

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**"EFECTOS FÍSICO-MECÁNICOS EN EL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA
A BAJA RESISTENCIA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I POR
ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO"**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR
MARÍA ROSA SALINAS TATAJE
ORCID: 0000-0002-6087-9702

ASESOR
Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ
ORCID: 0009-0008-4531-144X

LIMA-PERÚ
2024

© 2024, 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”.

Salinas Tataje, María Rosa

msalinast@uni.pe

Teléfono: 960626639

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelo
Juan de Dios Tataje.

ÍNDICE

Resumen	12
Abstract	13
Prólogo	14
Lista de cuadros	15
Lista de gráficos	17
Lista de tablas	18
Lista de imagenes	19
Lista de símbolos y siglas	20
Capítulo I: Introducción	21
1.1 Generalidades	21
1.2 Planteamiento de la realidad problemática	23
1.2.1 Problema principal.....	25
1.2.2 Problemas específicos	27
1.3. Justificación.....	28
1.4. Objetivos de estudio.....	28
1.4.1 Objetivo general	28
1.4.2 Objetivos específicos	28
1.5 Formulación de la hipótesis de investigación	29
1.5.1. Hipótesis principal	29
1.5.2. Hipótesis secundarias	29
1.6 Antecedentes referenciales	30
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	33
2.1 Efectos físico-mecánicos en el concreto.....	33

2.1.1. Definición	33
2.1.2 Tipos de efectos físico-mecánicos	34
2.1.2.1 Por sales	34
2.1.2.2 Por agua de desagüe	34
2.1.2.3 Por ácidos	35
2.1.2.4 Efectos físico-mecánicos en el acero de refuerzo	35
2.1.3 Factores que afectan y desencadenan los efectos	37
2.1.3.1 Relacionados al concreto	37
2.1.3.2 Fisuras	38
2.1.3.3 Espesor del recubrimiento del concreto	39
2.1.3.4 Iones despasivantes	40
2.1.3.5 Cloruros	40
2.1.3.6. Sulfatos	42
2.1.4 Factores que afectan la durabilidad del concreto armado	43
Capítulo III: Características de los materiales	46
3.1 Cemento portland	46
3.1.1 Definición	46
3.1.2 Proceso de fabricación	47
3.1.2.1 Materias primas del cemento Portland	47
3.1.3 Proceso de producción del cemento	48
3.1.4 Tipos de cemento	49
3.1.5 Composición química	51
3.1.5.1 Componentes principales	51
3.1.5.2 Componentes Secundarios	52
3.1.5.3 Compuestos principales	52

3.1.5.4 Compuestos Secundarios.....	53
3.1.6 Tipo de cemento usado en la presente tesis.....	54
3.1.7 Hidratación del cemento.....	54
3.1.8 Características físicas del cemento	55
3.1.8.1. Peso específico	56
3.1.8.2. Superficie específica.....	56
3.1.8.3 Consistencia normal.....	56
3.1.8.4 Tiempo de fraguado	56
3.1.8.5 Contenido de aire	57
3.1.8.6 Calor de hidratación	57
3.1.8.7 Resistencia a la compresión.....	57
3.1.8.8 Estabilidad de volumen	57
3.1.9 Influencia de la composición del Clinker	59
3.1.10 El cemento y la durabilidad de la estructura.....	59
3.1.11 Selección del cemento apropiado.....	60
3.1.12 Almacenamiento del cemento	60
3.2 Agua	60
3.2.1 Definición	60
3.2.2 Requisitos de calidad del agua.....	60
3.2.3 Componentes perjudiciales para el agua.....	62
3.3 Agregados	63
3.3.1 Definición	63
3.3.2 Características físicas y químicas.....	63
3.3.3 Agregado fino.....	66
3.3.3.1 Definición	66

3.3.3.2	Peso unitario del agregado fino	66
3.3.3.3	Peso específico del agregado fino	68
3.3.3.4	Porcentaje de absorción del agregado fino	70
3.3.3.5	Contenido de humedad del agregado fino	71
3.3.3.6	Granulometría del agregado fino	72
3.3.3.7	Módulo de finura	75
3.3.4	Agregado grueso.....	75
3.3.4.1	Definición	75
3.3.4.2	Peso unitario del agregado grueso	75
3.3.4.3	Peso específico del agregado grueso.....	76
3.3.4.4	Porcentaje de absorción del agregado grueso	77
3.3.4.5	Contenido de humedad del agregado grueso	78
3.3.4.6	Granulometría del agregado grueso	78
3.3.4.7	Tamaño máximo del agregado	80
3.3.4.8	Tamaño máximo nominal	80
3.3.4.9	Módulo de finura del agregado grueso	81
3.3.5	Agregado global	82
3.3.5.1	-Definición	82
3.3.5.2	Peso unitario compactado del agregado global	82
3.3.5.3	Granulometría del agregado global.....	88
3.4	Cloruro de sodio.....	89
3.4.1	Definición	89
3.4.2	Cloruro de sodio en el agua.....	89
3.4.3	Cloruro de sodio en el concreto	90
3.4.4	Análisis químicos a los agregados.....	92

3.5 Fierro corrugado.....	92
3.5.1 Denominación	92
3.5.2 Descripción	93
3.5.3 Usos.....	93
3.5.4 Normas Técnicas	93
3.5.5 Presentación	93
3.5.6 Composición química	94
3.5.7 Propiedades mecánicas: datos según la ficha técnica de acero Arequipa.....	94
Capítulo IV: Efectos físico mecánicos en el cemento y el concreto armado por ataque del cloruro de sodio	95
4.1 Mezcla del concreto	95
4.1.1 Definición	95
4.1.2 Criterios de diseño	96
4.1.3 Metodología del diseño de mezcla	97
4.1.4 Peso unitario compactado de la combinación de los agregados	98
4.1.5 Diseño de mezcla.....	101
4.2 Propiedades del concreto al estado fresco	109
4.2.1 Asentamiento	109
4.2.1.1 Definición	109
4.2.1.2 Procedimiento de ensayo	110
4.2.2 Peso unitario del concreto fresco.....	111
4.2.2.1 Definición	111
4.2.2.2 Procedimiento	111
4.2.3 Tiempo de fragua	112
4.2.3.1 Definición	112
4.2.3.2 Procedimiento del ensayo	113

4.3 Propiedades del concreto al estado endurecido	115
4.3.1 Resistencia a la compresión	116
4.3.1.1 Definición	116
4.3.1.2 Materiales a usar	116
4.3.1.3 Curado	117
4.3.2 Resistencia a la tracción.....	119
4.4 Absorción en el concreto endurecido.....	120
Capítulo V: Ensayo de efecto físico mecánicos en el concreto armado	123
5.1 Ensayo de corrosión en el acero	123
5.1.1 Ensayo de máxima tensión	123
5.1.2 Ensayo de corrosión acelerada en el concreto armado.....	124
5.1.2.1 Presencia de sales	126
5.1.3 Determinación de cloruro soluble	126
5.1.3.1 Ensayo de determinación de cloruro soluble.....	126
Capítulo VI: Procedimiento de ensayos y normas	127
6.1 Procedimiento de ejecución del método	127
6.2 Procedimiento de ataque al concreto endurecido	127
6.2.1 Materiales	127
6.2.2 Equipos.....	127
6.2.3 Dosificaciones	128
6.2.4 Solución de inmersión	128
6.2.5 Preparación de las muestras	128
6.2.6 Ensayo con cloruro de sodio	129
6.3 Procedimiento de ataque al acero	131
Capítulo VII: Cuadros de resultados y gráficos	133

7.1 Introducción	133
7.2 Resultados de los análisis a los agregados	133
7.2.1 Resultados de las propiedades físicas.....	133
7.2.1.1 Resultados de las propiedades físicas para la arena	133
7.2.1.2 Resultados de las propiedades físicas para la piedra	133
7.3 Resultado de análisis al concreto fresco.....	135
7.4 Resultados de análisis del concreto endurecido	135
7.4.1 Resistencia a compresión	136
7.4.2 Resistencia a tracción	136
7.4.3 Absorción.....	136
7.5 Propiedades físicas	137
7.5.1 Peso registrados	137
7.5.1.1 Variación de los pesos y gráficos: $a/c=0.70$	137
7.5.1.2 Variación de los peso y gráficos: $a/c=0.65$	140
7.5.1.3 Variación de los pesos y gráficos: $a/c=0.60$	142
7.5.1.4 Pesos promedio en el ensayo de corrosión	146
7.6 Propiedades resistentes	146
7.6.1 Concreto	146
7.6.1.1 Resistencia a compresión.....	146
7.6.2 Acero	147
7.6.2.1 Ensayo de máxima tensión al acero corroído	147
7.7 Aspecto físico terminado el ensayo	147
7.8 Propiedades químicas.....	150
7.8.1 Concreto	150
Capítulo VIII: Análisis de los resultados.....	152

8.1. Generalidades	152
8.2 Propiedades físicas para el concreto armado	152
8.2.1 Propiedades físicas para $a/c = 0.70$	152
8.2.1.1 Peso registrado	152
8.2.1.2 Variación del peso registrado	153
8.2.1.3 Variación acumulada del peso registrado	153
8.2.2 Propiedades físicas para $a/c = 0.65$	153
8.2.2.1 Peso registrado	153
8.2.2.2 Variación del peso registrado	154
8.2.2.3 Variación acumulada del peso registrado	154
8.2.3 Propiedades físicas para $a/c = 0.60$	155
8.2.3.1 Peso registrado	155
8.2.3.2 Variación del peso registrado	155
8.2.3.3 Variación acumulada del peso registrado	156
8.3 Propiedades resistentes	156
8.3.1 Propiedades resistentes para $a/c = 0.70$	156
8.3.2 Propiedades resistentes para $a/c = 0.65$	156
8.3.3 Propiedades resistentes para $a/c = 0.60$	156
Conclusiones	158
Recomendaciones	160
Referencias bibliográficas	162
Anexos	167

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es conocer los efectos físico-mecánicos en el concreto armado de mediana a baja resistencia utilizando cemento Portland Tipo I "SOL" por ataque del cloruro de sodio. Actualmente el crecimiento exponencial de la construcción hace que cada vez más estructuras de concreto armado se ubiquen en la zona marina de la costa, por tal razón se expongan estas estructuras al cloruro de sodio.

Buscando conocer los efectos que se podrían producir por el ataque de los cloruros sobre las estructuras de concreto armado se elaboró probetas de concreto de dimensiones 4" x 8", contando en su interior con una varilla de acero corrugado de diámetro 3/8" de 10 cm de largo y ubicado en el eje de la probeta, para un concreto con las siguientes relaciones de agua cemento (a/c): 0.70, 0.65 y 0.60. A las muestras así elaboradas se le somete al proceso de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio por un tiempo de 60 días. Una vez culminado el programa experimental se procedió al análisis de las variaciones en las tendencias de los pesos registrados y resistencias a la compresión en las muestras de concreto armado.

Se obtuvo como resultados de este estudio, que la cantidad de ciclos (humedecido y secado) y la relación agua cemento de las muestras son los factores principales que explican las variaciones respecto al peso (propiedad física) y respecto a la resistencia a compresión (propiedad resistente). En efecto, a mayor cantidad de ciclos de humedecido y secado por acción del cloruro de sodio en solución en las probetas de concreto armado, y de acuerdo a la mayor relación agua cemento se presentaron mayores variaciones en cuanto a la propiedad física de peso ($0.60 < 0.65 < 0.70$) y propiedad resistente como la resistencia a la compresión ($0.60 < 0.65 < 0.70$).

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

ABSTRACT

The objective of this thesis is to know the physical-mechanical effects on reinforced concrete of medium to low resistance using Type I "SOL" Portland cement by sodium chloride attack. Currently, the exponential growth of constructions means that more and more reinforced concrete structures are located in the marine zone of the coast; consequently these structures are exposed to sodium chloride.

Seeking to know the effects that could be produced by the attack of chlorides on reinforced concrete structures, concrete test tubes of dimensions 4 "x 8", counting inside with a corrugated steel rod with a diameter of 3/8. " 10 cm long and located on the axis of the specimen, for concrete with the following water-cement ratios (w/c) = 0.70, 0.65 and 0.60. The samples prepared in this way are subjected to the process of moistening and drying of a chloride solution of sodium for a period of 60 days. Once the experimental program was completed, the variations in the trends of the recorded weights and compressive strengths in the reinforced concrete samples were analyzed. As a result of this study, it was obtained that the number of cycles (moistened and dried) and the water-cement ratio of the samples are the main factors that explain the variations with respect to weight (physical property) and with respect to compressive strength (property resistant). In consequence, the greater the number of wetting and drying cycles by the action of sodium chloride in solution in the reinforced concrete specimens, and according to the greater water-cement ratio, there were greater variations in terms of the physical property of weight ($0.60 < 0.65 < 0.70$) and resistant as compressive strength ($0.60 < 0.65 < 0.70$).

PRÓLOGO

La durabilidad es una de las propiedades fundamentales en la industria de la construcción. La durabilidad del concreto no solo es determinada por su resistencia a compresión, sino que la permeabilidad y la resistencia química rigen también la vida útil de una estructura; estos factores están a su vez influenciados por la composición del cemento y la calidad de la mezcla.

La durabilidad del concreto armado se ve afectada cuando este material es sometido al ataque del cloruro de sodio (sales) producto de una reacción química de corrosión. Por lo tanto es importante analizar el comportamiento del concreto armado cuando se le somete al ataque de las sales con la finalidad de proponer recomendaciones que eviten su deterioro y finalmente su rotura, consecuentemente afectando la vida útil de las estructuras.

Las investigaciones al respecto demuestran que una serie de factores existentes influyen en el comportamiento del concreto cuando este está expuesto al ataque de las sales, esos factores son: el tipo de cemento, la relación a/c, el adecuado curado y la trabajabilidad.

En esta presente tesis se ha analizado los efectos físico-mecánicos en el concreto armado de mediana a baja resistencia por ataque del cloruro de sodio, los resultados permitirán ampliar la información disponible, además también tratar de sumar mejoras en las construcciones que se encuentren expuestas al ataque de cloruro de sodio (sales).

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Composición en porcentaje de los cementos	51
Cuadro 2 Análisis químico del cemento portland tipo I.....	54
Cuadro 3 Especificaciones técnicas del cemento portland tipo I “sol”	58
Cuadro 4 Límites permisibles para el agua de mezcla.....	61
Cuadro 5 Componentes en el agua y sus efectos	62
Cuadro 6 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	68
Cuadro 7 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino	70
Cuadro 8 Contenido de humedad del agregado fino.....	71
Cuadro 9 Requisitos Granulométricos del Agregado Fino.....	73
Cuadro 10 Granulometría del agregado fino.....	74
Cuadro 11 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	76
Cuadro 12 Peso específico y porcentaje de absorción	77
Cuadro 13 Contenido de humedad del agregado grueso.....	78
Cuadro 14 Granulometría del agregado grueso.....	79
Cuadro 15 Requisitos Granulométricos Del Agregado Grueso	79
Cuadro 16 Propiedades físicas de los agregados.....	81
Cuadro 17 Peso unitario compactado de la combinación de agregados	82
Cuadro 18 Porcentaje de combinación de los agregados	84
Cuadro 19 Pre-Diseños (Resistencia a compresión)	85
Cuadro 20 Resistencia a compresión variando % de arena.....	86
Cuadro 21 Husos Granulométricos (Husos DIN 1045).....	88
Cuadro 22 Análisis Químico del agua usada	89
Cuadro 23 Contenido máximo del ion cloruro soluble en el agua.....	91
Cuadro 24 Cantidad de cloruros solubles en PPM.....	92
Cuadro 25 Dimensiones y pesos nominales del acero grado 60.....	93
Cuadro 26 Peso unitario compactado de la combinación de los agregados.....	99
Cuadro 27 Resistencia a Compresión Variando % de Arena	100
Cuadro 28 Diseño de mezcla para $a/c=0.70$, agua=193 lt/m ³	105
Cuadro 29 Asentamiento vs agua para $a/c = 0.70$	105
Cuadro 30 Asentamiento vs agua para $a/c = 0.65$	106
Cuadro 31 Asentamiento Vs Agua para $a/c=0.60$	107

Cuadro 32	Diseño de Mezcla: $a/c = 0.60, 0.65$ y 0.70	108
Cuadro 33	Concreto al Estado Fresco: Distribución de ensayos.....	109
Cuadro 34	Asentamiento del Concreto Fresco	110
Cuadro 35	Peso Unitario del Concreto Fresco.....	112
Cuadro 36	Relación de Ensayos de Resistencia a Compresión.....	115
Cuadro 37	Resultados del ensayo a Compresión	118
Cuadro 38	Relación de Ensayos a tracción	119
Cuadro 39	Resultado de Resistencia a tracción	120
Cuadro 40	Distribución de ensayo absorción en el concreto.....	121
Cuadro 41	Resultados de absorción en el concreto.....	122
Cuadro 42	Relación de ensayos acelerados.....	124
Cuadro 43	Ensayo de determinación de cloruro soluble	126
Cuadro 44	Cantidad de cloruros en los materiales usados	135
Cuadro 45	Resultados de ensayos al concreto en estado fresco.....	135
Cuadro 46	Distribución de ensayos a corrosión $a/c=0.70$	137
Cuadro 47	Relación de los pesos de las muestras concreto armado, para $a/c =$ 0.70	138
Cuadro 48	Distribución de ensayos a corrosión $a/c = 0.65$	140
Cuadro 49	Relación de pesos de las muestras de concreto, $a/c = 0.65$	141
Cuadro 50	Distribución de ensayos a corrosión.....	143
Cuadro 51	Relación de pesos de las muestras de concreto, $a/c = 0.60$	144
Cuadro 52	Resultado de la variación de los pesos promedio.....	146
Cuadro 53	Resultados variación de resistencia a compresión	146
Cuadro 54	Ensayo de máxima tensión al acero corroído.....	147
Cuadro 55	Determinación de cloruros solubles UNI-FIQ	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Granulometría del agregado fino.....	74
Gráfico 2	Granulometría del agregado grueso.....	80
Gráfico 3	Peso unitario compactado del agregado global.....	83
Gráfico 4	Máxima compactación del agregado global.....	87
Gráfico 5	Granulometría del agregado global.....	88
Gráfico 6	Porcentaje óptimo del agregado fino en el concreto.....	101
Gráfico 7	Asentamiento vs agua para $a/c = 0.70$	106
Gráfico 8	Asentamiento vs agua para $a/c=0.65$	107
Gráfico 9	Asentamiento Vs Agua para $a/c=0.60$	108
Gráfico 10	Tiempo de fragua - $a/c = (0.70)$	114
Gráfico 11	Tiempo de fragua - $a/c = (0.65)$	114
Gráfico 12	Tiempo de fragua - $a/c = (0.60)$	115
Gráfico 13	Resistencia A Compresión Vs Tiempo $a/c: (0.70), (0.65)$ y (0.60)	119
Gráfico 14	Resistencia a la Tracción vs a/c	120
Gráfico 15	Absorción del concreto endurecido.....	122
Gráfico 16	Porcentaje óptimo del agregado fino en el concreto.....	134
Gráfico 17	Resistencia a la Compresión Vs Tiempo.....	136
Gráfico 18	Resistencia a la tracción vs a/c	136
Gráfico 19	Absorción en el concreto endurecido.....	137
Gráfico 20	Variación de los pesos de las muestras, $a/c=0-70$	139
Gráfico 21	Variación de pesos de las muestras para $a/c = 0.65$	142
Gráfico 22	Variación de pesos de las muestras para $a/c = 0.60$	145
Gráfico 23	Resistencia a compresión (ciclo de corrosión).....	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Producción anual mundial de materiales, en 2007(Toneladas métricas).	24
Tabla 2 Límites de contenido del ion cloruro en el concreto armado.....	42
Tabla 3 Desviación Estándar para diferentes grados de control	86
Tabla 4 Límites permisibles del Ion cloruro en el concreto armado.....	92
Tabla 5 Volumen unitario de agua (lt/m3.).....	101

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1	Representación esquemática del estado pasivo del acero	34
Imagen 2	Estructura de Concreto Armado (afectada por corrosión)	36
Imagen 3	Poste de Concreto Armado (escaso recubrimiento)	40
Imagen 4	Localización de la pasta de cemento hidratada.....	65
Imagen 5	Representación Método del Cuarteo.....	72
Imagen 6	Fase inicial del Ensayo de Humedecido y Secado	129
Imagen 7	Fase de Inmersión de las muestras	130
Imagen 8	Fase de secado de las muestras	131
Imagen 9	Acero Oxidado por sales (demarkado para ser sometido al ensayo).....	132
Imagen 10	Desprendimiento de los bordes en el concreto armado.....	148
Imagen 11	Picaduras en el concreto armado y manchas.....	149
Imagen 12	Muestras de concreto armado con manchas de color rojizo.....	149
Imagen 13	Fierro $\varnothing 3/8$ " en estado de oxidación.....	150

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

”	:	Pulgada
%	:	Porcentaje
°C	:	Grados centígrados
a/c	:	Relación agua cemento

SIGLAS

CV	:	Coefficiente de Variación
DS	:	Desviación Estándar
f _c	:	Resistencia a la compresión del concreto.
M.F	:	Módulo de Finura.
Kg	:	Kilogramo
gr	:	gramo
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

1.1 GENERALIDADES

La presente tesis trata sobre las consecuencias que sufre el concreto armado cuando es expuesto al ataque del cloruro de sodio.

Respecto a las limitaciones del concreto en primer lugar se encuentra su baja resistencia a la tracción. No obstante combinado con el acero de refuerzo se puede superar esta limitación. Luego entonces el concreto armado ha venido utilizándose en forma masiva desde la segunda mitad del siglo XX para la construcción de redes de edificaciones e infraestructura de puertos, entre los más destacables. Cuando estas estructuras han sido diseñadas y construidas correctamente, su vida útil ha fluctuado entre 50 a 75 años frente a las condiciones de clima más desfavorable (en la región de Canadá fluctúa por ejemplo entre 40°C en verano hasta -50°C en invierno) y a la existencia de agentes nocivos externos. Sin embargo, una cantidad importante de esta infraestructura ésta arribando a la mitad de su vida útil estimada, encontrándose en estado avanzado de deterioro en varios países, trayendo como consecuencia gastos de reparación de miles de millones de dólares, no contemplados en el diseño del proyecto y puesta en marcha (ACI, 2018).

El concreto armado es considerado como el material de construcción más usado en el planeta, siendo los factores atribuidos a su empleo: la disponibilidad de los componentes para su fabricación en casi todas las regiones (inclusive en la Antártida), su adaptabilidad a cualquier tipo de encofrado en obra, su costo relativamente bajo en relación a otros materiales de construcción, y su vida útil prolongada frente a lo disponible de otros materiales (sobre todo los concretos de alto desempeño con una expectativa de vida útil mayor de cien años) cuando lo diseñamos y construimos bien respetando las leyes físicas y químicas que gobiernan su comportamiento el concreto armado es duradero (ACI, 2018).

Las pérdidas económicas causadas por la corrosión del acero de refuerzo, en las estructuras de concreto son considerables, únicamente en los Estados Unidos se calculan en billones de dólares por año (ACI, 2018).

Los elementos estructurales de concreto armado, en particular aquellas utilizadas en construcciones marítimas, cimentaciones, obras hidráulicas, túneles, puentes, etc., no solo están sometidas a diversas cargas durante sus tiempos de vida, además,

deben hacer frente a distintas fuentes de amenazas que comprometan sus propiedades mecánicas y su durabilidad (Meza, 2003).

Tanto el concreto, como el acero de refuerzo, son susceptibles de corroerse. Los mecanismos de corrosión (degradación, deterioro) del concreto generalmente son químicos, aunque también puede experimentar procesos complejos de deterioro, que involucran mecanismos microbiológicos (Gonzales, 1998).

El acero de refuerzo en el concreto armado puede corroerse, generalmente siguiendo un mecanismo electrolítico (Gonzales, 1998).

La corrosión del acero de refuerzo existente dentro del concreto se origina por la presencia exclusiva de oxígeno y humedad en las proximidades de las barras, pero la existencia de cloruros libres en el medio que las rodea es un desencadenante del proceso (ACI, 2018).

Analizando la problemática recurrimos a sus causas principales como la relación a/c, la capacidad de absorción del concreto resultante y el tiempo de exposición a los efectos físico-mecánicos ejercidos por el cloruro de sodio. Este estudio tiene como finalidad reducir los efectos ocasionados por el ataque de las sales al concreto armado.

En la presente tesis se elaboraron probetas de concreto diseñadas con cemento Portland tipo I, con relaciones a/c: 0.70, 0.65 y 0.60. Las muestras de concreto (4" x 8") en su interior tenían una varilla de acero $\varnothing 3/8"$, de longitud de 10 cm. al centro de la muestra. Las muestras de concreto armado fueron sometidas a un ambiente salino con el objetivo de poder comparar los efectos físico-mecánicos resultantes para cada relación agua cemento en el transcurso de un tiempo de 60 días.

En el capítulo I se hace el análisis de la realidad problemática que ocasiona el cloruro de sodio en las estructuras de concreto armado.

En el capítulo II está referido a los conceptos de corrosión, durabilidad, cloruros en el concreto.

En el capítulo III se trata el estudio de los materiales a usar en la presente tesis.

En el capítulo IV se abordan los efectos físico-mecánicos en el cemento y el concreto armado por ataque del cloruro de sodio.

En el capítulo V se trata sobre el ensayo de efecto físico-mecánicos en el concreto armado por ataque de cloruro de sodio.

En el capítulo VI se detalla el procedimiento de ensayos y normas.

En el capítulo VII se ubican los resultados y gráficos obtenidos en las relaciones de cemento de mediana a baja resistencia.

En el capítulo VIII está dedicado al análisis de los resultados obtenidos de acuerdo a cada relación agua cemento.

1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Después de haberse patentado el cemento en el año 1824 por Joseph Apsdin en Inglaterra [Bogue R.H., 1952 y Blezard, 1998] y de iniciarse la industrialización en el año 1840 con la creación de la primera fábrica de cemento Portland en Boulogne-Sur Mer en Francia [Blezard, 1998 y Aitcin, 2003], la producción mundial de cemento ha evolucionado significativamente en los últimos dos siglos, pasando de diez millones de toneladas métricas en el año 1900 a más de 4600 millones de toneladas métricas al término del año 2015 (CAPECO, 2018).

En la primera mitad del siglo XX el consumo anual de cemento experimentó un crecimiento moderado, teniéndose al acero en la industria manufacturera como el material de uso masivo para la construcción de edificios e infraestructuras de puentes en Norteamérica y Europa. Asimismo, la crisis política previa y durante el desarrollo de la primera y segunda guerra mundial en Europa imposibilitó el consumo masivo del cemento a nivel mundial. No obstante, en la segunda guerra dicho consumo experimentó un crecimiento exponencial impulsado principalmente por la reconstrucción post segunda guerra mundial de países como Austria, Dinamarca, Bélgica y Alemania Occidental a través del plan Marshall, por la reconstrucción masiva de edificaciones en el continente de Asia para sostener la explosión demográfica, por el despegue de la economía del Japón gracias a la industria manufacturera entre los años 1953 a 1965, por el gran crecimiento económico en Norteamérica entre 1950 a 1974, y por el crecimiento de países en desarrollo en América Latina como México, Brasil, Chile, Colombia y Perú (ACI, 2018).

Para un consumo promedio de 250kg. de cemento por metro cúbico asignándole al diseño de concreto de mayor producción ($f'c=210\text{kg/cm}^2$. a 28 días) y que todo el cemento es destinado a la fabricación del concreto premezclado y de concreto preparado en obra para la industria de la construcción y minería, podemos estimar

que en el año 2015 se fabricaron aproximadamente 18400 millones de metros cúbicos o 42320 millones de toneladas, lo que equivale a un consumo de hasta 2.5m^3 ó 5.8 toneladas de concreto por habitante en el planeta para una población total de 7300 millones de habitantes (ACI, 2018).

En la práctica, de acuerdo al consumo real per cápita de cada país en las diferentes regiones de América, Asia y Europa, se estima un consumo promedio de 1.5m^3 de concreto por habitante (ACI, 2018).

Por otro lado, en la Tabla N°1, siguiente se muestra una comparación de los principales materiales usados en el planeta donde se aprecia que el consumo del concreto es del orden de dos veces a más que otros materiales disponibles [Aitcin y Mindess, 2011] desplazando en el siglo XXI al predominio del acero que tuvo su época de gran auge durante el siglo XX. Por ello, se considera que el “Concreto es el material de construcción más usado en el planeta” (ACI, 2018).

Tabla 1. *Producción anual mundial de materiales, en 2007(Toneladas métricas). [Aitcin y Mindess, 2011]*

Concreto	13 mil millones
Cemento Portland	2.36 mil millones
Acero	1.34 mil millones
Carbón	6.5 mil millones
Petróleo en bruto	3.8 mil millones
Trigo	606.4 millones
Sal	200 millones
Azúcar	162 millones

Fuente: ACI 2018

En Perú, no se cuenta aún con estadísticas consolidadas sobre el estado actual de las estructuras en buen estado, con riesgo de colapso y que deben ser reparadas o reemplazadas en su totalidad, sea por la longevidad de las mismas o por su grado de deterioro frente a los recientes eventos de desastres naturales como el fenómeno “El Niño Costero” ocurrido en el año 2017. No obstante, se conoce que un grupo importante de infraestructuras de puentes y puertos construidos cerca del litoral

peruano en la segunda mitad del siglo XX requiere ser reparadas o reemplazadas en calidad de urgencia, a fin de salvaguardar la seguridad de sus ocupantes. Se estima un monto mayor a 5 mil millones de dólares para cubrir las necesidades de mantenimiento y reparación de las principales infraestructuras de puentes puertos y carreteras, en el norte y sur del país (ACI, 2018).

La experiencia internacional sobre desarreglos por corrosión en estructuras de concreto armado y pretensado, demuestra que la corrosión se incrementa en las zonas marítimas de climas semi-tropicales y sub-tropicales, con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en climas fríos o templados. De esta manera, en las regiones tropicales se hace más difícil la prevención, sea por el conveniente diseño estructural o la adopción de apropiados sistemas de construcción. Por añadidura, los reglamentos de construcción de los países en desarrollo, como es el caso del Perú generalmente se basan en códigos de construcción del hemisferio norte, que recogen experiencias de climas más benignos (Gonzales, 1998).

Si hacemos una revisión del desempeño de las estructuras en concreto armado en las últimas décadas, tenemos que se han presentado problemas de deterioración significativa principalmente por las condiciones climáticas severas, por la existencia de sustancias químicas agresivas, debido a la inadecuada concepción estructural al tipo de concreto y/o proceso constructivo seleccionado, a la falta de mantenimiento preventivo, o a la existencia de eventos incontrolables como los desastres naturales por ejemplo, acortando su vida útil estimada y poniendo en riesgo la seguridad de sus ocupantes (ACI, 2018).

En otras regiones importantes del mundo como Gran Bretaña, se estima que un tercio de los puentes necesitaba mantenimiento a fines del siglo XX, gran parte de ellos por problemas de corrosión por cloruros, obteniéndose una pérdida de 600 millones de libras esterlinas en 1996. En Japón, se gasta cerca de 40 mil millones de yen por año en mantenimiento de estructuras con problemas de deterioro (ACI, 2018).

1.2.1 Problema principal

La durabilidad de las estructuras constituye uno de los retos más importantes en las construcciones del siglo XX, aunque hoy en día no existe posibilidad alguna de

diseñar y construir estructuras durables sin que este concepto no esté conectado con el desarrollo sostenible del planeta (ACI, 2018).

Existe el reto de hacer estructuras como edificios, puentes, carreteras, reservorios, represas, centrales hidroeléctricas, canales de irrigación, puertos, aeropuertos, túneles, líneas de tren, entre las más importantes, con una mayor expectativa de vida útil, que las diseñadas en la actualidad (20 a 40 años). Por ello la importancia de que se construya bien, con la finalidad que dure la mayor cantidad de años, sin tener que depredar los recursos de nuestro planeta para su mantenimiento y/o reparación periódica (ACI, 2018).

La depredación de los recursos naturales del planeta es una preocupación, esta depredación de hecho se traduce en un desbalance, la misma que fue citada por la organización ecologista WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza, por sus siglas en inglés) quien advirtió que desde el 2016, el planeta ha entrado en déficit ecológico al haber consumido todos los recursos naturales que la tierra puede consumir en un año. Se estimaría que en adelante, la humanidad necesitaría 1.6 planetas (por año) para satisfacer su demanda de recursos naturales (ACI, 2018).

El Comité ACI define a la durabilidad del concreto de cemento Portland como “su habilidad para resistir a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioración”. El concreto durable deberá mantener su forma original, calidad y propiedades de servicio cuando este expuesto a las condiciones del medio ambiente donde se encuentra el proyecto de construcción.

Los efectos visibles de la corrosión del acero (agrietamiento, deslaminación, manchas de óxido que afloran a la superficie del concreto, etc.) se hacen patentes cuando la corrosión del acero de refuerzo ya se encuentra en su estado avanzado. Esto tiene mucho que ver la falta de acceso visual a la barra de acero, lo cual no permite detectar el problema en su fase inicial. En la mayoría de los casos el problema ya es detectado cuando el deterioro ya es muy grande (Gonzales, 1998).

El nivel de avance corrosivo puede analizarse a través de métodos que midan las propiedades de transporte como los métodos de celda y perfiles para método de estado estacionario y perfiles de ingreso, pérdida y ganancia de peso y profundidad de penetración para métodos de estado no estacionario (Newman, 2003).

Uno de los métodos acelerados con la finalidad de evaluar la durabilidad del concreto se basa en ciclos repetidos de inmersión en agua de mar siendo humedecidos por 24 horas y luego secados al horno por otras 24 horas (Nishibayashi, 1980).

El método de Humedecido, Secado y Pérdida de Peso, puede clasificarse como un método rápido por incremento de la presión de cristalización, fue desarrollado por Díaz Lazo en la tesis de investigación “Corrosión del cemento por ataque de sulfatos”, tesis realizada en el año 1,995 en la Universidad Nacional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Civil. Se basa en ciclos de humedecimiento por 24 horas en la solución del agente agresivo, luego secado por 24 horas y el registro del peso por cada ciclo desarrollado (Avendaño, 2000).

Es en base a este método efectuado por Díaz Lazo (1994) se plantea la siguiente pregunta ¿Qué efectos físicos-mecánicos se producen con el transcurrir del tiempo en el 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, con acero de refuerzo $\emptyset 3/8$ ” a causa de la exposición de ciclos de humedecimiento y secado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L?

1.2.2 Problemas específicos

Según la problemática expuesta, los problemas secundarios serían los siguientes:

- ¿Qué efectos se producen con el transcurrir del tiempo en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I “SOL”, para las relaciones a/c: 0.60, 0.65 y 0.70 con un acero de refuerzo $\emptyset 3/8$ ” como resultado de la exposición de este concreto armado a los ciclos de humedecido y secado de una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L?
- ¿Qué efectos se producen con el transcurrir del tiempo en las propiedades resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I “SOL” para las relaciones a/c: 0.60 0.65 y 0.70 con acero de refuerzo $\emptyset 3/8$ ” como consecuencia de haber sido expuesto a los ciclos de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100gr/L?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Para Gonzales (1998), el cloro tiene un efecto negativo sobre el acero de refuerzo, que se vuelve más propenso a la corrosión, en la medida que se produce la rotura de la capa de pasivación en la interface acero-concreto, el cloro hace que los concretos sean más porosos, acentuando el fenómeno de la corrosión. La corrosión en el concreto, se vincula con la temperatura y humedad, el incremento de temperatura potencia todas las reacciones químicas.

Consecuentemente debemos recordar que el cloro es uno de los elementos más comunes en la naturaleza. En consecuencia, se encuentra en los agregados del concreto, en el agua de mezcla y en el crudo del cemento. De todos ellos el cemento es el que aporta el contenido menos significativo (Pasquel, 1998).

Se podría decir como una justificación complementaria mediante la realización de este ensayo se está tratando de simular los efectos que las estructuras de concreto armado de mediana a baja resistencia fabricadas con cemento Portland Tipo I "SOL" sufren cuando se encuentran en el litoral peruano.

1.4. OBJETIVOS DE ESTUDIO

1.4.1 Objetivo general

El objetivo de la presente tesis es el estudio de los efectos físico-mecánicos en el concreto armado de mediana a baja resistencia con cemento Portland tipo I "SOL" por ataque del cloruro de sodio en las situaciones en las que la corrosión compromete la durabilidad de una estructura y a la vez adquirir un conocimiento que permita hacer un diagnóstico, una aplicación de métodos eficaces de prevención, corrección (reparación, rehabilitación) y control.

1.4.2 Objetivos específicos

Como consecuencia de los problemas secundarios, los objetivos específicos serían:

- Evaluar el proceso de deterioro que se produce 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: 0.60, 0.65 y 0.70 con acero de refuerzo de $\varnothing 3/8$ " como consecuencia de haber sido expuesto

a los ciclos de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L.

- Evaluar 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: 0.60, 0.65 y 0.70 con acero de refuerzo de $\emptyset 3/8$ ” como consecuencia de haber sido expuesto a los ciclos de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis principal

Se producen variaciones (propiedades del concreto) en orden crecientes al número de ciclos y según las relaciones a/c, cuando un concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I “SOL” con acero de refuerzo $\emptyset 3/8$ ” es expuesto a ciclos de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L

1.5.2. Hipótesis secundarias

Consecuentemente a los objetivos específicos propuestos, las hipótesis secundarias son las siguientes:

- Los ciclos de humedecido y secado realizados en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100gr/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 $\emptyset 3/8$ ”.
- Los ciclos de humedecido y secado realizados en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/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 $\emptyset 3/8$ ”.

1.6 ANTECEDENTES REFERENCIALES

En 1939 Bonnell y Nottage realizaron estudios sobre la cristalización de sales en materiales porosos. Sus pruebas muestran que cuando la hidratación se da dentro de los poros, las tensiones generadas por la cristalización son suficientemente altas para superar la resistencia del concreto y la sal puede ejercer una fuerza suficiente para provocar la desintegración del material (Neville, 1998).

Jin Jun, Kun, Ting, Zheng Yun, & Peng (2019) en su investigación “Effect of Dry-Wet Ratio on Properties of Concrete”, recomendaron la utilización de ciclos de humedecido y secado como ensayo de corrosión acelerada, debido a que simula de mejor manera un ambiente en donde el concreto se ve afectado por los cambios de niveles de zona y el comportamiento de las olas del mar en contacto con las estructuras marítimas (Torres, 2019).

Del mismo modo Yujing, en el 2020, en su investigación “Influence of Initial Damage Degree on the Degradation of Concrete Under Sulfate Attack and Wetting-Drying Cycles”, ratificó el uso de humedecido y secado como uso de corrosión acelerada (Rojas, 2021).

En la Universidad Católica de Colombia, Jiménez (2018) 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, se elaboraron probetas con diseño de mezcla con a/c de 0.68 para concreto de 21.1MPa a los 28 días, que luego de ser desmoldadas fueron sometidas ante el ataque de sulfatos bajo concentración de 2.646, 2.604 y 2.555 gr/lit con un nivel de exposición muy severo respectivamente, donde luego de 7, 14, 28 y 71 días fueron estudiadas con ensayos de resistencia a compresión. Obtuvieron principalmente que, las muestras expuestas a sulfatos y cloruros – sulfatos disminuyeron su resistencia en un 11% a los 28 días, y que, a los 71 días, ninguna muestra llegó al 100% de su resistencia estimada por exposición ante cloruros – sulfatos, siendo los valores del concreto patrón 23.4 y 24.3 respectivamente.

En la Universidad Nacional de Ingeniería, Avendaño (2000), planteó determinar el proceso corrosivo en el concreto de mediana a baja resistencia por ataque del cloruro de sodio en el concreto de mediana a baja resistencia. Para ello elaboró probetas con relación a/c 0.60, 0.65 y 0.70 curadas por 28 días, que luego estuvieron sometidas

por una solución de 100gr/lit (nivel de exposición muy severo) de cloruro de sodio, evaluadas hasta los 120 días. Obtuvo como resultados un incremento del 4.88%, 5.02% y 4.15% en pesos con respecto al concreto patrón. Las resistencias a la compresión aumentaron gradualmente con valores entre 10% y 25%, lo que se observó a los 120 días que los concretos con a/c de 0.60 y 0.65 aumentaron en 24.92% y 19.44%, mientras que para un a/c de 0.70 se redujo en 11.33% en comparación con el concreto sin ser sometido a corrosión acelerada.

En la Universidad Nacional de Ingeniería, García (2001) 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 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, fueron analizadas por el método de humedecido y secado y pérdida de peso, hasta los 90 días se obtuvo que el peso de las probetas se incrementaron en un 3% a 5% con respecto al concreto patrón. Las probetas (90 días de ensayo) con aditivo sometidas a la resistencia a la compresión se incrementaron sus valores de 19.6%, 25.1% y 20.3% con respecto al concreto patrón para los a/c 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente, este concreto tenía 300 cc de aditivo.

En la Universidad Nacional de Ingeniería, Rimarachin (2013) planteó estudiar el proceso evolutivo corrosivo en el mortero armado originado por el cloruro de sodio, mortero con cemento Portland Tipo I "SOL" y con acero de refuerzo 3/8", mediante el método de corrosión acelerada por un tiempo de 60 días con dosificación de c/a: 1:4, 1:3, 1:2 y 1:1, las muestras de mortero armado luego de ser curadas por 28 días fueron sometidas a la solución de cloruro de sodio (100 gr/L), encontró como resultado que la presencia del cloruro de sodio generó la acumulación de sales en los poros, que luego cristalizaron y se expandieron, produciendo grietas y superficies ásperas a causa de la pérdida del material, resultando ser entre 0.58% y 0.95% respecto al mortero patrón, se redujo la resistencia a la tracción y módulo de fluencia del acero en un 28% y 24.3% respectivamente.

En la Universidad Nacional de Ingeniería, Torres (2019) planteó conocer el proceso de degradación del concreto simple y armado con cemento Portland Tipo I "SOL" por ataque del cloruro férrico empleando ensayos de corrosión acelerada. Para ello se empleó probetas de concreto simple y reforzado con acero de $\emptyset 3/8$ " con

concentraciones de a/c 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70, que luego de ser curadas por 28 días, fueron sometidas a una solución de cloruro férrico al 42% (nivel de exposición muy severo) por 60 días. Las resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c: 0.40, 0.45 y 0.50 a los 30 días fueron 403, 381,300 y 247 96 en Kg/ cm² respectivamente. Llego a obtener en el proceso de corrosión acelerada, el concreto simple aumento su peso, saturando los poros de la superficie generando una capa superficial rojo cobrizo, con desprendimiento de bordes y fisuras longitudinales. También para el acero de $\emptyset 3/8$ " se produjeron reducciones en su resistencia a tracción en 25% y también en el módulo de fluencia en 17%.

En la Universidad Nacional de Ingeniería, Rojas (2021) planteó 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. Con este fin se elaboró probetas de concreto armado de $\emptyset 3/8$ " con relaciones a/c: 0.45, 0.50 y 0.55 usando cemento Portland tipo II, después de haber sido curadas por un tiempo de 28 días son sometidas a una solución de cloruro férrico al 40% (nivel de exposición muy severo) durante 60 días. Obtuvo resistencias a la compresión del concreto patrón para a/c: 0.45, 0.50 y 0.55 a los 28 días fueron 429, 423 y 401 Kg/ cm² respectivamente. En sus resultados se halla que el concreto armado no tuvo pérdida de peso, solo la relación 0.55 resultó un aumento de 0.10%. En cambio en la resistencia a la compresión hubo una reducción de hasta 0.60%. También obtuvo en $\emptyset 3/8$ " una reducción de resistencia a la tracción en 25%.

En estos antecedentes se usa el método de humedecido y secado para evaluar el proceso de cambio que sufre tanto el mortero armado, el concreto simple y armado con y sin aditivo.

Con referencia al método de humedecido y secado desarrollado por Díaz (1994), método usado en la presente tesis, se ha usado tanto en mortero simple como armado con acero de $\emptyset 3/8$ ", concreto simple con y sin aditivo. A la fecha aún no se han estudiado los efectos físico-mecánicos por acción del cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/L (nivel de exposición muy severo) en el concreto armado de mediana a baja resistencia con relaciones a/c: 0.60, 0.65 y 0.70 y acero de refuerzo $\emptyset 3/8$ ".

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 EFECTOS FÍSICO-MECÁNICOS EN EL CONCRETO

No todas las formas de ataque tienen su fundamento en la acción química y la permeabilidad del concreto armado sino también pueden producirse acciones físico – mecánicas producidas por las sales disueltas en solución o en suelos que contienen estas sustancias que van incrementando su acción destructiva en cada ciclo de humedecido y secado.

El concreto armado por el ataque de los cloruros comienza a deteriorarse en las aristas y esquinas siguiendo una fisuración que lo astilla y lo reduce a una condición de resquebrajamiento.

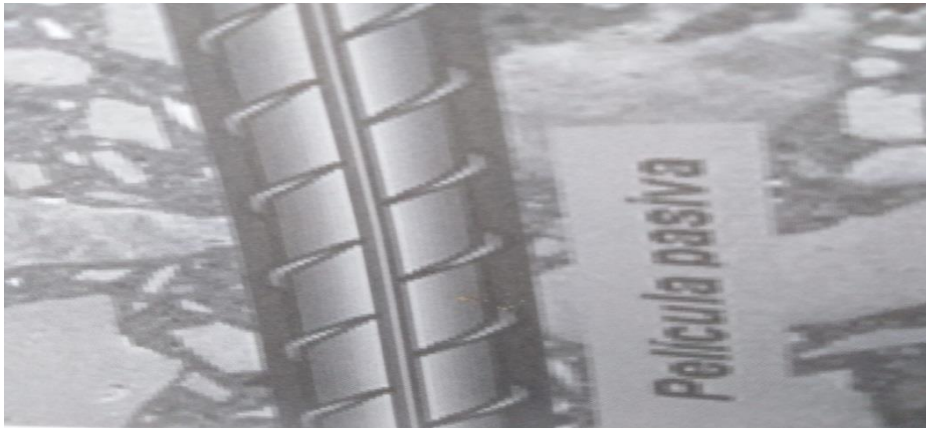
2.1.1. Definición

Para Gonzales (1998) el concreto confiere al acero una protección de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que lo separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en los poros del concreto es un electrolito que puede formar un óxido protector (pasivación) de forma duradera, como se puede apreciar en la Imagen N° 1.

La protección directa sobre la barra, donde el concreto forma una capa de pasivación sobre la superficie del acero, es consecuencia del elevado PH (13-14) de la solución acuosa encerrada en los poros del concreto, constituido principalmente por iones OH^- . Los responsables de esta elevada alcalinidad son los hidróxidos de Sodio (Na) y Potasio (K), ya que el ión Calcio (Ca) prácticamente desaparece en la disolución cuando el cemento progresa en su hidratación (ACI, 2018).

La cantidad relativa de cada uno de estos iones depende, principalmente, de la composición y características del cemento, del grado de hidratación y la relación agua/cemento (a/c). De esta manera, los problemas de corrosión en estructuras de concreto armado se presentan cuando esta capa pasiva se destruye, en forma generalizada o local (Gonzales, 1998).

Imagen 1. Representación esquemática del estado pasivo del acero.



Fuente: ACI, 2018.

2.1.2 Tipos de efectos físico-mecánicos

Los tipos de efectos físico-mecánicos por ataque del cloruro de sodio en el concreto armado serían:

2.1.2.1 Por sales

Para Zongjin (2011), el concreto no sufre agresión significativa por el ataque de las sales. Si el concreto es de buena calidad y mantiene un PH fuertemente alcalino, si existe una buena adherencia acero/concreto y si el espesor de recubrimiento de concreto es adecuado para las condiciones de exposición, el acero de refuerzo se encuentra protegido y su velocidad de corrosión será muy baja.

2.1.2.2 Por agua de desagüe

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

Neville (2013) señala que, el agua pura o la que contenga iones agresivos, dióxido de carbono y oxígeno son los tres fluidos significativos que pueden ingresar en el concreto a través de distintas formas, los cuales dependen de la hidratación de la pasta de cemento y se puede lograr por medio de flujo a través de sistema de poros

por difusión y/o absorción, los mismos que se relacionan con la permeabilidad del concreto.

2.1.2.3 Por ácidos

La influencia de estos compuestos sobre la velocidad de corrosión de los metales ha sido estudiada. Sin embargo, en los últimos años se le está dando una gran importancia a la influencia directa o indirecta sobre el proceso corrosivo. Tal es el caso de la influencia de la lluvia ácida, sobre la velocidad de corrosión de los metales, esta velocidad de corrosión depende de dos factores fundamentales: en primer lugar, del metal cuya naturaleza determinara su sensibilidad a la lluvia ácida y en segundo lugar del nivel de concentración general de la zona de estudio (Rivva, 2006).

2.1.2.4 Efectos físico-mecánicos en el acero de refuerzo

Para Newman (2003) el acero de refuerzo en el concreto se encuentra originalmente "pasivado", mediante la formación de una delgada película de óxido de hierro invisible a simple vista, que se forma debido al PH del concreto (PH=12-13), consecuentemente el acero tiene una buena protección contra la corrosión. Sin embargo, en un ambiente agresivo la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto se origina por la presencia del oxígeno y humedad en las proximidades de las barras, pero la existencia de cloruros libres en el medio que los rodea es un desencadenante del proceso, como se observa en la Imagen N° 2.

Imagen 2. Estructura de Concreto Armado (afectada por corrosión)



Fuente: elaboración propia

Pero existen también condiciones que de origen la favorecen y son las siguientes:

- Excesiva porosidad del concreto.
- Reducido espesor del recubrimiento del concreto sobre el refuerzo, como se puede observar la Imagen N° 3.
- Existencia de grietas en la estructura.
- Alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto.

a.-Corrosión uniforme. - La corrosión generalizada, también nombrada como corrosión uniforme, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea,

deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia (Rimarachin, 2013)).

Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la construcción. Si, por alguna razón, el concreto pierde su alcalinidad y su PH baja hasta un nivel de 9 o menos la película pasiva desaparece y el acero entra a un estado de corrosión. Esta situación se presenta por carbonatación del concreto y, si el PH de todo el recubrimiento de concreto en contacto con el acero ha disminuido lo suficiente, el acero sufre corrosión uniforme (ACI, 2018).

b.- Corrosión localizada por picaduras. -Si el concreto en contacto con el acero está contaminado con iones cloruro (agentes despasivantes) y estos iones sobrepasan cierto umbral crítico el acero sufre corrosión localizada por picadura (Gonzales, 1998).

Es importante destacar que cualquier factor que afecte la formación o la estabilidad de la película pasiva sobre el acero causará su desprotección y con ello, proveerá las condiciones para su corrosión (Newman, 2003).

Para Gonzales (1998) estos factores pueden estar relacionados con:

- El concreto (dosificación, compacidad, homogeneidad, recubrimiento, lixiviación por sulfatos o por aguas blandas presencia de cangrejas y de fisuras).
- El acero y otras partes metálicas (estado superficial, tensiones mecánicas)
- El medio que rodea la estructura (humedad ambiental, Oxígeno, temperatura, dióxido de carbono del aire, fuentes externas de iones despasivantes, aguas o suelos agresivos, corrientes erráticas).

Y además estos factores están relacionados mutuamente.

2.1.3 Factores que afectan y desencadenan los efectos

Los factores que afectan y desencadenan los efectos físico-mecánicos en el concreto armado debido al ataque del cloruro de sodio serían:

2.1.3.1 Relacionados al concreto

a.- Compacidad y homogeneidad

Un balance adecuado de los agregados fino y grueso a fin de obtener la máxima compacidad (Cachay, 1995).

Los agregados tienen la función de transmitir la carga y crear un esqueleto rígido y estable al unirse con la pasta. El mejor acomodo de estos reduce el costo de fabricación del concreto al disminuir el contenido de pasta, en las curvas experimentales del PUC (porcentaje de agregado fino vs porcentaje de agregado grueso), es en donde se determina la relación tentativa de arena y piedra, mediante lo que se denomina “máxima compacidad”, es decir hacer que el agregado global tenga una máxima densidad, al estar compactado, en un volumen determinado y a la vez que tenga una granulometría ideal para que así proporcione calidad, compacidad y trabajabilidad (Cachay, 1995).

b.- Dosificación del concreto.-Referido al diseño de la mezcla del concreto, como sabemos la mezcla de concreto también otorga la protección conferida a la armadura. Esto se expresa en los siguientes factores:

- La dosificación del concreto debe proporcionar mínima porosidad.
- Proporción y características de los áridos.
- Relación agua–cemento.
- Grado de hidratación del cemento.
- Cantidad de pasta del cemento.

2.1.3.2 Fisuras

Los efectos físico-mecánicos ejercido por el ataque de los cloruros generan elevadas tensiones internas que el concreto no es capaz de soportar, produciéndose su fisuración. Los productos de corrosión del acero de refuerzo pueden ocupar hasta 6 – 7 veces el volumen del acero metálico desde el cual se han producido (Gonzales, 1998).

Los cloruros no tienen acción perjudicial directa sobre el concreto sino es a través de su participación en el mecanismo de la corrosión de metales embebidos en el concreto, produciéndose compuestos de hierro que al expandirse rompen la estructura de la pasta y agregados (ACI, 2018).

La expansión del concreto ocasionado por la oxidación del acero de refuerzo no solo origina las fisuras sino que destruye superficialmente el concreto. Las varillas y demás refuerzos de acero, están protegidas del exterior por el hormigón que las rodea, y es

en el mantenimiento de la alcalinidad de este donde reside el buen mantenimiento del acero. El oxígeno del aire, el anhídrido carbónico y el agua ataca al hierro y lo oxidan a una velocidad tanto mayor cuanto más ácido es el medio. Esto sucede mientras más poroso y capilar sea el concreto armado, pues su cal va siendo carbonatada fácilmente por el dióxido de carbono con lo que el PH del concreto armado baja abruptamente colocando al acero en precarias condiciones de defensa (Bizcok, 1964). El acero al rodearse de óxido produce una expansión provocando fisuras y, más tarde, el desprendimiento del concreto circundante (Gonzales, 1998).

Estas fisuras tienen un trazado paralelo al acero afectado y es frecuente que aparezcan manchas de óxido a lo largo del mismo trazado. Es por ello que una fisura con esta característica debe ser inmediatamente atendida (Gonzales, 1998).

2.1.3.3 Espesor del recubrimiento del concreto

El espesor del recubrimiento (como se observa en la Imagen N°3) y la calidad de los materiales con que está hecho, son muy importantes debido a que representa la primera barrera protectora, que evitará el ingreso de agentes externos nocivos al concreto armado (ACI, 2018).

El efecto de protección generado por el mayor recubrimiento, hace que los elementos agresivos provenientes del exterior (cloruros, oxígeno, agua) requieran más tiempo para llegar hasta las armaduras, aminorando la velocidad del proceso de corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto armado (Bizcok, 1964).

Imagen 3. Poste de Concreto Armado (escaso recubrimiento)



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.4 Iones despasivantes

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la degradación del concreto, lo cual permite que la armadura se exponga al medio, produciendo la corrosión (Gonzales, 1998).

2.1.3.5 Cloruros

Provocan una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero en espacios de tiempo relativamente cortos (ACI, 2018).

En el concreto armado el refuerzo de acero se encuentra doblemente protegido contra la corrosión. En efecto, el recubrimiento de las barras opone una barrera física para la penetración del agua y del oxígeno del entorno. Además el acero en el concreto se encuentra rodeado por una fina capa de óxido, transparente, compacta y continua. La capa pasivante se forma en el proceso de hidratación del cemento y permanece por la elevada alcalinidad del medio, en especial por la actividad de la portlandita Ca

(OH)₂ que crea un PH alrededor de 12.4 y el contenido de álcalis que puede elevar el PH a 13.2 (ACI, 2018).

La película protectora que cubre el acero es destruida puntualmente en la corrosión inducida por los iones de cloruro presentes en la inter-fase con el acero formándose una superficie anódica muy pequeña con relación a una gran superficie catódica, constituida por la barra de acero pasivada. Las condiciones desfavorables de la superficie producen una profunda y muy acelerada corrosión en el acero de refuerzo (ACI, 2018).

El proceso puede darse como sigue:

- Los cloruros pueden encontrarse en la masa del concreto porque crea condiciones de pasivación.
- Porque los contenga las materias primas (agua, cemento, arena y piedra).
- Porque penetren desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo.

Tres son los aspectos relevantes a tener en cuenta en el caso de los cloruros que penetran desde el exterior:

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.
- La proporción que indica la despasivación.
- La velocidad de corrosión que tienen los cloruros una vez desencadenada la corrosión.

En toda forma el contenido del ion cloruro presente en la mezcla es controlado en su diseño. En la práctica su aporte es diminuto, salvo que se utilicen aguas no potables, de pozo u determinados agregados de zonas áridas, como puede ocurrir en la costa peruana. El contenido máximo de ion cloro en la mezcla está indicado en los reglamentos de diseño de concreto (Pasquel, 1998).

En la norma técnica de edificación: E060 de Concreto Armado se fija los límites para el contenido de ion cloruro en el concreto, según la Tabla N° 2 a continuación:

Tabla 2. Límites de contenido del ion cloruro en el concreto armado

Tipo de elemento	Ion cloruro máx.	ppm/bl
Concreto pretensado.	0.06	600
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros	0.10	500
Concreto armado no protegido que puede estar sometido a un ambiente húmedo, pero no exp. a cloruros.	0.15	1500
Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad, recubrimientos impermeables.	0.80	8000

Fuente: Norma Técnica RNE-E060

Los límites de ion cloruro en el concreto que determina el Reglamento Nacional de Construcción son más severos que los establecidos por el Building Code Requirements of Reinforced Concrete del ACI, que sirve de antecedente a nuestro reglamento. El reglamento nacional en el caso de concreto armado expuesto a la acción de los cloruros fija un límite de 0.1% mientras que en el reglamento del ACI los establece en 0.15%. Asimismo, para concretos armados secos o protegidos de la humedad, el reglamento peruano determina el límite de 0.8%, en contraste con el reglamento del ACI que tiene un valor de 1.0% (Gonzales, 1998).

2.1.3.6. Sulfatos. - Los sulfatos en estado sólido no afectan el concreto pero cuando se encuentran en solución producen un fuerte ataque que se manifiesta en deformación, fisuras y expansión (Pasquel, 1998).

En la naturaleza se encuentran los sulfatos en forma sólida (yeso, anhídrita, etringita), o disueltos en las precipitaciones de las aguas de superficie y en las aguas subterráneas, también se encuentra en los suelos en diferentes concentraciones (Pasquel, 1998).

Los desarreglos ocasionados en el concreto por la acción agresiva de sulfato, se deben a la expansión de la matriz de cemento hidratada por la reacción de las soluciones de sulfato con los productos de hidratación del aluminato. En consecuencia es necesario seleccionar cementos Portland de calidad adecuada,

como los del tipo II de moderada resistencia a los sulfatos y del tipo V de alta resistencia a los sulfatos (Pasquel, 1998).

Para Pasquel (1998) los tipos de cemento, los agregados, la dureza de las aguas, el clima y el curado de la pieza, son factores a tomar en cuenta si se pretende identificar el origen de las eflorescencias.

Para Rivva (2006) las eflorescencias salinas se producen por:

- Aplicación de morteros con humedades relativamente altas.
- Humedades capilares.
- Utilización de aguas duras durante su amasado.
- Aplicación de los morteros en días de lluvia y frío.

2.1.4 Factores que afectan la durabilidad del concreto armado

Para Bizcok (1964) los principales factores que afectan la durabilidad del concreto armado son los siguientes:

- Acciones Mecánicas.-Cargas, sobrecargas, impactos, vibraciones, naturales o artificiales.
- Acciones Físicas.-Variaciones de temperatura o de humedad, heladas, fuego, corrientes eléctricas, radiaciones.
- Acciones Químicas.-Presencia del aire y otros gases (atmosferas naturales o contaminadas), aguas agresivas y otros líquidos, áridos reactivos, productos químicos orgánicos o inorgánicos, suelos y terrenos agresivos.
- Acciones Biológicas.-Influencia de hongos, bacterias, algas o musgos. Segregación de ácidos.

Para Neville (2013) la corrosión del acero de refuerzo es reconocida como una de las principales causas de la reducción de la durabilidad de las estructuras de concreto armado.

Según el ACI (2018) los efectos de la corrosión se manifiestan en los tres componentes:

- Sobre el acero.- Pérdida de sección y disminución de su resistencia mecánica.
- Sobre el concreto.- Manchas, grietas y desprendimiento o deslaminaciones.

- Sobre adherencia acero/concreto.- Incapacidad para transmitir las elevadas propiedades mecánicas entre los elementos del sistema.

Estos efectos condicionan la durabilidad de una estructura de concreto armado. Los diferentes mecanismos que afectan la estructura por el ataque de cloruro de sodio se encuentran asociadas a las condiciones climáticas de la zona donde construimos y al tipo de exposición que estarán sometidas las estructuras en el tiempo (Rivva, 2006). Para el caso de ambientes marinos, el deterioro de la estructura se produce por el ataque de sulfato provenientes del agua de mar, la corrosión del acero en presencia de iones cloruro, desgaste por abrasión y la afectación de las estructuras por el ciclo hielo–deshielo (ACI, 2018).

La degradación de las estructuras también está ligada a una serie de factores como la concepción estructural y de diseño, el proceso constructivo, el mantenimiento conferido de las estructuras, y las características de los materiales empleados en la construcción. En cuanto al diseño estructural, se debe tener en cuenta los criterios que controlan la durabilidad de las estructuras, (Neville, 2013).

En cuanto a la construcción de las estructuras, se debe tener en cuenta los siguientes alcances:

- En caso las condiciones climatológicas sean desfavorables, previo al vaciado del concreto se deberá medir la tasa de evaporación (en función de la temperatura y de la humedad relativa del ambiente, velocidad de viento y temperatura del concreto) , se deberá implementar sistema contra viento o mitigadores de evaporación para contrarrestar el secado superficial violento del concreto y la formación de fisuras por contracción plástica, dado que estas fisuras pueden representar el camino de acceso de los agentes externos nocivos para el concreto tales como los cloruros (Rivva, 2006).
- La planificación del proceso constructivo, en cuanto a las etapas de colocación de los encofrados y de la armadura de refuerzo, transporte y descarga del concreto al interior de los encofrados, consolidación por capas, acabados, curado y protección de las estructuras, en conformidad con los alcances

establecidos en los comités ACI y con las exigencias del proyecto a fin de evitar defectos superficiales en los acabados (Gonzales, 1998).

- El curado y protección del concreto durante la primera semana es de gran importancia para asegurar la formación de nuevos productos que permitan la evolución de las propiedades mecánicas y reducción de la permeabilidad del concreto armado. El código ACI y el reglamento nacional de edificaciones (RNE E060) establecen que el concreto deberá ser curado y mantenido sobre 10°C al menos durante los primeros 7 días después de su colocación (Rivva, 2006).

En cuanto al mantenimiento de las estructuras se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Hacer un programa de mantenimiento de las estructuras, donde se consideren la limpieza de las juntas, mapeo de fisuras, reemplazo de materiales selladores de junta en caso lo amerite, mapeo de la permeabilidad del concreto (Pasquel, 1998).

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

3.1 CEMENTO PORTLAND

3.1.1 Definición

La norma técnica (NTP 334.009) define cemento como cualquier material aglutinante capaz de unir materiales de diferentes propiedades físicas. Un material cementante es aquel que posee propiedades adhesivas y cohesivas las cuales hacen posible su ligazón con fragmentos minerales a fin de obtener una masa continua y compacta (Rivva, 2006).

Es un aglomerante que, por transformación de la caliza existente en la naturaleza, se obtiene un producto intermedio debidamente balanceado denominado Clinker, el cual es molido con yeso, para dar como producto final los cementos Portland (Pasquel, 1998).

En el mercado existen variedad de cementos para ser empleados por el usuario y la mayoría de ellos proporcionan adecuados niveles de resistencia y durabilidad en las obras de concreto.

Es necesario indicar en los planos de las obras los requisitos exigidos para el cemento, usar cementos que no están acorde con el tipo de obra y ubicación de la misma resultaría anti-económico y por lo tanto perjudicar características importantes del concreto resultante (Gonzales, 1998).

Un constructor de origen inglés (Joseph Apsdin) hacia el año 1824 patenta un proceso de calcinación de caliza arcillosa. Terminado este proceso adquiriría la misma resistencia que la piedra Portland, cuyo origen de esta piedra sería en una isla en Gran Bretaña, dando inicio al concreto (Rivva, 2006).

En este sentido genérico el cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas, que le dan capacidad de unir elementos sólidos para formar un material resistente y durable (Pasquel, 1998).

El cemento Portland actual es un conglomerado o cemento hidráulico, producto de la calcinación (aprox. 1480 °C) de rocas calizas, areniscas y arcillas, formando silicatos y aluminatos cálcicos y con la adición de yeso pasan por un proceso de molienda hasta obtener un polvo muy fino. El cemento Portland es el componente más importante y activo del concreto armado (Díaz, 1994).

Cemento Portland = ((Cal + Silice + Hierro) molido a 1450°C + Yeso).

Cemento Portland = (Silicato de calco hidratado))Clinker + Yeso).

Este producto de calcinación es denominado Clinker que pasa por un proceso de pulverización para obtener el cemento hidráulico. El cemento al reaccionar con el agua fragua y endurece por la presencia de los silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. A la mezcla de ambos se le conoce como pasta y sirve como lubricante del agregado en la mezcla (Díaz, 1994).

3.1.2 Proceso de fabricación

La fabricación del cemento Portland está formado por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza y arcilla y que recibe el nombre de Clinker y de un material regulador de fraguado (yeso hidratado) (Rivva, 2006).

3.1.2.1 Materias primas del cemento Portland

Para Pasquel (1998) las principales materias primas necesarias para la fabricación del cemento Portland son:

a.-Materiales calcáreos: Deben tener un adecuado contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) que será entre 60% a 80%, obtenida normalmente de la caliza y no deberá tener más de 1.5 % de magnesia. Además de las calizas hay otras rocas que nos pueden aportar con CaCO_3 como: la Creta, Margas Calcáreas, Mármoles y Calizas, conchas marinas, arenas marinas calcáreas, caliches, etc.

b.-El componente arcilloso es el segundo componente en orden de importancia para la fabricación del cemento. Compensan la deficiencia composicional que presenta el componente calcáreo, en cuanto a silicio y aluminio fundamentalmente. Los materiales arcillosos deben contener sílice en cantidad entre 60% y 70%. Rocas ricas en silicio (22-37% de la corteza terrestre) pueden citarse areniscas, cuarcitas, diatomitas, etc. Las rocas en silicio y aluminio (44–58% de la corteza terrestre) tenemos arcillas, pizarras, esquistos, margas, lateritas, bauxitas, etc.

c.-Los componentes correctores se añaden en aquellos casos en que con los dos componentes mayoritarios no se consigue una composición química del crudo adecuada para la fabricación del cemento. Se trata de compensar las pequeñas deficiencias que pueden existir en el crudo. Los componentes correctores pueden

ser silíceos, aluminosos y ferruginosos. La adición de componentes correctores solo es posible en una escala limitada, a menos que estemos fabricando un cemento especial. Generalmente, se añaden en una cantidad que oscila entre el 1% y el 2%. En algunas ocasiones puede llegarse al 5%. También hay que considerar los componentes mineralógicos: cuarzo, calcita, caolinita, etc.

d.- Yeso.- El yeso, piedra denominada yeso, yeso crudo, es un mineral compuesto de sulfato de calcio hidratado también una roca sedimentaria de origen químico.

3.1.3 Proceso de producción del cemento

Según Díaz (1994):

- Extracción de la materia prima. A tajo abierto se realiza la explotación de los yacimientos.

Esta etapa comprende los procesos de exploración, perforación, carguío y acarreo de las materias primas.

- Trituración de la materia prima: se realiza el chancado del material hasta $\frac{3}{4}$ ", verificándose previamente la composición química del material.
- Molienda de crudos (pre-homogenización): Se produce un material muy fino además de dosificarse adecuadamente los materiales para lograr una composición química equilibrada ya que desigual granulometría de los distintos componentes pueden dar lugar a fenómenos de segregación, que conducen a desviaciones de la composición química del crudo respecto a su valor correcto.
- Homogenización: Los componentes previamente pre-homogenizados a continuación aportan al proceso de molienda en las proporciones adecuadas para conseguir la composición química deseada del crudo, mediante recipientes alimentadores o basculas dosificadoras a fin de garantizar que el Clinker sea de calidad.
- Intercambio de calor (Pre-calentador): El material triturado ha de secarse debido a que la humedad dificulta la molienda. Hay que tener presente que las calizas pueden tener hasta una humedad del 8%, las margas hasta un 15% y las arcillas hasta un 20%.

Para Díaz (1994) el horno rotatorio para Clinkerización: En ese horno se llega a obtener el producto conocido como Clinker.

- 1.- Hasta los 100°C se evapora el agua libre de los diferentes materiales.
- 2.- A los 500°C o más se evapora el agua combinada en la arcilla.
- 3.- Por encima de los 600°C se elimina el CO₂ del MgCO₃.
- 4.- Por encima de los 800°C se elimina el CO₂ del CaCO₃, siendo endotérmicas todas las reacciones anteriores.
- 5.- De 900°C a 1200°C se produce la reacción entre la cal y la arcilla en un proceso exotérmico.
- 6.- De 1250 a 1290°C Las arcillas se empiezan a descomponer y liberan sílice, alúmina y óxidos de fierros la sílice reacciona con la cal y se forma el silicato dicalcico (Bélita).
- 7.- Hacia 1450°C se produce la formación de la alita.
 - Enfriamiento del Clinker: Luego el Clinker tiene que ser enfriado rápidamente caso contrario puede invertirse el sentido de las reacciones de equilibrio, causando problemas en la resistencia final del concreto (Pasquel, 1998).
 - Molienda de Clinker y Yeso: En esta etapa se deberá llegar a una alta superficie específica de los granos.

El motivo de añadir yeso es el de retardar (controlar) el fraguado, ya que si solo se muele el Clinker al mezclarlo con el agua fraguaría casi inmediatamente y, no permitiría ni su manipulación ni su instalación. El yeso controla la hidratación del aluminato tricálcico (C₃A), formando etringita primaria, la porción de yeso. (Rivva, 2006).

Durante el proceso de molienda, puede añadirse algunas adiciones: escorias siderúrgicas, puzolanas naturales, cenizas volantes y piedra caliza molida. Estas adiciones consiguen que el cemento tenga propiedades especiales que da lugar a los distintos tipos de cemento definidos en la normativa peruana (Rivva, 2006).

3.1.4 Tipos de cemento

El concreto resultante depende en gran parte de la elección del tipo de cemento a elegir, ya que el cemento es su componente más activo, por lo tanto la elección del cemento tiene repercusión técnica y económica en el concreto resultante (Rivva, 2006).

Por lo tanto para asegurar la durabilidad de las obras en diversas condiciones se han desarrollado muchos cementos, pero no ha sido posible enfrentar el problema

de durabilidad desde el punto de vista solo de la composición química del cemento (Gonzales, 1998).

Para Pasquel (1998) los tipos de cemento están basados en las Norma ASTM C150 y NTP 334.009.2016, para los tipos de cementos: I, II, III, IV y V.

Tipo I.- El cemento Portland normal para uso general en todos aquellos casos en que no se requiere en el concreto las propiedades especiales especificadas para los otros tipos.

Tipo II.-Se recomienda para construcciones de concreto expuestas a moderados ataques por sulfatos, o en aquellos casos en que se requiere un moderado calor de hidratación.

Este cemento tendrá un contenido de aluminato tricálcico menor al 8% menores cambio de volumen tendencia a la exudación mayor, mayor resistencia al ataque por sulfatos y menor generación de calor, así como adecuadas resistencias tanto en las edades iniciales como en las finales.

Tipo III.-Se tiene en consideración cuando se requiere la resistencia inicial con elevado calor de hidratación se obtiene una rápida resistencia.

Tipo IV.- Se recomienda para cuando se requiere bajo calor de hidratación.

Tipo V.- Se considera en construcciones donde se requiere concreto de alta resistencia a la acción de los sulfatos, alta resistencia en compresión o baja generación de calor. Este cemento tendrá un contenido de aluminato tricálcico menor del 5%.

Según Pasquel (1998) cada tipo de cemento contiene los mismos 4 compuestos principales, pero en diferentes proporciones como lo muestra el Cuadro N° 1 siguiente. También se puede observar que la diferencia radica en el contenido de C_3S y C_3A esto es debido al reemplazo de una parte de estos compuestos por otros, como por ejemplo las adiciones minerales. Esto es debido a que la estructura puede encontrarse en un medio reactivo y para que no produzca una expansión de volumen y con ello una microfisuración, se reemplaza los compuestos mencionados.

Cuadro 1. *Composición en porcentaje de los cementos*

TIPO/COMP	C3S	C2S	C3A	C4AF	MgO	SO ₃
I	55	19	10	7	2.8	2.9
II	51	24	6	11	2.9	2.5
III	57	18	10	7	2.9	3.0
IV	28	49	4	12	1.8	1.9
V	38	43	4	9	1.9	1.8

Fuente: Díaz, 1994.

3.1.5 Composición química

La calidad del cemento depende de sus compuestos químicos. Se entiende como componentes a los minerales u óxidos aportados por la materia prima, reaccionan entre sí en el horno y forman productos más complejos, denominados compuestos primarios y secundarios (Rivva, 2006).

Las materias primas para la producción del cemento Portland, son; piedra caliza, yeso, puzolana, arcilla y óxido de hierro (Rivva, 2006).

- Óxido de silicio (SiO₂) 17% al 25% (Sílice)
- Óxido de aluminio (Al₂O₃) 3% al 8% (Alúmina)
- Óxido de hierro (Fe₂O₃) 2% al 6%
- Óxido de magnesio (MgO)..... 0.1% al 2.5%

3.1.5.1 Componentes principales

Según Rivva (2006), los principales componentes son los siguientes:

(I) La Cal (CaO)

La Cal u oxido de calcio constituye un 61 % a 67% del cemento.

El exceso de cal crea inconsistencia y desintegración del cemento después del fraguado. Un alto contenido de cal pero no lo suficiente para considerarse excesivo tiende a retardar el fraguado, pero produce una resistencia inicial alta. Muy poca cal

puede producir cementos débiles y si no fuese calcinada correctamente produce fraguado rápido.

(II) La Sílice (Si O_2):

La Sílice u óxido de Sílice forma alrededor de 17% a 25 % en el cemento. Es resistente e insoluble en agua. Un contenido alto de sílice usualmente ésta acompañado de un contenido bajo de alúmina, produce cemento de alta resistencia, de fraguado lento y mejora la resistencia contra el ataque químico.

(III) La Alúmina (Al_2O_3):

El óxido de Aluminio compone alrededor del 3% al 8% en el cemento se relaciona con la arcilla. Un alto contenido de alúmina y bajo de sílice nos da como resultado un cemento de fraguado rápido y alta resistencia.

(IV) Óxido de Fierro (Fe_2O_3):

Se encuentra en un 2.4% el cual actúa como fundente permitiendo que las combinaciones químicas indispensables para la elaboración del cemento se efectúen a temperaturas muy inferiores a aquellas que serían necesarias.

3.1.5.2 Componentes Secundarios

Para Rivva (2006), los componentes secundarios a tomarse en cuenta son:

(I) La pérdida por ignición, que es la disminución de peso de una muestra de cemento que fue calentada al rojo vivo (900°C a 1000°C) hasta obtener un peso constante. En este proceso de calentamiento se liberan anhídrido carbónico y agua. Se debe determinar la pérdida de peso de la muestra.

(II) El residuo insoluble:

Nos muestra que parte de la porción arcillosa no se ha combinado y no es soluble. Además de indicar el nivel de perfección que se da en el horno, durante la cocción.

(III) El Anhídrido Sulfúrico (SO_3) que se halla en pequeñas cantidades y se encuentra en el yeso que es agregado con el fin de retardar la fragua.

3.1.5.3 Compuestos principales

Pasquel (1998) menciona que los compuestos principales del cemento son:

Silicato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$).-También conocido como Alita. Este compuesto es el más importante de los compuestos del cemento, es el que determina la rapidez o velocidad de fraguado y la resistencia inicial del cemento (en la primera semana), contribuye a la estabilidad de volumen.

Silicato Dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$).-También conocido como Belita. La formación de este compuesto se desarrolla lentamente con un grado lento de evolución de calor. Es principalmente responsable del incremento progresivo de la resistencia, lo cual ocurre de los 14 a los 28 días y en adelante. Los cementos en los cuales la proporción forma de C_2S es alto, tiene una resistencia relativamente alta al ataque químico y también un encogimiento por secado relativamente bajo y de aquí son los más durables cementos portland.

Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$).- Libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de endurecimiento. También contribuye ligeramente a la resistencia temprana, los cementos con bajos porcentajes de este compuesto son especialmente resistentes a los suelos y aguas que contengan sulfatos. El concreto que va a quedar en contacto con suelo agua con concentraciones de sulfato moderadas debe hacerse con cemento que tenga menos de 8% de C_3A en proporción no mayor al 5%.

Ferreoaluminato Tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$).-También conocido como Celita. La presentación del ferro-aluminato es de poca importancia, pues no participa prácticamente sobre la resistencia mecánica u otras propiedades del cemento endurecido. Su presencia se debe a la necesidad de utilizar fundentes que contengan hierro en la fabricación del Clinker.

Posee gran velocidad de fraguado pero pequeño calor de hidratación.

3.1.5.4 Compuestos Secundarios

Pasquel (1998) considera que los compuestos secundarios son: óxido de Magnesio (MgO), óxido de potasio(K_2O) y el óxido de sodio(Na_2O), los cuales serían eliminados normalmente con los gases eliminados en la calcinación del cemento, se encuentran presente en el cemento en pequeñas cantidades (5%).

3.1.6 Tipo de cemento usado en la presente tesis

Ha sido el cemento de la marca “SOL” y es un cemento Portland tipo I, cuyas características químicas se muestran en el Cuadro N° 2.

Cuadro 2. *Análisis químico del cemento portland tipo I*

PROPIEDADES QUÍMICAS	VALORES DE ENSAYO (%)	LÍMITES ASTM
SiO ₂	20.18	
Al ₂ O ₃	6.12	
Fe ₂ O ₃	2.86	
CaO	62.93	
MgO	3.05	Max 5.0
SO ₃	2.64	Max 3.0
K ₂ O	0.96	
Na ₂ O	0.29	
Pérdida por ignición	0.82	Max 3.0
Cal Libre	0.30	
Residuo insoluble	0.70	Max 0.75
Compuesto de Bogue		
C ₃ S	30 – 60	
C ₂ S	15 .- 37	
C ₃ A	7 – 15	
C ₄ AF	8 - 10	

Fuente: Sánchez , 2001.

3.1.7 Hidratación del cemento

Según Rivva (2005) cuando se mezcla el cemento Portland con agua los silicatos y aluminatos se hidratan dando lugar a una “pasta mineral” coloidal de nombre silicato tricálcico hidratado o tobermorita.

Dado que los dos silicatos cálcicos se diferencian por su contenido de cal, resultan distintas las fórmulas de su reacción con el agua.

- Para C_3S : $2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \sim 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$
- Para C_2S : $2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \sim 3CaO_2SiO_2.3HO + Ca(OH)_2$
- Para C_3A : $3CaO.Al_2O_3 + 3(CaO.SO_3.2H_2O) + 26H_2O \sim 6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32H_2O$

Pocos minutos después de mezclado, el agua se satura de hidróxido de calcio y el silicato tricálcico va pasando a la solución, dentro de la cual se disgrega rápidamente, la tobermorita se va separando en forma de gel, mientras que el hidróxido de calcio que permanece libre cristaliza gradualmente en la propia solución.

Además, los aluminatos que habían pasado a la solución son precipitados por la acción del yeso, que en esta forma constituye el sulfoaluminato de calcio o etringita. Este proceso junto con la formación del gel motiva un endurecimiento rápido de la masa que pasa de un estado plástico a otro rígido, a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual (Pasquel, 1998).

Rivvas (2006) afirma que el principio de la hidratación está generado por reacciones químicas, pero que posteriormente, al generarse la capa de gel, la difusión (crecimiento en el hidróxido de calcio) es el proceso que más participa en la hidratación apretándose las partículas entre sí por interposición de cristales y coagulación, con desprendimiento de calor.

Los silicatos hidratados o tobermorita se forman en gel y el hidróxido de calcio se cristaliza conforme pasan los días. A medida que pasa el tiempo van apretando entre sí (Rivva, 2006).

Durante el fraguado, la pasta pierde su plasticidad ocurriendo cambios de volumen llegando a adquirir algo de rigidez, mientras que el endurecimiento de la pasta se caracteriza por la ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada (Rivva, 2006).

3.1.8 Características físicas del cemento

Para Pasquel (1998) la mayor parte de las especificaciones para el cemento Portland limitan la composición química y algunas propiedades físicas.

El conocimiento del significado de algunas de estas propiedades es provechoso para interpretar los resultados de las pruebas de cemento.

3.1.8.1. Peso específico

Las normas norteamericanas consideran que para el cemento Portland tipo I el peso específico tiene un promedio de 3.15. El peso específico de un cemento no indica la calidad del mismo y su uso, pero si lo es para la selección de las proporciones de la mezcla. (Rivva, 2006).

El peso específico para el cemento Portland tipo I marca "SOL" es de 3.15 gr/cm³

3.1.8.2. Superficie específica

Según Rivva (2006) la superficie específica del cemento lo determina su fineza. La fineza del cemento debe estar dentro de sus límites caso contrario si es muy fino las partículas se pueden prehidratar. La superficie específica para el cemento Portland tipo I, marca "SOL" es de 3361 cm²/gr (Rivva, 2006).

3.1.8.3 Consistencia normal

La prueba de consistencia normal permite conocer la cantidad de agua que es necesaria agregar a un peso de cemento para obtener una consistencia normal (Rivva, 2006).

El agua necesaria para obtener la consistencia normal para el cemento Portland tipo I marca "SOL" es de 22.5%.

3.1.8.4 Tiempo de fraguado

Según Rivva (2005) el término fraguado se refiere al cambio del estado fluido al estado sólido. En el transcurso de este tiempo se pueden encontrar dos fases: Fragua Inicial y Fragua Final. La pasta de cemento ha fraguado cuando logra una rigidez suficiente como para soportar una presión ejercida por las agujas pertenecientes a los aparatos de Gilmore y Vicat.

Fraguado del cemento:

Tiempo de fraguado inicial 127 minutos y tiempo de fraguado final 305 min.

Fraguado Vicat de acuerdo a ASTM C 187 y NTP 334.009.

3.1.8.5 Contenido de aire

Según Rivva (2005) la presencia de cantidades excesivas de aire en el cemento puede ser un factor que contribuya a reducir la resistencia del concreto.

Para el cemento "SOL" tipo I el contenido de aire es de 6.62%. De acuerdo a la NTP 334.048.

3.1.8.6 Calor de hidratación

Según Rivva (2006) el calor de hidratación depende principalmente de la composición química, de la fineza del cemento y el agua, se puede definir al calor de hidratación como la cantidad de calor, expresada en calorías (cal) por gramo de cemento no hidratado, desarrollada por hidratación completa a una temperatura determinada.

Para Gonzales (1998) en condiciones normales el calor de hidratación de los cementos es de 85 a 100cal/gr y el calor se disipa rápidamente por radiación, siendo los cambios de temperatura dentro de la estructura relativamente pequeño, pero en concreto de grandes masas, la poca conductividad térmica de este material impide la rápida radiación, llegando a alcanzar la masa del concreto a elevadas temperaturas.

Para el cemento Portland tipo I marca "SOL" el calor de hidratación es: a los 7 días de 70.60 cal/gr y a los 28 días es de 84.30 cal/gr. De acuerdo a la NTP 334.064.

3.1.8.7 Resistencia a la compresión

Para Rivva (2005) es la habilidad que tiene el cemento de soportar cargas después de haber fraguado.

La resistencia inicial, se hace mayor conforme se incrementa el contenido de Silicato Tricálcico (C_3S), las resistencias después de los 7 días son fundamentalmente debidas al contenido de Silicato Dicálcico (C_2S).

3.1.8.8 Estabilidad de volumen

Según Rivva (2005) estabilidad de volumen de un cemento, se define como la capacidad del cemento para mantener un volumen constante una vez fraguado, un cemento es poco estable cuando tiende a sufrir un proceso de expansión lento y por un largo periodo, el efecto de un cemento poco estable puede no ser apreciado

durante meses, pero a la larga es capaz de originar fuertes agrietamientos en el concreto.

Según Pasquel (1998) cuando el cemento Portland se hidrata con agua puede generar tensiones locales apreciables dentro del mortero de cemento que ésta endureciendo, debido a las presiones de cristalización ejercidas por la formación de hidratos.

Para la determinación de esta propiedad usamos el ensayo de Autoclave según NTP 334.004 que permite obtener las variaciones volumétricas.

Este ensayo se basa en los cambios volumétricos por la presencia de agentes expansivos (Cachay, 1995).

Para el cemento Portland tipo I marca “SOL” la estabilidad de volumen es de 0.08%.

En el Cuadro N° 3 se detallan las especificaciones técnicas del cemento Portland tipo I.

Cuadro 3. Especificaciones técnicas del cemento portland tipo I “sol”

PROPIEDADES FISICAS	UNIDAD	VALOR DE ENSAYO	LIMITES ASTM
Peso específico	Gr./cm ³ .	3.12	
Superficie específica	cm ² /gr	3361	Min 2600
Consistencia normal	%	22.15	
Fragua inicial	Min	127	Min 45
Fragua final	Min	305	Max 375
Contenido de aire	%	6.62	Max 12
Calor de hidratación			
07 días	Cal/gr	70.60	
Resistencia a la compresión			
03 días	kg/cm ²	296	Min 122
07 días	kg/cm ²	357	Min 194
28 días	kg/cm ²	427	Min 280
Estabilidad de volumen	%	0.08	Max 0.8

Fuente: Rivva, 2005.

3.1.9 Influencia de la composición del Clinker

Pasquel (1998) afirma que la calidad del Clinker es importante en el comportamiento del cemento. El Clinker, por provenir de diferentes materias primas, tiene diferentes contenidos de silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico, ferro aluminato y tetracálcico, que son los que le dan particulares características a los diferentes tipos de cemento.

3.1.10 El cemento y la durabilidad de la estructura

Para Gonzales (1998) no resulta fácil predecir el tiempo que pueden durar las estructuras, a pesar de las iniciativas de algunos reglamentos de construcción (como el Euro-código) que establecen periodos de utilización prescritos entre 10 y 100 años para diferentes categorías de vida útil y que están según ciertos tipos de estructuras. Asimismo, a pesar de la existencia de métodos predictivos cada vez más refinados para estimar la vida útil de las estructuras a partir de la calidad del concreto, del tipo de acero, de las condiciones de servicio a que estarán sometidas, entre otras variables resulta impredecible la durabilidad de las mismas.

Gonzales (1998) afirma que los factores que afectan la durabilidad en un concreto por acción del cemento son:

- **Reacción a los sulfatos:** Los hidratos químicamente vulnerables en el mortero de cemento portland son $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y los hidratos de aluminato de calcio, sobre todo los últimos reaccionan fácilmente con iones de sulfato que pueden penetrar en el material, que resulta en la formación de etringita que puede causar una expansión que además puede resultar en una desintegración gradual del concreto. Por esta razón, los cementos para uso en hormigones que están expuestos al agua de mar o agua residual y agua subterránea que contiene sulfatos, debe tener bajos contenidos de C_3A .
- **Reacciones entre álcalis y agregados:** Ciertos agregados que contienen silicio y carbonatos reactivos pueden reaccionar con álcalis presentes en el cemento y formar productos expansivos que pueden contribuir a la desintegración del concreto. En esos casos el uso de cemento con bajo contenido de álcalis puede ser especificado. Cementos con un contenido de álcalis expresado como equivalente de Na_2O por debajo del 0.6% normalmente son considerados como bajos en álcalis.

3.1.11 Selección del cemento apropiado

Para Gonzales (1998) en cuanto a la selección del concreto en estructuras aéreas es el ingeniero quien deberá decidir sobre el tipo de cemento considerando su ubicación, las condiciones del microclima y la experiencia con estructuras vecinas.

3.1.12 Almacenamiento del cemento

También Gonzales (1998) dice que a el cemento en lo posible se le deberá mantener alejado de la humedad, así sus cualidades para los cuales ha sido diseñado permanecerán más tiempo.

3.2 AGUA

La relación agua cemento es el factor más importante en la protección de las armaduras, gobierna el volumen de vacíos capilares y su interrelación en el interior del concreto, siendo este el vínculo para la penetración de las sales agresivas. Se ha establecido que el mínimo de vacíos se obtiene con relaciones $(a/c) = 0.37$ (Gonzales, 1998).

3.2.1 Definición

El agua es el elemento indispensable para el proceso de hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, razón por la cual es preciso conocer su calidad y procedencia a fin de evitar efectos negativos en el concreto, producto de la presencia de ciertas sustancias nocivas para éste tales como sales, sulfatos, materia orgánica, etc., presentes en porcentajes mayores de los límites permisibles (Pasquel, 1998).

Según Rivva (2006) el agua tiene tres funciones principales en el cemento:

- a. -Reaccionar con el cemento para hidratarlo y formar gel.
- b.- De acuerdo a la cantidad de agua se da la trabajabilidad de la mezcla de concreto actuando como un lubricante.
- c. -Procurar la estructura de vacíos necesarios en la pasta para que el producto de hidratación tenga espacios para desarrollarse los cristales (silicatos de calcio hidratados).

3.2.2 Requisitos de calidad del agua

El agua potable es la indicada para la fabricación del concreto y curado. Esta agua deberá ser libre de colorantes, cristalina, que no contenga aceites ni azúcares, ni

sales, caso contrario tanto el fraguado como el concreto resultante se verán afectados y por consiguiente las armaduras que se hallan dentro del concreto.

Según Gonzales (1998) el uso de agua de mar (previa autorización del ingeniero proyectista) nos dará como resultado una aceleración en el fraguado y reducción en la resistencia en el concreto resultante debido al alto contenido de sales se producirán eflorescencias y manchas.

Adicionalmente Gonzales (1998) afirma que el agua de mar no debe usarse en:

- 1.-Concretos a usarse en lugares de climas cálidos.
- 2.-Concretos con una resistencia mayor a 175kg/cm^2 .
- 3.-Concretos preesforzados.
- 4.-Concreto armado.

A continuación, en el Cuadro N° 4 se ubican los límites permisibles fijados para el uso del agua en la mezcla de concreto por la Norma Peruana 339.088.

Cuadro 4. Límites permisibles para el agua de mezcla.

Sólidos en suspensión	(ppm)	500	Max
Materia orgánica	(ppm)	3	Max
Alcalinidad	(ppm)	1000	Max
Sulfato	(ppm)	600	Max
Cloruros	(ppm)	1000	Max
PH	(ppm)	5 a 8	Max

Fuente: Rivva, 2006.

Rivva (2006) detalla lo siguiente:

- El contenido máximo de la materia orgánica, expresada en oxígeno consumido será de 3mg/l por millón). Según NTP 339.071.
- El contenido de residuo soluble o sólido en suspensión, no será mayor de 5000ppm . Según NTP 339.071.
- El potencial de hidrogeno (PH) estará comprendido entre 5.5 y 8.0. Según NTP 339.072.
- Según NTP 339.074 el ion sulfato deberá ser menor a 600ppm .
- En la NTP 339.076 se define que el ion cloruro será menor a 1000ppm

- La alcalinidad total que se expresa como NaHCO_3 no deberá exceder a 1000ppm.
- En la NTP 339.076 la cantidad el ion férrico no pasara de 1ppm.

3.2.3 Componentes perjudiciales para el agua

Los efectos más perniciosos se describen en el siguiente Cuadro N° 5 a continuación:

Cuadro 5. Componentes en el agua y sus efectos

Componentes del agua en la mezcla	Efectos
<ul style="list-style-type: none"> • Impurezas sólidas, en concentraciones mayores a 2000ppm. 	Pueden afectar el tiempo de fraguado, la resistencia, la adherencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Impurezas orgánicas (aguas negras, verdes, café). 	Pueden afectar considerablemente el tiempo de fraguado y la resistencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Aguas de mar, aguas cloruradas. 	Corrosión del acero de refuerzo. Eflorescencia y humedad en superficies expuestas al aire y al agua.
<ul style="list-style-type: none"> • Carbonato de sodio 	Fraguado muy rápido, puede reducir la resistencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Bicarbonatos 	Pueden acelerar o retardar el fraguado, pueden reducir la resistencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfatos 	Posibles reacciones expansivas y deterioros por reacción baja resistencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Sales de estaño, zinc, cobre, plomo y magnesio. 	Pueden provocar reducción considerable de la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado, eflorescencia, corrosión de acero.
<p>Yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio</p>	Sales especialmente retardantes.

-
- | | |
|--|---------------------------------------|
| • Aguas acidas de minas, en concentraciones mayores a 10000 ppm. | Pueden ocasionar problemas de manejo. |
| • Aguas alcalinas hidróxido de sodio o de potasio. | Pueden reducir la resistencia. |
-

Fuente: Rivva,2006.

Para Gonzales (1998) el agua de mar puede modificar las características físicas de los materiales, igualmente puede modificar las propiedades mecánicas del concreto como por ejemplo en los resultados de resistencia a compresión y también cuando modificamos la relación agua cemento.

En el presente estudio de tesis se utilizó el agua potable. Se usó el agua potable del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-UNI).

3.3 AGREGADOS

INACAL (2020) señala que las características de los agregados deben cumplir con las especificaciones dadas en la NTP 400.037.

3.3.1 Definición

Para Pasquel (1998) los agregados son elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar una estructura resistente.

Los límites y dimensiones los encontramos en las normas: NTP 400.011 y NTP 400.037.

Según Neville (2013) las 3/4 partes del concreto corresponde a los agregados, luego entonces tienen importancia en el resultado de la mezcla, por lo tanto, es de vital importancia estudiar la forma de los agregados y su composición química.

3.3.2 Características físicas y químicas

Pasquel (1998) afirma que el análisis granulométrico es la forma del agregado (volumen) expresada en números. La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado, se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer

pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor, estos tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así por ejemplo la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz este en relación 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz.

Según lo establecido en la norma NTP 400.011, señala que para determinar la gradación del agregado grueso sería aquel que pasa desde la malla 4" hasta la malla 3/8".

Según lo establecido en la norma NTP 400.011, la granulometría del agregado fino, correspondería a aquel que pasa la malla 3/8" y que no pasa malla N° 200, en la gradación de los agregados finos se usan los tamices: N°4, 8, 16, 30, 50 y 100, la granulometría resultante tendrá que ser preferentemente continua, caso contrario el concreto resultante no será el esperado.

Para Pasquel (1998) las arenas muy finas dan como resultado frecuentemente mezclas muy costosas, por otro lado las arenas gruesas producen un concreto poco manejable y áspero.

Según lo establecido en la NTP 400.012, se halla el procedimiento para su distribución obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices, con ello se calcula la masa retenida y/o que pasa los porcentajes parciales y acumulados.

Se recomienda que el agregado no deba retener más del 45% en dos tamices consecutivos. Las variaciones en la gradación pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra (Rivva, 2005).

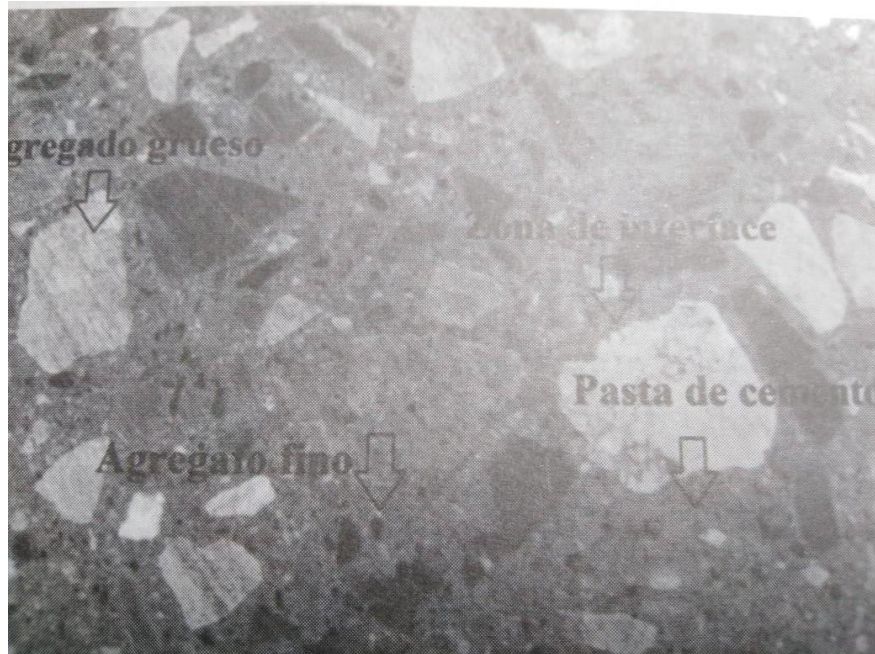
Para Cachay (1995) debido al porcentaje que ocupan los agregados en el concreto es de vital importancia su estudio, considerándose los siguientes aspectos:

a.-Los agregados deben estar limpios, las partículas deben de estar de acuerdo a los límites establecidos y deben ser de volúmenes constantes y durables.

Los agregados presentan un efecto sobre la trabajabilidad y la densidad del concreto fresco, así como sobre el módulo de elasticidad, el coeficiente de dilatación térmica, la estabilidad volumétrica y la abrasión del concreto endurecido. Para el caso del concreto convencional cuando se realiza el ensayo de resistencia a la compresión es la resistencia de los agregados que prevalece y origina que la ruptura del concreto sea a través de la pasta que rodea a los agregados.

En la Imagen N° 4 se presenta una sección cortada de concreto, donde se aprecia que cada partícula de agregado fino y grueso está rodeada de pasta hidratada de cemento, que a su vez llena los espacios existentes entre dichos agregados.

Imagen 4. Localización de la pasta de cemento hidratada



Fuente: ACI, 2018.

b.- Los constituyentes de los agregados son partículas minerales como la arenisca, el granito, el basalto, el cuarzo o combinaciones de ellos, sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

c.- El manejo de los agregados (transporte, manipulación, almacenamiento y dosificación) será de manera tal de garantizar que:

- Se mantenga la uniformidad del agregado.
- No se produzca contaminación con sustancias extrañas.
- No se produzca rotura o segregación importante en ellos.
- La pérdida de finos será mínima.

d. El agregado que se usa en el concreto es expuesto a humedad relativa mayores a 85% y se forma un gel y se expande manifestándose en agrietamientos, movimientos diferenciales y una disminución drástica de la durabilidad del concreto

que sean potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, debido a la reactividad álcali agregado que corresponde a las reacciones químicas producidas entre los hidróxidos alcalinos presentes en la solución intersticial del concreto y ciertas fases minerales presentes en los agregados como la sílice reactiva o los carbonatos.

La reactividad álcali-sílice se produce cuando interaccionan los agregados que contienen minerales silicatados potencialmente reactivos con los álcalis del cemento.

e.- El porcentaje de sales solubles en la piedra chancada y arena gruesa no debe exceder el 0.04%.

f. -En lo posible no usar agregado de origen marino, sin embargo si se llegara a usar previa autorización del ingeniero responsable antes de la preparación del concreto el agregado se lavará con agua potable.

En la mezcla de concreto el agregado fino no excederá los siguientes límites:

- Límites de arcilla y partículas desmenuzables..... 3%
- Materiales más finos que pasa la malla N° 200:
 - a.- Concreto sujeto a abrasión..... 3%
 - b.- Otros concretos..... 5%

Para Pasquel (1998) la granulometría de los agregados indica la distribución volumétrica. Las características físicas más importantes de los agregados son las que están referidas a su densidad, resistencia y porosidad. Estos valores deben estar dentro de los valores dados por las normas.

3.3.3 Agregado fino

3.3.3.1 Definición

Para Pasquel (1998) El agregado fino o la arena gruesa, es aquella que queda retenida en la malla N°200 y pasa el tamiz 3/8".

A continuación, se describen los procedimientos y resultados de los ensayos realizados al agregado fino en el Laboratorio de Ensayo de Materiales en la UNI-FIC.

3.3.3.2 Peso unitario del agregado fino

Las unidades de este ensayo se expresan en kg/m³.

INACAL (2020) define el peso unitario como la masa por unidad de volumen y se clasifica en peso unitario suelto y compactado.

El procedimiento según el ensayo descrito en la NTP 400.017 es el siguiente:

"EFECTOS FÍSICO-MECÁNICOS EN EL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I POR ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO"

- a) Disponer de la cantidad de agregado de acuerdo con la NTP 400.010.
- b) Reducir a la cantidad de muestra para el ensayo según la NTP 400.043.
- c) Secar la muestra a peso constante a una temperatura de 110°C aprox.

Para hallar el peso unitario compactado se emplea el método apisonado si TMN es menor o igual a 1 ½", el procedimiento del ensayo por este método es el siguiente:

- a) Depositar la muestra del agregado en el recipiente cada tercio del mismo, siendo 3 capas en total. Por cada capa, compactar con 25 golpes con la varilla de apisonado sin golpear el fondo del recipiente en la primera capa, ni afectar la capa previa en el caso de la segunda y tercera capa.
- b) Enrasar el material y registrar la masa del recipiente junto con la muestra.
- c) Registrar la masa del recipiente vacío.
- d) Determinar el peso unitario compactado.

Para realizar el ensayo usamos un balde metálico (1/10 de p³), esté balde no debe estar húmedo, el balde lo pesamos, luego le agregamos agua y obtenemos el volumen del balde.

Procedemos a llenar el balde con el agregado en tres capas, cada capa se compacta con una varilla, esta varilla tiene una longitud de 60 cm y un diámetro de 5/8".

Una vez el balde lleno y enrasado procedemos a pesarlo.

PESO UNITARIO SUELTO (INACAL, 2021) es el siguiente:

- a) Depositar la muestra del agregado hasta rebosar a una altura no mayor de los 5 cm del borde superior del recipiente.
- b) Enrasar el material y registrar la masa del recipiente junto con la muestra.
- c) Registrar la masa del recipiente.
- d) Determinar el peso unitario suelto.

INACAL (2021) aclara que el término peso unitario es obsoleto y que, en su lugar, se emplea el término densidad aparente del agregado.

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

En este ensayo el balde se llena al ras sin ejercer presión.

Luego el balde lleno con el material lo llevamos a pesar, posteriormente procedemos como en el caso del ensayo anterior (peso unitario compactado).

A continuación en el Cuadro N° 6 se dan los resultados de los ensayos realizados para la determinación de dichos pesos unitarios.

Cuadro 6. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

DESCRIPCION	UND	PESO			SUJELT			COMP.		
		Muestra			Muestra			Muestra		
		N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 3	N° 4			
W Muestra+tara	kg	5.8490	5.8412	5.8500	6.4934	6.4613	6.5214			
W Tara	kg	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772			
W Muestra(1-2)	kg	4.2718	4.2640	4.2728	4.9162	4.8841	4.9442			
Volumen de La tara	m ³	0.0028	0.00284	0.0028	0.0028	0.00284	0.0028			
Peso Unitario (3/4)	Kg/m ³	1505.6	1502.86	1505.9	1732.7	1721.41	1742.6			
Promedio			1504.81			1732.25				

Fuente: elaboración propia.

3.3.3.3 Peso específico del agregado fino

Según INACAL (2021) en la NTP 400.022 indica que el peso específico es también llamado densidad relativa, el cual es 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.

INACAL (2002) en la NTP 400.021 establece las siguientes definiciones

- a) Peso específico de masa superficialmente seco (SSS).-Es la relación entre la masa en el aire del agregado con volumen unitario, el cual incluye 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.
- b) Peso específico de masa.- Es la relación entre la masa en el aire del agregado con volumen unitario, el cual incluye poros permeables e impermeables en las partículas y la masa en el aire de idéntico volumen de agua destilada sin gas.

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

El procedimiento del ensayo descrito en la NTP 400.022 señala que se puede emplear el método gravimétrico o volumétrico, en la presente tesis se usó el método gravimétrico de la siguiente manera:

- 1° Disponer la cantidad de agregado de acuerdo a la NTP 400.010.
- 2° Reducir la cantidad de muestra para el ensayo según NTP 400.043.
- 3° Remojar la muestra por 24 horas.
- 4° Retirar el exceso de agua y extender la muestra sobre una superficie plana.
- 5° Verificar si la muestra está saturada superficialmente seca.
- 6° En el picnómetro con agua introducir aprox. 500 gr de la muestra SSS.
- 7° Esta mezcla vaciarla a un recipiente y colocarlo al horno a 110°C luego enfriar.
- 8° Registrar la masa de la muestra seca al horno y determinar el peso específico.

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

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

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

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

El método a emplearse de la siguiente manera:

En este ensayo se pesa 3 kg aproximadamente de la muestra. A continuación se remoja durante 24 horas el material luego se saca (escurrir) el agua y se esparce sobre un papel hasta llegar al estado saturado superficialmente seco (S.S.S.).

Para comprobar si ya llegó al estado S.S.S. se llena un molde metálico Tronco-cónico para luego apisonarlo con 25 golpes. Si al levantar a este la muestra se desmorona, es que ha llegado al estado de saturado superficialmente seco; en caso contrario se sigue esperando a que llegue a dicho estado.

En seguida se llena un balón con agua hasta cubrir 250cm³, se pesa 500 gramos de la arena S.S.S. y se echa en el balón, determinando su volumen por el

desplazamiento del agua. Se escurre el agua del balón y se mete a este en el horno, determinando el peso de la muestra luego de sacarlo del horno.

3.3.3.4 Porcentaje de absorción del agregado fino

INACAL (2021) define la absorción como el crecimiento de la masa del agregado a causa de la inserción del agua en los poros permeables de las partículas, sin incluir el agua adherida en la superficie exterior de partículas.

Neville (2013) dice que la absorción representa el agua contenida del agregado saturado superficialmente seco.

Este resultado lo expresamos en porcentaje, según INACAL (2021):

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

A continuación en el Cuadro N° 7 se anotan el peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino (arena).

Cuadro 7. *Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino*

DESCRIPCION	UND	MUESTRA: ARENA		
		N° 1	N° 2	N° 3
W muestra SSS+W Balón+W agua	Gramos	951.00	952.20	944.80
W Balón	Gramos	142.00	142.00	142.00
W agua	Gramos	309.00	310.20	302.80
W de la muestra seca	Gramos	489.70	489.90	491.80
Volumen del Balón	Cm3	500.00	500.00	500.00
P.E. de masa	g/cm3	2.56	2.58	2.49
P.E. SSS	g/cm3	2.62	2.63	2.54
P.E. Aparente	g/cm3	2.71	2.73	2.60
% de Absorción	%	2.10	2.06	1.67
Promedio P.E de masa	g/cm3		2.55	
Promedio P.E.SSS	g/cm3		2.60	
Promedio P.E. Aparente	g/cm3		2.680000	
Promedio % de Absorción	%		1.94	

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.5 Contenido de humedad del agregado fino

Pasquel (1998) dice que el contenido de humedad es como el agua superficial que se encuentra retenida por las partículas del agregado en un determinado momento.

El contenido de humedad es importante porque influye en la resistencia final del concreto, aportando agua a la mezcla hace variar la relación agua cemento (Cachay, 1995).

El procedimiento descrito en la NTP 339.185 señala lo siguiente:

- Dispones de la cantidad de agregado de acuerdo con la NTP 400.010.
- Seleccionar el tamaño de la muestra del material de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado y determinar su masa.
- Colocar la muestra en un recipiente y elegir la fuente de calor. De ser elegido el horno, colocarlo por 24 horas a una temperatura de 110°C.
- Retirar el material del horno y dejarlo enfriar para luego registrar la masa de la muestra seca al horno.
- Calcular el contenido de humedad del agregado (INACAL, 2021):

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

Realizamos tres ensayos de contenido de humedad para la arena gruesa, obteniendo como resultado el promedio de los tres ensayos.

Seguidamente los resultados obtenidos del contenido de humedad del agregado fino en el Cuadro N° 8.

Cuadro 8. Contenido de humedad del agregado fino

DESCRIPCION	UND	AGREGADO MUESTRA			FINO
		N° 1	N° 2	N° 3	
W muestra saturado	gr	500.00	500.00	500.00	
W Muestra seca	gr	481.90	481.30	481.60	
W de agua	gr	18.10	18.70	18.40	
Contenido de humedad	%	3.76	3.89	3.82	
Promedio contenido de humedad	%		3.82		

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.6 Granulometría del agregado fino

Según INACAL (2020) en la NTP 400.011 la granulometría es la representación de la distribución de los tamaños de las partículas que conforma el agregado. Se realiza la técnica del tamizado, esta técnica nos brinda las masas parcializadas retenidas del agregado en cada tamiz. En la representación gráfica de estos datos obtenemos una curva granulométrica en el eje de las abscisas van los logaritmos de las aberturas de los tamices y en el eje de las ordenadas los porcentajes que pasan o los retenidos acumulados.

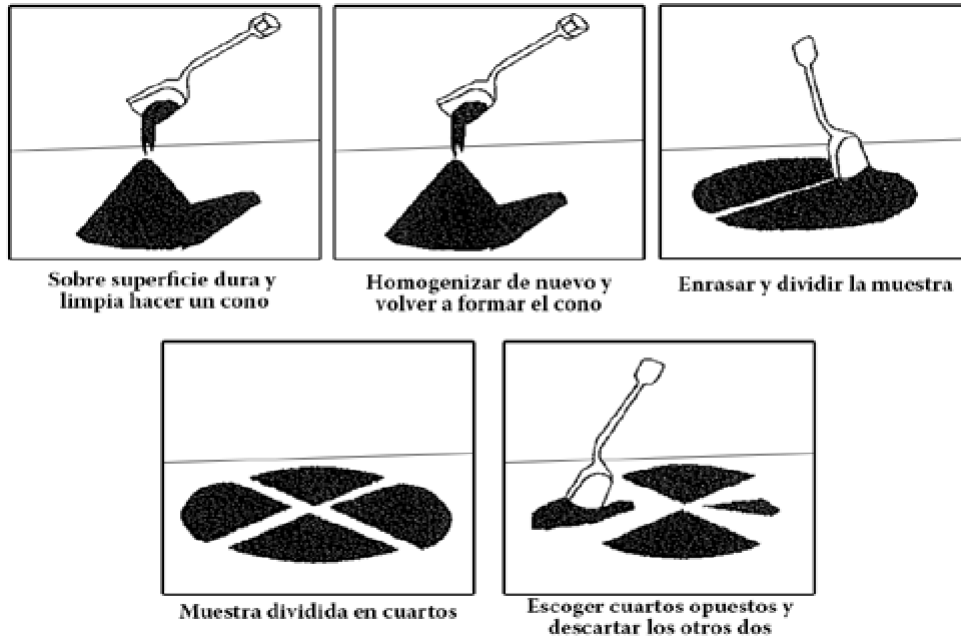
El agregado que tiene forma equidimensional requiere menos agua y se acomoda mejor (Cachay, 1995).

Para hallar la gradación de la arena gruesa se usan los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 (INACAL, 2020).

El lubricante de la piedra chancada es el agregado fino, facilitando la colocación y manipulación (Cachay, 1995).

Con la finalidad de hallar una representación (granulometría) del agregado en mención se realiza el método del cuarteo, como se muestra en la Imagen N° 5.

Imagen 5. Representación Método del Cuarteo



Fuente: ACI, 2018.

El procedimiento del ensayo para el análisis granulométrico se halla descrito en la NTP 400.12, a continuación:

- 1° Disponer de la cantidad de agregado de acuerdo con la NTP 400.010.
- 2° Reducir a la cantidad de muestra para el ensayo según la NTP 400.043.
- 3° Secar la muestra a peso constante a una temperatura de 110°C.
- 4° Los tamices serán ubicados en orden decreciente al tamaño de las aberturas.
- 5° Pesar la muestra seca a utilizar (500gr).
- 6° Colocar la muestra sobre el tamiz superior de la serie de tamices.
- 7° Encender el sacudidor mecánico de tamices por un período de 3 min.
- 8° Registrar los pesos retenidos de la muestra en cada tamiz.

En la máquina de zarandeo se procede a colocar los tamices ordenados en forma descendente en función a la abertura de las mallas, en esta máquina de zarandeo se coloca 500 gramos de material, posteriormente se procede a zarandear el material, luego separando las zarandas se pesa el material que se halla en cada una de ellas. No debe discrepar el peso inicial total con respecto al peso de los resultantes en cada zaranda en más del 1%. En el Cuadro N° 9 se muestran los límites granulométricos para el agregado fino.

Cuadro 9. *Requisitos Granulométricos del Agregado Fino*

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
9.5mm (3/8 pulg)	100
4.75mm (N°4)	95 a 100
2.36mm (N°8)	80 a 100
1.18mm (N°16)	50 a 85
0.60mm (N° 30)	25 a 60
0.30mm (N° 50)	5 a 30
0.15mm (N°100)	0 a 10

Fuente: Rivva, 2006.

A continuación, el Cuadro N° 10 muestra los resultados del análisis granulométrico del agregado fino, estos resultados son obtenidos del promedio de tres ensayos, cada ensayo se trabajó con una muestra de 500gr.

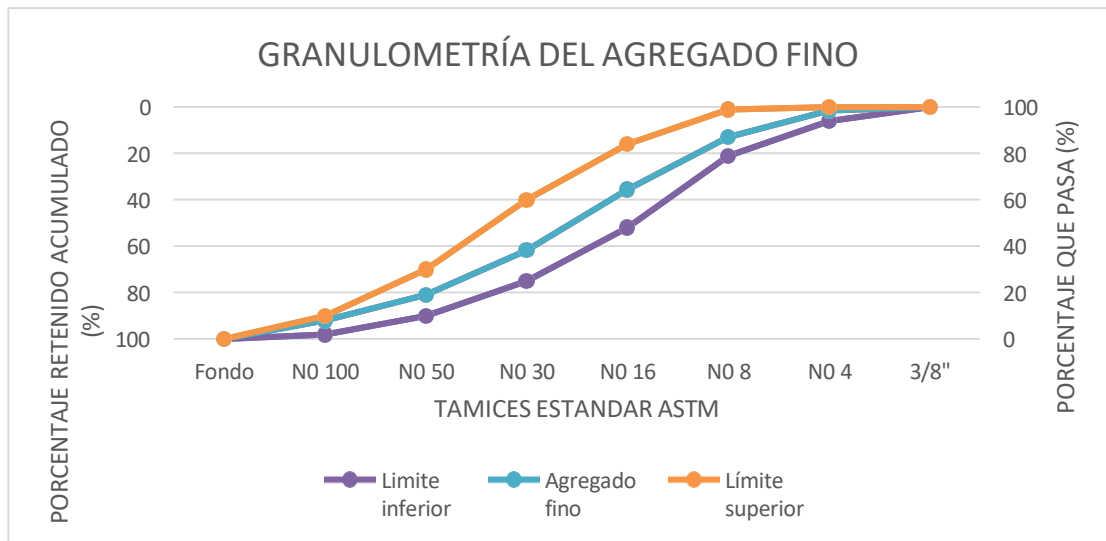
Cuadro 10. Granulometría del agregado fino.

MALLA	PESO		MUEST		RET.		
	N°1	N°2	N°3	(gr)	%	%RET.	%ACUM
				(gr)	RET	ACUM	QUE PASA
3/8"	00.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	100.00
N°4	6.68	8.97	6.90	22.5	1.50	1.50	98.50
N°8	58.40	58.31	54.81	171.5	11.43	12.94	87.06
N°16	112.32	111.21	114.62	338.1	22.54	35.48	64.52
N°30	134.94	129.87	128.93	393.7	26.25	61.73	38.27
N°50	96.47	92.56	99.32	288.3	19.22	80.95	19.05
N°100	53.12	57.49	53.81	164.2	10.96	91.92	8.08
FONDO	38.07	41.59	41.61	121.3	8.08	100.00	00.00
TOTAL	500.00	500.00	500.00	1500.0			2.85
					100.00	MF=	

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico N° 1 se observa la curva dentro de los límites granulométricos.

Gráfico 1. Granulometría del agregado fino



Fuente: elaboración propia.

3.3.3.7 Módulo de finura

En el año 1925 fue establecido este concepto por Duf Abrams y viene a ser un índice aproximado del tamaño medio de las partículas de los agregados (Rivva, 2006).

INACAL (2021) establece en la NTP 400.012 que el módulo de finura se define como un factor empírico obtenido por la suma dividida por cien de los porcentajes retenidos acumulados de los siguientes tamices: N°100, °50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3 / 8", 3 / 4", 1 1/2".

Para el agregado fino se considera desde el tamiz de 3 / 8" hasta la malla 100.

El criterio del módulo de finura lo aplicamos tanto a la piedra como a la arena.

En el Cuadro N° 10 el módulo de finura para el agredo fino fue de 2.85.

3.3.4 Agregado grueso

3.3.4.1 Definición

Es el agregado obtenido por trituración artificial o mecánica de la roca (Pasquel, 1998). Es el que se halla retenido en el tamiz N°4, establecido en la NORMA ITINTEC 400.011.

A continuación, se describen los procedimientos y resultados de los ensayos realizados al agregado grueso en el Laboratorio de Ensayo de Materiales en la UNIFIC.

3.3.4.2 Peso unitario del agregado grueso

En este caso usamos un balde con una capacidad de 1/3 pie cubico, procedemos en forma similar al del agregado fino de la forma siguiente:

- (I) Secar la muestra a peso constante a una temperatura de 110°C aprox.
- (II) Reducir la cantidad de la muestra a tamaño de ensayo de conformidad con la NTP 400.043.
- (III) Elegir la capacidad de recipiente, para el agregado grueso de TMN 1", será $1/3p^3$.
- (IV) Seleccionar el procedimiento de compactación: apisonado o percusión. Consiste en llenar el recipiente en tres capas, la caída del material es aproximadamente de 10cm para agregado grueso por encima del borde del recipiente, cada una de estas capas estará apisonada con 25 golpes de una varilla lisa de 2 pies de longitud y de diámetro 5 / 8" con una punta roma.

(V) Nivelar y compactar la superficie del agregado con la varilla hasta enrasar de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Para mejor compactación, después de cada capa se dan tres golpes con el martillo de caucho en cada uno de los cuadrantes.

(VI) Finalmente pesar el material.

A continuación, en el Cuadro N°11 los resultados del Peso unitario suelto y compactado para el agregado grueso:

Cuadro 11. *Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso*

DESCRIP	UND	PESO N° 1	UNIT. Muestra N° 2	SUELT N° 3	PESO N° 1	UNIT Muestra N° 2	COMP N° 3
W		5.2017	5.2442	5.2489	5.8565	6.0305	5.9952
Muestra+tara	kg						
W							
tara	kg	1.5775	1.5772	1.5773	1.5772	1.5772	1.5772
W							
Muestra(1-2)	Kg	3.6245	3.6670	3.6717	4.2793	4.453	4.4180
Volumen de							
la tara	m ³	0.0028	0.00284	0.0028	0.0028	0.00284	0.0028 4
Peso							
Unitario(3/4)	Kg/m ³	1277.4	1292.44	1294.1	1508.2	1569.58	1557.1 4
promedio			1288.00			1544.99	
	Kg/m ³						

Fuente: elaboración propia.

3.3.4.3 Peso específico del agregado grueso

INACAL (2021) El procedimiento consiste en pasar 6kg de material (piedra chancada) por la malla N°4, se hace con la finalidad de eliminar impurezas, luego las piedras son sumergidas en agua por un lapsus de un día (24 horas), estas piedras saturadas son secadas obteniendo el estado saturado superficialmente seco (S.S.S.) de la muestra resultante se pesa 5 kg.

Estos 5 kg son llevados a la balanza hidrostática haciéndose la lectura en el instante en que la canastilla se encuentra totalmente sumergida.

Luego entonces este material en un recipiente metálico es llevado al horno por espacio de un día (24 horas), con los datos hallados calculamos el peso específico

$$\text{PESO ESPECIFICO DE MASA} = [A/(B-C)]$$

Dónde:

- A Es el peso en gramos de la muestra seca al horno y pesada al aire.
- B Es el peso en el aire en gramos de la muestra saturada con superficie seca.
- C Es el peso en el agua en gramos de la muestras saturada.

3.3.4.4 Porcentaje de absorción del agregado grueso.

Con los resultados anteriores (peso específico) obtenemos el porcentaje de absorción y lo hallamos de la forma siguiente.

$$\% \text{ ABSORCION} = [(B - A) / A] \times 100$$

Seguidamente en el Cuadro N°12 los resultados hallados para el porcentaje de absorción y peso específico para la piedra chancada.

Cuadro 12. *Peso específico y porcentaje de absorción*

DESCRIPCION	UND	MUESTRA		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso muestra saturada Superficialmente seca	gramos	4000.00	4000.00	4000.00
Peso de la muestra saturada en agua	gramos	2567.00	2572.20	2571.50
Peso de la muestra seca	gramos	3965.00	3966.80	3966.50
P.E. de Masa	gr/cm3	2.77	2.78	2.78
P .E. SSS	gr/cm3	2.79	2.80	2.80
P. E .Aparente	gr/cm3	2.84	2.84	2.84
% de Absorción	%	0.86	0.84	0.84
Promedio P.E. de masa	gr/cm3		2.77	
Promedio P E SSS	gr/cm3		2.80	
Promedio P E Aparente	gr/cm3		2.84	
Promedio % de absorción	%		0.85	

Fuente: elaboración propia.

3.3.4.5 Contenido de humedad del agregado grueso

El contenido de humedad del agregado grueso se obtiene de la siguiente manera:

(I) Se toma 1 kg de piedra chancada.

(II) Esta muestra de piedra chancada (1 kg) es llevado al horno por espacio de un día (24 horas), en una bandeja metálica.

(III) Transcurrido el tiempo de 24 horas se pesa la muestra resultante después de ser retirada del horno.

(IV) La cantidad de agua la hallamos restando los pesos, expresándola en porcentaje. Los resultados los reemplazamos en la fórmula a continuación:

$$\% \text{ HUMEDAD} = [(A - B)/B] \times 100$$

Dónde:

A: peso del agregado grueso al estado natural.

B: peso del agregado grueso después de retirado del horno.

Seguidamente en el Cuadro N° 13 se muestran los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

Cuadro 13. Contenido de humedad del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UND	AGREG. GRUESO		
		MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	MUESTRA N° 3
W muestra saturado	gr	4000.00	4000.00	4000.00
W Muestra seca	gr	3892.90	3886.20	3891.50
W de agua	gr	107.10	113.80	108.50
Contenido de humedad	%	2.75	2.93	2.79
Promedio contenido de humedad	%		2.82	

Fuente: elaboración propia.

3.3.4.6 Granulometría del agregado grueso

Con la finalidad de hacer el ensayo granulométrico se pesa aproximadamente 40 kg. de piedra chancada, posteriormente cuarteamos la muestra en el piso.

En la máquina de zarandeo se vierte el material, la máquina la tenemos encendida durante 90 segundos, posteriormente retiramos el material retenido en cada malla. Los resultados granulométricos para el agregado grueso se ubican en el Cuadro N° 14, los usos correspondientes en el Cuadro N° 15 y la curva granulométrica del agregado grueso se ubican en el Gráfico N° 2.

Cuadro 14. Granulometría del agregado grueso

MALLA	PESO MUESTRA RETENIDO (gr)				% QUE PASA		
	N° 1	N° 2	N° 3	TOTAL	RET	ACUM	ACUM
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 "	609.18	641.93	427.52	1678.62	5.60	5.60	94.40
3/4 "	3028.16	3189.57	3529.86	9747.59	32.49	38.09	61.91
1/2 "	4629.39	4563.69	4495.61	13688.69	45.63	83.72	16.28
3/8 "	1206.94	1103.31	1078.26	3388.50	11.30	95.01	4.99
N° 4	501.49	461.38	437.93	1400.80	4.67	99.68	0.32
FONDO	24.84	40.12	30.83	95.79	0.32	100.00	0.00
TOTAL		10000.0	10000.0	30000.0	100.0	MF =	7.33
	10000.00						

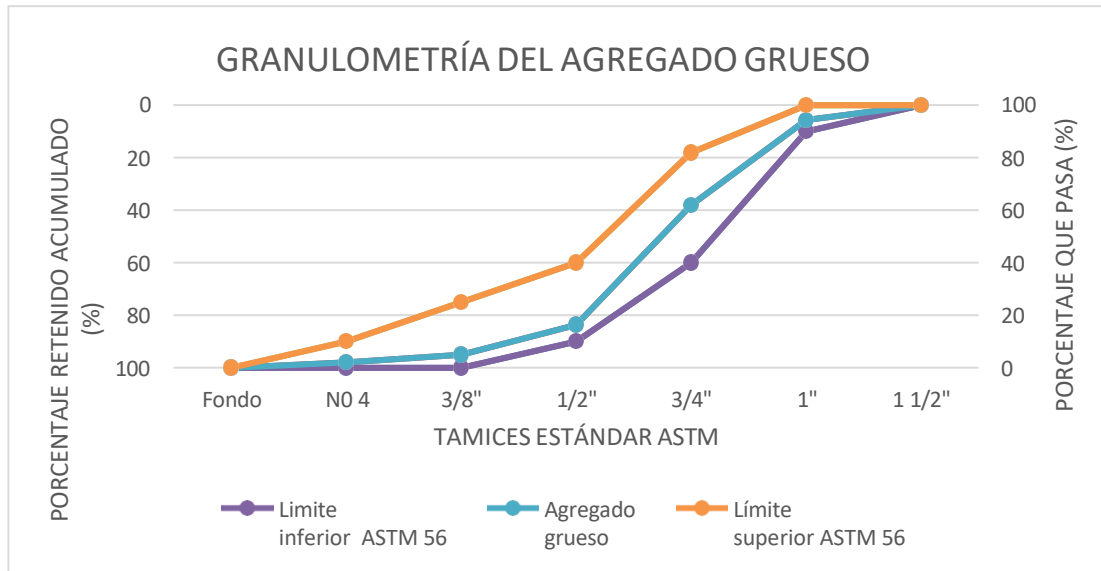
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 15. Requisitos Granulométricos Del Agregado Grueso

TAMIZ	HUSO 56		% Acumulado que	
pulgadas	mm	Inferior	Superior	pasa
1"	25	90	100	94
3/4"	19	40	85	62
1/2"	12.5	10	40	16
3/8"	9.51	0	15	5
N°4	4.75	0	5	0

Fuente: Rivva, 2006.

Gráfico 2. Granulometría del agregado grueso



Fuente: elaboración propia.

En un diseño de mezcla tenemos que tener adicionalmente los siguientes datos:

3.3.4.7 Tamaño máximo del agregado

INACAL (2021) en la NTP 400.037, define al tamaño máximo (TM) como la abertura del menor tamiz por el cual pasa todo el material del agregado grueso.

El tamaño máximo del agregado se debe a la geometría del agregado (Cachay, 1994).

De la deducción hecha de acuerdo al cuadro del análisis granulométrico de la piedra chancada hallamos:

$$D_{max} = 1 \text{ "}$$

3.3.4.8 Tamaño máximo nominal

INACAL (2021) en la NTP 400.037 define al tamaño máximo nominal (TMN) como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel tamiz que retenga el 15% o más del material. Este se deriva del análisis granulométrico y hace referencia al tamaño de las partículas en forma colectiva.

De acuerdo al Cuadro N° 14 del análisis granulométrico se deduce que:

$$D_n \text{ max} = 1 \text{ " (25.4 mm)}$$

3.3.4.9 Módulo de finura del agregado grueso

De acuerdo al Cuadro N° 14 el módulo de finura para el agregado grueso de 7.33.

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Procedencia de los agregados:

Agregado fino (arena gruesa).- El agregado fino procede de la cantera Trapiche, del distrito de San Juan de Lurigancho, provincia de Lima, departamento de Lima.

Agregado grueso (piedra chancada).- El agregado grueso proviene de la cantera Carapongo, ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, provincia de Lima, departamento de Lima.

En el Cuadro N°16 se halla el resumen de las propiedades físicas de los agregados.

Cuadro 16. *Propiedades físicas de los agregados*

ENSAYO		AGREGADO		
		ARENA	PIEDRA	UND
Módulo de finura	M.F.	2.85	7.33	
Peso Unitario Suelto	P.U.S.	1504	1450	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	P.U.C.	1731	1601	Kg/m ³
Peso Especifico de Masa	P.E.	2.54	2.76	gr/cm ³
P.E. Saturado Superficialmente Seco	P.E. sss	2.60	2.80	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	% Abs	1.94	0.85	%
Contenido de Humedad	% H	4.12	0.60	%
Tamaño Máximo	T. M.		1 ½"	In
Tamaño Nominal Máximo	T. N. M.		1 "	In
Material que pasa la Malla N° 200		9.75		%
Participación en el Agregado Global		53	47	%
Máximo P.U.C. del Agregado Global			2077	Kg/m ³
Módulo de finura del agregado global			4.96	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 AGREGADO GLOBAL

3.3.5.1.-Definición

Con la finalidad de optimizar las gradaciones mezclamos la arena gruesa y la piedra chancada, de esta forma tratamos de hallar una proporción adecuada a la hora de hacer la mezcla de concreto. No siempre con una alta compactación se obtiene mezclas trabajables y resistentes, depende también de la técnica a la hora de hacer el mezclado (Cachay, 1998).

3.3.5.2 Peso unitario compactado del agregado global

Para efecto de determinar el peso unitario compactado de la combinación de los agregados, se han escogido 5 proporciones de mezcla de estos y para cada relación se han efectuado tres ensayos de los cuales se toma el promedio. Las mezclas se hacen en peso. A continuación los valores del peso unitario compactado de la combinación de los agregados, en el Cuadro N° 17 se detalla los porcentajes de combinación de los agregados.

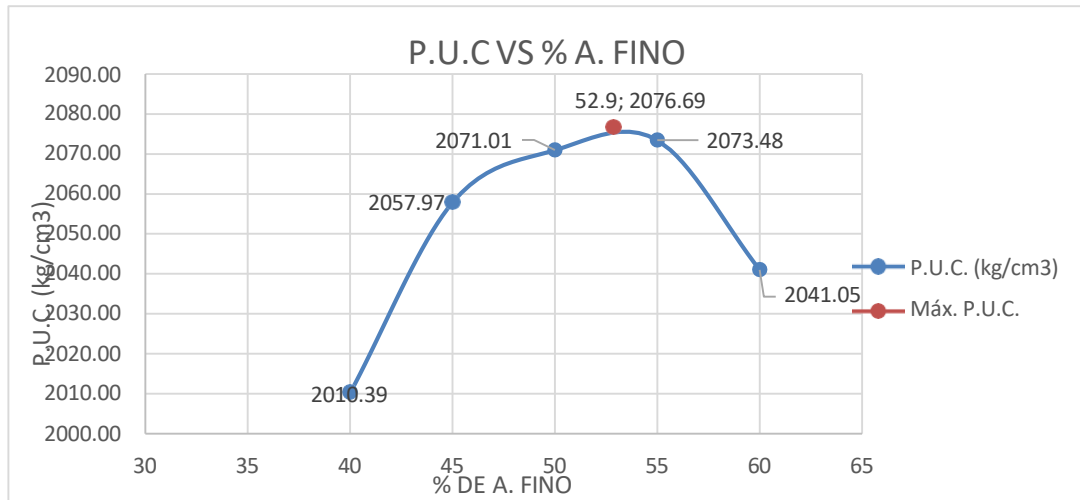
Cuadro 17. *Peso unitario compactado de la combinación de agregados*

Agregado fino (%)	Agregado grueso (%)	PUC Kg/m ³
40	60	2010.39
45	55	2057.97
50	50	2071.01
55	45	2073.18
60	40	2041.05

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente graficamos estos datos y el punto máximo de la gráfica se considera el peso unitario compactado, ver el Gráfico N° 3.

Gráfico 3. *Peso unitario compactado del agregado global.*



Fuente: elaboración propia.

Al observar y analizar el gráfico anterior, se tiene que el máximo peso unitario compactado de la mezcla de agregados corresponde a la combinación 47.1% de piedra y 52.9 % de arena gruesa.

Al realizar esta combinación se desea obtener una máxima resistencia y una adecuada trabajabilidad.

Con respecto a la compacidad, el gráfico nos da una proporción en la mezcla de la arena gruesa y la piedra chancada, pero en lo referente a lo que es resistencia y trabajabilidad debemos buscar lo óptimo, entonces efectuaremos ensayos que consideren estos datos y hallar las proporciones más adecuadas para el diseño de la mezcla de concreto.

Buscando la solución se ha elaborado tres mezclas de concreto como prueba, variando la cantidad de agua a usarse para un asentamiento de 3" a 4" y trabajamos con la relación agua cemento de 0.70.

Tal es así que seguidamente realizamos diseños de mezcla de concreto solo teniendo como variación los porcentajes de arena gruesa en una cantidad de 3% (Cuadro N°18), se toma los porcentajes de arena gruesa en 49.2%, 52.9% y 55.9%.

Cuadro 18. *Porcentaje de combinación de los agregados*

Arena	Piedra
49.2%	50.8%
52.9%	47.1%
55.9%	44.1%

Fuente: elaboración propia.

Los siguientes datos en el Cuadro N°19 se tiene los resultados de las muestras de concreto sometidas al ensayo de resistencia a la compresión, estos ensayos fueron efectuados después de 7 días de haberse elaborado las muestras.

A continuación se muestran los Ensayo de resistencia a la compresión (pre-diseños) en el Cuadro N° 19 y la desviación estándar en la Tabla N° 3.

Cuadro 19. Pre-Diseños (Resistencia a compresión)

CODIGO	ROTURA	Di (cm)	Dp (cm)	AREA cm ²	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} kg/cm ²	D.S. (%)	C.V. (%)
a/c=0.70 A=250 %A.F.=52.9	7	9.91	10.02	78.85	14450	183.25	191.04	10.22	5.35
		10.13							
	7	10.13	10.03	79.01	13571	171.76			
		9.93							
	7	10.15	10.055	79.41	15525	195.51			
		9.96							
	7	10.15	10.05	79.33	15291	192.76			
		9.95							
	7	10.15	10.065	79.56	15431	193.94			
		9.98							
	7	10.11	10.035	79.09	15768	199.36			
		9.96							
	7	10.15	10.045	79.25	15905	200.70			
		9.94							
a/c=0.70 A=250 %A.F.=55.9	7	10.10	10.125	80.52	12404	154.06	167.41	7.73	4.62
		10.15							
	7	10.15	10.125	80.52	13074	162.38			
		10.10							
	7	10.10	10.1	80.12	13376	166.95			
		10.10							
	7	10.05	10.025	78.93	13380	169.51			
		10.00							
	7	10.05	10.05	79.33	13332	168.06			
		10.05							
	7	10.10	10.15	80.91	14455	178.65			
		10.20							
	7	10.10	10.125	80.52	13870	172.26			
		10.15							
a/c=0.70 A=250 %A.F.=49.9	7	10.15	10.15	80.91	13977	172.74	169.83	8.71	5.13
		10.15							
	7	10.15	10.125	80.52	14170	175.99			
		10.10							
	7	10.20	10.175	81.31	12642	155.47			
		10.15							
	7	10.20	10.175	81.31	14174	174.31			
		10.15							
	7	10.05	10.075	79.72	14444	181.18			
		10.10							
	7	10.15	10.175	81.31	14151	174.03			
		10.20							
	7	10.20	10.25	82.52	13508	163.70			
		10.30							
7	10.05	10.075	79.72	12850	161.18				
	10.10								

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Desviación Estándar para diferentes grados de control

Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.2	21.1 a 24.6	> a 24.6

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

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

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

Fuente: Pasquel, 1998

Los resultados de la variación estándar como el coeficiente de variación obtenidos en el laboratorio al compararlos con la tabla anterior (Tabla N° 3) se encuentran en el rango de excelente.

En esta etapa se obtiene la cantidad de agua que produzca un concreto de relación $a/c=0.70$ (slump 4"), con esta finalidad se varía la cantidad de agua y considerando las propiedades físicas obtenidas de los agregados

Las muestras de los pre-diseños son ensayadas por resistencia a la compresión, con la finalidad de determinar aquella combinación que presente el máximo valor alcanzado. En el Cuadro N° 20 se observan los resultados obtenidos.

Cuadro 20. Resistencia a compresión variando % de arena

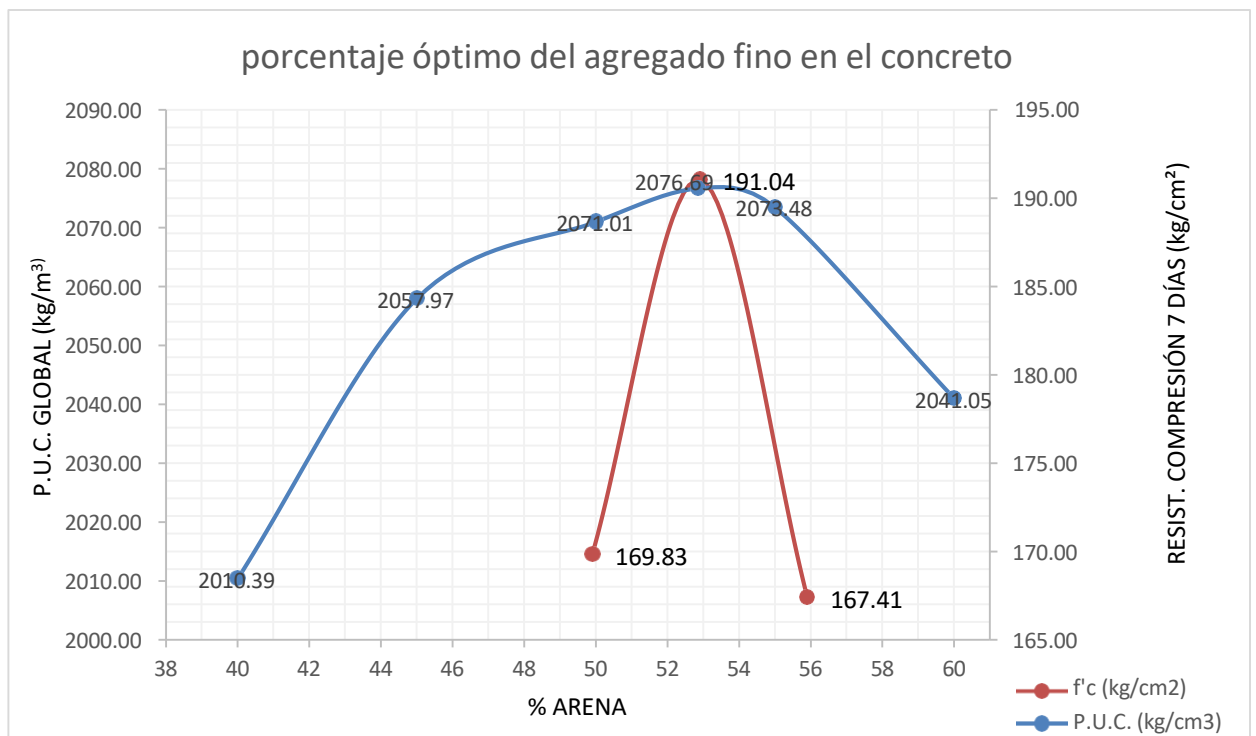
% de arena	Resistencia a la compresión
49.90	169.33 kg/cm ²
52.90	191.04 kg/cm ²
55.90	167.41 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia.

Según se puede observar en el Gráfico N° 4 el Peso Unitario Compactado (PUC) de agregado global y la resistencia a la compresión alcanzada según el porcentaje de agregado fino (arena) empleado, la combinación óptima sería el punto más cercano entre las dos curvas (53% de arena gruesa).

En el Gráfico N° 4 se tiene la superposición de las curvas de Peso Unitario Compactado y resistencia a la compresión axial respecto a la variación del porcentaje de arena.

Gráfico 4. Máxima compactación del agregado global



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos se halla que para 53% de arena gruesa y para 47 % de piedra chancada obtenemos una mejor resistencia.

Llegamos a la conclusión que para una buena trabajabilidad se debe usar 47% de piedra chancada y 53% de arena gruesa. Igualmente que la máxima compactación del agregado global se halla alrededor de esta última proporción de mezcla de agregados, luego entonces nuestro diseño de mezcla final tendrá:

ARENA = 53% y PIEDRA = 47%

3.3.5.3 Granulometría del agregado global

De una granulometría particular de la arena gruesa y piedra chancada se obtiene la granulometría del agregado global utilizando los porcentajes hallados en el diseño anterior, en este caso nos resultó 47% de piedra y 53% de arena gruesa. Los límites granulométricos para el agregado global en el Cuadro N° 21.

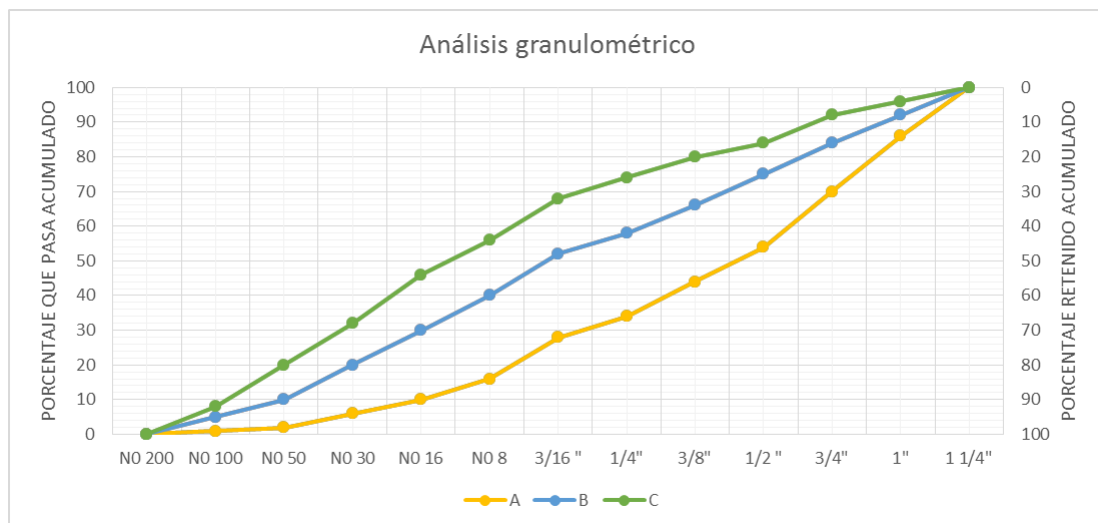
Cuadro 21. Husos Granulométricos (Husos DIN 1045)

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: Rivva, 2006

La tendencia de la curva del agregado global en el Gráfico N° 5,

Gráfico 5. Granulometría del agregado global



Fuente: elaboración propia.

3.4 CLORURO DE SODIO

3.4.1 Definición

Comúnmente conocido como sal (NaCl), es uno de los minerales más abundantes de la Tierra y un nutriente esencial para muchos animales y plantas. Se encuentra de forma natural en el agua de mar y en formaciones rocosas subterráneas (Sanchis, 2020).

Además de sazonar y conservar alimentos, el cloruro de sodio tiene muchos otros usos. Los hospitales usan una solución de cloruro de sodio intravenosa para suministrar agua y sal a los pacientes a fin de aliviar la deshidratación.

Para descongelar las aceras y calzadas cubiertas de hielo generalmente se usa sal de roca, el mismo tipo de sal que se usa en la mesa, antes de ser triturada en cristales más finos. También se usan grandes cantidades de cloruro de sodio en entornos de fabricación industrial para ayudar a crear una gran variedad de productos, desde: papel, plástico, caucho y vidrio, hasta poliéster, cloro, blanqueador de uso doméstico, detergentes, jabones y colorantes (Sanchis, 2020).

3.4.2 Cloruro de sodio en el agua

Las concentraciones de cloruros están presentes en el agua de mar, el aire y en el suelo, tales como la Halita (NaCl) que es un cloruro natural presente en los agregados y soluble en el agua. El ion cloruro (Cl) entra como ion por difusión o disuelto en agua al concreto, debido a la porosidad o por rajadura interna que posee este, a razón de ello corroe al fierro en el concreto (Rivva, 2005).

En el Cuadro N° 22 se ubican los resultados del análisis químico realizado al agua en el laboratorio de Química (UNI – FIC), agua usada en la presente tesis.

Cuadro 22. *Análisis Químico del agua usada*

Análisis	Cloruros Cl ⁻ ppm
Agua	135

Fuente: laboratorio de química UNI-FIC.

Como se menciona, el agua potable en el Perú debe cumplir con todos los requisitos del Decreto Supremo N° 031-2010-SA y con las guías de la Organización Mundial de la Salud. Según el decreto supremo mencionado la cantidad de cloro en el agua no será superior de 5 ppm.

3.4.3 Cloruro de sodio en el concreto

En el concreto armado los cloruros no reaccionan directamente con el cemento, pero si lo hacen con el fierro logrando romper al concreto. El cloro se encuentra inicialmente en el concreto como parte de sus constituyentes (Gonzales, 1998).

La sal que se utiliza para condimentar los alimentos es un ejemplo del producto de este tipo de reacción que involucran a un catión y a un anión. En este caso, la base hidróxido sódico proporciona el catión al reaccionar con el ácido clorhídrico que suma el anión. El resultado es el producto conocido como cloruro de sodio (Rimarachin, 2013).

En el interior del concreto, las barras de refuerzo están protegidas por una capa microscópica de óxido que se forma sobre la superficie e impide la disolución del acero. Únicamente la parte de cloruro no combinable es la responsable de la corrosión de refuerzo (Gonzales, 1998).

Existe una concentración crítica de cloruros para el inicio de la corrosión pero no hay acuerdo sobre el nivel de esta concentración, por intervención de factores propios del concreto, como la relación a/c , el tipo de cemento y el estado de endurecimiento. Para que se presente la corrosión por cloruros además de la presencia de oxígeno y humedad se requiere de un determinado valor denominado potencial crítico de cloruros y que este potencial estará en función de la cantidad de cloruros (Hansson, 2016).

La humedad es un factor desencadenante de corrosión (Gonzales, 1998).

El efecto directo más nocivo por acción de cloruros en la mezcla de concreto endurecido está constituido por la cristalización de las sales dentro de los poros lo cual puede producir roturas en los mismos debido a la presión ejercida por los cristales de sal. Puesto que la cristalización ocurre en el punto de evaporación del

agua, este tipo de ataque se produce de manera más acentuada en el concreto que no ésta permanentemente en contacto directo con el agua. No obstante, debido a que la sal en solución penetra y asciende por capilaridad, el ataque es más intenso cuando el agua o la humedad pueden penetrar en el concreto, por lo tanto la permeabilidad en el concreto es un factor de gran importancia y el clima tropical de nuestra franja costera actúa como catalizador del proceso (Gonzales, 1998).

La corrosión también puede deberse a la despasivación del acero como consecuencia de la carbonatación de la pasta de cemento hidratado (Neville, 2013). En previsión de esta ocurrencia los reglamentos de construcción establecen máximos permisibles del ion cloruro para el conjunto del cemento, agua de mezcla y agregados según el grado de exposición de la estructura (Gonzales, 1998).

En el Cuadro N° 23 contenido máximo de ion cloruro soluble en agua.

Cuadro 23. Contenido máximo del ion cloruro soluble en el agua

Descripción	Límite
A.-. Cloruro como Cl ⁻ , ppm	
<ul style="list-style-type: none"> • En concreto pretensado, tableros de puentes o designados de otra manera. 	500
<ul style="list-style-type: none"> • 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 ppm.	3000
C.-Álcalis como (Na ₂ O + 0,658K ₂ O) ppm.	600
D.-Sólidos totales por masa, ppm.	50000

Concentración máxima en el agua de mezcla combinada, partes por millón.

Fuente: Rivva, 2006.

En la norma técnica de edificaciones E 060 se fija límites para el contenido del ion cloruro en el concreto armado como se detalla en la Tabla N° 4.

Tabla 4. Límites permisibles del Ion cloruro en el concreto armado

Tipo de elemento	Ion cloruro max. soluble en agua, % en peso del cemento
0.06	Concreto pretensado
• Concreto armado expuesto a la acción de cloruros.	0.10
• Concreto armado no protegido que pueda estar sometido a un ambiente húmedo, pero no expuesto a cloruros.	0.15
• Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad, con recubrimientos impermeables.	0.80

Fuente: NTP E060

3.4.4 Análisis químicos a los agregados

El análisis químico de los materiales usados en la presente tesis se efectuó en el laboratorio de la UNI – FIC, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 24.

Cuadro 24. Cantidad de cloruros solubles en PPM

Análisis	Cloruros Cl ⁻ ppm
Agua de mezcla	135
Arena gruesa	73
Piedra chancada	286

Fuente: Laboratorio de Química UNI - FIC

3.5 FIERRO CORRUGADO

3.5.1 Denominación

El Reglamento Nacional de Construcción exige en nuestro país que los fierros de construcción cumplan con la norma técnica NTP 341.031, indica adicionalmente que las barras de construcción deben tener un Límite de Fluencia mínimo de 60,000 libras por pulgada cuadrada (Rimarachin, 2013).

3.5.2 Descripción

Barras de acero de alta ductilidad, rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto (Aceros Arequipa, 2021).

3.5.3 Usos

El acero se usa como refuerzo para concreto armado, en estructuras sismo resistentes según lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Norma E.060) y el Reglamento del American Concrete Institute (ACI 318, sección 21) donde se requiera el soldado de las estructuras (Torres, 2019).

3.5.4 Normas Técnicas

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales: ASTM A706 Grado 60 y Norma Técnica Peruana NTP 339.186 Grado 60.

3.5.5 Presentación

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes. Se suministra en paquetes de 2 toneladas, en varillas y como Acero Dimensionado.

En el Cuadro N° 25 se ubican las dimensiones y los pesos nominales del acero.

Cuadro 25. Dimensiones y pesos nominales del acero grado 60

DIAMETRO DE BARRA		SECCION mm ²	PERIMETRO mm	PESO Nominal kg/mt
Pulg	mm			
-	6.0	28.00	18.8	0.220
-	8.0	50.0	25.1	0.395
3/8"	9.52	71.0	29.9	0.560
-	12.0	113.0	37.7	0.888
1/2 "	12.7	129.0	39.9	0.994
5/8 "	15.9	199.0	49.9	1.552
3/4 "	19.1	284.0	59.8	2.235
1 "	25.4	510.0	79.8	3.973
1 1/4"	32.6	819.0	101.3	6.404
1 3/8"	35.8	1006.0	112.5	7.907

Fuente: Ficha técnica de aceros Arequipa, 2021.

3.5.6 Composición química

Carbono Equivalente (CE) = 0.55 máx., para garantizar buena soldabilidad y es calculado con la siguiente fórmula:

$$CE = \%C + \%Mn/6 + \%Cu/40 + \%Ni/20 + \%Cr/10 - \%Mo/50 - \%V/10$$

Fuente: ficha técnica de Aceros Arequipa.

3.5.7 Propiedades mecánicas: datos según la ficha técnica de acero Arequipa.

Límite de Fluencia (f_y) = 4,280 - 5,510 kg/cm² mínimo.

Resistencia a la Tracción (R) = 5,610 kg/cm² mínimo.

Relación R/ f_y \geq 1.25.

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

3/8", 1/2", 5/8" y 3/4" = 14% mínimo.

1", 1 1/4" y 1 3/8" = 12% mínimo.

Doblado a 180°. = Bueno en todos los diámetros.

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indica el fabricante, el diámetro, la norma y grado del acero.

.
.

CAPÍTULO IV: EFECTOS FÍSICO MECÁNICOS EN EL CEMENTO Y EL CONCRETO ARMADO POR ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO

Si solamente se tomara en consideración la corrosión de la armadura por los cloruros con olvido de la carbonatación y la acción de los sulfatos, se podría pensar que el cemento más adecuado para un elemento estructural en exposición marina aérea, sería el tipo I y no el resistente a los sulfatos. En efecto su pasta tiene un PH elevado, sustentado por una gran reserva alcalina, que mantiene la pasividad del acero y además es rico en aluminatos de calcio al no contener adiciones. De esta manera, los aluminatos se combinarían con los cloruros que penetran el entorno, impidiendo la corrosión (Gonzales, 1998)).

Lo expuesto se aplica por los abundantes aluminatos de calcio hidratados de la pasta del Portland tipo I, que son los capaces de fijar iones cloruro para formar cloroaluminatos de calcio hidratado, que producen dos efectos negativos, por una parte, inmovilizan iones cloruro bloqueados en forma molecular, inoperantes a efectos corrosivos sobre la armadura y por otra, se bloquea algunos aluminatos hidratados evitando la formación con los sulfatos, etringita, que resulta expansivo y destructivo para el concreto (Rivva, 2006).

Sin embargo en ambiente marino la corrosión de la armadura por cloruros no se puede separar del ataque químico por sulfatos y por magnesio (Gonzales, 1998).

Una vez conocido las características de los materiales continúa la elaboración del diseño de mezclas, con el diseño de mezclas procedemos a la elaboración del concreto fresco y consecuentemente resulta el concreto endurecido.

4.1 MEZCLA DEL CONCRETO

4.1.1 Definición

El diseño de mezcla del concreto es un proceso en el cual se selecciona los componentes en proporciones adecuadas con el objetivo de que el producto sea económico y cumpla con las especificaciones mínimas de manejabilidad, resistencia y durabilidad según sea requerido (Neville, 1998).

Actualmente existen una serie de métodos para el diseño de mezcla, todos en función de los volúmenes absolutos de los materiales considerando el aire atrapado (Cachay,

1995)

El diseño de mezclas de la presente tesis se ha realizado con el método del agregado global y con las recomendaciones y tablas del ACI.

4.1.2 Criterios de diseño

Según Cachay (1995) el criterio de diseño en la presente tesis es el de la mejor combinación de los agregados y se determina mediante el peso unitario compactado del agregado global y refiere lo siguiente:

a.- En la dosificación de materiales se usan las recomendaciones del American Concrete institute (ACI), por ser un método de tabulación más sencillo de usar y la recomendación de la metodología del agregado global (obtener la máxima densidad de los agregados), que tiene como objetivo encontrar la proporción óptima de combinación de la piedra chancada, la arena gruesa, agua y cemento.

b.- Para el diseño se tiene como condición primordial que la suma de los volúmenes absolutos de los componentes incluidos el aire atrapado en el concreto sea la unidad cubica (vol. de cemento + vol. de agua + vol. de arena + vol. de piedra + vol. de aire = 1m^3).

c.- Verificar que la relación a/c sea la más adecuada para obtener la trabajabilidad, resistencia y durabilidad requeridas (características que dependen del requerimiento de la estructura), verificar que el diseño se realice manteniendo constante la trabajabilidad y relación a/c bajo las condiciones de obra.

d.- Para evitar errores en el diseño originados por el esponjamiento del agregado fino seleccionado, las selecciones de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cubica de concreto se hace para proporciones en peso. Por ello es importante la elección de proporciones relativas de los agregados en peso para evitar errores.

e.- Finalizado el diseño, las proporciones calculadas deberán ser comprobadas por medio de mezclas de prueba, preparadas en laboratorio y ensayadas de acuerdo a las NTP. En la preparación de mezcla de prueba, se emplea agua necesaria para garantizar la trabajabilidad y asentamiento, independientemente de si dicha cantidad

de agua corresponde al volumen teórico asumido en la selección de las proporciones.

f.- El diseño de una mezcla nunca debe considerarse como un procedimiento automático. Debe considerarse que cada mezcla es un procedimiento diferente, que no existen recetas únicas para todos los casos y que la intervención del ingeniero en la selección de las proporciones de los diferentes materiales de la unidad cubica de concreto, convierten a este proceso tanto en una ciencia como en un arte. El empleo de tablas y gráficos y los resultados con que ellas se obtengan deben ser siempre consideradas solo como una primera etapa en la selección de las proporciones de la mezcla, debiendo ser seguidos siempre que ello sea posible, por la preparación de mezclas de prueba tanto en obra como en laboratorio.

4.1.3 Metodología del diseño de mezcla

Neville (2010) afirma que, en el mundo se han propuestos distintos métodos con la finalidad de realizar diseño de mezcla para concreto los cuales pueden ser de carácter: analítico, experimental, semi-analítico y empírico, siendo los métodos de peso y volumen absoluto los más usados. Asimismo, afirma que el costo para elaborar una mezcla de concreto es función del costo de los materiales, maquinaria y mano de obra siendo la variación del costo principalmente dependiente del costo de los materiales predominando el costo por kilo del cemento sobre el de los agregados.

Neville (1998) afirma que el diseño de la mezcla de concreto exacta no es posible, ya que depende de una óptima combinación de los materiales y dada la naturaleza de estos no es posible determinar exactamente. Luego entonces para mayor exactitud recomienda hacer diseños preliminares de prueba con la finalidad de llegar a tener una mezcla requerida.

En la actualidad existen diversos métodos de diseño de mezcla. El diseño de mezclas de la presente tesis se ha realizado con el método del agregado global y con las recomendaciones y tablas del ACI, donde se obtiene la relación agregado fino/agregado grueso (53/47), se trabaja para las relaciones agua cemento: 0.70, 0.65 y 0.60 y con un asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

4.1.4 Peso unitario compactado de la combinación de los agregados

Este método empírico ayuda a obtener las cantidades en porcentajes de agregado fino y agregado grueso que permite el mejor acomodamiento de sus partículas en la mezcla. El peso unitario compactado de la combinación de los agregados se determina combinando diferentes porcentajes de arena piedra para luego obtener su peso unitario compactado máximo (Cachay, 1995).

Esta tesis se ha elaborado con diseños de mezclas de concreto para las relaciones agua/cemento (a/c) de 0.70, 0.65 y 0.60 con un asentamiento de 3 a 4 pulgadas, siguiendo el criterio de la máxima compacidad, la cual se detalla a continuación: Para Cachay (1995), la metodología para el diseño de mezclas, después de haber determinado las propiedades físicas de los materiales a usar es el siguiente:

- 1° Definir la resistencia a la compresión según requerimiento.
- 2° Elegir el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- 3° Definir el asentamiento a usar en la mezcla.
- 4° Definir el uso del aire en mezcla.
- 5° Definir la cantidad de agua por m³ de mezcla.
- 6° Determinar la relación a/c, según las condiciones de durabilidad y resistencia.
- 7° Obtener el peso del cemento:

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

- 8° Hallar el volumen absoluto del agua y el cemento:

$$\begin{aligned} \text{Vol. Abs.}_{\text{agua}} &= \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{\text{Peso específico}_{\text{agua}}} \\ \text{Vol. Abs.}_{\text{cemento}} &= \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico}_{\text{cemento}}} \end{aligned}$$

- 9° Determinar el volumen absoluto de los agregados:

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

- 10° el volumen absoluto de la arena y la piedra:

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

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

11° Determinar los pesos secos de la arena (gruesa) y la piedra (chancada):

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

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

12° Hallar la cantidad de agua que aporta la arena y la piedra:

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

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

13° Realizar la corrección de agua en la mezcla de concreto:

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

14° Obtener los pesos resultantes para la arena y la piedra:

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

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

15° Hallar el diseño de mezcla para un metro cúbico de concreto.

Del Cuadro N° 17 se tiene los valores del peso unitario compactado de la combinación de los agregados.

Cuadro 26. *Peso unitario compactado de la combinación de los agregados*

Agregado fino (%)	Agregado grueso (%)	PUC (kg/m ³ .)
40	60	2010.39
45	55	2057.97
50	50	2071.01
55	45	2073.18
60	40	2041.05

Fuente: elaboración propia

Siguiendo con la metodología propuesta se hace un reajuste a las proporciones de

los agregados obtenidos en el gráfico anterior como existe un nuevo reacomodo de partículas debido a la pasta de cemento para ello se procedió a elaborar diseños manteniendo constante la relación cemento agregados y el asentamiento de 4 pulgadas solo variando el porcentaje de arena en 3% se realizaron mezclas de concreto con un porcentaje de arena de 49.2%, 52.9% y 55.9%. El cuadro siguiente muestra los resultados de las muestras ensayadas con las combinaciones mencionadas anteriormente a él concreto resultante después de 7 días se le somete a las ensaya a compresión.

En el Cuadro N° 20 se halla la resistencia a compresión del concreto variando el % de arena.

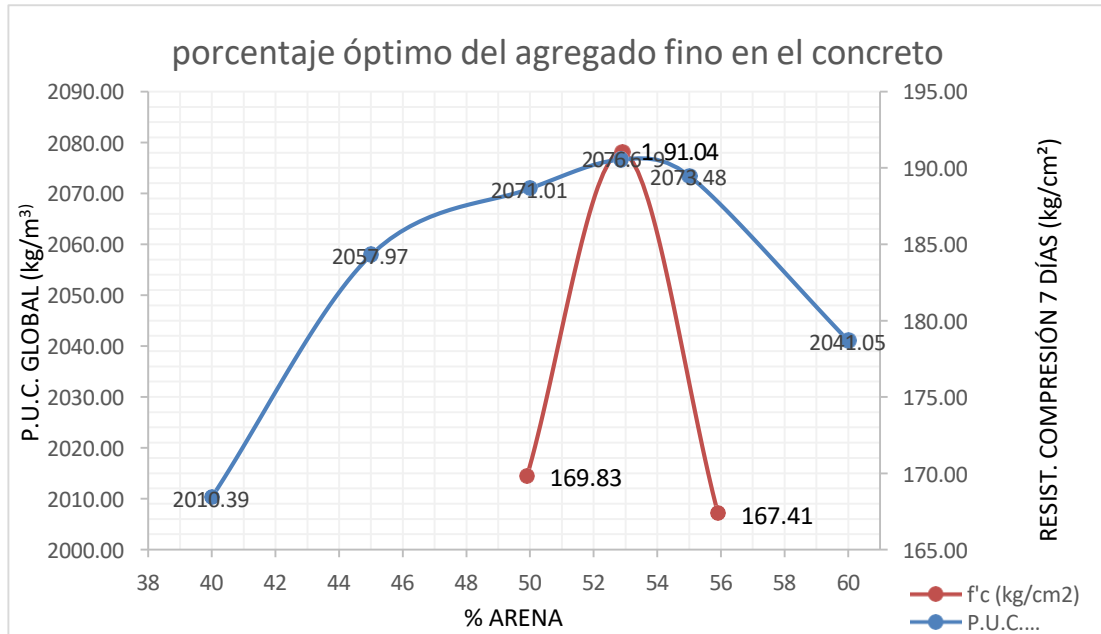
Cuadro 27. Resistencia a Compresión Variando % de Arena

% de arena	Resistencia a la compresión (kg/ cm ²)
49.90	169.33
52.90	191.04
55.90	167.41

Fuente: elaboración propia

El Gráfico N° 4 indica el porcentaje óptimo de arena de 53% en relación a la combinación total (arena –piedra), el gráfico tiene la superposición de las curvas de Peso Unitario Compactado y Resistencia a la Compresión Axial respecto a la variación del porcentaje de arena.

Gráfico 6. Porcentaje óptimo del agregado fino en el concreto



Fuente: elaboración propia

4.1.5 Diseño de mezcla

- Elección de la relación agua/cemento.- En la presente tesis las relaciones agua cemento son: 0.70, 0.60 y 0.65.
- Elección del asentamiento.-El asentamiento requerido es de 4”.
- Estimación del contenido de aire atrapado.-La cantidad de aire atrapado para un T.M.N. 1” le corresponde según la tabla del ACI 1.5%.
- Estimación del agua de diseño para 1 m³.-Con los datos se determina el agua con la tabla del ACI (Tabla N° 5).

Tabla 5. Volumen unitario de agua (lt/m3.)

ASENTAMIENTO	3/8 “	T 1/2 “	3/4 “	M 1 “	1 1/2 “	N 2 “	3 “	6”
			CONCRETO	SIN	AIRE	INCOR		
1 “ a 2 “	207	199	190	179	166	154	130	113
3 “ a 4 “	228	216	205	193	181	169	145	124
6 “ a 7 “	243	228	216	202	190	178	160	-----
			CONCRETO		AIRE	INCOR		
1 “ a 2 “	181	175	168	160	150	142	122	107

3 " a 4 "	202	193	184	175	165	157	133	119
6 " a 7 "	216	205	197	184	174	166	154	-----

Fuente: ACI, 2018

De la tabla anterior se obtiene 193 litros por metro cúbico de concreto.

Obtención del agua Patrón

Diseño obtenido para una relación 0.70, %arena = 53, %piedra = 47

Datos para el diseño de mezcla:

Para el cemento:

Cemento Portland

Tipo : I, marca "SOL"

Peso específico : $3.15\text{gr/cm}^3 = 3150\text{kg/m}^3$

Para la arena:

Porcentaje de combinación : 53 %

Peso específico de masa : $2.55\text{gr/cm}^3 = 2550\text{kg/mt}^3$

Porcentaje de absorción : 1.94 %

Contenido de humedad : 4.12%

Para la piedra:

Porcentaje de combinación : 47 %

Peso específico de masa : $2.77\text{ gr/cm}^3 = 2770\text{kg/m}^3$

Porcentaje de absorción : 0.85 %

Contenido de humedad : 0.60 %

Tamaño nominal máximo : 1 "

Para el agua:

El agua de este diseño se ha hallado como resultado de entrar a la tabla anterior obteniendo 193 litros por metro cúbico de concreto. Obteniendo un asentamiento de prueba.

Diseño de mezcla con 193 litros de agua:

Con 193 litros por mt^3

$a/c = 0.70$,luego entonces para 193 lt. de agua le corresponde:

$c = 275.71\text{kg}$

Se determina volumen absoluto (V.Ab)

cemento = $(275.71\text{kg})/(p.e)$

cemento = 0.08752mt^3

$$\text{agua} = (193\text{lt})/(\text{p.e.})$$

$$\text{agua} = 0.193\text{mt}^3$$

$$\text{aire atrapado} = 1.5\%$$

$$\text{cemento} + \text{agua} + \text{arena} + \text{piedra} + \text{aire} = 1 \text{ mt}^3$$

$$\text{arena} + \text{piedra} = 1 - 0.08752 - 0.193 - 0.015$$

$$\text{arena} + \text{piedra} = 0.70448\text{mt}^3$$

$$\text{arena} = (53\%) \times (0.70448)$$

$$\text{arena} = 0.3734\text{mt}^3$$

$$\text{piedra} = (47\%) \times (0.70448)$$

$$\text{piedra} = 0.3311\text{mt}$$

Hallando diseño seco (D. S.):

$$\text{arena} = (\text{p.e.}) \times (\text{V.ab.}) = (2550\text{kg}/\text{mt}^3) \times (0.3734)$$

$$\text{arena} = 952.17\text{kg}$$

$$\text{piedra} = (\text{p.e.}) \times (\text{V.ab.}) = (2770\text{kg}/\text{mt}^3) \times (0.3308)$$

$$\text{piedra} = 917.1\text{kg}$$

Se determina diseño unitario suelto (D. U. S.)

$$\text{cemento} = (275.7\text{kg}) / (275.7\text{kg})$$

$$\text{cemento} = 1$$

$$\text{agua} = (193 \text{ litros}) / 275.7$$

$$\text{agua} = 0.7$$

$$\text{arena} = (952.2\text{kg}) / (275.7\text{kg})$$

$$\text{arena} = 3.45354$$

$$\text{piedra} = (917.162\text{kg}) / (275.7\text{kg})$$

$$\text{piedra} = 3.3265$$

Se determina el diseño de obra (D. O.)

$$\text{cemento} = 275.71\text{kg}$$

agua.- El agua por la humedad y absorción de los agregados de la siguiente

manera:

Se determina para la arena:

$$[(\% \text{ humedad} - \% \text{ absorción}) / 100] \times \text{Arena seca}$$

$$= [(4.14 - 1.94) / 100] \times 952.17\text{kg}$$

$$= 20.7573\text{lt.}$$

Se determina para la piedra:

$$\begin{aligned} & [(\% \text{ humedad} - \% \text{ absorción})/100] \times \text{piedra seca} \\ & = [(0.6 - 0.85)/100] \times 917.1625 \\ & = -2.29297 \text{lt.} \end{aligned}$$

Agua que aporta sería: (agua piedra) + (agua arena)

$$= -2.29297 \text{lt.} + 20.7573 \text{lt.} = 18.4644 \text{lt.}$$

En este caso que la arena aporta a la mezcla mientras que la piedra seca hace lo contrario, luego entonces los agregados aportan 18.4644 litros.

Por lo tanto al agua de diseño inicial (193 lt.) se le resta lo que aportan los agregados (18.6 lt.).

. Luego entonces la cantidad de agua usada en la mezcla será:

$$\text{Agua} = 193 \text{ lt.} - 18.6381 \text{ lt.} = 174.5356 \text{ lt.}$$

Cálculo del agregado de obra:

Arena.- Para el cálculo de la cantidad de arena en obra se tiene que considerar la humedad de la arena, luego entonces:

$$\begin{aligned} & [1 + (\% \text{ humedad} / 100)] \times \text{peso Arena Seca} \\ & [1 + 0.0412] \times 952.17 \text{ kg.} = 991.3994 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Piedra.- Para calcular la cantidad de piedra en obra se tiene que considerar la humedad:

$$\begin{aligned} & [1 + (\% \text{ humedad}/100)] \times \text{peso Piedra Seca} \\ & [1 + 0.006] \times 917.1625 = 923.1307 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Se realiza el diseño unitario de obra (DUO).

$$\text{Cemento} = (275.7 \text{ kg.}) / (275.7 \text{ kg.}) = 1$$

$$\text{Agua} = 174.5356 / 275.7 = 0.63$$

$$\text{Arena} = 991.3994 / 275.7 = 3.5957$$

$$\text{Piedra} = 923.1307 / 275.7 = 3.3481$$

Cálculo de diseño de obra

Sumatoria de los diseños de obra

$$\text{DUO} = 1 + 0.6330 + 3.5957 + 3.3481 = 8.5768$$

En 30 kg. de mezcla de concreto resulta aproximadamente 7 probetas de 4" x 8".

El DUO resultante:

$$\text{Peso laboratorio} = pl = (30) / (8.5768) = 3.4978,$$

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= (\text{DUO}) \times (\text{pl}) = (1) \times (3.50 \text{ kg}) = 3.50\text{kg} \\ \text{Agua} &= (0.63) \times (3.50) = 2.21 \text{ lt.} \\ \text{arena} &= (3.59) \times (3.50) = 12.6 \text{ kg} \\ \text{piedra} &= (3.34) \times (3.50) = 11.7 \text{ kg ; luego entonces resumiendo} \end{aligned}$$

En el Cuadro N° 26 se detalla el diseño de mezclas para: $a/c = 0.70$, agua = 193 lt.

Cuadro 28. Diseño de mezcla para $a/c=0.70$, agua=193 lt/m³.

	Cemento	275.71	0.08809	1.00	275.71	1.00	3.50
0.70	Agua	193.00	0.193	0.7	174.36187	0.6330	2.21
	Arena	952.17	0.3734	3.4535	991.3994	3.59	12.59
	Piedra	917.1625	0.3311	3.3265	923.1307	3.3481	11.72
			slump	0-5"			
	Material	DISEÑO	V.Ab.	D.U.S	D. O.	D.U.O.	LAB(4"-
a/c		SECO(kg)	m ³		(kg)		8")
							30kg.

Fuente: elaboración propia

Se elabora la mezcla para un $a/c=0.70$ con tres cantidades de agua diferentes, la relación arena-piedra se mantiene constante, las mezclas resultantes tendrán 3 asentamientos diferentes, los datos en el Cuadro N° 27.

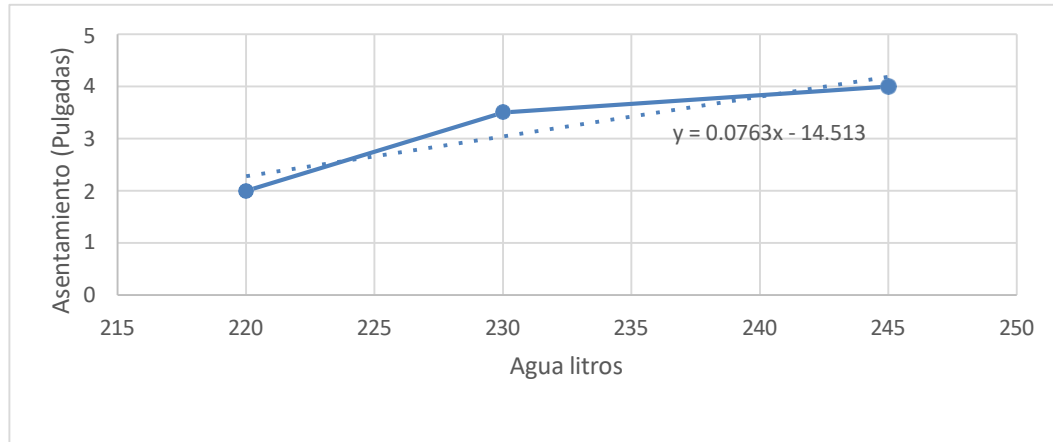
Cuadro 29. Asentamiento vs agua para $a/c = 0.70$.

Relación a/c	%arena / %piedra	Agua (lt/m ³ .)	Slump (pulg)
0.70	53 / 47	220	2.20
		230	3.50
		245	4.00

Fuente: elaboración propia.

- En el Gráfico N° 6, se tiene los asentamientos para un $a/c = 0.70$, en este gráfico se ubica el asentamiento requerido de 4".

Gráfico 7. Asentamiento vs agua para a/c = 0.70



Fuente: elaboración propia.

Según el Gráfico N° 6 para un slump de 4" le corresponde 243 litros por mt^3 .

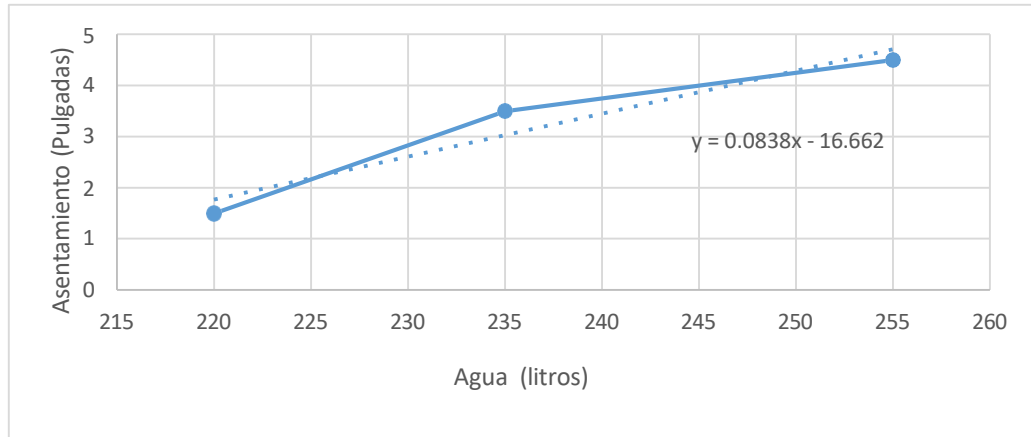
- En el Cuadro N° 28 se tiene los slump para un $a/c=0.65$ con diferentes cantidades de agua y en el Gráfico N° 7 los slump respectivos.

Cuadro 30. Asentamiento vs agua para a/c = 0.65

a/c	%arena / %piedra	Agua (lt./ mt^3)	slump (pulg)
0.65	53 / 47	220	1.5
		235	3.5
		255	4.7

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 8. Asentamiento vs agua para $a/c=0.65$



Fuente: elaboración propia.

Según el Gráfico N° 7 para un slump de 4" le corresponde 245 litros de agua por m^3 de concreto con un $a/c = 0.65$.

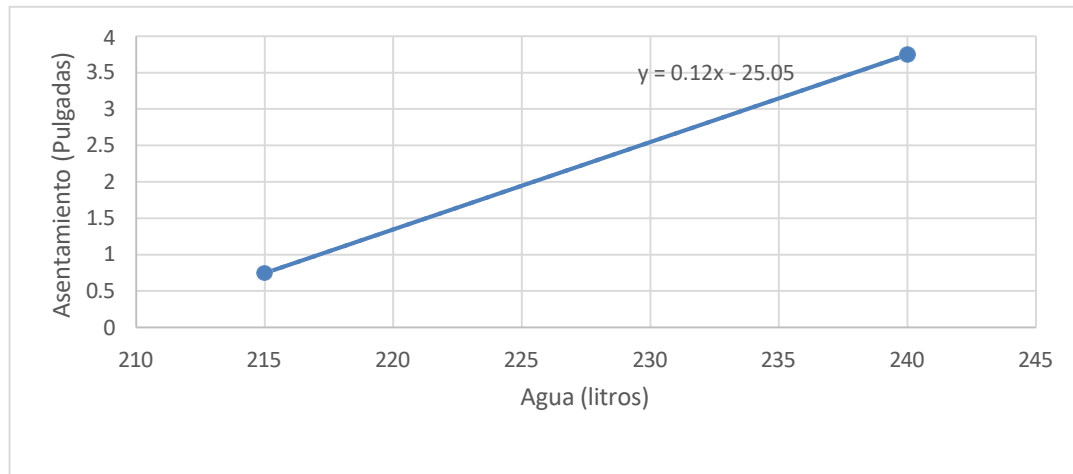
- En el Cuadro N° 29 se tiene los slump para $a/c = 0.60$ con diferentes proporciones de agua y en el Gráfico N° 8 se hallan los asentamientos respectivos.

Cuadro 31. Asentamiento Vs Agua para $a/c=0.60$

Calculo del agua $a/c = 0.60$, slump=4"	%arena/ % piedra	Agua (lt./ m^3)	slump (pulg)
0.60	53 / 47	215	0.75
		230	2.5
		240	375

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 9. Asentamiento Vs Agua para a/c=0.60



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al Gráfico N° 8 para un slump de 4" le corresponde 242 lt/m³

Seguidamente en el Cuadro N° 30 se detalla el diseño de mezclas final, teniendo como base los slump de 4" se ha determinado la cantidad de agua para cada a/c.

Cuadro 32. Diseño de Mezcla: a/c = 0.60, 0.65 y 0.70

a/c	MATERIAL	D. Seco	V.AB(m3)	D.U.S	D.O.(kg)	D.U.O	Lab.
0.70	Cemento	348.5714	0.1106	1	348.57	1	4.64
	Agua	244	0.244	0.7	227.47	0.653	3.03
	Arena	851.955	0.3341	2.4441	887.05	2.444	11.32
	Piedra	820.751	0.2963	2.3546	825.67	2.369	10.99
	aire		0.015				
0.65	Cemento	376.923	0.1196	1	376.98	1	4.93
	Agua	245	0.245	0.650	228.74	0.6069	2.99
	Arena	838.44	0.3288	2.2245	872.98	2.3161	11.43
	Piedra	807.732	0.2916	2.143	812.57	2.1552	10.64
	Aire		0.015				
0.60	Cemento	403.33	0.129	1	403.33	1	5.27
	Agua	242	0.243	0.6	226.94	0.5627	2.96
	Arena	828.495	0.3249	2.054	862.62	2.139	11.27
	Piedra	798.037	0.2881	1.979	802.82	1.99	10.48
	Aire		0.015				
	slump					4.00"	

Fuente: elaboración propia.

4.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

Las propiedades del concreto fresco están en función a la utilidad o servicio que desarrollara en obra, es por esto que la determinación de la proporción de la unidad cúbica de concreto, debe permitir un buen concreto que tenga facilidades mecánicas o manuales en el transcurso de las etapas del proceso, transporte, colocación y compactación u otras propiedades que se consideren necesarias para la cual la mezcla este diseñada (Neville, 2010).

Un concreto fresco es influenciado por diversos factores como: calidad de los agregados, la granulometría de los mismos, el tipo de cemento a usarse y la temperatura a la hora de hacer la mezcla del concreto (Cachay, 1995).

La distribución de los ensayos del concreto al estado fresco, se muestran en el Cuadro N° 31 a continuación:

Cuadro 33. *Concreto al Estado Fresco: Distribución de ensayos*

ENSAYO	RELACION a/c	CANTIDAD
Peso Unitario	0.60	3
	0.65	3
	0.70	3
Ensayo de Asentamiento	0.60	3
	0.65	3
	0.70	3
Ensayo de fragua.	0.60	3
	0.65	3
	0.70	3
TOTAL		27

Fuente: elaboración propia.

4.2.1 Asentamiento

4.2.1.1 Definición

El asentamiento indica el comportamiento de la mezcla de concreto al estado fresco (Pasquel, 1998).

Este ensayo consiste en compactar una muestra de concreto fresco en un molde tronco-cónico, midiendo el asentamiento o descenso de la mezcla luego de

desmoldarlo. Este ensayo nos permite observar la consistencia de la mezcla de concreto (INACAL, 2022).

4.2.1.2 Procedimiento de ensayo

Según la NTP 339.035 señala que el molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndolo inmóvil, pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio de volumen, para asegurar la homogeneidad se apisona con la varilla luego se le aplica 25 golpes, distribuidos uniformemente.

En seguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen consolidado, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior. La primera capa de 67mm de altura y la segunda de 155mm. La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. En el caso de faltar material se añadirá el concreto necesario enrasando con la barra o cuchara de albañil.

Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical. Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de dos minutos; de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.

El asiento se mide con aproximación de 5 milímetros, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura media de la cara libre del cono deformado.

Para Rivva (2006) los resultados del ensayo del asentamiento del concreto fresco deben estar en un rango de 3" a 4", tal como se muestran en el Cuadro N° 32.

Cuadro 34. Asentamiento del Concreto Fresco

a/c	Slump (pulg.)	Rango aceptable	estado
0.60	4"	3" - 4"	Trabajable
0.65	4"	3" - 4"	Trabajable
0.70	4"	3" - 4"	Trabajable

Fuente: Rivva, 2006.

- Se trabajó en la presente tesis con mezclas de slump 4".

- Se llegó a obtener un concreto en estado fresco con las propiedades requeridas, mezclas plásticas y trabajables. Tal como se muestra en el Cuadro N° 32.

4.2.2 Peso unitario del concreto fresco

4.2.2.1 Definición

Para INACAL (2020) es el peso del concreto fresco por unidad de volumen y se expresa en kg/m^3 . Este valor es bastante importante ya que se emplea para comprobar el rendimiento de la mezcla, el contenido del aire, el contenido de cemento y su grado de compactación. Consiste en llenar de concreto fresco un recipiente, cuya capacidad depende del tamaño máximo nominal del agregado de acuerdo a lo establecido en la norma NTP 339.046.

4.2.2.2 Procedimiento

Según la NTP para determinar el peso unitario del concreto fresco se necesita un balde metálico cuya capacidad está en función al tamaño nominal máximo del agregado. Para esta tesis se usó el balde de $\frac{1}{2}$ pie³, debido a que el tamaño nominal máximo del agregado de la presente tesis es de 1" (NTP 400.037).

Se procede a llenar el balde con concreto fresco en tres capas, compactándose cada capa con 25 golpes con la varilla compactadora.

Después de la compactación de cada capa, se le debe de aplicar unos golpes laterales al balde para que se eliminen los vacíos que pudieran haber quedado.

Con el balde lleno y enrasado, se limpian las partes externas con la finalidad de retirar material adherido, posteriormente se le pesa en una balanza. Al peso resultante se le resta el peso del recipiente seco y limpio, este peso se divide entre el volumen del recipiente, hallándose así el peso unitario del concreto fresco.

Los resultados del ensayo del peso unitario del concreto fresco en el siguiente Cuadro N° 33.

Cuadro 35. Peso Unitario del Concreto Fresco

a/c	Peso tara + Peso de la mezcla	Peso de la tara	Peso de la Mezcla (kg)	Volumen de la tara (m ³)	Peso Volumetric. (kg / m ³)	Promedio (kg / m ³)
0.70	27.75	4.75	23.00	0.00945754	2431.9323	2437.134
	27.80	4.75	23.05	0.00945754	2437.2191	
	27.85	4.75	23.10	0.00945754	2442.2506	
0.65	27.79	4.75	23.03	0.00945754	2436.1617	2442.5059
	27.86	4.75	23.11	0.00945754	2443.5633	
	27.90	4.75	23.15	0.00945754	2447.7927	
0.60	27.93	4.75	23.18	0.00945754	2450.9648	2440.0387
	27.75	4.75	23.00	0.00945754	2431.9323	
	27.80	4.75	23.05	0.00945754	2437.2191	

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Tiempo de fragua

4.2.3.1 Definición

INACAL (2022) define el tiempo de fraguado, como el proceso de endurecimiento del concreto conforme transcurre el tiempo y tiene como objetivo encontrar el tiempo que demora en ganar una determinada resistencia.

Según la NTP 339.047 es un procedimiento definido en dos tiempos o fraguados:

- El fraguado inicial del concreto: es el tiempo que transcurre después de iniciado el contacto inicial del agua con el cemento, tiempo en el cual el mortero tamizado del concreto adquiere la fuerza de 500 psi (resistencia a la penetración).
- El fraguado final del concreto: es el tiempo posterior del contacto inicial del agua con el cemento, en este tiempo el mortero tamizado del concreto adquiere una fuerza de 4000 psi (resistencia).

El fraguado inicial se caracteriza por la pérdida de plasticidad y aumento de la temperatura de la mezcla. El fraguado final se caracteriza por la pérdida total de la plasticidad. El fraguado inicial y final dependen básicamente del contenido de aluminato tricálcico del cemento, finura del cemento, relación agua-cemento, temperatura y humedad del ensayo (Rivva, 2006).

Adicionalmente NTP 339.082 establece el tiempo de fraguado del concreto con

asentamiento superior a cero por medio de agujas de penetración sobre la muestra tamizada, así el fraguado inicial se determina por el tiempo transcurrido, luego del contacto inicial del cemento y el agua hasta que el mortero alcance una resistencia a la penetración de 500lb/pulg² y el fraguado final 4000 lb/pulg² (Rivva, 2006).

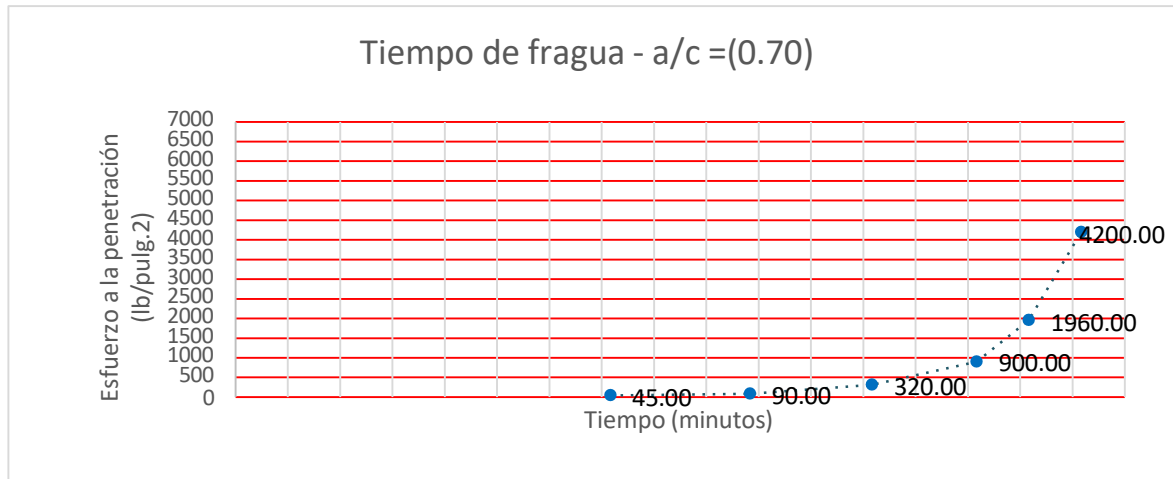
4.2.3.2 Procedimiento del ensayo

Según la NTP 339.082 para este ensayo el procedimiento es el siguiente:

- Elaborar el concreto de acuerdo a la NTP 339.033 posteriormente registrar el tiempo en donde empieza el contacto entre el agua y el cemento.
- Pasar la mezcla de concreto por el tamiz N° 4.
- En un recipiente cilíndrico se llena el mortero, consolidar mediante la compactación.
- La superficie nivelada del mortero deberá quedar 1/4" debajo del nivel superior del recipiente, inmediatamente se procede a golpear el recipiente.
- Se retira el agua exudada aproximadamente 2 minutos antes de iniciar la lectura.
- Se pone en contacto la primera aguja aplicando una fuerza vertical constante por un lapso de 10 segundos, se anota la lectura correspondiente (tiempo y fuerza).
- Repetir el procedimiento para las agujas: 1 pulg², ½ pulg², 1/4 pulg², 1/10 pulg², 1/20pulg² y 1/40 pulg².
- La resistencia a la penetración sería el cociente de la fuerza aplicada entre el área de la aguja empleada, determinamos el tiempo de fragua gráficamente o por regresión lineal.

A continuación en el Gráfico N° 9 el tiempo de fragua para la relación a/c = 0.70.

Gráfico 10. Tiempo de fragua - $a/c = (0.70)$

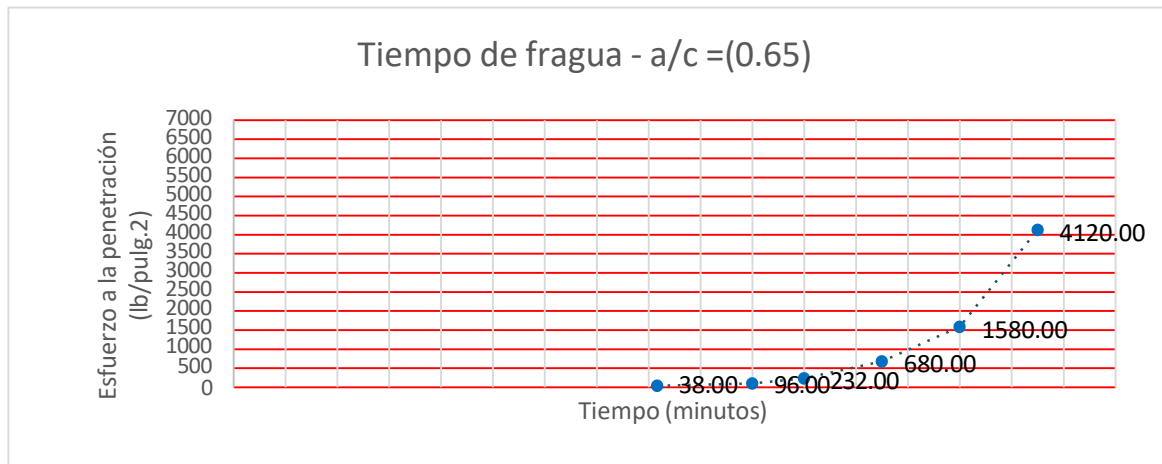


Tiempo de fraguado inicial	$a/c = 0.70$	5 horas 57 minutos
Tiempo de fraguado final	$a/c = 0.70$	7 horas 25 minutos

Fuente: elaboración propia.

A continuación en el Gráfico N° 10 el tiempo de fragua para la relación $a/c = 0.65$.

Gráfico 11. Tiempo de fragua - $a/c = (0.65)$

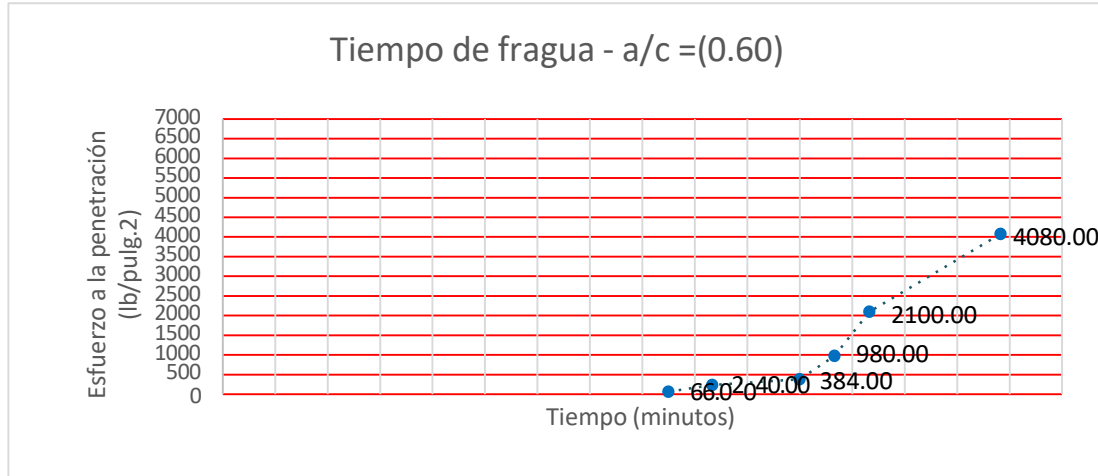


Tiempo de fragua inicial	$a/c = 0.65$	5 horas 50 minutos
Tiempo de fragua final	$a/c = 0.65$	7 horas 14 minutos

Fuente: elaboración propia.

A continuación en el Gráfico N° 11 el tiempo de fragua para la relación $a/c = 0.60$.

Gráfico 12. Tiempo de fragua - $a/c = (0.60)$



Tiempo de fragua inicial	$a/c = 0.60$	5 horas 40 minutos
Tiempo de fragua final	$a/c = 0:60$	6 horas 45 minutos

Fuente: elaboración propia.

4.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO.

Es importante la porosidad en un concreto endurecido ya que por estos poros entraran líquidos que causen deterioro a la estructura (Gonzales, 1998).

Para la presente tesis se ha producido probetas de concreto con relaciones a/c : 0.70, 0.65 y 0.60, seguidamente en el Cuadro N° 34 la distribución del número de muestras a ser ensayadas para cada a/c .

Cuadro 36. Relación de Ensayos de Resistencia a Compresión

Edad del concreto	relación	agua	cemento	sub total
7 días	0.60	0.65	0.70	60
14 días	20	20	20	60
28 días	20	20	20	60
TOTAL				180

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Resistencia a la compresión

Bizcok (1964) afirma que no existe hasta el momento una ley general que describa el comportamiento de una estructura de concreto sometido a los diferentes estados de esfuerzo, razón por la cual, se emplea la resistencia a la compresión simple como punto de origen para poder estudiar propiedades como resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia al corte del concreto.

Establece la resistencia a compresión como el método de ensayo que tiene por finalidad determinar la carga máxima donde ocurre la ruptura del concreto (Rivva, 2006).

4.3.1.1 Definición:

Rivva (2006) establece la resistencia a compresión como el método de ensayo que tiene por finalidad determinar la carga máxima donde ocurre la ruptura del concreto, también refiere que es la manera tradicional y práctica de evaluar la resistencia y uniformidad del concreto en las edificaciones.

El método consiste en moldear probetas con el concreto empleado en obra, que luego son llevadas a rotura en una prensa, bajo cargas de compresión. Conviene efectuar correctamente el proceso de muestreo, preparación y curado de probetas para evitar resultados erróneos de resistencia (Cachay, 1995).

4.3.1.2 Materiales a usar

Los materiales a usar en la preparación de las muestras de concreto en la presente tesis:

El material necesario para preparar las muestras de ensayo de concreto simple según las normas NTP 339.083, está constituido por los siguientes elementos:

- (I) Moldes cilíndricos de 4" de diámetro por 8" de altura.
- (II) Barra compactadora de acero liso, de 16mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 60cm de longitud. La barra será terminada en forma semiesférica.
- (III) Cuchara para el muestreo y plancha de albañil.
- (IV) Aceites derivados de petróleo, como grasa mineral blanda.
- (V) Lienzos absorbentes, por ejemplo yute o alternativamente, película de polietileno de 0.05mm de espesor y/o lámina de material plástico.

(VI) Los moldes deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Su construcción debe darle rigidez, impidiendo el escape de la lechada del cemento por las juntas.

(VII) Eventualmente se utilizan de material plástico duro.

Según la NTP las probetas se retirarán de los moldes entre las dieciocho a veinticuatro horas después de moldeadas. Se procederá soltando los elementos de cierre y luego de un momento serán desmoldadas cuidadosamente.

También la NTP refiere que marcará en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde, utilizando lápiz de cera o un pincel con pintura negra. Las probetas deberán ser llevadas a mano a la cámara de curado.

4.3.1.3 Curado

La NTP indica que una vez desmoldadas las muestras de concreto se llevan a una cámara de curado que contienen agua (potable) a una temperatura de 23° c.

Un factor indirecto pero no menos importante en la resistencia del concreto lo constituye el curado, ya que sin el curado el proceso de hidratación del cemento no se llegaría a desarrollar completamente y por lo tanto no se llegarían a obtener las resistencias esperadas (Pasquel, 1998).

En la presente tesis se fabricaron probetas de 4"x 8", las cuales han sido curadas a 7, 14 y 28 días. Seguidamente la elaboración de las muestras de concreto.

Elaboración de las muestras de concreto

Se elaboran las probetas de concreto, siendo esta mezcla sujeta a la NTP 339.183, deben ser fabricadas llenando los moldes cilíndricos en tres capas, compactadas cada una de ellas con 25 golpes, mediante una varilla metálica estandarizada.

Las mismas deben de ser desencofradas al día siguiente e inmediatamente ser sometidas al curado sumergiéndolas en agua saturada de cal y depositados en unos tanques especialmente acondicionados con esta finalidad (Pasquel, 1998).

Las muestras de concreto deberán ser retiradas de las pozas de curado 3 horas antes de ser ensayadas, caso contrario las resistencias esperadas se verían afectadas (Cachay, 1995).

Antes de realizar el ensayo a compresión, primeramente las probetas deben de ser pesadas y sus diámetros medidos. Luego se hace el refrendado que permite eliminar ciertas irregularidades que pudieran haber en las bases de las probetas y obtener el

paralelismo de ambas, lo cual es un requisito para la realización de dicho ensayo (Cachay, 1995).

Para realizar los ensayos de resistencia a la compresión se usaron pads de neoprene, según la NTP 339.034.

Las probetas se colocan en forma centrada en la máquina de ensayo y se comprime a una velocidad de carga de 500kg/s. aproximadamente, la cual se debe mantener constante durante la duración del ensayo, es decir hasta cuando se logre la rotura de la probeta y la aguja de carga empiece a regresar aunque este cargando la máquina (Pasquel, 1998).

La resistencia a compresión de la probeta se determina mediante la siguiente fórmula (Bizcok, 1964):

$$R_c = (4G) / (3.14D^2)$$

Dónde:

R_c = Es la resistencia de rotura a la compresión, kg/cm^2

G = Es la carga máxima de rotura (kg).

D = Es el diámetro de la probeta en centímetros (promedio).

Finalmente con los datos obtenidos se calcula la desviación estándar y coeficiente de variación.

Para Pasquel (1998) la desviación estándar para las condiciones de laboratorio, se considera excelente si es menor a 14.1, muy bueno si esta entre 14.1 y 17.8, bueno si está entre 17.6 y 21.1, suficiente si está entre 21.1 y 24.6 y deficiente si es mayor a 24.6. Para el coeficiente de variación, se considera excelente si es menor a 2, muy bueno se está entre 2 y 3, bueno si está entre 3 y 4, suficiente si está entre 4 y 5 y deficiente si es mayor a 5.

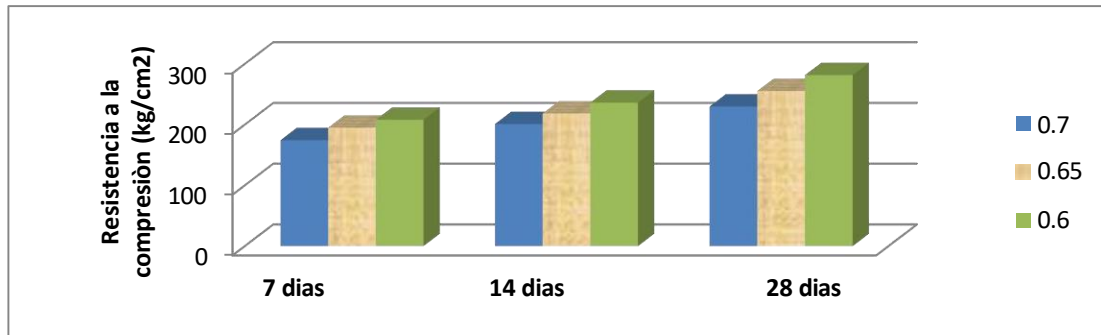
A continuación, en el Cuadro N° 35 se muestra la resistencia a la compresión final promedio para cada a/c, seguidamente estos datos en el Gráfico N° 12.

Cuadro 37. Resultados del ensayo a Compresión

Ensayo	Días	Unidad	(a/c) = 0.70	(a/c) = 0.65	(a/c) = 0.60
Resistencias a la compresión	7	Kg/cm ²	174.40	201.20	229.80
	14		195.00	218.39	255.40
	28		208.20	236.80	281.46

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 13. Resistencia A Compresión Vs Tiempo a/c: (0.70), (0.65) y (0.60)



Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es relativamente baja. Es más difícil medir la resistencia a la tracción que la resistencia a la compresión debido a los problemas de agarre con las máquinas de prueba (Bizcok, 1964).

La resistencia a la tracción debe darse según la fórmula (Bizcok, 1964):

$$T = (2xP)/3.14xDxL$$

Dónde:

P = Fuerza de compresión.

D = Diámetro.

L = Longitud del cilindro.

A continuación en el Cuadro N° 36 se detalla el número de muestras destinadas para cada relación agua cemento.

En el Cuadro N° 37 se muestra la resistencia final y seguidamente la tendencia de los datos en el Gráfico N° 13.

Cuadro 38. Relación de Ensayos a tracción

Edad Del	Relación	Agua	Cemento	Total
Concreto 28 días	0.60 5	0.65 5	0.70 5	15

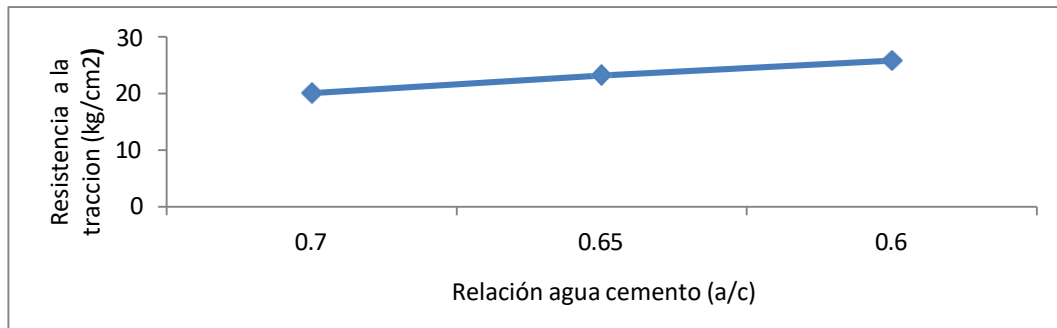
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 39. Resultado de Resistencia a tracción

Ensayo	Días	Unidad	(a/c) = 0.70	(a/c) = 0.65	(a/c) = 0.60
Compresión					
diametral	28	Kg/cm ²	20.10	23.20	25.82

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 14. Resistencia a la Tracción vs a/c



Fuente: elaboración propia.

4.4 ABSORCIÓN EN EL CONCRETO ENDURECIDO

En la NTP 339.047 se refiere a la absorción como el proceso en el cual un líquido se introduce a través de los poros permeables de un cuerpo y tiende a llenarlos, también hace referencia al incremento de la masa de un cuerpo poroso producto de la inserción del líquido en sus poros permeables.

Igualmente dice que el líquido en la absorción de agregados y de concreto es el agua y que el incremento de masa, en el cual no se considere el agua presente en la superficie externa, es determinado a partir de la masa seca, cuando es sometida la muestra a una temperatura de 100°C.

La norma NTP 339.047 explica el procedimiento para dicho ensayo y se determina con la relación siguiente:

$$\text{Absorción después de la inmersión} = [(B - A) / A] \times 100\%$$

Donde A: masa de la muestra seca en kg.

B: masa de la muestra saturada superficialmente seca, luego de la inmersión y en kg.

- Según lo anteriormente mencionado y acondicionado a la presente tesis, el procedimiento del ensayo es el siguiente:
 - a) Curar las muestra de concreto por un tiempo de 28 días, retirar estas muestras, dejarlas secar por un espacio de tres horas al medio ambiente, luego llevarlas al horno a una temperatura entre 100 °C aproximadamente por 24 horas.
 - b) Registrar la masa seca y sumergirlas en un recipiente con agua por 24h.
 - c) Luego de 24 horas en el agua, secar la superficie externa de las probetas y registrar la masa húmeda de cada una.
 - d) Determinar la absorción de las probetas de concreto de la siguiente forma:

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

A continuación, en el Cuadro N° 38 se muestra el número de muestras sometidas al ensayo de absorción:

Cuadro 40. Distribución de ensayo absorción en el concreto

Edad del Concreto	Relación	Agua	Cemento	Total
28 días	0.60 5	0.65 5	0.70 5	15

Fuente: elaboración propia.

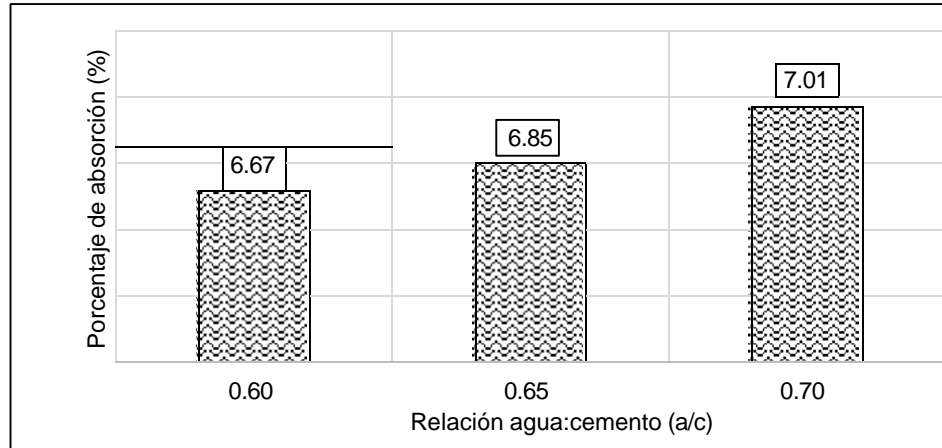
Los valores obtenidos promedio de absorción en el concreto (después de 28 días de curado) se presentan en el Cuadro N° 39 y los datos los ubicamos en el Gráfico N° 14.

Cuadro 41. Resultados de absorción en el concreto

Ensayo	Unidad	(a/c) = 0.70	(a/c) = 0.65	(a/c) = 0.60
Diametral	%	7.01	6.85	6.67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 15. Absorción del concreto endurecido



Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO V: ENSAYO DE EFECTO FÍSICO MECÁNICOS EN EL CONCRETO ARMADO

El método usado en la presente tesis es el método de humedecido y secado por pérdida de peso, realizado por ing. José Luis Díaz Lazo (Tesis: "Corrosión del cemento por ataque del sulfato" UNI-FIC 1994), este método permite estudiar el proceso evolutivo de corrosión acelerada en el concreto armado de mediana a baja resistencia, por el ataque del cloruro de sodio, usando el cemento Portland tipo I, con las siguientes dosificaciones agua cemento (a/c) : 0.70, 0.65, 0.60.

Con el objetivo de analizar los efectos que se producen con el transcurrir del tiempo en las propiedades físicas y mecánicas del concreto endurecido, tanto el concreto simple como en el armado de mediana a baja resistencia por acción de ciclos de humedecido y secado en una solución de cloruro de sodio (100 gr/lit), las propiedades mencionadas serán estudiadas en concreto armado con acero de refuerzo, el método de corrosión acelerada se le aplicará a estas muestras después de haber sido sometidas a 28 días de curado. El método de corrosión acelerada será de 30 ciclos equivalente a 60 días.

5.1 ENSAYO DE CORROSION EN EL ACERO

Una varilla de acero corrugado de diámetro 3/8" de longitud 50cm (sin síntomas de corrosión) es sometida a un ambiente salino (concentración de 100gr/lit), durante 24 horas, luego se procede con esta varilla a ponerla a secar al medio ambiente, terminando el primer ciclo, completando esta varilla 30 ciclos, posteriormente a esta varilla se le somete a un ensayo de máxima tensión con la finalidad de medir su posterior variabilidad.

5.1.1 Ensayo de máxima tensión

Este ensayo permite obtener información sobre la capacidad de la varilla de acero corrugado para soportar la acción de cargas estáticas. Así mismo se pueden identificar las características mecánicas que presenta la varilla evaluada y conocer el comportamiento del acero corrugado después de haber sido sometido a 30 ciclos de humedecido y secado.

5.1.2 Ensayo de corrosión acelerada en el concreto armado

Para lograr el objetivo de esta tesis se consideró utilizar el método de corrosión acelerada mediante la ejecución de ciclos de humedecido y secado. El grado de desgaste o degradación (corrosión) puede apreciarse mediante una inspección ocular o calculándose por distintos procedimientos, entre los que pueden citarse los siguientes:

- Variación de pesos.
- Examen ocular de los desperfectos sufridos por las muestras de concreto armado sometidas al método de corrosión acelerada.
- Medición de la variación de las propiedades mecánicas (Avendaño, 2000).
- Cantidad de cloruros resultantes después de completado el ciclo N° 60.

Avendaño (2000) menciona en su investigación que este método de corrosión acelerada fue desarrollado en el año 1980 por los ingenieros miembros del comité ACI, Shinzo Nishibayashi, Kiyoshi Yamura y Shoichi Inoue, mediante su publicación titulada *Durability of Concrete in Sea Water: Method of Accelerated Testing and Evaluation*.

Para la ejecución de la presente tesis se fabricaron probetas (4"x8") de concreto armado, las cuales fueron sometidas a un ambiente salino, la distribución del número de probetas para cada a/c se detalla en el Cuadro N° 40.

Cuadro 42. *Relación de ensayos acelerados*

Tipo de concreto	Edad del concreto	Relación	Agua	cemento	Total
		0.60	0.65	0.70	
Concreto armado	28 días	20	20	20	60

Fuente: elaboración propia.

Para lograr el objetivo de analizar los efectos que se producen con el tiempo en las propiedades físicas y resistentes del concreto armado de mediana a baja resistencia por acción de ciclos de humedecido y secado de una solución de cloruro de sodio de

100 gr/lt; posteriormente se estudia las propiedades mencionadas en el concreto armado con acero de refuerzo, a este método se le somete a las muestras de concreto armado una vez que han sido curadas por 28 días, las muestras han sido realizadas para las relaciones agua cemento 0.60, 0.65 y 0.70, elaboradas con cemento Portland Tipo I "SOL". Para cada relación a/c se sometieron al ensayo 20 muestras de concreto armado de dimensiones 4"x8".

El cloruro de sodio ataca al concreto armado en un proceso de humedecido y secado por la acumulación de sales en los poros luego se cristalizan y se expanden provocando la rotura (Gonzales. 1998).

En el interior del concreto, las barras de refuerzo están protegidas por una capa microscópica de óxido que se forma sobre la superficie e impide la disolución del acero. Únicamente la parte de cloruro no combinable es la responsable de la corrosión de refuerzo (Gonzales, 1998).

Existe una concentración crítica de cloruros para el inicio de la corrosión pero no hay acuerdo sobre el nivel de esta concentración, por intervención de factores propios del concreto, como la relación a/c, el tipo de cemento y el estado de endurecimiento. Para que se presente la corrosión por cloruros además de la presencia de oxígeno y humedad se requiere de un determinado valor denominado potencial crítico de cloruros y que este potencial estará en función de la cantidad de cloruros (Hanson, 2016).

La humedad es un factor desencadenante de corrosión (Gonzales, 1998).

El efecto directo más nocivo por acción de cloruros en la mezcla de concreto endurecido ésta constituido por la cristalización de las sales dentro de los poros lo cual puede producir roturas en los mismos debido a la presión ejercida por los cristales de sal. Puesto que la cristalización ocurre en el punto de evaporación del agua, este tipo de ataque se produce de manera más acentuada en el concreto que no ésta permanentemente en contacto directo con el agua. No obstante, debido a que la sal en solución penetra y asciende por capilaridad, el ataque es más intenso cuando el agua o la humedad pueden penetrar en el concreto, por lo tanto la permeabilidad en el concreto es un factor de gran importancia y el clima tropical de

nuestra franja costera actúa como catalizador del proceso (Gonzales, 1998).

La corrosión también puede deberse a la despasivación del acero como consecuencia de la carbonatación de la pasta de cemento hidratado (Neville, 2013).

5.1.2.1 Presencia de sales

La presencia de sales provoca generalmente dos efectos, que resultan opuestos uno al otro, reducen la resistividad del electrolito incrementando así la velocidad de corrosión y en concentraciones altas disminuye la solubilidad del oxígeno y puede por lo tanto disminuir la velocidad de corrosión (Verano, 2001).

Las sales suelen ser el resultado de la reacción química que se genera entre una base (que aporta el catión) y un ácido (que suministra el anión) (Rimarachin, 2013).

La sal que se utiliza para condimentar los alimentos es un ejemplo del producto de este tipo de reacción que involucran a un catión y a un anión. En este caso, la base hidróxido sódico proporciona el catión al reaccionar con el ácido clorhídrico que suma el anión. El resultado es el producto conocido como cloruro de sodio (Rimarachin, 2013).

5.1.3 Determinación de cloruro soluble

Basado en la Norma ASTM International ASTM D1411-09 Standard Test Methods for Water-Soluble Chlorides Present as Admixtures in Graded Aggregate Roas Mixes, p. 1-5.

5.1.3.1 Ensayo de determinación de cloruro soluble

Realizado al concreto en estado endurecido para $a/c = 0.70$, los resultados en Cuadro N° 41

Ensayo de determinación de cloruro soluble ASTM D1411-09. Ensayo realizado al concreto endurecido terminado el ciclo de humedecido y secado, para un $a/c=0.70$.

Cuadro 43. Ensayo de determinación de cloruro soluble

Parámetros	Unidades	Resultados
Cloruro soluble	%	0.69

Fuente: FIQ – UNI

CAPÍTULO VI: PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS Y NORMAS

6.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DEL MÉTODO

El método utilizado en la presente tesis es el método de corrosión acelerada, que consiste en el humedecimiento y secado y por pérdida de peso, desarrollado por el ing. José Luis Díaz Lazo (Tesis: “Corrosión del cemento por ataques del sulfato” UNI –FIC 1994). La metodología para la presente tesis consiste en estudiar el proceso evolutivo de la corrosión en el concreto armado de mediana a baja resistencia por ataque del cloruro de sodio, usando el cemento Portland Tipo I “SOL” para las dosificaciones: 0.70, 0.65 y 0.60.

Se fabrica probetas (muestras) de concreto de dimensiones: 4” (pulgadas) de diámetro por 8” (pulgadas) de altura, con varillas de acero corrugado de 3/8” con una longitud de 10cm. en su interior (al centro de la muestra), siendo introducidas estas muestras en un recipiente con solución de cloruros de sodio (sal de cocina) en una concentración de 100 gr/lit. Las varillas de acero corrugado fueron colocadas al centro de las muestras, para cada dosificación señalada. Se sometieron al ambiente salino 20 muestras de concreto armado para cada a/c.

6.2 PROCEDIMIENTO DE ATAQUE AL CONCRETO ENDURECIDO

6.2.1 Materiales

Se emplean los siguientes materiales:

Cemento: Portland, tipo: I, marca: “SOL”.

Arena gruesa.

Piedra chancada.

Agua potable.

Cloruro de sodio (sal de cocina).

6.2.2 Equipos

(I) Moldes para probetas de 4” (pulgadas) x 8” (pulgadas).

(II) Equipo de mezclado: Mezcladora con motor eléctrico, esta mezcladora tiene un

recipiente de mezclado resistente al ataque físico y químico.

(III) Balanza de pesado: La balanza utilizada tiene una capacidad menor a 5000 gramos y con una sensibilidad de 0.1 gr.

(IV) Forma de secado: Secado a temperatura ambiente.

(V) Forma de compactación.- Compactación normalizada.

6.2.3 Dosificaciones

En las muestras se usó el cemento Portland tipo I de la marca "SOL", con las siguientes dosificaciones agua cemento (a/c): 0.60, 0.65 y 0.70.

6.2.4 Solución de inmersión

La solución de inmersión tiene una concentración de cloruro de sodio que es de 100 gramos por cada litro de agua potable es decir 100 gr/lit.

6.2.5 Preparación de las muestras

Las muestras se preparan en las relaciones dadas, de la forma siguiente:

(I) Se coloca la primera capa de la pasta hasta la mitad de la probeta y a la vez introduciendo la varilla de acero corrugado de diámetro 3/8", y una longitud de 10cm, tratando que el recubrimiento de las varillas quede a 5cm.

(II) Se compacta con la varilla con 25 golpes uniformemente con él compactador normalizado.

(III) Se llena nuevamente la probeta (segunda mitad).

(IV) Se compacta ésta segunda capa con 25 golpes, nuevamente con él compactador normalizado.

(VI) Posteriormente una vez que la pasta adquiere consistencia se enrasa la parte superior de la probeta con una espátula.

(VII) Después de 24 horas se procede a desmoldar las muestras de concreto armado.

(VIII) Una vez desmoldadas las muestras son llevadas a curar a una poza con agua

por un transcurso de 28 días.

6.2.6 Ensayo con cloruro de sodio

La aplicación del método desarrollado por Díaz (1994) en esta tesis tiene por finalidad determinar los efectos físico-mecánicos al concreto y a la varilla de acero que se encuentra dentro del concreto por efecto del cloruro de sodio.

Díaz (1994) señala dos fases en el método de corrosión acelerada: la fase inicial y la fase de inmersión acelerada, dichas fases se describen a continuación:

Fase inicial:

- Secado a temperatura ambiente por 24 horas, Imagen N° 6.

Imagen 6. Fase inicial del Ensayo de Humedecido y Secado



Fuente: elaboración propia.

- Registrar el peso inicial de las muestras.

Fase de inmersión

- Sumergir las muestras durante 24 horas, ver Imagen N° 7.

Imagen 7. Fase de Inmersión de las muestras



Fuente: elaboración propia.

- Secar la muestra 24h a temperatura ambiente, Imagen N° 8.

Imagen 8. Fase de secado de las muestras



Fuente: elaboración propia.

- Registrar el peso de las muestras (peso del ciclo 1).
- Sumergir las muestras en la solución salinas por 24 horas.
- Secar las muestras por 24 horas a temperatura ambiente.
- Registrar el peso de las muestras (peso del ciclo 2).
- Repetir el procedimiento anterior hasta completar los 30 ciclos.

6.3 PROCEDIMIENTO DE ATAQUE AL ACERO

El método de corrosión acelerada se inicia sumergiendo una varilla de diámetro 3/8", con una longitud de 50cm, en la solución establecida durante 24 horas, luego se seca a temperatura ambiente durante 24 horas, así obtenemos un ciclo, a esta varilla la sometemos a 30 ciclos, Este ensayo de corrosión acelerada tiene por finalidad

determinar la resistencia a la corrosión de la varilla de acero sometida al ataque de cloruro de sodio (sal de cocina), ver Imagen N° 9.

Imagen 9. Acero Oxidado por sales (demarcado para ser sometido al ensayo)



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO VII: CUADROS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

7.1 INTRODUCCIÓN

Los ensayos realizados en el presente estudio se muestran clasificados de acuerdo a su relación agua cemento (a/c). Los resultados de los ensayos en forma de cuadros y gráficos se muestran a continuación.

7.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS A LOS AGREGADOS

7.2.1 Resultados de las propiedades físicas

Seguidamente se presentan las propiedades físicas tanto para la arena como para la piedra.

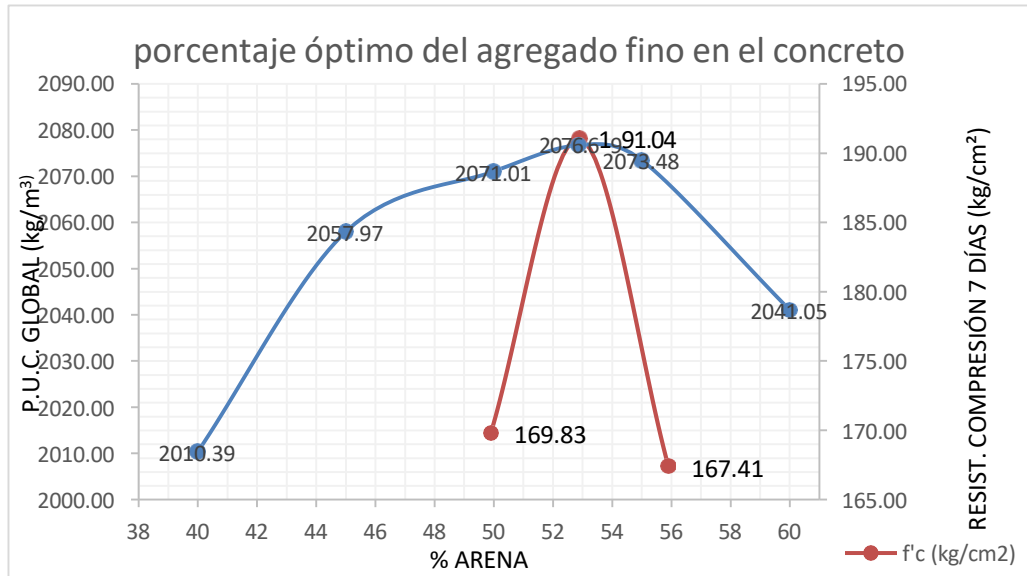
7.2.1.1 Resultados de las propiedades físicas para la arena

Del Cuadro N° 16 el módulo de finura resultante para la arena es de 2.85, este módulo de finura indica que es una arena “fina” y el porcentaje de absorción es de 1.94%.

7.2.1.2 Resultados de las propiedades físicas para la piedra

Del Cuadro N° 16 el módulo de finura resultante para la piedra es de 7.33, este módulo de finura indica que es una piedra “gruesa” y el porcentaje de absorción para la piedra es de 0.85%.

Gráfico 16. Porcentaje óptimo del agregado fino en el concreto



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO VII: CUADROS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

Según el Gráfico N° 4 permite observar que la combinación del agregado fino y grueso que mejor resistencia arroja es el que corresponde a la proporción arena 53% y piedra 47%.

Habiéndose demostrado que, desde el punto de vista de la trabajabilidad, la proporción óptima también es de 53% de arena y 47% de piedra, igualmente la máxima compactación del agregado global se obtiene alrededor de esta misma proporción de mezcla de agregados.

7.2.2 Cantidad de cloruros en los materiales

La cantidad de cloruros solubles en los materiales se determina con los resultados de los análisis realizados en el laboratorio de química de la facultad de ingeniería civil de UNI, del Cuadro N° 24 observamos la cantidad de cloruros en los materiales con los cuales se han elaborados las muestras de concreto armado en la realización de la presente tesis.

Cuadro 44. Cantidad de cloruros en los materiales usados

Análisis	Cloruros Cl ⁻ ppm
Agua de mezcla	135
Arena gruesa	73
Piedra chancada	286
TOTAL	494

Fuente: UNI – FIC.

7.3 RESULTADO DE ANÁLISIS AL CONCRETO FRESCO

Los resultados del concreto fresco se muestran en el siguiente Cuadro N° 42 los mismos que corresponden a diseños realizados en el capítulo IV, con el criterio de tener un asentamiento de 4”.

Cuadro 45. Resultados de ensayos al concreto en estado fresco

	E	N	S	A	Y	O	S
Relación	asentamiento		peso		Tiempo de		fragua
a/c			Unitario		Inicial		Final
	(pulg)		(kg/) m ³		(h:m)		(h:m)
0.70	4 “		2437.134		5:57		7:25
0.65	4 “		2442.5059		5:50		7:14
0.60	4 “		2440.0387		5:40		6:45

Fuente: elaboración propia.

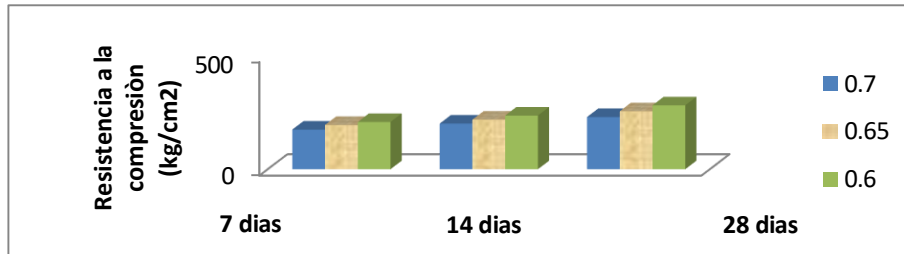
7.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL CONCRETO ENDURECIDO

Al concreto endurecido se le hicieron tres ensayos dentro del estudio de las propiedades del concreto en estado endurecido: Ensayo de Compresión, Ensayo de tracción por compresión diametral y el Ensayo de Absorción; posteriormente se hizo el ensayo de humedecido y secado de las muestras (20 muestras para cada a/c), por último el ensayo de absorción de cloruros (resultante) al concreto endurecido (para a/c = 0.70).

7.4.1 Resistencia a compresión

En el Gráfico N° 12 que es el resultado de los ensayos realizados al concreto “patrón” se observa la tendencia a aumentar la resistencia a compresión conforme baja la relación a/c en el concreto, lo cual era lo esperado.

Gráfico 17. Resistencia a la Compresión Vs Tiempo

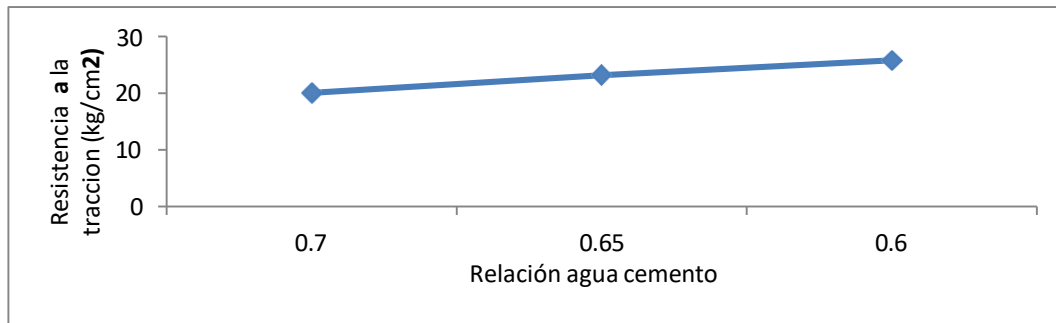


Fuente: elaboración propia.

7.4.2 Resistencia a tracción

Del Gráfico N° 13, que es el resultado de los ensayos realizados al concreto “patrón” se observa la tendencia a aumentar la resistencia a la tracción a medida que disminuye la relación a/c, lo que era de esperarse.

Gráfico 18. Resistencia a la tracción vs a/c

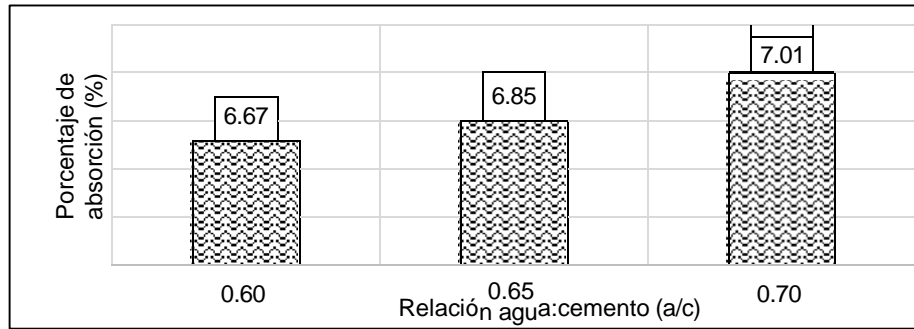


Fuente: elaboración propia.

7.4.3 Absorción

En este ensayo se encontró que la absorción aumenta a mayor relación a/c, tal como se puede observar en el Gráfico N°14.

Gráfico 19. Absorción en el concreto endurecido



Fuente: elaboración propia.

7.5 PROPIEDADES FÍSICAS

7.5.1 Peso registrados

7.5.1.1 Variación de los pesos y gráficos: a/c=0.70

En esta sección se ubican los resultados de las variaciones obtenidas en los pesos y gráficos para la relación $a/c = 0.70$, durante el período de la ejecución del método de humedecido y secado. En el Cuadro N° 43 se ubican el número de muestras a ser ensayadas para esta relación a/c .

Cuadro 46. Distribución de ensayos a corrosión $a/c=0.70$

Tipo de concreto	Edad del concreto	$a/c = 0.70$
Concreto armado	60 días	20
TOTAL		20

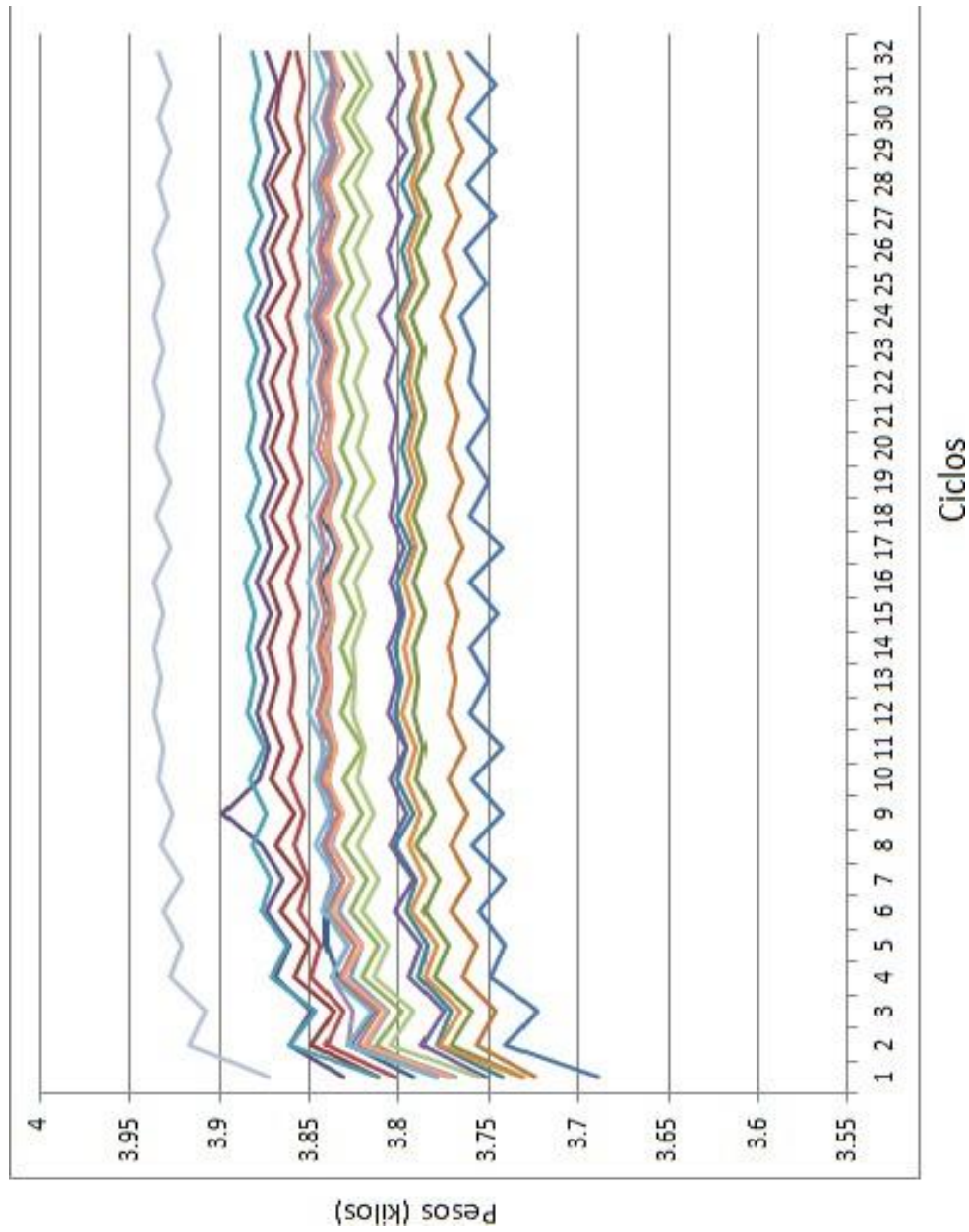
Fuente: elaboración propia.

La anotación de los pesos de las muestras de concreto armado para la relación $a/c=0.70$ en los ciclos de humedecido y secado están en el Cuadro N° 44 y la tendencia del comportamiento de las mismas en dicho ciclo se ubican en el Gráfico N° 15, a continuación:

Cuadro 47. Relación de los pesos de las muestras concreto armado, para $a/c = 0.70$

	muestra n°1	muestra n°2	muestra n°3	muestra n°4	muestra n°5	muestra n°6	muestra n°7	muestra n°8	muestra n°9	muestra n°10	muestra n°12	muestra n°13	muestra n°14	muestra n°15	muestra n°16	muestra n°17	muestra n°18	muestra n°19	muestra n°20
n° día	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d	peso kg vs d
0	3,792	3,811	3,731	3,831	3,742	3,725	3,689	3,802	3,779	3,752	3,811	3,732	3,769	3,772	3,755	3,779	3,779	3,771	3,873
1	3,827	3,849	3,771	3,861	3,779	3,757	3,741	3,841	3,813	3,788	3,861	3,778	3,818	3,823	3,805	3,828	3,828	3,819	3,917
2	3,814	3,836	3,759	3,849	3,771	3,746	3,723	3,831	3,799	3,775	3,847	3,766	3,806	3,811	3,792	3,826	3,816	3,808	3,908
3	3,834	3,858	3,781	3,869	3,789	3,765	3,749	3,849	3,821	3,795	3,871	3,786	3,827	3,833	3,814	3,838	3,838	3,831	3,927
4	3,841	3,851	3,773	3,861	3,784	3,757	3,741	3,844	3,812	3,786	3,863	3,779	3,821	3,825	3,806	3,828	3,828	3,821	3,921
5	3,842	3,866	3,787	3,874	3,796	3,771	3,756	3,856	3,827	3,802	3,877	3,793	3,834	3,839	3,821	3,843	3,843	3,837	3,931
6	3,831	3,854	3,778	3,865	3,791	3,761	3,741	3,851	3,818	3,792	3,871	3,785	3,826	3,831	3,811	3,837	3,835	3,826	3,921
7	3,843	3,869	3,791	3,877	3,802	3,771	3,759	3,859	3,831	3,805	3,882	3,795	3,838	3,843	3,823	3,841	3,847	3,839	3,933
8	3,834	3,859	3,781	3,899	3,792	3,762	3,743	3,853	3,821	3,796	3,874	3,788	3,832	3,834	3,814	3,837	3,839	3,831	3,926
9	3,843	3,871	3,791	3,878	3,801	3,772	3,759	3,861	3,831	3,805	3,883	3,796	3,841	3,846	3,823	3,841	3,847	3,841	3,934
10	3,838	3,865	3,787	3,873	3,796	3,763	3,743	3,855	3,821	3,796	3,876	3,791	3,835	3,837	3,819	3,843	3,842	3,835	3,931
11	3,845	3,873	3,792	3,879	3,802	3,773	3,761	3,861	3,832	3,806	3,885	3,798	3,842	3,846	3,826	3,844	3,851	3,843	3,937
12	3,839	3,867	3,789	3,874	3,798	3,768	3,751	3,858	3,826	3,801	3,881	3,793	3,837	3,841	3,825	3,838	3,846	3,837	3,932
13	3,844	3,873	3,792	3,879	3,802	3,773	3,761	3,861	3,833	3,806	3,884	3,797	3,841	3,845	3,826	3,842	3,851	3,843	3,936
14	3,837	3,866	3,786	3,872	3,797	3,767	3,745	3,856	3,824	3,799	3,881	3,792	3,837	3,841	3,819	3,836	3,845	3,836	3,931
15	3,844	3,873	3,792	3,879	3,801	3,774	3,761	3,862	3,832	3,805	3,886	3,797	3,842	3,845	3,825	3,842	3,851	3,841	3,936
16	3,835	3,863	3,785	3,871	3,794	3,765	3,743	3,856	3,823	3,797	3,878	3,791	3,834	3,841	3,816	3,833	3,843	3,833	3,928
17	3,844	3,872	3,792	3,877	3,801	3,773	3,761	3,861	3,831	3,805	3,885	3,796	3,841	3,846	3,824	3,841	3,851	3,841	3,935
18	3,835	3,863	3,785	3,869	3,793	3,765	3,751	3,854	3,825	3,801	3,878	3,789	3,833	3,838	3,814	3,836	3,842	3,835	3,928
19	3,842	3,871	3,791	3,877	3,798	3,773	3,762	3,861	3,833	3,805	3,885	3,795	3,841	3,845	3,823	3,842	3,849	3,841	3,935
20	3,838	3,865	3,786	3,872	3,793	3,767	3,751	3,857	3,826	3,801	3,881	3,791	3,837	3,841	3,818	3,838	3,845	3,836	3,931
21	3,843	3,871	3,791	3,878	3,798	3,774	3,761	3,861	3,832	3,808	3,884	3,795	3,842	3,845	3,824	3,844	3,851	3,842	3,936
22	3,839	3,864	3,787	3,873	3,793	3,769	3,758	3,857	3,828	3,802	3,879	3,792	3,837	3,841	3,818	3,836	3,846	3,835	3,931
23	3,847	3,874	3,794	3,879	3,801	3,777	3,766	3,862	3,835	3,811	3,886	3,798	3,844	3,848	3,826	3,845	3,852	3,843	3,937
24	3,838	3,864	3,784	3,871	3,793	3,768	3,752	3,856	3,826	3,801	3,878	3,791	3,835	3,841	3,817	3,837	3,844	3,833	3,931
25	3,844	3,872	3,791	3,877	3,798	3,775	3,764	3,861	3,833	3,807	3,884	3,795	3,841	3,845	3,825	3,843	3,851	3,841	3,936
26	3,836	3,862	3,783	3,869	3,791	3,766	3,746	3,854	3,823	3,798	3,877	3,788	3,834	3,841	3,816	3,837	3,843	3,834	3,929
27	3,843	3,871	3,791	3,876	3,798	3,774	3,762	3,858	3,832	3,806	3,883	3,793	3,841	3,845	3,824	3,843	3,848	3,841	3,934
28	3,835	3,861	3,782	3,867	3,789	3,765	3,746	3,853	3,821	3,796	3,878	3,788	3,835	3,838	3,815	3,836	3,841	3,831	3,928
29	3,842	3,869	3,787	3,874	3,795	3,773	3,762	3,857	3,831	3,806	3,882	3,792	3,841	3,843	3,826	3,841	3,848	3,838	3,934
30	3,831	3,866	3,781	3,867	3,788	3,765	3,746	3,853	3,821	3,797	3,878	3,788	3,835	3,838	3,816	3,836	4	3,832	3,928
31	3,843	3,861	3,785	3,874	3,794	3,772	3,762	3,857	3,831	3,807	3,882	3,792	3,841	3,838	3,824	3,841	3,847	3,838	3,934

Gráfico 20. Variación de los pesos de las muestras, a/c=0-70



7.5.1.2 Variación de los peso y gráficos: $a/c=0.65$

En esta sección se ubican los resultados de las variaciones obtenidas en los pesos y gráficos para la relación $a/c = 0.65$, durante el período de la ejecución del método de humedecido y secado. En el Cuadro N° 45 se detalla el número de muestras que han sido sometidas al método de corrosión acelerada para la relación a/c mencionada.

Cuadro 48. Distribución de ensayos a corrosión $a/c = 0.65$

Tipo de concreto	Edad del concreto	$a / c = 0.65$
Concreto armado	60 días	20
	Total	20

Fuente: elaboración propia.

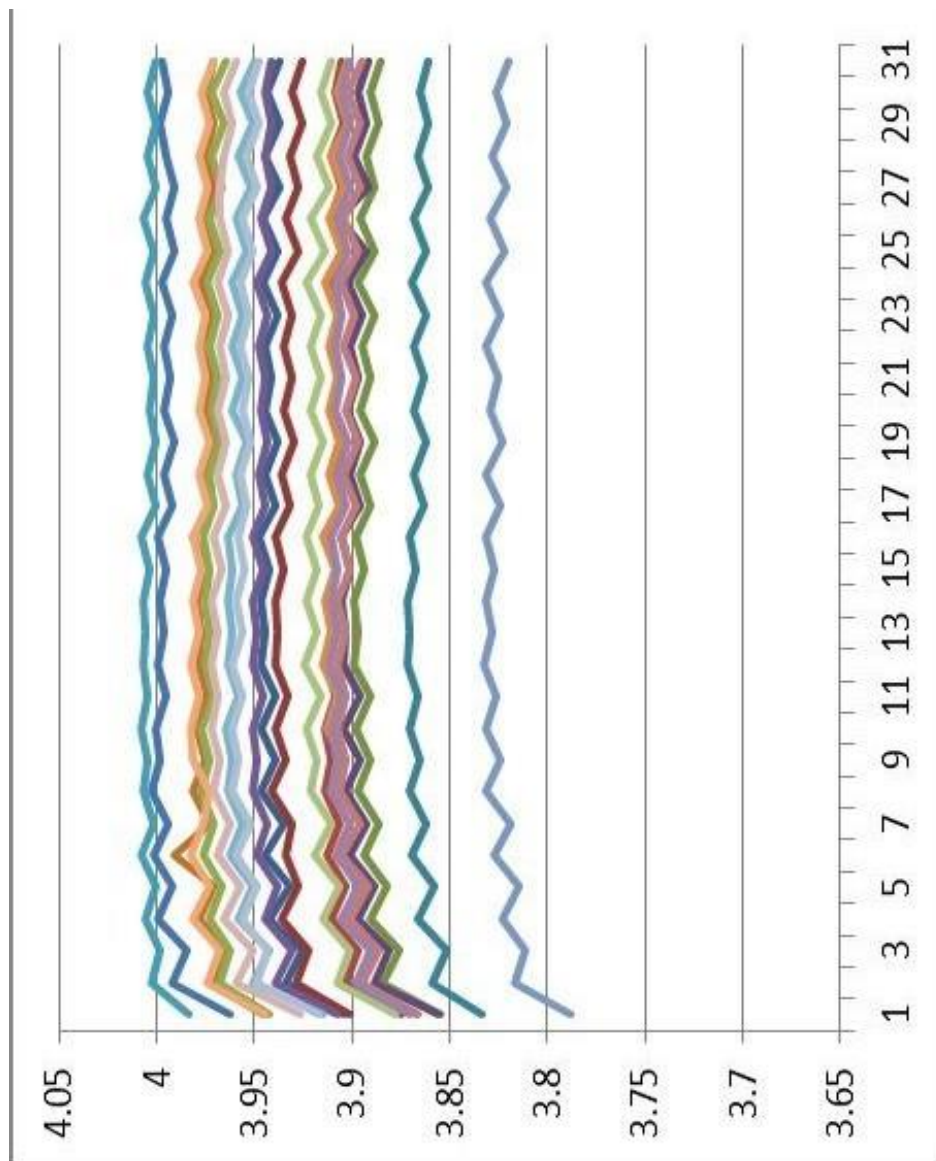
La anotación de los pesos de las muestras de concreto armado para la relación a/c 0.65 en los ciclos de humedecido y secado están en el Cuadro N° 46 y la tendencia de su comportamiento en dicho ciclo se ubican en el Gráfico N° 16, a continuación:

Cuadro 49. Relación de pesos de las muestras de concreto, a/c = 0.65

dia	muestra n°1	muestra n°2	muestra n°3	muestra n°4	muestra n°5	muestra n°6	muestra n°7	muestra n°8	muestra n°9	muestra n°10	muestra n°11	muestra n°12	muestra n°13	muestra n°14	muestra n°15	muestra n°16	muestra n°17	muestra n°18	muestra n°19	muestra n°20
0	3,916	3,842	3,826	3,949	3,914	4,003	3,927	3,966	3,866	3,761	3,983	3,861	3,872	4,049	3,841	3,934	3,913	3,966	3,834	3,838
1	3,946	3,884	3,873	3,899	3,946	4,042	3,973	4,001	3,909	3,794	4,022	3,901	3,912	4,093	3,872	3,962	3,952	3,997	3,879	3,881
2	3,941	3,881	3,868	3,894	3,943	4,035	3,963	3,995	3,904	3,791	4,019	3,896	3,906	4,084	3,862	3,959	3,945	3,991	3,872	3,874
3	3,953	3,895	3,884	3,911	3,954	4,052	3,982	4,008	3,915	3,802	4,031	3,911	3,921	4,101	3,879	3,968	3,961	4,004	3,888	3,891
4	3,946	3,888	3,874	3,901	3,949	4,045	3,972	4,003	3,911	3,801	4,027	3,902	3,917	4,094	3,875	3,965	3,953	4,001	3,885	3,883
5	3,957	3,901	3,891	3,916	3,958	4,059	3,991	4,013	3,923	3,808	4,036	3,916	3,928	4,107	3,886	3,974	3,967	4,009	3,896	3,897
6	3,955	3,896	3,883	3,906	3,955	4,053	3,981	4,009	3,917	3,806	4,028	3,911	3,921	4,099	3,883	3,969	3,962	4,002	3,893	3,891
7	3,961	3,905	3,895	3,921	3,961	4,064	3,994	4,017	3,926	3,812	4,038	3,919	3,922	4,109	4	3,976	3,971	4,011	3,901	3,901
8	3,956	3,901	3,885	3,911	3,957	4,058	3,991	4,014	3,923	3,808	4,034	3,915	3,925	4,105	3,886	3,969	3,966	4,004	3,894	3,894
9	3,961	3,907	3,895	3,922	3,961	4,067	3,997	4,018	3,928	3,813	4,039	3,921	3,932	4,113	3,891	3,974	3,974	4,011	3,902	3,902
10	3,955	3,901	3,887	3,912	3,956	4,055	3,984	4,013	3,921	3,805	4,032	3,913	3,924	4,104	3,883	3,969	3,965	4,004	3,893	3,897
11	3,961	3,907	3,896	3,923	3,961	4,067	3,998	4,018	3,928	3,814	4,039	3,921	3,932	4,113	3,891	3,975	3,974	4,009	3,901	3,905
12	3,956	3,903	3,891	3,919	3,955	4,063	3,991	4,015	3,925	3,807	4,036	3,918	3,927	4,111	3,889	3,971	3,969	4,006	3,898	3,901
13	3,959	3,906	3,897	3,924	3,961	4,069	3,998	4,017	3,928	3,811	4,039	3,922	3,931	4,113	3,891	3,974	3,973	4,009	3,901	3,903
14	3,956	3,904	3,893	3,919	3,958	4,061	3,989	4,014	3,924	3,806	4,036	3,917	3,927	4,109	3,886	3,971	3,969	4,006	3,896	3,899
15	3,961	3,906	3,898	3,925	3,961	4,071	3,999	4,016	3,927	3,809	4,038	3,922	3,931	4,114	3,891	3,973	3,973	4,008	3,901	3,903
16	3,955	3,901	3,891	3,914	3,955	4,059	3,986	4,011	3,921	3,803	4,032	3,914	3,924	4,105	3,883	3,967	3,966	4,003	3,893	3,899
17	3,959	3,904	3,896	3,923	3,959	4,068	3,997	4,013	3,926	3,807	4,036	3,921	3,931	4,112	3,889	3,972	3,971	4,007	3,899	3,903
18	3,954	3,901	3,891	3,915	3,954	4,061	3,989	4,009	3,921	3,802	4,033	3,916	3,924	4,106	3,884	3,967	3,965	4,004	3,893	3,899
19	3,959	3,904	3,897	3,923	3,958	4,071	3,998	4,014	3,926	3,806	4,037	3,919	3,929	4,112	3,892	3,972	3,972	4,009	3,901	3,903
20	3,954	3,899	3,891	3,917	3,954	4,063	3,991	4,009	3,921	3,802	4,033	3,915	3,925	4,107	3,886	3,967	3,966	4,004	3,894	3,899
21	3,958	3,903	3,897	3,923	3,957	4,071	4,001	4,013	3,926	3,807	4,037	3,921	3,931	4,113	3,891	3,973	3,972	4,008	3,901	3,903
22	3,954	3,898	3,893	3,916	3,953	4,063	3,993	4,008	3,921	3,803	4,031	3,915	3,923	4,107	3,885	3,968	3,966	4,004	3,894	3,897
23	3,959	3,903	3,896	3,923	3,957	4,071	3,999	4,012	3,925	3,806	4,035	3,92	3,929	4,113	3,891	3,972	3,971	4,008	3,901	3,899
24	3,953	3,898	3,891	3,915	3,954	4,062	3,992	4,007	3,919	3,803	4,033	3,913	3,924	4,106	3,882	3,966	3,964	4,006	3,893	3,893
25	3,958	3,903	3,897	3,923	3,958	4,071	4,001	4,012	3,926	3,804	4,035	3,921	3,931	4,113	3,889	3,973	3,972	4,007	3,901	3,901
26	3,951	3,896	3,888	3,913	3,952	4,061	3,991	4,006	3,919	3,801	4,031	3,913	3,922	4,106	3,881	3,966	3,963	4,002	3,893	3,892
27	3,957	3,901	3,895	3,921	3,957	4,071	4,001	4,012	3,924	3,805	4,034	3,919	3,928	4,112	3,888	3,971	3,971	4,006	3,899	3,897
28	3,951	3,894	3,886	3,911	3,951	4,059	3,988	4,004	3,917	3,799	4,028	3,911	3,921	4,104	3,879	3,965	3,966	4,001	3,891	3,891
29	3,956	3,9	3,893	3,919	3,955	4,068	3,998	4,009	3,923	3,803	4,032	3,916	3,926	4,111	3,885	3,971	3,968	4,005	3,897	3,893
30	3,95	3,894	3,886	3,912	3,95	4,057	3,988	4,004	3,917	3,799	4,027	3,911	3,921	4,104	3,879	3,964	3,965	4	3,891	3,899

"EFECTOS FÍSICO-MECÁNICOS EN EL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I POR ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO"

Gráfico 21. Variación de pesos de las muestras para $a/c = 0.65$



7.5.1.3 Variación de los pesos y gráficos: $a/c=0.60$

En esta sección se ubican los resultados de las variaciones obtenidas en los pesos y gráficos para la relación $a/c = 0.60$, durante el período de la ejecución del método de humedecido y secado. En el Cuadro N° 47 se halla el número de muestras a ser ensayadas en dicho método.

Cuadro 50. Distribución de ensayos a corrosión

Tipo de concreto	Edad del concreto	a / c = 0.60
Concreto armado	60 días	20
	Total	20

Fuente: elaboración propia.

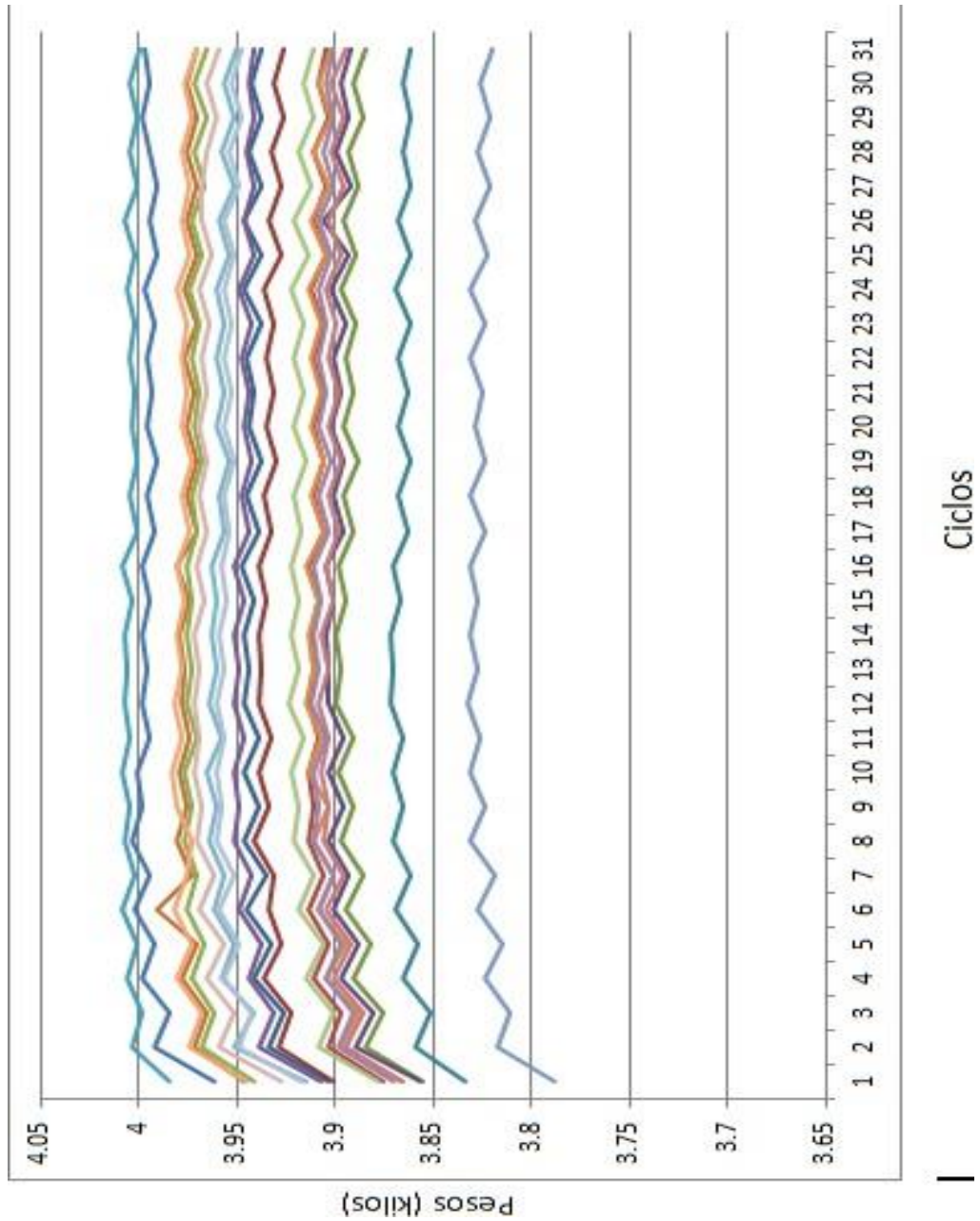
La anotación de los pesos de las muestras de concreto armado para la relación a/c = 0.60 en los ciclos de humedecido y secado se hallan en el Cuadro N° 48 y la tendencia de su comportamiento de las mismas en dicho ciclo se ubican en el Gráfico N° 17.

Cuadro 51. Relación de pesos de las muestras de concreto, a/c = 0.60

dia	muestra n°1	muestra n°2	muestra n°3	muestra n°4	muestra n°5	muestra n°6	muestra n°7	muestra n°8	muestra n°9	muestra n°10	muestra n°11	muestra n°12	muestra n°13	muestra n°14	muestra n°15	muestra n°16	muestra n°17	muestra n°18	muestra n°19	muestra n°20
	peso kg	peso kg	peso kg vs	peso kg vs	peso kg vs	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg	peso kg
0	3.904	3.901	3.855	3.856	3.834	3.946	3.962	3.875	3.942	3.907	3.984	3.867	3.788	3.866	3.878	3.871	3.915	3.945	3.917	3.927
1	3.934	3.929	3.884	3.889	3.859	3.972	3.992	3.903	3.968	3.939	4.003	3.897	3.817	3.895	3.908	3.898	3.951	3.974	3.949	3.959
2	3.926	3.922	3.876	3.881	3.852	3.965	3.985	3.897	3.962	3.931	3.998	3.888	3.811	3.886	3.901	3.891	3.942	3.968	3.943	3.951
3	3.942	3.936	3.891	3.897	3.866	3.978	3.999	3.911	3.973	3.944	4.006	3.905	3.823	3.901	3.915	3.905	3.958	3.981	3.956	3.966
4	3.932	3.928	3.882	3.888	3.858	3.971	3.992	3.903	3.967	3.938	4.001	3.894	3.815	3.892	3.906	3.897	3.951	3.973	3.949	3.957
5	3.945	3.944	3.894	3.901	3.869	3.991	4.002	3.913	3.976	3.949	4.008	3.909	3.827	4	3.919	3.908	3.962	3.982	3.959	3.969
6	3.935	3.931	3.886	3.893	3.862	3.973	3.994	3.906	3.971	3.943	4.002	3.901	3.819	3.896	3.911	3.901	3.956	3.976	3.952	3.962
7	3.947	3.941	3.897	3.903	3.871	3.981	4.003	3.914	3.977	3.951	4.007	3.911	3.831	3.906	3.921	3.911	3.964	3.973	3.961	3.971
8	3.939	3.934	3.891	3.896	3.865	3.975	3.998	3.911	3.973	3.949	4.005	3.904	3.824	3.903	3.918	3.908	3.961	3.981	3.958	3.968
9	3.947	3.939	3.898	3.904	3.871	3.979	4.001	3.914	3.977	3.951	4.008	3.913	3.831	3.907	3.923	3.911	3.965	3.983	3.961	3.972
10	3.939	3.933	3.891	3.896	3.866	3.974	3.995	3.909	3.971	3.946	4.005	3.907	3.826	3.903	3.916	3.905	3.958	3.978	3.956	3.969
11	3.947	3.939	3.899	3.904	3.872	3.978	3.999	3.913	3.975	3.951	4.007	3.915	3.832	3.908	3.924	3.912	3.964	3.982	3.961	3.972
12	3.944	3.938	3.897	3.903	3.871	3.977	3.996	3.911	3.973	3.949	4.006	3.911	3.828	3.903	3.918	3.908	3.961	3.978	3.956	4
13	3.947	3.939	3.899	3.905	3.872	3.979	3.998	3.912	3.975	3.951	4.007	3.914	3.831	3.907	3.923	3.911	3.963	3.981	3.959	3.972
14	3.942	3.935	3.894	3.901	3.867	3.974	3.995	3.909	3.973	3.946	4.004	3.909	3.827	3.901	3.918	3.907	3.961	3.977	3.955	3.967
15	3.948	3.939	3.898	3.905	3.871	3.981	3.999	3.913	3.976	3.951	4.008	3.915	3.831	3.905	3.923	3.911	3.963	3.981	3.958	4
16	3.939	3.932	3.891	3.896	3.863	3.971	3.992	3.906	3.971	3.944	4.001	3.906	3.824	3.898	3.917	3.903	3.956	3.974	3.954	3.965
17	3.945	3.936	3.896	3.901	3.868	3.976	3.996	3.911	3.973	3.948	4.005	3.912	3.831	3.904	3.921	3.908	3.959	3.978	3.957	3.969
18	3.938	3.93	3.888	3.896	3.862	3.971	3.991	3.906	3.968	3.943	4.001	3.906	3.823	3.897	3.915	3.902	3.954	3.973	3.952	3.965
19	3.944	3.935	3.896	3.902	3.868	3.975	3.996	3.911	3.972	3.947	4.004	3.912	3.829	3.903	3.921	3.909	3.961	3.978	3.956	3.969
20	3.941	3.931	3.891	3.897	3.863	3.972	3.993	3.906	3.969	3.944	4.002	3.907	3.825	3.898	3.916	3.905	3.956	3.975	3.953	3.965
21	3.945	3.935	3.895	3.901	3.868	3.977	3.996	3.911	3.973	3.948	4.005	3.912	3.831	3.904	3.921	3.909	3.961	3.978	3.957	3.968
22	3.938	3.931	3.889	3.895	3.862	3.971	3.992	3.906	3.969	3.943	4.002	3.907	3.824	3.899	3.916	3.905	3.956	3.975	3.953	3.964
23	3.946	3.936	3.897	3.902	3.869	3.977	3.997	3.912	3.974	3.949	4.006	3.914	3.831	3.905	3.923	3.909	3.961	3.981	3.957	3.969
24	3.938	3.928	3.889	3.893	3.862	3.971	3.991	3.905	3.968	3.941	4.002	3.905	3.822	3.897	3.914	3.902	3.954	3.974	3.951	3.963
25	3.946	3.934	3.896	3.906	3.868	3.976	3.995	3.911	3.973	3.947	4.007	3.912	3.829	3.904	3.921	3.908	3.959	3.978	3.956	3.968
26	3.937	3.928	3.888	3.892	3.861	3.971	3.991	3.905	3.967	3.941	4.001	3.904	3.821	3.896	3.912	3.901	3.952	3.974	3.949	3.968
27	3.944	3.932	3.893	3.899	3.866	3.975	3.995	3.911	3.972	3.945	4.005	3.911	3.828	3.902	3.918	3.906	3.958	3.978	3.954	3.966
28	3.937	3.926	3.886	3.893	3.861	3.971	3.998	3.904	4	3.941	4.001	3.902	3.821	3.896	3.911	3.901	3.951	3.973	3.948	3.961
29	3.943	3.931	3.891	3.897	3.865	3.975	3.994	3.909	3.972	3.944	4.005	3.908	3.826	3.902	3.916	3.905	3.957	3.977	3.953	3.966
30	3.937	3.926	3.885	3.892	3.861	3.971	3.997	3.905	3.965	3.941	4	3.902	3.82	3.895	3.911	3.901	3.95	3.971	3.948	3.959

"EFECTOS FÍSICO-MECÁNICOS EN EL CONCRETO ARMADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I POR ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO"

Gráfico 22. Variación de pesos de las muestras para $a/c = 0.60$



7.5.1.4 Pesos promedio en el ensayo de corrosión

En el Cuadro N° 49 se ubican la variación de los pesos promedio en porcentaje para cada a/c.

Cuadro 52. Resultado de la variación de los pesos promedio

Relación a/c	Peso inicial (gr)	Peso mínimo (gr)	Peso máximo (gr)	Variación (%)
0.60	3886	3804	4005	1.40
0.65	3801	3799	3928	1.50
0.70	3755	3723	3937	1.60

Fuente: elaboración propia.

7.6 PROPIEDADES RESISTENTES

7.6.1 Concreto

7.6.1.1 Resistencia a compresión

En el Cuadro N° 50 se muestra la variación de la resistencia a la compresión del concreto armado después de haber sido sometido al método acelerado de corrosión.

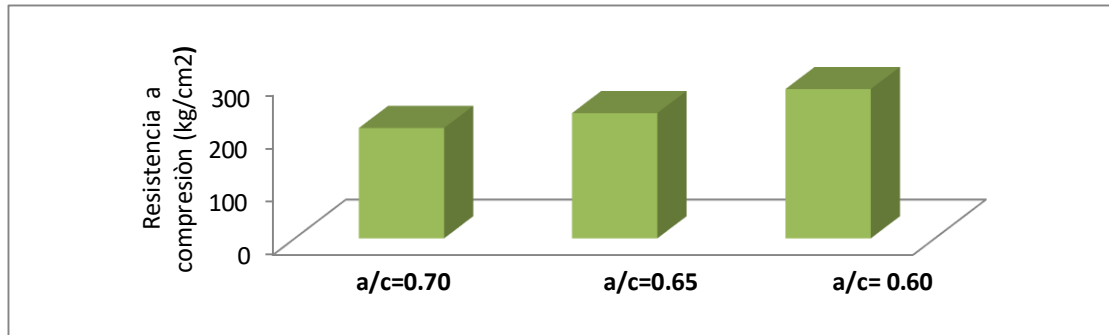
Cuadro 53. Resultados variación de resistencia a compresión

Relación a/c	f'c kg/ cm ² (28 días de edad)	f'c kg/ cm ² al ciclo n°30 de humedecido y secado
0.70	208.20	201.10
0.65	236.80	230.30
0.60	281.46	290.12

Fuente: elaboración propia.

Procedemos a graficar y obtenemos el Gráfico N° 18 a continuación:

Gráfico 23. Resistencia a compresión (ciclo de corrosión)



Fuente: Elaboración propia.

7.6.2 Acero

7.6.2.1 Ensayo de máxima tensión al acero corroído

Resultados del ensayo al acero corroído, varilla de diámetro de $\varnothing 3/8$ " que ha sido sometida a 30 ciclos de humedecido y secado, posteriormente se le realiza el ensayo de máxima tensión, en el Cuadro N° 51, observamos un aumento de 18%.

Cuadro 54. Ensayo de máxima tensión al acero corroído

Carga	Tensión	Carga	Resistencia	deformación	elongación
Límite de fluencia	Límite de fluencia	máxima	A la tracción		
2850kg	40kg/mm ² .	4590kg	65kg/cm ² .	36mm	18.0%

Fuente: UNI – LEM.

7.7 ASPECTO FÍSICO TERMINADO EL ENSAYO

A los dos meses luego de finalizar el método de corrosión acelerada en las probetas de concreto armado, se presentaron los siguientes cambios físicos.

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

- En las muestras de concreto armado, se observó conforme se efectuaba el ciclo de corrosión acelerada el desprendimiento superficial del concreto por los bordes (Ver imagen N° 10).

Imagen 10. Desprendimiento de los bordes en el concreto armado



Fuente: elaboración propia.

- En el concreto armado para las tres relaciones (terminado el ciclo de corrosión acelerada) se observaron picaduras que tenían un promedio de 1 mm de profundidad y de 1mm a 2mm de ancho.
- Las muestras resultan con acumulación de sales y consecuentemente formación de cristales por el secado de las mismas. Manifestándose en el color resultante al término del ensayo, para cada relación agua cemento diferente tonalidad de color “blanquecino” (Ver imagen N° 11).

Imagen 11. Picaduras en el concreto armado y manchas



Fuente: elaboración propia.

- En las muestras para la relación $a/c = 0.70$, se observó una coloración rojo cobrizo en la superficie (Ver imagen N° 12).

Imagen 12. Muestras de concreto armado con manchas de color rojizo



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO VII: CUADROS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

- Producto de corrosión en la barra de refuerzo $\varnothing 3/8$ ", para las muestras con $a/c = 0.70$ (Ver Imagen N° 13).

Imagen 13. Fierro $\varnothing 3/8$ " en estado de oxidación



Fuente: elaboración propia.

7.8 PROPIEDADES QUÍMICAS

7.8.1 Concreto

Resultado de absorción de cloruros al concreto armado para $a/c=0.70$ – Ensayo realizado a la muestra de concreto terminado el proceso de corrosión acelerada (humedecido y secado), resultados en el Cuadro N° 52.

Cuadro 55. *Determinación de cloruros solubles UNI-FIQ*

Parámetro	unidades	resultados
Cloruro	%	0.69

Fuente: UNI _ FIQ.

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

8.1. GENERALIDADES

Terminado el método descrito en el capítulo VI de corrosión acelerada mediante la ejecución del ciclo de humedecido y secado, a las probetas de concreto armado (\emptyset 3/8" en su interior), sometidas a 30 ciclos (60 días) se determinó el registro de los pesos durante la ejecución del método y la realización de ensayos de resistencia a compresión; se presenta el siguiente análisis de resultados siguiendo la estructuración del capítulo anterior.

8.2 PROPIEDADES FÍSICAS PARA EL CONCRETO ARMADO

8.2.1 Propiedades físicas para $a/c = 0.70$

8.2.1.1 Peso registrado

Del Cuadro N° 44 se observa que después de haber sometido a las muestras de concreto armado al proceso de humedecido y secado durante un periodo de 60 días, la absorción de las sales más pronunciada se produce durante los primeros 16 días, esto es debido a que las probetas al ser humedecidas por 24 horas permiten el ingreso del agua con cloruro de sodio diluido a los poros. El ingreso de cloruros a los poros origina el incremento de peso y posteriormente al secar las muestras por un tiempo inmediato de 24 horas se reduce la variación del peso debido a la pérdida de la humedad. La muestra obtiene un valor casi constante en su peso luego entonces para un $a/c = 0.70$, el porcentaje de absorción de la solución salina después del proceso de corrosión acelerada es de 1.6%.

En el Gráfico N° 15 se visualiza que la tendencia de pesos entre las muestras de concreto armado es similar, el promedio de pesos es sujeto al mismo análisis considerado, del Cuadro 44 obtenemos: el peso inicial promedio de 3755 gramos, el máximo peso promedio de 3937 gramos y el peso mínimo promedio de 3723 gramos.

8.2.1.2 Variación del peso registrado

Conforme se va desarrollando el ciclo de humedecido y secado verificamos que el peso va en aumento progresivamente según el Gráfico N° 15.

- Máxima reducción de pesos.- Del Gráfico 15 igualmente se observa que en algunos ciclos se genera pendiente positiva consecutivamente mientras que en otros disminuye, luego aumenta a una proporción poco significativa casi constante, finalmente se llega a obtener una máxima reducción de pesos promedio de 13 gramos, esta variación de pesos la llegamos a obtener en el ciclo 9.
- Máximo aumento de peso.-Del Cuadro N° 44 obtenemos que el máximo aumento de peso es de 50 gramos y ocurre en el primer ciclo de humedecido y secado.

8.2.1.3 Variación acumulada del peso registrado

Del Gráfico N°15 se visualiza que la tendencia de la variación acumulada que presentan las muestras de concreto armado para $a/c=70$ es la misma, es decir presentan el mismo comportamiento, la variación se expresa en %, llegando a encontrar que la máxima variación de pesos es de 1.6%.

8.2.2 Propiedades físicas para $a/c = 0.65$

8.2.2.1 Peso registrado

Del Cuadro N° 46 se observa que después de haber sometido a las muestras de concreto armado al proceso de humedecido y secado durante un periodo de 60 días, la absorción de las sales más pronunciada se produce durante los primeros 16 días, esto es debido a que las probetas al ser humedecidas por 24 horas permiten el ingreso del agua con cloruro de sodio diluido a los poros. El ingreso de cloruros a los poros origina el incremento de peso y posteriormente al secar las muestras por un tiempo inmediato de 24 horas se reduce la variación del peso debido a la pérdida de la humedad. La muestra obtiene un valor casi constante en su peso

luego entonces para un $a/c = 0.65$, el porcentaje de absorción de la solución salina después del proceso de corrosión acelerada es de 1.5%.

Del Gráfico N° 16 se visualiza que la tendencia de pesos entre las muestras de concreto armado es similar, el promedio de pesos es sujeto al mismo análisis considerado, del Cuadro 46 obtenemos: el peso inicial promedio (3801g), el máximo peso promedio (3928g) y el peso mínimo promedio (3729g).

8.2.2.2 Variación del peso registrado

Conforme se va desarrollando el ciclo de humedecido y secado verificamos que el peso va en aumento progresivamente según el Gráfico N° 16.

- Máxima reducción de pesos.-Del Gráfico 16 igualmente se observa que en algunos ciclos se genera consecutivamente pendiente positiva, mientras que en otros ciclos disminuye, luego aumenta a una proporción poco significativa casi constante, finalmente se llega a obtener una máxima reducción de pesos promedio de 14 gramos, esta variación de pesos la llegamos a obtener en el ciclo 15.
- Máximo aumento de peso.- Del Cuadro 46 obtenemos que el máximo aumento de peso es de 40 gramos y ocurre en el primer ciclo de humedecido y secado.

8.2.2.3 Variación acumulada del peso registrado

Del Gráfico N° 16: se observa que la tendencia de la variación acumulada que presentan las muestras de concreto armado para $a/c=65$ es la misma, presentan el mismo comportamiento, la variación se expresa en %, llegando a encontrar que la máxima variación de pesos es de 1.5%.

8.2.3 Propiedades físicas para $a/c = 0.60$

8.2.3.1 Peso registrado

Del Cuadro N° 48 se observa que después de haber sometido a las muestras de concreto armado al método de humedecido y secado durante 60 días, la absorción de las sales más pronunciada se produce durante los primeros 18 días, esto es debido a que las probetas al ser humedecidas por 24 horas permiten el ingreso del agua con cloruro de sodio diluido a los poros. El ingreso de cloruro a los poros origina el incremento de peso y posteriormente al secar las muestras por un tiempo inmediato de 24 horas se reduce la variación del peso debido a la pérdida de la humedad. La muestra obtiene un valor casi constante en su peso luego entonces para un $a/c = 0.65$, el porcentaje de absorción de la solución salina después del proceso de corrosión acelerada es de 1.4%.

Del Gráfico N° 17 se observa que la tendencia de pesos entre las muestras de concreto armado es similar, el promedio de pesos es sujeto al mismo análisis considerado, del Cuadro 48 obtenemos: el peso inicial promedio de 3886 gramos, el máximo peso promedio de 4005 gramos y el peso mínimo promedio de 3804 gramos.

8.2.3.2 Variación del peso registrado

Conforme se va desarrollando el ciclo de humedecido y secado verificamos que el peso va en aumento progresivamente según el Gráfico N° 17.

- Máxima reducción de pesos.-Del Gráfico N° 17 igualmente se observa que en algunos ciclos se genera consecutivamente pendiente positiva, mientras que en otros ciclos disminuye, luego aumenta a una proporción poco significativa casi constante, finalmente se llega a obtener una máxima reducción de pesos promedio de 11 gramos, esta variación de pesos la llegamos a obtener en el ciclo 16.
- Máximo aumento de peso.- Del Cuadro N° 48 se halla que el máximo aumento de peso es de 30 gramos y ocurre en el primer ciclo de humedecido y secado.

8.2.3.3 Variación acumulada del peso registrado

Del Gráfico N° 17 se observa que la tendencia de la variación acumulada que presentan las muestras de concreto armado para $a/c=60$ es la misma, es decir presentan el mismo comportamiento, la variación se expresa en %, llegando a encontrar que la máxima variación de pesos es de 1.4%.

8.3 PROPIEDADES RESISTENTES

8.3.1 Propiedades resistentes para $a/c = 0.70$

Después de haber sometido a las muestras al proceso de corrosión acelerada (humedecido y secado) durante el transcurso de 30 ciclos, las muestras resultaron con valores distintos de resistencias a la compresión, las muestras de concreto armado empezaron con un $f''c=208 \text{ kg/cm}^2$ y después de haber sido sometidas al proceso de humedecido y secados obtienen una resistencia de $f''c = 201 \text{ kg/cm}^2$. Luego entonces se llegó a obtener una disminución de la resistencia a compresión de 3% (Gráfico N° 18).

8.3.2 Propiedades resistentes para $a/c = 0.65$

Después de haber sometido a las muestras al proceso de corrosión acelerada (humedecido y secado) durante el transcurso de 30 ciclos, las muestras resultaron con valores distintos de resistencias a la compresión, las muestras de concreto armado empezaron con un $f''c=236 \text{ kg/cm}^2$ y después de haber sido sometidas al proceso de humedecido y secado obtienen una resistencia de $f''c = 230 \text{ kg/cm}^2$. Como se puede observar se llegó a obtener una disminución de la resistencia a compresión de 2.6% (Gráfico N° 18).

8.3.3 Propiedades resistentes para $a/c = 0.60$

Después de haber sometido a las muestras al proceso de corrosión acelerada (humedecido y secado) durante el transcurso de 30 ciclos las muestras resultaron con valores distintos de resistencia a la compresión, las muestras de concreto

armado empezaron con un $f''c = 281\text{kg/cm}^2$ y después de haber sido sometidas al proceso de humedecido y secado se obtiene una resistencia de $f''c = 290\text{kg/cm}^2$.

Como se puede observar se llegó a obtener una variación de la resistencia a compresión de 3% (Gráfico N°18).

Las muestras después de haber sido sometidas al proceso de corrosión acelerada durante el transcurso de 60 días presentan un ligero deterioro en los bordes, hasta terminado el ensayo de corrosión acelerada todavía no presentan signos de fisuración.

CONCLUSIONES

Los objetivos planteados han sido cumplidos al término del desarrollo del estudio de carácter experimental.

Las hipótesis se demuestran con los resultados como en los siguientes párrafos se muestra

Terminada la evaluación de los efectos físico-mecánicos en el concreto armado por ataque del cloruro de sodio, mediante el proceso humedecido, secado y pérdida de peso de las muestras de concreto de dimensiones 4" x 8" con acero de $\varnothing 3/8$ " en su interior a 2" de recubrimiento, sumergidas en una solución de cloruro de sodio en una concentración de 100 gr/l; para las relaciones de mediana a baja resistencia de a/c: 0.70, 0.65 y 0.60, con cemento Portland Tipo I "SOL" y durante 60 días, concluimos:

De la hipótesis principal se concluye que, en el proceso de corrosión acelerada mediante los ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso llevado a cabo mediante la inmersión de las muestras de concreto armado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/lit, sí producen variaciones en relación al número de ciclos y en la relación agua cemento (a/c: 0.70 > 0.65 > 0.60).

De la primera hipótesis secundaria, se concluye que, mediante los ciclos de corrosión acelerada, sí producen variaciones en las propiedades físicas del concreto armado de mediana a baja resistencia usando cemento Portland Tipo I "SOL" y $\varnothing 3/8$ " en su interior con un recubrimiento de concreto de 2".

Conforme se va desarrollando el ciclo de humedecido y secado, el peso va en aumento progresivamente.

- En la relación a/c = 0.70, terminados los 30 ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado incrementaron su peso promedio hasta un valor de 1.6% con respecto al peso inicial promedio.

- En la relación $a/c = 0.65$, terminados los 30 ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado incrementaron su peso promedio hasta un valor de 1.5% con respecto al peso inicial promedio.
- En la relación $a/c = 0.60$, terminado los 30 ciclos de humedecido secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado incrementaron su peso promedio hasta un valor de 1.4% con respecto al peso inicial promedio.

De la segunda hipótesis secundaria se concluye que los ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso realizado en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/lit, si producen variaciones en orden creciente al número de ciclos y la relación agua cemento con respecto a la resistencia a la compresión del concreto armado, debido a que a mayor cantidad de ciclos se presenta una disminución en la resistencia a compresión.

- En la relación $a/c = 0.70$, terminados los 30 ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado disminuyeron su resistencia a compresión en 3% con respecto al concreto patrón.
- En la relación $a/c = 0.65$, terminados los 30 ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado disminuyeron su resistencia a compresión en 2.6% con respecto al concreto patrón.
- En la relación $a/c = 0.60$, terminado los 30 ciclos de humedecido, secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) las muestras de concreto armado aumentaron su resistencia a compresión en 3% con respecto al concreto patrón.

Después de terminado el ciclo de corrosión acelerada, las muestras de concreto armado con acero $\varnothing 3/8$ muestran en su superficie: manchas blanquecinas (producto de las sales), manchas rojizas (producto de la oxidación), picaduras (2mm de ancho y 0.5mm de profundidad) y deterioro de los bordes (penetración de los cloruros).

RECOMENDACIONES

Terminada la tesis titulada “Efectos físico mecánicos en el concreto armado de mediana a baja resistencia con cemento Portland tipo I “SOL” por ataque del cloruro de sodio, mediante la ejecución del método humedecido secado y pérdida de peso (corrosión acelerada) desarrollada por Díaz, en las probetas de concreto armado de 4”x8” con $\varnothing 3/8$ ” de 10 centímetros de longitud y quedando 2” de recubrimiento aproximadamente para las relaciones a/c : 0.70, 0.65, 0.60 estas muestras fueron introducidas en una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gr/lit por el transcurso de 30 ciclos se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda realizar una investigación sobre estructuras de concreto armado existentes que se encuentren expuestas a ambientes marinos con muestras de concreto armado ensayadas en condiciones de laboratorio similares a los de la presente tesis, con la finalidad de obtener una relación en el grado de degradación.
- Se recomienda realizar una curva de variación de cloruros en el tiempo con relación al efecto sobre la varilla de acero corrugado.
- Se recomienda elaborar un concreto trabajable con el fin de minimizar la porosidad del concreto.
- Se recomienda realizar ensayos con diferentes concentraciones de sal y/o sustancias agresivas al concreto armado y así poder ver el grado de agresividad de acuerdo a la concentración.
- Se recomienda después de haber sometido las muestras de concreto armado al ensayo de corrosión acelerada realizar el análisis químico de las mismas.
- Se recomienda continuar el estudio para otros aceros con diferentes relaciones a/c.
- Se recomienda ampliar la investigación incrementando el espesor de recubrimiento del acero de refuerzo.
- Se recomienda ampliar la investigación en concreto armado de mediana a alta resistencia.

- Se recomienda ampliar la investigación utilizando aditivos y/o adiciones para elaborar el concreto armado.
- Se recomienda ampliar la investigación utilizando otros tipos de cemento para la elaboración del concreto armado.
- Se recomienda hacer un estudio a nivel microscópico de la concentración y penetración de los iones cloruro en el concreto armado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute (2018). Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado Atacadas por Corrosión (2da ed.). ACI.
[https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fconsultcreto.com%](https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fconsultcreto.com%2F)
- American Concrete Institute (2000). Terminología del Cemento y el Hormigón.
<https://www.inti.gob.ar>
- GCCA. (2021). *Nuestra contribución al logro de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de la ONU*. <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/the-un-sustainable-development-goals/>
- 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.
<https://iberilibro.com>
- 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. *Construcción e Industria*, 344-345. <https://issuu.com/capeco.org/docs/rcei070818>

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>

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>

Gonzáles 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). *Corrosión del Acero en Estructuras de Concreto*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128218402000018>.

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. (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>

- Jiménez, K., 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>
- Jin Jun, G., Kun, W., Ting, G., Zheng Yun., & Peng, Z. (2019). Effect of Dry- Wet Ratio on Properties of Concrete Henan. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/17/2755>
- 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>
- Neville A. (2013). *Tecnología del Concreto (4ta ed.)*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC. <https://es.scribd.com/document/350826257/ht://tpswww.coursehero.com/file/45817875/Neville-Tecnolog%C3%ADa-del-Concretopdf>
- Neville, A. (1998). *Tecnología del Concreto (1ra ed.)*. Trillas. <https://www.coursehero.com/file/45817875/Neville-Tecnolog%C3%ADa-del-Concretopdf/>
- Neville, A. (2010). *Tecnología del Concreto (2da ed.)*. Prentice Hall. <https://es.scribd.com/doc/140847617/Tecnologia-del-Concreto-pdf>
- Newman, J., y Seng Choo, B. (2003). *Advanced Concrete Technology, Concrete Properties (1ra ed.)*. Elsevier. <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/teaching/1645380226.pdf>
- 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>

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (2da ed.). Colegio de Ingenieros del Perú. <https://pdfcoffee.com/topicos-de-tecnologia-de-concreto-en-el-perupdf-4-pdf-free.html>

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>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones* <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Rojas, J. (2021). *Efectos en el Concreto Armado por Acción del Cloruro Férrico* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3267488>.

Sanchez de Guzman (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. <https://books.google.com.co/books?id=>

Sanchis, T. (2020). *Beneficios y propiedades del Cloruro de Sodio*. MFB. <https://myfitbody.es/salud/cloruro>

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>

Verano, V. (2001). Corrosión en Estructuras de Concreto Armado [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/16432>

Zongjin, L. (2011). *Advanced Concrete Technology* (1ra ed.). John Wiley y Sons.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470950067>

ANEXOS



Fotografía 1.-Muestra de arena dividida en cuartos.



Fotografía 2.-Muestra de agregado grueso



Fotografía 3.-Muestra de agregado fino a ser ensayada en peso compactado

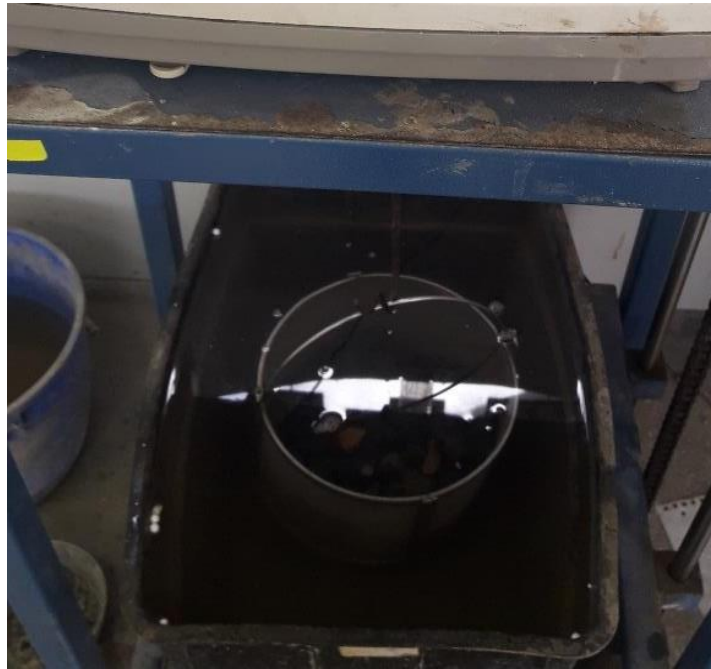


Fotografía 4

Fotografía 4 y 5.-Tamices para los ensayos de la granulometría



Fotografía 5



Fografía 6.-Ensayo de peso específico



Fotografía 7.-Muestra de agregado a ser ensayada en peso unitario compactado.



Fotografía 8.-Equipo de mezclado



Fotografía 9.-Muestra de concreto fresco a ser ensaya en peso unitario compactado.



Fotografía 10.- Concreto pedregoso



Fotografía 11.-Ensayo de asentamiento.
Concreto trabajable (slump 4")



Fotografía 12.-Muestra de concreto fresco a ser ensayada (tiempo de fragua).



Fotografía 13.-Ensayo de resistencia a la compresión



Fotografía 14.-Ensayo de tracción por compresión diametral



Fotografía 15.-Probeta de concreto ensayada por ensayo de tracción por compresión diametral



Fotografía 16.-Efectos de cloruro de sodio en el mortero armado (Rimarachin,
2014). ANEXO



Fotografía 17.- Efectos del cloruro de sodio en el mortero armado (Rimarachin,
2014)



Fotografía 18.-Estructura de concreto armado sometida al ataque de las sales.