1.01
26	3751.6	0.00	0.00	4.07	0.11	4.07	0.11	1.12
27	3752.9	0.00	0.00	1.28	0.03	1.28	0.03	1.16
28	3751.6	-1.25	-0.03	0.00	0.00	-1.25	-0.03	1.12
29	3762.3	0.00	0.00	10.70	0.29	10.70	0.29	1.41
30	3757.2	-5.13	-0.14	0.00	0.00	-5.13	-0.14	1.27

Tabla H-12 Análisis de datos para concreto armado, a/c 0.70

Ciclos	Peso (gr)	Pérdida de peso		Aumento de peso		Variación de peso		Variación acumulada de peso (%)
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
0	3881.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3891.3	0.00	0.00	10.26	0.26	10.26	0.26	0.26

2	3900.1	0.00	0.00	8.75	0.23	8.75	0.23	0.49
3	3898.9	-1.18	-0.03	0.00	0.00	-1.18	-0.03	0.46
4	3881.1	-17.81	-0.46	0.00	0.00	-17.81	-0.46	0.00
5	3880.6	-0.50	-0.01	0.00	0.00	-0.50	-0.01	-0.01
6	3890.9	0.00	0.00	10.32	0.27	10.32	0.27	0.25
7	3897.2	0.00	0.00	6.28	0.16	6.28	0.16	0.42
8	3901.7	0.00	0.00	4.55	0.12	4.55	0.12	0.53
9	3895.6	-6.13	-0.16	0.00	0.00	-6.13	-0.16	0.37
10	3899.4	0.00	0.00	3.85	0.10	3.85	0.10	0.47
11	3909.1	0.00	0.00	9.68	0.25	9.68	0.25	0.72
12	3905.3	-3.86	-0.10	0.00	0.00	-3.86	-0.10	0.62
13	3907.0	0.00	0.00	1.77	0.05	1.77	0.05	0.67
14	3912.0	0.00	0.00	4.98	0.13	4.98	0.13	0.80
15	3906.6	-5.42	-0.14	0.00	0.00	-5.42	-0.14	0.66
16	3908.5	0.00	0.00	1.86	0.05	1.86	0.05	0.71
17	3914.5	0.00	0.00	6.03	0.16	6.03	0.16	0.86
18	3907.7	-6.80	-0.18	0.00	0.00	-6.80	-0.18	0.69
19	3911.8	0.00	0.00	4.10	0.11	4.10	0.11	0.79
20	3905.1	-6.71	-0.17	0.00	0.00	-6.71	-0.17	0.62
21	3914.8	0.00	0.00	9.75	0.25	9.75	0.25	0.87
22	3912.1	-2.75	-0.07	0.00	0.00	-2.75	-0.07	0.80
23	3916.9	0.00	0.00	4.83	0.12	4.83	0.12	0.92
24	3919.6	0.00	0.00	2.71	0.07	2.71	0.07	0.99
25	3916.6	-3.03	-0.08	0.00	0.00	-3.03	-0.08	0.92
26	3921.1	0.00	0.00	4.50	0.12	4.50	0.12	1.03
27	3921.97	0.00	0.00	0.88	0.02	0.88	0.02	1.05
28	3921.96	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	1.05
29	3934.0	0.00	0.00	12.00	0.31	12.00	0.31	1.36
30	3927.9	-6.03	-0.16	0.00	0.00	-6.03	-0.16	1.21

3. Análisis de la resistencia a la compresión del concreto

Tabla H-13 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 4, a/c 0.60

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.89	9.95	9.92	27077.00	3	350.34	
2	10.00	10.02	10.01	26890.00	3	341.69	
3	9.92	9.97	9.95	28308.00	2	364.43	
4	9.93	10.02	9.98	27903.00	2	357.06	
5	9.95	9.96	9.96	27884.00	3	358.25	
6	9.94	9.97	9.96	25122.00	2	322.76	360.65
7	9.96	9.98	9.97	27999.00	3	358.64	
8	9.96	10.01	9.99	29738.00	2	379.77	
9	9.94	9.95	9.95	30317.00	3	390.29	
10	9.93	10.02	9.98	29953.00	2	383.29	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
20.26	0.056 = 5.6 %	Bueno

Tabla H-14 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 4, a/c 0.65

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.94	9.96	9.95	25298.00	2	325.35	
2	9.91	9.95	9.93	26995.00	2	348.57	
3	9.91	9.95	9.93	25797.00	2	333.10	
4	9.96	9.96	9.96	25828.00	3	331.50	
5	9.96	9.96	9.96	26374.00	2	338.51	
6	9.94	10.01	9.98	25480.00	3	326.05	332.40
7	9.94	9.97	9.96	26048.00	2	334.66	
8	9.93	9.95	9.94	25472.00	2	328.25	
9	9.94	9.95	9.95	26234.00	2	337.73	
10	9.98	9.97	9.98	25031.00	2	320.30	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
8.08	0.024 = 2.4 %	Bueno

Tabla H-15 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 4, a/c 0.70

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.98	10.01	10.00	21179.00	2	269.93	
2	9.97	10.04	10.01	21573.00	3	274.40	
3	9.99	9.99	9.99	24778.00	2	316.12	
4	10.15	10.17	10.16	21453.00	2	264.61	
5	9.97	9.96	9.97	21429.00	2	274.76	
6	9.99	9.99	9.99	21275.00	2	271.42	288.20
7	10.05	10.03	10.04	24145.00	2	304.98	
8	9.99	9.94	9.97	24017.00	2	307.95	
9	9.99	10.03	10.01	24371.00	2	309.68	
10	10.01	10.01	10.01	22691.00	2	288.14	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
19.59	0.068 = 6.8 %	Bueno

Tabla H-16 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 15, a/c 0.60

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.93	9.95	9.94	29731.00	2	383.13	
2	10.14	10.11	10.13	29338.00	2	364.38	357.79
3	9.92	9.95	9.94	28560.00	2	368.41	

4	9.96	9.97	9.97	27671.00	3	354.80
5	9.96	9.93	9.95	28560.00	3	367.67
6	9.95	9.96	9.96	27652.00	2	355.27
7	9.99	9.95	9.97	26486.00	2	339.26
8	10.00	10.00	10.00	27357.00	2	348.32
9	9.96	9.93	9.95	27227.00	2	350.51
10	9.92	9.93	9.93	26784.00	3	346.20

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
13.05	0.036 = 3.6 %	Bueno

Tabla H-17 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 15, a/c 0.65

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	10.02	9.99	10.01	26398.00	2	335.77	
2	9.91	9.99	9.95	24066.00	2	309.51	
3	9.96	9.95	9.96	26422.00	3	339.46	
4	9.95	9.98	9.97	25256.00	3	323.83	
5	9.94	9.94	9.94	25492.00	3	328.50	
6	9.97	9.96	9.97	26030.00	2	333.76	328.02
7	9.95	9.98	9.97	25897.00	2	332.05	
8	9.97	9.94	9.96	25032.00	2	321.61	
9	9.97	10.01	9.99	25803.00	3	329.19	
10	9.93	9.94	9.94	25315.00	3	326.55	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
8.47	0.026 = 2.6 %	Bueno

Tabla H-18 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 15, a/c 0.70

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm ²)	F'c promedio (Kg/cm ²)
	D1	D2	Promedio				
1	9.96	9.97	9.97	23409.00	2	300.15	
2	9.97	9.94	9.96	24416.00	2	313.69	
3	9.95	9.98	9.97	22820.00	3	292.60	
4	9.95	10.00	9.98	21057.00	2	269.45	
5	9.96	10.00	9.98	21065.00	3	269.28	
6	9.92	9.95	9.94	20274.00	2	261.53	282.96
7	9.92	9.95	9.94	24330.00	2	313.85	
8	9.97	10.00	9.99	19018.00	2	242.87	
9	9.97	9.98	9.98	20061.00	2	256.71	
10	10.00	10.01	10.01	24331.00	2	309.48	

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
20.30	0.072 = 7.2 %	Bueno

Tabla H-19 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 30, a/c 0.60

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio (Kg/cm2)
	D1	D2	Promedio				
1	9.93	9.88	9.91	26512.00	3	344.07	
2	9.93	9.95	9.94	25500.00	2	328.61	
3	10.03	10.02	10.03	29322.00	2	371.48	
4	9.96	9.94	9.95	28858.00	2	371.13	
5	9.93	9.95	9.94	26975.00	3	347.62	349.00
6	9.95	9.98	9.96	28084.00	3	360.45	
7	10.04	10.06	10.05	28090.00	2	354.28	
8	9.92	9.94	9.93	26890.00	3	347.39	
9	9.94	9.95	9.94	26172.00	2	337.10	
10	9.95	9.98	9.97	25571.40	3	327.88	

Desviación estándar (Kg/cm2)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
15.59	0.045 = 4.5 %	Bueno

Tabla H-20 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 30, a/c 0.65

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio (Kg/cm2)
	D1	D2	Promedio				
1	9.97	9.98	9.97	22912.50	2	293.34	
2	10.05	10.09	10.07	23669.00	3	297.19	
3	9.98	9.98	9.98	24039.30	2	307.46	
4	9.95	9.98	9.97	23688.00	2	303.73	
5	10.01	10.06	10.04	23372.00	3	295.51	300.85
6	9.99	9.99	9.99	21928.80	3	279.91	
7	9.97	9.98	9.98	24524.30	2	313.82	
8	10.00	10.00	10.00	23315.00	2	296.86	
9	9.94	9.98	9.96	24202.30	2	310.63	
10	9.99	10.02	10.01	24376.20	2	310.06	

Desviación estándar (Kg/cm2)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
10.29	0.034 = 3.4 %	Bueno

Tabla H-21 Ensayo de resistencia a la compresión al ciclo 30, a/c 0.70

N°	Diámetro (cm)			Carga de rotura (Kg)	Tipo de Fractura	F'c (Kg/cm2)	F'c promedio (Kg/cm2)
	D1	D2	Promedio				
1	9.82	9.84	9.83	21826.00	2	287.59	
2	9.87	9.89	9.88	20113.00	2	262.35	
3	9.96	10.00	9.98	19094.00	3	244.09	261.17
4	9.95	9.98	9.97	20768.00	3	266.29	
5	10.04	10.07	10.06	19507.00	3	245.66	
6	9.94	9.97	9.96	20615.00	3	264.86	

7	9.96	9.97	9.97	19253.00	3	246.86
8	9.96	9.94	9.95	21841.00	2	280.89
9	9.95	9.99	9.97	19040.00	2	243.89
10	9.93	9.96	9.95	20915.00	2	269.25

Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)	Grado de calidad
15.74	0.060 = 6.0 %	Bueno

Tabla H-22 Ensayo de absorción al final del método, a/c 0.60

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3690.1	3727.2	37.1	1.01
2	3690.6	3729.8	39.3	1.06
3	3685.7	3722.1	36.4	0.99
4	3712.4	3759.3	46.9	1.26
5	3928.2	3981.7	53.5	1.36
Promedio				1.14

Tabla H-23 Ensayo de absorción al final del método, a/c 0.65

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3900.3	3944.4	44.1	1.13
2	3663.4	3709.6	46.2	1.26
3	3645.3	3689.7	44.4	1.22
4	3668.3	3723.8	55.5	1.51
5	3674.6	3712.3	37.7	1.03
Promedio				1.23

Tabla H-24 Ensayo de absorción al final del método, a/c 0.70

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3771.3	3827.0	55.8	1.48
2	3740.2	3812.5	72.3	1.93
3	3776.8	3842.3	65.5	1.73
4	3872.1	3941.7	69.6	1.80
5	3748.0	3820.5	72.5	1.93
Promedio				1.78

Tabla H-25 Ensayo de absorción después del método, a/c 0.60

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3744.7	3866.5	121.8	3.25
2	3753.5	3880.9	127.4	3.39
3	3662.3	3789.0	126.7	3.46
4	3824.2	3960.1	135.9	3.55
5	3675.0	3810.4	135.4	3.68
Promedio				3.47

Tabla H-26 Ensayo de absorción después del método, a/c 0.65

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
2	3751.6	3863.2	111.6	2.97
3	3741.9	3853.5	111.6	2.98
4	3758.7	3871.0	112.3	2.99
5	3744.0	3867.5	123.5	3.30
6	3713.4	3836.5	123.1	3.32
Promedio				3.11

Tabla H-27 Ensayo de absorción después del método, a/c 0.70

Probeta	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Diferencia (gr)	%Absorción
1	3754.9	3859.3	104.4	2.78
2	3817.9	3927.4	109.5	2.87
3	3735.8	3843.5	107.7	2.88
4	3758.9	3867.7	108.8	2.89
5	3787.0	3898.3	111.3	2.94
Promedio				2.92

ANEXO I

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

1.1. Peso registrado

Se utilizó el software SPSS versión 28 para el análisis de datos estadístico.

Dado que la cantidad de datos de peso registrado promedio para cada relación a/c fue 31 y este valor fue menor a 50, se utilizó la prueba estadística de Shapiro Wilk para la prueba de normalidad en los datos.

Para ello se tuvieron las siguientes hipótesis: la hipótesis nula (H_0) que afirma que los datos tienen una distribución normal y la hipótesis alterna (H_a) que afirma que los datos no tienen una distribución normal.

La confianza considerada fue del 95%, por lo que el nivel de significancia fue 5%. El criterio de decisión fue la siguiente: si p era menor a 0.05 ($p < 0.05$) entonces se rechazaba la H_0 y se aceptaba la H_a , y caso contrario, si p era mayor o igual a 0.05 ($p \geq 0.05$) entonces se rechazaba la H_a y se aceptaba la H_0 .

Los resultados de la prueba de Shapiro Wilk fueron mostrados en la Tabla I-1.

Tabla I-1 Prueba estadística de Shapiro Wilk para peso de concreto

Tipo de concreto	Estadístico	gl	p
Peso registrado CS60	0.954	31	0.202
Peso registrado CS65	0.955	31	0.213
Peso registrado CS70	0.964	31	0.382
Peso registrado CA60	0.954	31	0.199
Peso registrado CA65	0.984	31	0.909
Peso registrado CA70	0.975	31	0.661

Donde gl fue el grado de libertad y p fue la significancia.

Dado que todos los valores de p fueron mayores o iguales a 0.05, entonces se rechazó la H_a y se aceptó la H_0 . Por lo que los datos de peso del concreto en las tres relaciones a/c para concreto simple y armado tuvieron una distribución normal, y, por lo tanto, pudo aplicarse una prueba estadística paramétrica como la de Pearson para la determinación del grado de relación entre la cantidad de ciclos de humedecido y secado y el peso.

Para ello, se tuvieron las siguientes hipótesis: la hipótesis nula (H_0) que afirma que no existe correlación ($r = 0$) y la hipótesis alterna (H_a) que afirma que los datos tienen correlación ($r \neq 0$). Observación: r fue el coeficiente de Pearson.

De acuerdo con la adaptación en Asuero (2006) el coeficiente de Pearson ha tenido el siguiente rango de posibilidades (ver Tabla I-2):

Tabla I-2 Coeficiente de correlación de Pearson

Coeficiente de correlación (r)	Significado
-1.00 a -0.96	Correlación negativa muy fuerte
-0.95 a -0.85	Correlación negativa fuerte
-0.84 a -0.70	Correlación negativa significativa
-0.69 a -0.50	Correlación negativa moderada
-0.49 a 0.01	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
0.01 a +0.49	Correlación positiva débil
+0.50 a +0.69	Correlación positiva moderada
+0.70 a +0.84	Correlación positiva significativa
+0.85 a +0.95	Correlación positiva fuerte
+0.96 a +1.00	Correlación positiva muy fuerte

Fuente: Adaptado de Asuero (2006)

El criterio de decisión fue el siguiente: si p era menor a 0.05 ($p < 0.05$) entonces se rechazaba la H_0 y se aceptaba la H_a , y caso contrario, si p era mayor o igual a 0.05 ($p \geq 0.05$) entonces se rechazaba la H_a y se aceptaba la H_0 .

Los resultados de la correlación de Pearson se mostraron en la Tabla I-3.

Tabla I-3 Coeficiente de Pearson para ciclo y peso de concreto

Variables	r	p	N
Peso registrado CS60 y ciclos	0.914	0.000	31
Peso registrado CS65 y ciclos	0.930	0.000	31
Peso registrado CS70 y ciclos	0.918	0.000	31
Peso registrado CA60 y ciclos	0.776	0.000	31
Peso registrado CA65 y ciclos	0.906	0.000	31
Peso registrado CA70 y ciclos	0.914	0.000	31

Donde r fue el coeficiente de correlación de Pearson, p fue el nivel de significancia y N fue la cantidad de datos evaluados.

Dado que los valores de p fueron menores a 0.05 en todos los casos, entonces se rechazó la H_0 y se aceptó la H_a . Por lo que los datos de peso del concreto en las tres relaciones a/c para concreto simple y armado y los ciclos de humedecido respectivos tuvieron correlación. Esta relación según la Tabla I-2 fue positiva, ya que a mayor cantidad de ciclos de humedecido y secado, hubo una mayor cantidad de peso, y además fue fuerte en todos los casos a excepción del concreto armado de relación a/c 0.60 que fue significativa.

1.2. Resistencia a la compresión

Dado que la cantidad de datos de resistencia a la compresión para cada relación a/c fue subdividido en concreto patrón (20 datos), concreto al ciclo 4 (10 datos), concreto al ciclo 15 (10 datos) y concreto al ciclo 30 (10 datos), y dado que estos valores individuales fueron menores a 50, fue utilizada la prueba estadística de Shapiro Wilk para la prueba de normalidad en los datos.

Para ello se tuvieron las siguientes hipótesis: la hipótesis nula (H_0) que afirma que los datos tienen una distribución normal y la hipótesis alterna (H_a) que afirma que los datos no tienen una distribución normal.

La confianza considerada fue del 95%, por lo que el nivel de significancia fue 5%. El criterio de decisión fue el siguiente: si p era menor a 0.05 ($p < 0.05$) entonces se rechazaba la H_0 y se aceptaba la H_a , y caso contrario, si p era mayor o igual a 0.05 ($p \geq 0.05$) entonces se rechazaba la H_a y se aceptaba la H_0 .

Los resultados de la prueba de Shapiro Wilk fueron mostrados en la Tabla I-4

Tabla I-4 Prueba estadística de Shapiro Wilk para resistencia a la compresión

Relación a/c	Subgrupo	gl	p
0.60	Concreto patrón (28 días de edad)	20	.923
	Al ciclo 4 (37 días de edad)	10	.821
	Al ciclo 15 (61 días de edad)	10	.786
	Al ciclo 30 (93 días de edad)	10	.524
0.65	Concreto patrón (28 días de edad)	20	.640
	Al ciclo 4 (37 días de edad)	10	.916
	Al ciclo 15 (61 días de edad)	10	.593
	Al ciclo 30 (93 días de edad)	10	.478
0.70	Concreto patrón (28 días de edad)	20	.384
	Al ciclo 4 (37 días de edad)	10	.093
	Al ciclo 15 (61 días de edad)	10	.259
	Al ciclo 30 (93 días de edad)	10	.204

Donde gl fue el grado de libertad y p fue la significancia.

Dado que todos los valores de p fueron mayores o iguales 0.05, entonces se rechazó la H_a y se aceptó la H_0 . Por lo que los datos de resistencia a la compresión del concreto en las tres relaciones a/c tuvieron una distribución normal, y, por lo tanto, pudo aplicarse una prueba estadística paramétrica para la comparación entre las diferentes resistencias a la compresión en determinados ciclos, es decir, a determinadas edades.

Mediante la prueba de Levene se procedió a realizar el análisis de homogeneidad de las varianzas de los subgrupos (concreto patrón, ciclo 4, ciclo 15 y ciclo 30) por cada relación a/c. Si el nivel de significancia p resultaba mayor o igual a 5 ($p \geq 0.05$), entonces se garantizaba la homogeneidad de varianzas entre grupos.

Si se presentaba la homogeneidad de varianzas, luego se continuaba con el análisis estadístico mediante la prueba ANOVA que analizaba las medias entre los subgrupos. Si el nivel de significancia en la prueba ANOVA era menor a 0.05 ($p < 0.05$), entonces se garantizaba la una comparación significativa entre al menos un par de subgrupos y se podía continuar con el análisis Post Hoc mediante la prueba Scheffé que comparaba los subgrupos de par en par (comparaciones múltiples). Si se obtenía un nivel de significancia en la prueba, es decir si p era menor a 0.05 ($p < 0.05$), entonces se garantizaba una diferencia estadísticamente significativa entre esos valores, caso contrario no.

Si no se presentaba la homogeneidad de varianzas, se continuaba con el análisis estadístico mediante pruebas de Welch y Brown – Forsythe. Si el nivel de significancia p resultaba menor a 0.05 ($p < 0.05$), entonces se garantizaba la una comparación significativa entre al menos un par de subgrupos y se podía continuar con el análisis Post Hoc mediante la prueba Tamhane u otras. Finalmente, si se obtenía un nivel de significancia en la prueba, es decir si p era menor a 0.05 ($p < 0.05$), entonces se garantizaba la una diferencia estadísticamente significativa entre sus valores, caso contrario no.

Para la relación a/c 0.60, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-5).

Tabla I-5 Prueba estadística de Levene para a/c 0.60

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	2.281	3	46	0.092

Dado que todos los valores de $p \geq 0.05$, entonces se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba ANOVA (ver Tabla I-6).

Tabla I-6 Prueba estadística ANOVA para a/c 0.60

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Entre grupos	7089.064	3	2363.021	12.127	0.000

Dado que el valor de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Scheffé para la determinación de cuál de los grupos tenían esa característica (Tabla I-7).

Tabla I-7 Prueba estadística Scheffé para a/c 0.60

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
F'c patrón y F'c en el ciclo 4	-27.84250*	5.40625	0.00	-	-
F'c patrón y F'c en el ciclo 15	-24.98550*	5.40625	0.00	43.5304	12.1546
F'c patrón y F'c en el ciclo 30	-16.19150*	5.40625	0.04	-	-9.2976
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 15	2.85700	6.24260	0.97	31.8794	-5.036
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 30	11.65100	6.24260	0.33	-	20.9719
F'c en el ciclo 15 y F'c en el ciclo 30	8.79400	6.24260	0.58	15.2579	29.7659
			0	-6.4639	26.9089
			0	-9.3209	

Para la relación a/c 0.65, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-8).

Tabla I-8 Prueba estadística de Levene para a/c 0.65

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	4.150	3	46	0.011

Dado que todos los valores de $p < 0.05$, entonces no se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba Welch y Brown – Forsythe (ver Tabla I-9).

Tabla I-9 Prueba estadística Welch y Brown-Forsythe para a/c 0.65

	Estadístico	gl1	gl2	p
Welch	24.095	3	23.845	0.000
Brown-Forsythe	20.237	3	43.940	0.000

Dado que los valores de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Tamhane para la determinación de cuál grupo (s) tenían esa característica (ver Tabla I-10).

Tabla I-10 Prueba estadística Tamhane para a/c 0.65

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
F'c patrón y F'c en el ciclo 4	-24.64350*	4.70978	0.000	37.9763	-11.3107
F'c patrón y F'c en el ciclo 15	-20.26450*	4.77756	0.001	33.7860	-6.7430
F'c patrón y F'c en el ciclo 30	6.90750	5.12348	0.715	7.6265	21.4415
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 15	4.37900	3.70049	0.825	6.5512	15.3092
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 30	31.55100*	4.13746	0.000	19.2495	43.8525
F'c en el ciclo 15 y F'c en el ciclo 30	27.17200*	4.21445	0.000	14.6709	39.6731

Para la relación a/c 0.70, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-11).

Tabla I-11 Prueba estadística de Levene para a/c 0.70

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	13.237	3	46	0.000

Dado que todos los valores de $p < 0.05$, entonces no se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba Welch y Brown – Forsythe (ver Tabla I-12).

Tabla I-12 Prueba estadística Welch y Brown-Forsythe para a/c 0.70

	Estadístico	gl1	gl2	p
Welch	4.096	3	17.256	0.023
Brown-Forsythe	4.075	3	24.858	0.017

Dado que los valores de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Tamhane para la determinación de cuál grupo (s) tenían esa característica (ver Tabla I-13).

Tabla I-13 Prueba estadística Tamhane para a/c 0.65

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
F'c patrón y F'c en el ciclo 4	-16.01300	6.46467	0.174	36.8292	4.8032
F'c patrón y F'c en el ciclo 15	-10.77500	8.44672	0.793	38.4054	16.8554

F'c patrón y F'c en el ciclo 30	11.01300	5.30709	0.315	-5.7858	27.8118
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 15	5.23800	10.31230	0.997	-	35.9761
F'c en el ciclo 4 y F'c en el ciclo 30	27.02600*	7.94742	0.020	3.4251	50.6269
F'c en el ciclo 15 y F'c en el ciclo 30	21.78800	9.62895	0.213	-7.4085	50.9845

1.3. Porcentaje de absorción

Se procedió del mismo modo a como se analizó en la resistencia a la compresión.

Los resultados de prueba de normalidad según la prueba estadística de Shapiro Wilk contó con 5 datos por cada relación a/c en cada subgrupo de análisis, de cual se obtuvo lo mostrado en la Tabla I-14.

Tabla I-14 Prueba estadística de Shapiro Wilk para porcentaje de absorción

Relación a/c	Subgrupo	gl	p
0.60	Al iniciar método (28 días de edad)	5	0.994
	Al finalizar método (91 días de edad)	5	0.244
	Después del método (150 días de edad)	5	1.000
0.65	Al iniciar método (28 días de edad)	5	0.540
	Al finalizar método (91 días de edad)	5	0.729
	Después del método (150 días de edad)	5	0.200
0.70	Al iniciar método (28 días de edad)	5	0.771
	Al finalizar método (91 días de edad)	5	0.292
	Después del método (150 días de edad)	5	0.510

Donde gl fue el grado de libertad y p fue la significancia.

Dado que todos los valores de $p \geq 0.05$, los datos de porcentaje de absorción del concreto en las tres relaciones a/c tuvieron una distribución normal, y por lo tanto, pudo aplicarse una prueba estadística paramétrica para la comparación de los diferentes valores de porcentajes de absorción a determinadas edades.

Para la relación a/c 0.60, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-15).

Tabla I-15 Prueba estadística de Levene para a/c 0.60

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	1.586	2	12	0.245

Dado que el valor de $p \geq 0.05$, entonces se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba ANOVA (ver Tabla I-16).

Tabla I-16 Prueba estadística ANOVA para a/c 0.60

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Entre grupos	38.161	2	19.081	930.910	0.000

Dado que el valor de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Tukey (para igual cantidad de datos en los subgrupos) para la determinación de cuál de los grupos tenían esa característica (ver Tabla I-17).

Tabla I-17 Prueba estadística Tukey para a/c 0.60

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Absorción (28 días de edad) y Absorción (91 días de edad)	3.88102*	0.09055	0.000	3.6395	4.1226
Absorción (28 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	1.55102*	0.09055	0.000	1.3095	1.7926
Absorción (91 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	-2.33000*	0.09055	0.000	-2.5716	-2.0884

Para la relación a/c 0.65, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-18).

Tabla I-18 Prueba estadística de Levene para a/c 0.65

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	0.224	2	12	0.802

Dado que el valor de $p \geq 0.05$, entonces se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba ANOVA (ver Tabla I-19).

Tabla I-19 Prueba estadística ANOVA para a/c 0.65

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Entre grupos	37.452	2	18.726	568.770	0.000

Dado que el valor de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Tukey (para igual cantidad de datos en los subgrupos) para la determinación de cuál de los grupos tenían esa característica (ver Tabla I-20).

Tabla I-20 Prueba estadística Tukey para a/c 0.65

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Absorción (28 días de edad) y Absorción (91 días de edad)	3.87000*	0.11476	0.000	3.5638	4.1762
Absorción (28 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	1.98800*	0.11476	0.000	1.6818	2.2942
Absorción (91 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	-1.88200*	0.11476	0.000	-4.1762	-3.5638

Para la relación a/c 0.70, se obtuvo lo siguiente en la prueba estadística de Levene (ver Tabla I-21).

Tabla I-21 Prueba estadística de Levene para a/c 0.70

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Se basa en la media	4.523	2	12	0.034

Dado que el valor de $p < 0.05$, entonces no se presentó homogeneidad de varianzas. Por lo que se continuó con la prueba Welch y Brown – Forsythe (ver Tabla I-22).

Tabla I-22 Prueba estadística Welch y Brown-Forsythe para a/c 0.70

	Estadístico	gl1	gl2	p
Welch	218.146	3	5.974	0.000
Brown-Forsythe	367.602	3	6.965	0.000

Dado que los valores de $p < 0.05$, entonces existió una diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados. Se continuó con la prueba de Tamhane para la determinación de cuál grupo (s) tenían esa característica (ver Tabla I-23).

Tabla I-23 Prueba estadística Tamhane para a/c 0.70

Comparaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Absorción (28 días de edad) y Absorción (91 días de edad)	3.49359*	0.13177	0.000	2.9888	3.9984
Absorción (28 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	2.39559*	0.13177	0.000	1.8711	2.9201
Absorción (91 días de edad) y Absorción (150 días de edad)	-1.09800*	0.13177	0.000	-1.4103	-0.7857

ANEXO J

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1 Método de cuarteo del agregado fino



Fotografía 2 Método de cuarteo del agregado grueso



Fotografía 3 Muestra de agregado fino para ensayo de peso específico



Fotografía 4 Muestra de agregado fino grueso ensayo de peso específico



Fotografía 5 Muestra de agregado fino para ensayo de peso unitario



Fotografía 6 Muestra de agregado grueso para ensayo de peso unitario



Fotografía 7 Muestra de concreto para ensayo de contenido de aire



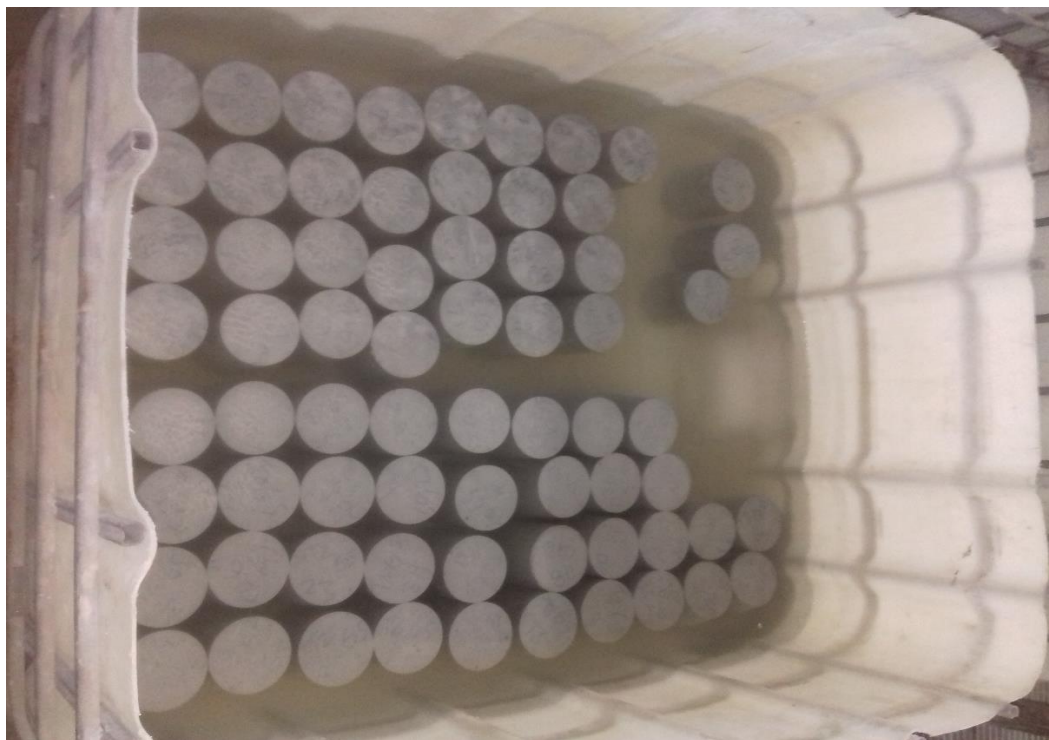
Fotografía 8 Muestra de concreto para ensayo de índice de consistencia



Fotografía 9 Muestra de concreto para ensayo de tiempo de fraguado



Fotografía 10 Muestra de concreto para ensayo de resistencia a la compresión



Fotografía 11 Muestras de concreto en el ciclo de humedecido



Fotografía 12 Muestras de concreto en el ciclo de secado



Fotografía 13 Muestras de concreto armado en el ciclo 10.



Fotografía 14 Muestras de concreto armado en el ciclo 20.



Fotografía 15 Muestras de concreto simple en el ciclo 30.



Fotografía 16 Muestras de concreto armado en el ciclo 30.



Fotografía 17 Muestras de mortero reforzado con acero de 3/8" de la investigación de Rimarachín



Fotografía 18 Muestras de mortero reforzado con acero de 3/8" de la investigación de Rimarachín