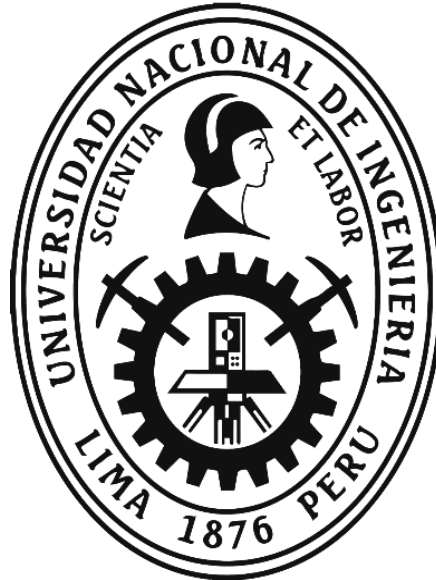


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL
CONCRETO REFORZADO CON PRFV Y ACERO CONVENCIONAL
EXPUESTO AL AGUA DE MAR**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR
SARA GUADALUPE CUBAS SULLUCHUCO
ID: 0000-0001-7842-2762

ASESOR
Mag. CARLOS ALBERTO VILLEGAS MARTÍNEZ
ID: 0000-0002-4926-8556

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.”**

Cubas Sulluchuco, Sara Guadalupe

scubass@uni.pe

+51 968884718

DEDICATORIA

A quienes me ayudaron a cumplir mis metas, mi gratitud eterna
*A mis amados padres, **Demetrio Cubas Gonzales** y **Viterva Rosa Sulluchuco***
***Álvarez**, por su apoyo y amor incondicional día a día. A mis hermanos por ser*
mi motivo de superación.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo agradecer a mi familia, quienes han sido el soporte incondicional a lo largo de mi vida. A mis queridos padres, **Demetrio Cubas Gonzales y Viterva Rosa Sulluchuco Álvarez**, gracias por su sacrificio, consejos y apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. A mis hermanitos, **Max, Rosa y Félix**, quienes son mi fuente de inspiración y motivación. A mi familia en su conjunto, les agradezco por el amor incondicional que me brindan día a día, siendo mi mayor fuente de fortaleza y confianza.

A **Bill Montoya**, quiero expresar mi profunda gratitud por su apoyo incondicional a lo largo de nuestra amistad y durante todo el proceso de elaboración de la presente tesis. Gracias por ser mi confidente y amigo en quien he podido confiar en cada paso del camino. Has sido mi aliado y compañero de lucha en este arduo proceso. Gracias por estar siempre allí y ser parte fundamental de este logro.

Agradezco al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales "Ing. Manuel Gonzales de la Coterá", a los ingenieros y técnicos por su valioso apoyo, paciencia y amistad durante el desarrollo de esta investigación. Especialmente, quiero mencionar al **Ing. Luis Huarancca** y a los técnicos **José Luis Julcamanyan, Luis Ortiz, Anthony Santiago, Eber García, Christian Garcia y Alexander Sánchez**, quienes se convirtieron en queridos amigos a lo largo de este proceso.

A mi asesor, **Msc. Carlos A. Villegas Martínez** por su apoyo y conocimiento brindado. A los amigos que conocí durante mi etapa en el American Concrete Institute, **Moises Rojas y Miguel Yataco**, y quienes brindaron su apoyo durante la realización de este proyecto.

A mi Alma mater, la **Universidad Nacional de Ingeniería**, por su formación académica sólida que ha sido fundamental en mi crecimiento y aprendizaje como Ingeniero Civil.

Por último, quisiera expresar mi profundo agradecimiento a las empresas **MAPEI, UNACEM y PULTRALL INC.** por su generosa donación de materiales esenciales que han hecho posible la realización de la presente investigación.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract.....	6
Prólogo.....	7
Lista de tablas.....	8
Lista de figuras	13
Lista de símbolos y siglas	17
Capítulo I: Introducción.....	19
1.1. Generalidades	19
1.2. Realidad problemática	20
1.3. Formulación del problema.....	22
1.3.1. Problema general.....	22
1.3.2. Problemas específicos	23
1.4. Objetivos del estudio.....	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivo específico.....	23
1.5. Hipótesis.....	24
1.5.1. Hipótesis general	24
1.5.2. Hipótesis específicas	24
1.6. Antecedentes investigativos.....	24
1.7. Metodología.....	30
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	33
2.1. El concreto.....	33
2.2. El concreto reforzado.....	33
2.2.1. Ventajas del concreto reforzado.....	34
2.2.2. Desventajas del concreto reforzado	34
2.3. Corrosión en el concreto reforzado	35
2.3.1. Factores que provocan el deterioro de las estructuras	35
2.3.2. Corrosión de estructuras en ambiente marino.....	38
2.3.3. Durabilidad para entornos marinos.	43
2.4. El papel del agua en el concreto	45
2.4.1. El agua en la mezcla de concreto	46
2.4.2. El agua en el curado del concreto.....	46
2.4.3. El agua como medio de exposición.....	47
2.5. El acero	48

2.5.1. Varillas corrugadas de acero.	48
2.5.2. Propiedades de las varillas corrugadas de acero	49
2.5.3. Ventajas y desventajas de las varillas corrugadas de acero	52
2.6. Polímero reforzado con fibra (FRP)	52
2.6.1. Varillas de polímero reforzadas con fibra de vidrio	53
2.6.2. Propiedades de las varillas de PRFV	53
2.6.3. Ventajas y desventajas de las varillas de PRFV	56
2.7. Diseño de elementos de concreto reforzado con FRP	57
2.8. Costo de construcción con estructuras reforzadas con barras PRFV.....	58
Capítulo III: Descripción del diseño de mezcla.....	59
3.1. Características de los materiales utilizados	59
3.1.1. Cemento	59
3.1.2. Agua	59
3.1.3. Agregados	61
3.2. Diseño de mezcla del concreto	68
3.2.1. Agregado global.....	68
3.2.2. Criterio de diseño.....	73
3.2.3. Dosificaciones de las mezclas de concreto	75
Capítulo IV: Propiedades del PRFV y acero.....	76
4.1. Metodología.....	76
4.2. Procedimiento del ensayo.....	77
4.3. Preparación de las muestras	79
4.3.1. Acero corrugado	79
4.3.2. Varilla de polímero reforzada con fibra de vidrio	79
4.4. Condición 1: No acondicionadas.....	81
4.4.1. Acero corrugado	81
4.4.2. Varilla de polímero reforzada con fibra de vidrio	82
4.5. Condición 2: Exposición al agua de mar	82
4.5.1. Acero corrugado	83
4.5.2. Varilla de polímero reforzada con fibra de vidrio	83
4.6. Resumen de resultados	84
Capítulo V: Propiedades del concreto en estado fresco	85
5.1. Ensayos de las propiedades del concreto en estado fresco.....	85
5.1.1. Asentamiento (NTP 339.035; ASTM C-143)	85
5.1.2. Peso unitario (NTP 339.046; ASTM C-138)	86

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON PRFV Y ACERO CONVENCIONAL EXPUESTO AL AGUA DE MAR”
Bach. Sara Guadalupe Cubas Sulluchuco Pág. 3

8.2.3. Contenido de aire.....	124
8.2.4. Temperatura	124
8.2.5. Tiempo de fragua.....	126
8.2.6. Análisis global de las propiedades del concreto fresco	127
8.3. Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto	129
8.3.1. Concreto patrón	129
8.3.2. Concreto con agua de mar.....	131
8.3.3. Análisis global de la resistencia a la compresión.....	132
8.4. Análisis comparativo del comportamiento a la flexión	134
8.4.1. Vigas reforzadas con acero	135
8.4.2. Vigas reforzadas con PRFV	138
8.4.3. Análisis global del comportamiento a flexión.....	143
Conclusiones	148
Recomendaciones	151
Referencias bibliográficas	152
Anexos	160

RESUMEN

La corrosión del acero en ambientes agresivos y la escasez de agua potable son desafíos importantes en la construcción a nivel mundial y aunque el Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) ha sido utilizado en otros sectores desde hace varias décadas su uso en la construcción es reciente en países como Estados Unidos y Canadá, en otras investigaciones han explorado los efectos del agua de mar en el concreto y comportamiento del PRFV de manera independiente; sin embargo, en el Perú actualmente no se utiliza el PRFV como refuerzo del concreto, y el uso del agua de mar en la preparación del concreto es restringido puesto que no está permitido en el concreto armado de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). En este sentido, el objetivo fue evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto armado utilizando agua de mar del Callao como reemplazo del agua potable en la elaboración del concreto ($a/c = 0.50$) reforzado con PRFV de $\varnothing 3/8"$ Grado 60 con recubrimiento arenado, expuestos al agua de mar. Se utilizaron dos tipos de mezclas de concreto empleando agua potable y agua de mar, junto con cemento Portland Tipo GU, la cual es para uso general. Las muestras fueron expuestas al agua de mar a 60°C . Se recopilaron datos en intervalos de 30, 60, 90 y 120 días de exposición.

Los resultados mostraron que el PRFV de $\varnothing 3/8"$ Grado 60 presentó una resistencia a la tracción de hasta un 201.84% mayor a la del acero de $\varnothing 3/8"$. El uso de agua de mar del Callao no afectó significativamente las propiedades del concreto excepto el tiempo de fragua, que disminuyó en un 37.31%. Los resultados obtenidos en el concreto fresco son respaldados y corroborados por estudios previos, como los realizados por Younis et al. (2019). Además, el concreto con agua de mar mostró aumentos significativos en la resistencia a la compresión, con incrementos del 9.68% al 17.61% en diferentes períodos dentro de los 120 días. Las vigas reforzadas con PRFV ($\varnothing 3/8"$ Grado 60) no experimentaron reducciones en la carga máxima a la flexión después de 120 días de exposición, ocurriendo de la misma forma en las vigas reforzadas con acero ($\varnothing 3/8"$ Grado 60) bajo las mismas condiciones de exposición. El uso de agua de mar en la elaboración de concreto reforzado con PRFV ($\varnothing 3/8"$ Grado 60) es una alternativa podría ser implementada en ambientes marinos, no obstante, se sugiere realizar estudios a largo plazo para evaluar su comportamiento y tomar medidas de protección adecuadas, de ser necesarias.

ABSTRACT

Steel corrosion in aggressive environments and shortage of drinking water are major challenges in construction worldwide and although Fiberglass Reinforced Polymer (GRP) has been used in other sectors for several decades, its use in construction is recent in countries such as the United States and Canada, other research has explored the effects of seawater on concrete and the behavior of GRP independently; However, in Peru, GRP is not currently used as concrete reinforcement, and the use of seawater in the preparation of concrete is restricted since it is not permitted in reinforced concrete according to the National Building Regulations (RNE). In this sense, the objective was to evaluate the physical-mechanical properties of reinforced concrete using seawater from Callao as a replacement for drinking water in the production of concrete ($w/c = 0.50$) reinforced with $\varnothing 3/8"$ GRP Grade 60 with sandblasted coating, exposed to seawater. Two types of concrete mixtures were used, using potable water and seawater, together with Portland cement Type GU, which is for general use. The samples were exposed to seawater at 60°C . Data were collected at intervals of 30, 60, 90 and 120 days of exposure.

The results showed that the $\varnothing 3/8"$ Grade 60 GRP presented a tensile strength of up to 201.84% higher than that of $\varnothing 3/8"$ steel. The use of seawater from Callao did not significantly affect the properties of the concrete except for the setting time, which decreased by 37.31%. The results obtained in the fresh concrete are supported and corroborated by previous studies, such as those carried out by Younis et al. (2019). Furthermore, seawater-infused concrete showed significant increases in compressive strength, with increases from 9.68% to 17.61% at different periods within the 120 days. GRP reinforced beams ($\varnothing 3/8"$ Grade 60) did not experience reductions in maximum flexural load after 120 days of exposure, the same occurring in the beams reinforced with steel ($\varnothing 3/8"$ Grade 60) under the same exposure conditions. The use of seawater in the production of GRP reinforced concrete ($3/8"$ Grade 60) is an alternative that could be implemented in marine environments, however, long-term studies are suggested to evaluate its behavior and take adequate protection measures, if necessary.

PRÓLOGO

En el ámbito de la ingeniería civil, garantizar la durabilidad del concreto es fundamental para preservar la estabilidad y prolongar la vida útil de las infraestructuras. El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, y su constante interacción con diversos factores ambientales provocan cambios en sus propiedades. Esta exposición puede llevar al deterioro de las estructuras hasta un punto en que la reparación se vuelve incosteable.

En esta investigación, se busca explorar una posible solución a estos desafíos. A través de un análisis detallado, se pretende identificar enfoques innovadores que ayuden a mejorar la resistencia del concreto en condiciones adversas. El objetivo es contribuir a la creación de materiales más duraderos, lo que no solo se beneficiará de las infraestructuras actuales,

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Resumen de antecedentes referenciales	28
Tabla N° 2: Requisitos para condiciones especiales de exposición	45
Tabla N° 3: Requisitos para concretos expuestos a soluciones de sulfato.....	45
Tabla N° 4: Características resistentes de los aceros grado 40, 60 y 75.....	48
Tabla N° 5: Especificaciones dimensionales y peso lineal	50
Tabla N° 6: Ventajas y desventajas de las varillas corrugadas de acero.....	52
Tabla N° 7: Propiedades de tracción habituales del polímero reforzado con fibra.....	55
Tabla N° 8: Ventajas y desventajas del refuerzo de FRP	56
Tabla N° 9: Códigos y Guías de diseño acerca de los refuerzos de FRP.....	57
Tabla N° 10: Propiedades físicas del cemento Portland APU tipo GU	59
Tabla N° 11: Requisitos mínimos de aceptación del agua de mezclado para el concreto reforzado	60
Tabla N° 12: Análisis químico del agua de mar obtenido de La Punta – Callao .	60
Tabla N° 13: Límites granulométricos del agregado fino – ASTM C33.....	61
Tabla N° 14: Límites granulométricos para el agregado grueso - ASTM C33	62
Tabla N° 15: Granulometría del agregado fino utilizado	63
Tabla N° 16: Granulometría del agregado grueso utilizado.....	64
Tabla N° 17: Contenido de humedad del agregado fino utilizado.....	65
Tabla N° 18: Contenido de humedad del agregado grueso utilizado.....	65
Tabla N° 19: Peso específico y absorción del agregado fino utilizado.....	66
Tabla N° 20: Peso específico y absorción del agregado grueso utilizado.	66
Tabla N° 21: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.	67
Tabla N° 22: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	67
Tabla N° 23: Peso Unitario Compactado de las combinaciones de agregado para el método del agregado global.	69
Tabla N° 24: Dosificaciones de los diseños de prueba del método del agregado global	70
Tabla N° 25: Slump o asentamiento de cada diseño de prueba del método del agregado global	70
Tabla N° 26: Resistencia a la compresión a los 7 días de cada diseño de prueba.....	71

Tabla N° 27: Resultados de peso unitario compactado y resistencia a la compresión (7 días) del Agregado Global	72
Tabla N° 28: Granulometría del agregado global seleccionado, 46% de arena y 54% de piedra	72
Tabla N° 29: Cantidad de agua por metro cúbico en cada diseño de prueba.....	74
Tabla N° 30: Diseño de mezcla final del concreto patrón y concreto con agua de mar ($a/c=0.50$).....	75
Tabla N° 31: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de acero no acondicionadas.....	81
Tabla N° 32: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de PRFV no acondicionadas	82
Tabla N° 33: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de acero acondicionadas en agua de mar	83
Tabla N° 34: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de PRFV acondicionadas en agua de mar	84
Tabla N° 35: Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de tracción del acero y PRFV	84
Tabla N° 36: Asentamiento del concreto en estado fresco-concreto patrón y concreto con agua de mar.....	86
Tabla N° 37: Cálculos del Peso Unitario del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.....	87
Tabla N° 38: Contenido de aire del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.	88
Tabla N° 39: Temperatura del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.....	89
Tabla N° 40: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto patrón.	90
Tabla N° 41: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto con agua de mar.....	91
Tabla N° 42: Tiempo de fragua del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.	92
Tabla N° 43: Resumen de los resultados de los ensayos de las propiedades en concreto fresco de las muestras patrón y concreto con agua de mar.....	92

Tabla N° 44: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado húmedo del concreto patrón	95
Tabla N° 45: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado húmedo del concreto patrón	96
Tabla N° 46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días del concreto patrón en exposición al agua de mar.....	97
Tabla N° 47: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días del concreto con agua de mar – Acondicionamiento en agua de mar	98
Tabla N° 48: Resumen de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto patrón	99
Tabla N° 49: Resumen de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto con agua de mar.....	100
Tabla N° 50: Resumen de la cantidad de muestras de vigas elaboradas para el estudio del comportamiento a flexión.....	101
Tabla N° 51: Periodos de exposición y evaluación según condición de exposición para cada tipo de viga a evaluar.....	102
Tabla N° 52: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-P-CH28.	105
Tabla N° 53: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-M-CH28.....	105
Tabla N° 54: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-P-CH28.....	107
Tabla N° 55: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-M-CH28.	107
Tabla N° 56: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-P-CA.	109
Tabla N° 57: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-M-CA.....	110
Tabla N° 58: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-P-CA.....	110
Tabla N° 59: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-M-CA.	111

Tabla N° 60: Resumen de las cargas obtenidas en las vigas reforzadas con acero para cada tipo de concreto y condición de exposición.	112
Tabla N° 61: Resumen de las cargas obtenidas en las vigas reforzadas con PRFV para cada tipo de agua utilizada y condición de exposición.	112
Tabla N° 62: Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del acero.	113
Tabla N° 63: Variación porcentual de la resistencia a la tracción durante el periodo de exposición	114
Tabla N° 64: Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del PRFV	116
Tabla N° 65: Variación porcentual de la resistencia a la tracción durante el periodo de exposición	116
Tabla N° 66: Variación de la resistencia a la tracción de las varillas de acero y PRFV con respecto a la resistencia del acero en cada periodo de tiempo de ensayo.	119
Tabla N° 67: Peso de las varillas de PRFV y acero.	121
Tabla N° 68: Resultados comparativos del ensayo de asentamiento con respecto a la mezcla de concreto patrón.	122
Tabla N° 69: Resultados comparativos del ensayo de peso unitario con respecto a la mezcla de concreto patrón.	123
Tabla N° 70: Resultados comparativos del ensayo de contenido de aire con respecto a la mezcla de concreto patrón.	124
Tabla N° 71: Resultados comparativos del ensayo de temperatura con respecto a la mezcla de concreto patrón.	125
Tabla N° 72: Resultados comparativos del ensayo de tiempo de fragua - inicial con respecto a la mezcla de concreto patrón.....	126
Tabla N° 73: Resultados comparativos del ensayo de peso unitario con respecto a la mezcla de concreto patrón.	127
Tabla N° 74: Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de las propiedades en estado fresco con respecto al concreto patrón...	128
Tabla N° 75: Resultados porcentuales comparativos de la resistencia a la compresión del concreto patrón.	130
Tabla N° 76: Resultados porcentuales comparativos de la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar	131

Tabla N° 77: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión.....	133
Tabla N° 78: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto patrón reforzado con acero (S-P).....	136
Tabla N° 79: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con acero (S-M)...	136
Tabla N° 80: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con acero (S-P).....	137
Tabla N° 81: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con acero (S-M).....	138
Tabla N° 82: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con PRFV (G60-P).....	140
Tabla N° 83: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con PRFV (G60- M).....	141
Tabla N° 84: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con PRFV (G60-P).....	142
Tabla N° 85: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con PRFV (G60-M).....	142
Tabla N° 86: Variación de la carga máxima a flexión al iniciar y finalizar el periodo de exposición.	146

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Manchas de óxido a lo largo de las varillas de refuerzo en una estructura de concreto armado.....	35
Figura N° 2: Mecanismo de corrosión del acero en el concreto.	39
Figura N° 3: Esquema de las zonas de corrosión de un cilindro de concreto expuesto al agua de mar.	40
Figura N° 4: Variación del riesgo de corrosión según la zona de exposición marina.	42
Figura N° 5: Modelo de durabilidad de una estructura	44
Figura N° 6: Efecto del tiempo de curado del concreto en la resistencia a la compresión.....	47
Figura N° 7: Curva esfuerzo – deformación y módulo de elasticidad del acero..	50
Figura N° 8: Tipos de varillas de refuerzo de PRF.	53
Figura N° 9: Curvas de comportamiento a tracción de las varillas de acero y PRFV.	54
Figura N° 10: Curva granulométrica del agregado fino utilizado.	63
Figura N° 11: Curva granulométrica del agregado grueso utilizado.	64
Figura N° 12: Curva del peso unitario compactado del agregado global - % de Ag. Fino vs P.U.C.	69
Figura N° 13: Resistencia a la compresión a los 7 días obtenida de cada combinación de agregados.	71
Figura N° 14: Resultados previos para la selección de la combinación de agregados óptima.	72
Figura N° 15: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la tracción de las varillas de PRFV y acero.	77
Figura N° 16: Máquina de ensayo universal para ensayo a tracción - LEM UNI.	78
Figura N° 17: Características de la longitud de las varillas para el ensayo a tracción.	80
Figura N° 18: Muestras elaboradas de PRFV para el ensayo a tracción.....	80
Figura N° 19: Curva carga - deformación obtenido del ensayo a la tracción de la varilla de acero no acondicionada	81
Figura N° 20: Curva carga - deformación obtenido del ensayo a la tracción de la varilla de PRFV no acondicionada.....	82

Figura N° 21: Asentamiento del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.....	86
Figura N° 22: Peso Unitario del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.....	87
Figura N° 23: Contenido de aire del concreto en estado fresco- concreto patrón y concreto con agua de mar.	88
Figura N° 24: Temperatura del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.....	89
Figura N° 25: Curva del tiempo de fragua del concreto en estado fresco- concreto patrón y concreto con agua de mar.....	91
Figura N° 26: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la compresión del concreto	94
Figura N° 27: Curva de resistencia a la compresión según tiempo de curado del concreto patrón.....	96
Figura N° 28: Curva de resistencia a la compresión según tiempo de curado del concreto con agua de mar.	97
Figura N° 29: Histograma de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón	99
Figura N° 30: Histograma de la resistencia a la compresión promedio del concreto con agua de mar.....	100
Figura N° 31: Esquema de las vigas y del ensayo a flexión para vigas reforzadas	103
Figura N° 32: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la flexión.....	103
Figura N° 33: Curva experimental carga - deflexión de las vigas de las muestras S-P-CH28	106
Figura N° 34: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras S-M-CH28.....	106
Figura N° 35: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras G60-P-CH28.....	108
Figura N° 36: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras G60-M-CH28	108
Figura N° 37: Histograma de la variación de la resistencia a la tracción del acero durante el periodo de exposición.	114
Figura N° 38: Curva esfuerzo - deformación de las varillas de acero	115

Figura N° 39: Histograma de la variación de la resistencia a la tracción del PRFV durante el periodo de exposición.	117
Figura N° 40: Modo de falla de las varillas de polímero reforzados con fibra de vidrio (PRFV).....	117
Figura N° 41: Análisis de la curva esfuerzo - deformación de las varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV).....	118
Figura N° 42: Histograma y variación porcentual de la resistencia a la tracción del refuerzo con respecto al acero en cada periodo de ensayo... ..	120
Figura N° 43: Comparativa: Curvas de esfuerzo - deformación del acero y PRFV	121
Figura N° 44: Variación del asentamiento del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%).	122
Figura N° 45: Variación del peso unitario del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%).	123
Figura N° 46: Variación del contenido de aire del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)	124
Figura N° 47: Variación de la temperatura del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%).	125
Figura N° 48: Variación del tiempo de fragua inicial del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)	126
Figura N° 49: Variación del tiempo de fragua final del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)	127
Figura N° 50: Desarrollo porcentual de los resultados de los ensayos de las propiedades en estado fresco con respecto al concreto patrón... ..	128
Figura N° 51: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto patrón.	130
Figura N° 52: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar	132
Figura N° 53: Curva de la resistencia a la compresión vs tiempo en las condiciones de curado húmedo y acondicionamiento acelerado .	134
Figura N° 54: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con acero.....	135
Figura N° 55: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con PRFV.	139

Figura N° 56: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con PRFV y acero.	143
Figura N° 57: Carga de primera fisuración de las vigas S-P, S-M, G60-P y G60-M.....	144
Figura N° 58: Carga máxima de las vigas S-P, S-M, G60-P y G60-M	145
Figura N° 59: Histograma y variación porcentual de la carga máxima de las vigas G60-P, G60-M, S-M y S-P.....	147

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

%	:	Porcentaje
"	:	Pulgadas
°C	:	Grado Celsius

SIGLAS

ACI	:	American Concrete Institute
AFRP	:	Aramid Fiber Reinforced Polymer
ASTM	:	American Society of Testing Materials
CFRP	:	Carbon Fiber Reinforced Polymer
cm	:	Centímetro
cm ²	:	Centímetro cuadrado
cm ³	:	Centímetro Cúbico
E	:	Módulo de Elasticidad
f'c	:	Resistencia a la Compresión del Concreto
ft ³	:	Pie cúbico.
FRP	:	Fiber Reinforced Polymer (Polímero Reforzado con Fibras)
g	:	gramo
g/cm ³	:	gramo por centímetro cúbico
GFRP	:	Glass Fiber Reinforced Polymer
Hum.	:	Humedad
Kg	:	Kilogramo
kg/cm ²	:	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m ³	:	Kilogramo por metro cúbico
L	:	Litro
LEM UNI	:	Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.
Min.	:	minutos (Unidad de tiempo)
Mg/l	:	Miligramos por litro
Mm	:	Milímetro
MPa	:	MegaPascal (Unidad de Presión, 10 ⁶ Pascal)

GPa	:	GigaPascal (Unidad de Presión, 10^9 Pascal)
NTP	:	Norma Técnica Peruana
P.e.	:	Peso específico
Ppm	:	Partes por millón
P.U.	:	Peso unitario
P.U.C.	:	Peso unitario compactado
P.U.S.	:	Peso unitario suelto
PRFV	:	Polímero reforzado con fibra de vidrio.
RNE	:	Reglamento Nacional de Edificaciones
Und.	:	Unidad
UNI	:	Universidad Nacional de Ingeniería

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El concreto es un producto de gran uso en el sector constructivo debido a su versatilidad, durabilidad y disponibilidad. Desde pequeñas reparaciones hasta grandes obras civiles, el concreto se ha convertido en uno de los materiales fundamentales en el sector. Su uso se ha incrementado desde el siglo XX con la fabricación industrial del cemento Portland. Es utilizado en la mayoría de los edificios y viviendas en todo el mundo, con un consumo anual cinco veces mayor que el del acero (Duffó y Farina, 2019).

El concreto simple, débil en tracción, se utilizaba en estructuras simples y masivas como cimientos, pilares y muros pesados. Sin embargo, en el siglo XIX se desarrolló el concreto reforzado mediante la incorporación de varillas de acero en su interior, lo cual le brindó resistencia a la tracción (Harmsen, 2002). Históricamente, las varillas de acero han sido la opción principal para el refuerzo del concreto. La combinación de acero y concreto resulta beneficiosa, ya que el acero soporta las fuerzas de tracción, mientras que el concreto lo protege contra la corrosión debido a su alcalinidad.

La corrosión del acero utilizado como refuerzo se ha convertido en una preocupación global significativa, ocasionando graves daños en puentes, estructuras marinas y edificios de concreto. A pesar de que el concreto es ampliamente reconocido como un material confiable, resistente y versátil, su capacidad para salvaguardar el acero de la corrosión se ve reducida en entornos desfavorables, como la presencia de agua salada y variaciones bruscas en los niveles de humedad y temperatura (Fernandez, 1994). Los agentes marinos y las reacciones químicas causan daños en las estructuras, comprometiendo su durabilidad, calidad y seguridad.

Según la European Concrete Platform a nivel global, se están llevando a cabo iniciativas destinadas a fomentar prácticas constructivas sostenibles con el objetivo de mejorar la calidad de vida y reducir el impacto ambiental. Para asegurar la calidad del concreto y evitar la corrosión, se han implementado normas y

códigos de buenas prácticas en su producción. No obstante, estas regulaciones imponen restricciones en el uso de recursos naturales esenciales como la arena de río y el agua dulce, los cuales son fundamentales en la fabricación del concreto. Como resultado, se ha producido una rápida escasez de estos recursos a nivel mundial, debido a la alta demanda de concreto y las limitaciones establecidas. Como consecuencia, tanto la arena como el agua dulce se han convertido en materiales sumamente valiosos en el siglo XXI, debido al consumo masivo de materias primas (Tanaz y Neaz, 2019).

La industria del concreto requiere grandes cantidades de agua dulce anualmente para sus procesos. Investigar el uso de agua de mar como alternativa podría ahorrar agua dulce y ser más conveniente y económico, especialmente en proyectos costeros. Sin embargo, las normas de construcción generalmente prohíben su uso debido al riesgo de corrosión del refuerzo por los compuestos de cloruro presentes en el agua de mar. (Nishida et al., 2014)

Los avances tecnológicos en materiales de construcción han brindado importantes beneficios en seguridad, economía y funcionalidad de las estructuras para los ingenieros civiles. En este contexto, el polímero reforzado con fibras (FRP) ha adquirido reconocimiento reciente en la industria de la construcción. Estos materiales presentan ventajas significativas en comparación con el concreto reforzado convencional, superando sus limitaciones en estos casos.

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

El concreto es el producto de construcción más utilizado del mundo, y su popularidad se ha disparado en el último medio siglo debido a que es fácil de moldear. Sin embargo, dos problemáticas importantes afectan su durabilidad y sostenibilidad: la corrosión del acero en ambientes agresivos y la escasez de agua potable a nivel mundial.

En el contexto actual de la situación ambiental y ecológica del mundo, es sin duda uno de los principales problemas es el relacionado al agua. El agua es un recurso escaso primordial para la supervivencia del ser humano, en la medida que la población mundial aumente será necesario una mayor cantidad de agua para

consumo; sin embargo, la cantidad de agua que se dispone en el mundo no aumenta. El concreto es una industria enorme que produce 4,000 millones de toneladas al año y la forma en que se producen también contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según Miller et al. (2018), en su investigación publicada en la revista Nature titulada "Impacts of booming concrete production on water resources worldwide" se cuantificó el uso de agua de la producción global de concreto en el 2012 y proyectaron el valor para 2050. Según los resultados, el porcentaje de las extracciones totales de agua de fuentes naturales que procedía de recursos naturales (agua dulce, la cual equivale únicamente al 2.5% del agua en la tierra) destinadas para el sector industrial a nivel mundial, esta cifra representa alrededor del 1,7% de la cantidad total de agua extraída de la superficie terrestre. En 2050, la mayor parte de las necesidades de agua para la fabricación de concreto se cubrirán en zonas que ya sufren escasez de agua. La población de las ciudades irá aumentando con el paso de los años, lo cual ocasionará el aumento de la demanda del agua dulce, por lo que se debe buscar técnicas de construcción más sostenibles.

El uso de concreto mezclado con agua de mar podría ser una solución para reducir la dependencia del agua dulce en la construcción. Sin embargo, las normas de construcción prohíben su uso en el concreto reforzado debido al alto contenido de sales en el agua de mar, que provoca la corrosión de las varillas de acero utilizadas como refuerzo (Younis et al., 2019). El acero es el material más utilizado en la construcción debido a sus fuertes cualidades mecánicas y a su fácil disponibilidad; por ello, la corrosión del acero de construcción es un problema importante.

A pesar de estas limitaciones, el empleo de agua de mar como sustituto al agua dulce en la construcción de concreto puede influir de manera significativa en la calidad de vida a nivel mundial. El agua de mar representa el 96.5% de toda el agua del planeta, por lo que su utilización sostenible podría preservar las fuentes de agua dulce para las generaciones futuras. Esto abriría nuevas posibilidades para la construcción sostenible y reduciría la presión sobre los recursos de agua

dulce, al tiempo que se garantiza una infraestructura de calidad en todo el mundo (Tanaz y Neaz, 2019).

Este problema existe desde hace muchos años, y es lo que ha impulsado la investigación de nuevos materiales de refuerzo no corrosivos, como los PRFV. Estos polímeros constituyen una tecnología interesante para los proyectos de concreto armado, sobre todo por sus cualidades de resistencia prolongada.

El PRFV (junto con otras soluciones alternativas de polímeros reforzados con fibras, como el basalto o el carbono, que son tecnologías de éxito en condiciones marinas a pesar de la presencia de cloruro en estos entornos, que favorece la corrosión) se ha utilizado para superar este problema. El uso en conjunto de concretos sostenibles y el refuerzo PRFV ampliará la disponibilidad y la sostenibilidad de las estructuras expuestas a condiciones ambientales agresivas, mejorando la durabilidad del concreto. Es por ello que se hace necesario realizar el estudio de investigación para dar una propuesta de solución a esta problemática.

En la presente investigación, se ha empleado el método de inmersión en agua de mar a 60°C, una técnica utilizada en la investigación de Morales – Mangual (2020) en la Universidad de Miami y en otras investigaciones internacionales para analizar la corrosión de manera acelerada. Este método se ha elegido para evaluar el comportamiento del PRFV en un entorno agresivo, con el objetivo de comprender mejor su rendimiento en estructuras de concreto armado.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el impacto del uso del agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración del concreto utilizando cemento Portland Tipo GU, reforzado con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) expuestas al agua de mar?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el impacto de la exposición al agua de mar en las propiedades mecánicas de las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y acero convencional?
- ¿Cuál es el impacto del agua de mar en las propiedades físicas en estado fresco y propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto utilizando cemento Portland Tipo GU, mezclado con agua de mar y agua potable?
- ¿Cuál es el efecto de la exposición al agua de mar en el comportamiento a flexión de las vigas de concreto utilizando cemento Portland Tipo GU, reforzadas con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y acero convencional cuando se utilizan agua de mar y agua potable en la mezcla de concreto?

1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades físico – mecánicas del concreto utilizando agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración del concreto reforzado con acero convencional y Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), expuestos al agua de mar.

1.4.2. Objetivo Específico

- Determinar las propiedades mecánicas de las varillas PRFV y acero convencional en estado natural y al estar sometidas a la acción corrosiva por el agua de mar.
- Determinar las propiedades físicas en estado fresco y propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto utilizando cemento Portland Tipo GU APU, con agua potable y agua de mar, antes y después de estar expuestas al agua de mar.

- Determinar el comportamiento a flexión de vigas de concreto con agua de mar y agua potable reforzadas con PRFV y acero convencional antes y después de estar expuestos al agua de mar.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

El uso de agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración de concreto utilizando cemento Portland Tipo GU, no tendría un impacto negativo en las propiedades y desempeño del concreto reforzado con PRFV que están expuestos al agua de mar.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El impacto de la corrosión por el agua de mar en las propiedades mecánicas de las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) será menor en comparación con las varillas de acero convencional.
- El uso del agua de mar como reemplazo del agua potable tendrá un impacto mínimo en las propiedades del concreto utilizando cemento Portland Tipo GU, en estado fresco ni en las propiedades mecánicas en estado endurecido.
- Las vigas de concreto reforzadas con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) mostrarán una mayor resistencia a los efectos de la exposición al agua de mar en comparación con las vigas reforzadas con acero convencional.

1.6. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los materiales compuestos hechos de fibras incrustadas en una resina polimérica, también conocida como polímero reforzado con fibra (FRP), son una alternativa al acero de refuerzo para estructuras de concreto. Los materiales de refuerzo de polímeros reforzados con fibra son hechos de fibra de aramida continua (AFRP), fibra de carbono (CFRP), o fibra de vidrio (PRFV) embebido en una matriz de

resina. Según el American Concrete Institute (2015), el desarrollo del refuerzo de polímero reforzado con fibra (FRP) se puede rastrear hasta el uso ampliado de compuestos después de la Segunda Guerra Mundial en la década de 1940. La expansión de los sistemas de carreteras nacionales en la década de 1950 aumentó la necesidad de proporcionar mantenimiento durante todo el año. Se hizo común aplicar sales de deshielo en puentes de carreteras y, como resultado, el acero de refuerzo en estas estructuras y aquellas sujetas a sal marina experimentaron una corrosión extensa, convirtiéndose en una preocupación importante y conduciendo a altos costos de mantenimiento. Se investigaron varias soluciones, incluyendo recubrimientos galvanizados, recubrimientos adheridos por fusión (resina en polvo) por pulverización electrostática, concreto impregnado de polímero, recubrimientos epoxi, varillas de acero aleado y varillas de refuerzo de vidrio FRP. De estas opciones, el refuerzo de acero recubierto de epoxi pareció ser la mejor solución y, por lo tanto, se implementó en entornos de corrosión agresiva. La varilla de refuerzo de polímero reforzado con fibra no se consideró una solución viable y no estuvo disponible comercialmente hasta finales de la década de 1970. (American Concrete Institute 440.1R [ACI 440.1R], 2015).

Zoran et al. (2015) en su investigación titulada "Damage of Concrete and Reinforcement of Reinforced-Concrete Foundations Caused by Environmental Effects" analizó los posibles efectos agresivos que pueden tener impacto sobre los cimientos del concreto armado y que pueden ser causados por el suelo, el agua subterránea o el clima. Los efectos químicos que provocan la degradación del concreto suelen ser impactos que son consecuencia de reacciones químicas de compuestos agresivos del entorno de la estructura y de los propios componentes de la roca de cemento. Sus efectos perjudiciales provocan la corrosión del hormigón. El daño al concreto y el refuerzo del mismo afecta la durabilidad y la capacidad de carga de los cimientos.

Mufti et al. (2005) en su investigación canadiense titulada "Durabilidad del concreto reforzado con PRFV en estructuras de campo" tuvo como objetivo presentar a la comunidad de ingenieros los resultados de la investigación sobre el comportamiento de los materiales de PRFV utilizados en la construcción de cinco puentes reforzados con PRFV y sometidos a diversas condiciones ambientales. Las estructuras fueron las siguientes: Hall's Harbour Wharf, el puente Joffre, el

puente Chatham, el puente Crowchild Trail, el puente de Waterloo Creek. Se utilizaron cinco métodos analíticos para evaluar la composición de GFRP y concreto circundante: microscopía óptica (OM), microscopía electrónica de barrido (SEM), rayos X de energía dispersiva (EDX), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Fourier espectroscopia infrarroja transformada (FTIS). Los resultados indican que no se produjo ningún deterioro de GFRP en ninguna de las estructuras de campo. No se produjeron procesos de degradación química dentro del PRFV debido a la alcalinidad del hormigón.

Berg et al. (2005) en su artículo titulado “Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck” describe el proceso de construcción y proporciona un análisis de costos de un proyecto en el cual se usó materiales de FRP como refuerzos para el tablero de un puente de concreto. Con base en el análisis de los costos de materiales y mano de obra a corto plazo, parece que, dados los ahorros en tiempo de construcción y sus potenciales beneficios de durabilidad y mantenimiento a largo plazo, los refuerzos de FRP para tableros de puentes pueden ser rentables, a pesar de sus altos costos iniciales actualmente. La construcción de una plataforma de puente de concreto reforzado con FRP utilizando técnicas y mano de obra convencionales permitió lograr una reducción del 57% en los costos de construcción. El costo de la mano de obra para la construcción de un puente con tablero reforzado con varillas de acero nominalmente idéntico fue de 60% más alto que el del puente con tablero reforzado con acero. Se recomendó optimizar el encofrado permanente de FRP para disminuir el costo del sistema de refuerzo de FRP en el futuro.

Tarek et al. (2012) en su investigación titulada “Degradación de las propiedades de tracción de las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio embebidas en hormigón en condiciones ambientales severas de laboratorio y de campo” presenta los resultados de las propiedades de tracción del GFRP utilizando métodos de envejecimiento acelerado. Las barras de GFRP se incrustan en cilindro de concreto y se expusieron al agua de grifo y agua de mar a dos temperaturas, ambiente y a 60°C durante 6, 12 y 18 meses. El rendimiento de las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio se evaluó mediante la realización de ensayos de tracción en las barras extraídas de los prismas de concreto tras su exposición a diferentes condiciones. Las barras de GFRP seleccionadas tenían

un diámetro de $\varnothing 1/2$ " con un perfil superficial especial de nervaduras regulares. Tras 18 meses de exposición, las muestras en el entorno controlado del laboratorio y en las duras condiciones del campo no muestran casi ninguna degradación en las propiedades de tracción de las barras de GFRP. En todas las muestras ensayadas, el módulo de tracción no se vio afectado de forma significativa ni siquiera después de 18 meses en exposiciones diferentes.

Un proyecto de colaboración internacional llamado 'SEACON' que tiene como objetivo demostrar la utilización segura y duradera de agua de mar y agregados contaminados con sal (naturales o reciclados) para una producción de concreto sostenible cuando se combina con refuerzo no corrosivo. Se elaboraron dos mezclas, la mezcla A convencional de referencia y la mezcla B donde se evalúa la influencia del agua de mar de Florida, USA. Cabe resaltar que en la mezcla de concreto se utilizó material cementante suplementario y aditivos. La varilla de PRFV fue de $\varnothing 5/8$ " con patrón superficial helicoidal, las cuales se incrustaron en cilindros de concreto elaborados con las dos mezclas (A y B), cada muestra se reforzó con 4 barras de PRFV y se sumergió a agua de mar a 60°C (140°F) como envejecimiento acelerado. A los 6 y 12 meses de exposición se extrajo las barras del cilindro de concreto, las barras extraídas se ensayaron en términos de propiedades residuales de tracción y resistencia al corte. Además, se elaboraron muestras para el ensayo de adherencia. Como resultados se obtuvo que las propiedades no se vieron afectadas por la introducción del agua de mar en la mezcla, solo el tiempo de fragua disminuyó debido al alto contenido del cloruro del agua de mar por lo cual se utilizó un retardante de fragua para controlar este efecto. Las propiedades de tracción de las barras de PRFV incrustadas en hormigones convencionales y de agua de mar son comparables después de un año de exposición al acondicionamiento acelerado. Además, la fuerza de unión de las varillas de PRFV en concreto con agua de mar y concreto convencional se midió mediante pruebas de extracción después de envejecer durante seis meses en el mismo acondicionamiento acelerado (Khatibmasjedi y Nanni, 2018).

Younis et al. (2019) en su investigación titulada "Rendimiento del hormigón con agregado reciclado mezclado con agua de mar", se comparan dos tipos de concreto: el convencional y el elaborado con agua de mar. Ambas mezclas incorporaron escoria de alto horno como material cementante, con un nivel de

reemplazo del 65%. Se caracterizaron y compararon las propiedades frescas y endurecidas de los dos hormigones, incluida la trabajabilidad, la ganancia de resistencia, la retracción por secado, la permeabilidad y la microestructura. Los resultados obtenidos indican que el concreto mezclado con agua de mar presentó una reducción de la densidad de aproximadamente un 5% y un aumento en el contenido de aire en estado fresco. Además, la combinación de agua de mar y agregado reciclado (RCA) condujo a una disminución del asentamiento del concreto en un 25% y a una reducción del tiempo de fragua inicial en un 50%. Sin embargo, esta mezcla también resultó en una disminución del 33% en la ganancia de resistencia del concreto endurecido, sin embargo, a largo plazo, el curado con agua de mar, durante un periodo de hasta un año, mostró un efecto positivo, aumentando la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla N° 1: Resumen de antecedentes referenciales

N	Autor	Año	Título	Estudio / Pruebas	Resultados
1	Mufti et al.	2005	Durabilidad del concreto reforzado con GFRP en estructuras de campo.	Caracterización del concreto reforzado con GFRP en un entorno alcalino.	No se produjo ningún deterioro del GFRP en ninguna de las estructuras de campo
2	Berg et al.	2005	Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck.	Uso del GFRP como refuerzo para el tablero de un puente de concreto para una Carretera.	Dados los ahorros en tiempo de construcción y sus potenciales beneficios de durabilidad y mantenimiento a largo plazo, los refuerzos de FRP para tableros de puentes pueden ser rentables, a pesar de sus altos costos iniciales actualmente.
3	Tarek et al.	2012	Degradación de las propiedades de tracción de las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio embebidas en hormigón.	Las barras de GFRP se incrustan en cilindro de concreto y se expusieron al agua de grifo y agua de mar durante 6, 12 y 18 meses.	. En todas las muestras ensayadas, el módulo de tracción no se vio afectado de forma significativa ni siquiera después de 18 meses en exposiciones diferentes.
4	Khatibmasje di y Nanni	2018	SEACON	Se elaboraron dos mezclas, la mezcla A convencional de referencia y la mezcla B donde se evalúa la influencia del agua de mar	Como resultados se obtuvo que las propiedades no se vieron afectadas por la introducción del agua de mar en la mezcla, solo el tiempo de fragua disminuyó debido al alto contenido del cloruro del agua de mar

5	Zoran et al.	2015	Damage of Concrete and Reinforcement of Reinforced-Concrete Foundations Caused by Environmental Effects	Efectos agresivos que impactan en el concreto armado causados por el suelo, agua subterránea o clima.	Los daños del hormigón armado utilizado para la construcción de cimientos de hormigón armado están directamente relacionados con la exposición que influye en la corrosión de las armaduras del concreto
6	Younis et al.	2019	Rendimiento del hormigón con agregado reciclado mezclado con agua de mar	Se comparan dos tipos de concreto: el convencional y el elaborado con agua de mar.	El concreto mezclado con agua de mar tuvo una reducción de densidad del 5%. Además, al combinar agua de mar se obtuvo una disminución del asentamiento en un 25% y una reducción del tiempo de fragua inicial en un 50%.

En los antecedentes resumidos en la Tabla N° 1 se observa que el GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) ha sido utilizado durante varias décadas en distintos sectores. Sin embargo, su aplicación en la construcción sigue siendo un área de investigación en desarrollo. Aunque actualmente se utiliza como reemplazo parcial del acero en algunas estructuras, su uso aún es limitado. Esta tesis busca ampliar el conocimiento sobre el uso del GFRP en combinación con agua de mar en la mezcla de concreto. Los antecedentes **revisados** muestran una extensa investigación sobre el uso del agua de mar en el concreto y sus efectos, así como estudios sobre el comportamiento del GFRP como material de refuerzo, incluyendo su exposición a diferentes entornos para evaluar su durabilidad y para esto diversos estudios emplean el método de exposición al agua de mar a 60°C para simular un entorno acelerado.

La presente investigación complementa estos estudios mediante una evaluación integral de las propiedades físicas y mecánicas del concreto, principalmente el comportamiento a flexión de la viga de concreto utilizando agua de mar y GFRP como refuerzo.

En primer lugar, se determinarán propiedades mecánicas de las varillas PRFV y de acero, de lo cual se cuenta con estudios previos de la durabilidad de las varillas de PRFV incrustadas en probetas de concreto y sometidas a diferentes entornos, por otro lado, en la presente investigación se llevará a cabo una exposición directa y se someterá a las varillas de acero a las mismas condiciones con el fin de realizar un análisis comparativo.

En el siguiente paso, se evaluarán las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido. El objetivo es verificar y confirmar los estudios existentes sobre el uso de agua de mar en la mezcla de concreto. Además, las muestras de concreto endurecido serán sometidas a exposición directa al agua de mar.

Posteriormente, se analizará la flexión de la unión entre los componentes de refuerzo y concreto en estructuras de concreto armado (vigas). Aunque existen estudios previos sobre la flexión del concreto con agua de mar y ensayos de compresión de columnas reforzadas con PRFV, así como de flexión de vigas con refuerzo híbrido (acero y PRFV), el uso combinado de PRFV y agua de mar aún no ha sido ampliamente investigado.

1.7. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo utilizando una metodología experimental en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales "Ing. Manuel Gonzales de la Coterá" (LEM UNI).

En primer lugar, se realizó una recopilación bibliográfica, donde se revisó información relevante de investigaciones y artículos relacionados con las variables de la tesis. Además, se seleccionaron las normas técnicas apropiadas, como las Normas Técnicas Peruanas, las normas del American Society of Testing Materials (ASTM) y las del American Concrete Institute (ACI), para guiar el desarrollo del tema de investigación.

A continuación, se procedió a definir los materiales y equipos que se utilizarían en el estudio. En cuanto a los componentes del concreto, se optó por utilizar **Cemento APU tipo GU** y agregados provenientes de la cantera Trapiche. El agua potable se obtuvo de la red de distribución de agua potable del LEM UNI, mientras que el agua de mar se obtuvo de la playa de La Punta, Callao.

En cuanto al refuerzo, se decidió utilizar el refuerzo convencional de **acero**, con varillas de **3/8"** de la marca SiderPerú, y para el refuerzo no convencional **PRFV**, varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio de **grado 60** y diámetro **3/8"** de

la marca **V-ROD**. Estas varillas de PRFV fueron donadas por la empresa canadiense PULTRALL INC.

Una vez definidos los materiales, se procedió al diseño de las mezclas de concreto. Se utilizó una relación **agua y cemento** de **0.5** para el diseño, con el objetivo de evaluar un escenario desfavorable y vulnerable a la exposición al agua de mar. Aunque las recomendaciones de las normas para ambientes expuestos a sales, como el agua de mar, sugieren una relación agua y cemento de 0.4, se optó por utilizar una relación ligeramente mayor para fines de investigación.

Se llevaron a cabo dos tipos de mezclas de concreto diferentes para el estudio. La primera mezcla, denominada "Mezcla de Tipo P", consistió en concreto mezclado con agua potable y se utilizó como concreto patrón o punto de referencia. La segunda mezcla, denominada "Mezcla de Tipo M", tuvo la misma proporción de materiales que la primera mezcla, pero en lugar de agua potable se utilizó agua de mar.

La siguiente etapa consistió en la realización de ensayos en el laboratorio. Esta fase se dividió en dos partes. En la primera parte, se llevaron a cabo ensayos para determinar las propiedades mecánicas del refuerzo de PRFV y acero en su estado normal. También se evaluaron las propiedades del concreto en estado fresco del concreto, así como su resistencia a la compresión a intervalos de tiempo de **7, 14 y 28 días**, tanto para la Mezcla de Tipo M como para la Mezcla de Tipo P, utilizando un curado convencional con agua potable. Además, se midió la resistencia a la flexión en vigas reforzadas con varillas de PRFV y acero, elaboradas tanto con la Mezcla de Tipo M como con la Mezcla de Tipo P, a los 28 días de curado convencional con agua potable.

En la segunda parte de los ensayos, se llevó a cabo una exposición, las muestras fueron sumergidas en agua de mar obtenida de la playa de La Punta, Callao, y se elevó la temperatura a 60°C. Se analizó el estado endurecido del concreto patrón y del concreto con agua de mar, evaluando su comportamiento a intervalos de sumersión de 30, 60, 90 y 120 días. Además, se evaluó la durabilidad del refuerzo de PRFV y acero, determinando sus propiedades mecánicas a lo largo de los intervalos de 30,60,90 y 120 días de sumersión. Por último, se analizó el

comportamiento a flexión de vigas de 15 cm x 15 cm x 50 cm de concreto con agua de mar y agua potable, reforzadas con varillas de PRFV 3/8" grado 60 y acero 3/8", a los mismos intervalos de sumersión de 30, 60, 90 y 120 días.

Una vez completada la fase experimental se ordenaron los resultados obtenidos en cada etapa, según el diseño de mezcla propuesto, para realizar comparaciones. A continuación, se interpretaron los resultados, se verificó la hipótesis planteada al inicio y se elaboraron conclusiones y recomendaciones basadas en la investigación realizada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. EL CONCRETO

El concreto es un material conformado por varios componentes, como aglomerante, agua, agregados y aditivos, que se utilizan de acuerdo con los requisitos del proyecto. La mezcla de cemento portland, que cumple la función de aglomerante, con agua produce una reacción de hidratación que da lugar a una masa homogénea. Esta masa se combina con los demás componentes del concreto. Durante la etapa de mezclado, el concreto puede ser fácilmente transportado y depositado en los elementos estructurales, y se compacta para lograr su máxima densidad. (Fernandez, 1994)

El concreto tiene dos estados: fresco y endurecido. En estos estados, es de gran interés conocer diferentes propiedades. En el estado fresco, las propiedades más solicitadas son la consistencia, el tiempo de fraguado y la homogeneidad. Por otro lado, en el estado endurecido, la propiedad más requerida es la resistencia a la compresión, la cual sirve como una medida indirecta de otras características del concreto.

Si se analiza detalladamente el concreto, se puede identificar una debilidad en este compuesto. Aunque el concreto puro es capaz de soportar cargas, carece de resistencia a la tracción, lo cual no es favorable en infraestructuras que requieren elementos verticales y horizontales. Para solucionar este problema, se añade acero al concreto, lo que permite equilibrar los esfuerzos mecánicos, incluyendo compresión, tracción y flexión. A pesar de esta debilidad, el concreto presenta ventajas como resistencia al fuego y a condiciones climáticas adversas, además de la capacidad de ser moldeado y adaptarse a diversas formas. Gracias a la incorporación del acero, el concreto se vuelve más flexible y resistente. (Alarcón y Delgado, 2021)

2.2. EL CONCRETO REFORZADO

Para comprender qué es el concreto reforzado, es importante conocer la composición de sus elementos básicos. Según la norma E.060 "Concreto

Reforzado”, el concreto resulta de la mezcla de agregados gruesos y finos (grava y arena) con el conglomerante obtenido a partir de la hidratación del cemento Portland u otro cemento hidráulico (Agua y cemento). En cuanto al concreto reforzado, la norma indica que consiste en un concreto reforzado con cierta cantidad de acero para ser usado como elemento estructural en edificaciones. (Llallire et al., 2020)

2.2.1. Ventajas del concreto reforzado

De acuerdo con Harmsen (2002), el concreto reforzado posee varias ventajas frente a otros materiales como el acero, la madera, etc. Las ventajas son:

- a) Posee larga durabilidad, es decir, una vida útil prolongada.
- b) Posee alta resistencia a la compresión comparado con otros materiales.
- c) Posee resistencia al fuego en caso de incendios en comparación con otros materiales.
- d) En estado fresco, posee la capacidad de moldearse según la forma de los encofrados.
- e) En estado endurecido, posee gran rigidez y no sufre problemas de vibraciones.
- f) En estado endurecido, posee un comportamiento monolítico lo cual le permite resistir cargas de viento o sismo.

2.2.2. Desventajas del concreto reforzado

De acuerdo con Harmsen (2002) el concreto reforzado también posee algunas desventajas como se mencionan a continuación:

- a) El concreto es débil a las fuerzas de tracción, siendo alrededor de una décima parte de su resistencia a la compresión.
- b) Con relación al peso propio del concreto, es un aspecto para tener en cuenta cuando se usa en grandes luces.
- c) Necesita de un permanente control de calidad en la etapa de elaboración, colocación y curado.

2.3. CORROSIÓN EN EL CONCRETO REFORZADO

La corrosión se refiere al proceso de deterioro o degradación de un material debido a reacciones electroquímicas en su entorno. En este proceso, el material experimenta oxidación, lo cual se manifiesta como una capa de óxido (Figura N° 1) en la superficie y el perímetro del acero. (Alarcón y Delgado, 2021). La corrosión afecta al acero al disminuir su capacidad mecánica a medida que su diámetro se reduce, lo que a su vez reduce su sección efectiva (Duffó y Farina, 2019). Para que la corrosión se produzca, es necesario contar con tres componentes: un ánodo, un cátodo y un agente electrolito.



Figura N° 1: Manchas de óxido a lo largo de las varillas de refuerzo en una estructura de concreto armado. Fuente: Duffó y Farina (2019)

Si los conceptos mencionados anteriormente se aplican en el concreto reforzado, el acero actuará como cátodo y ánodo, y el agente electrolito vendría a ser el concreto que recubre el acero, bajo este escenario ocurre el proceso de oxidación.

La degradación del refuerzo metálico que se encuentra dentro del concreto, provocada por cloruros o la carbonatación de la capa de concreto que lo recubre, es ampliamente reconocida como uno de los desafíos más significativos en las estructuras de concreto. (Kessler et al., 1997)

2.3.1. Factores que provocan el deterioro de las estructuras

Para realizar el diseño de estructuras de acero o concreto reforzado, es esencial

evaluar la posibilidad de corrosión en el futuro. La corrosión del acero en el concreto es un proceso electroquímico que puede ser influenciado tanto por agentes externos del entorno como por agentes internos presentes en el propio concreto. Aunque el acero de refuerzo parece estar protegido por el recubrimiento recomendado, en realidad existen varios motivos por los cuales puede experimentar corrosión. A continuación, se presentan los factores más importantes para tener en cuenta.

2.3.1.1. Factores ambientales

a) Oxígeno

La corrosión requiere una mínima presencia de oxígeno, pero la velocidad de corrosión no es máxima cuando los poros están secos y hay mayor disponibilidad de oxígeno. En cambio, la velocidad de corrosión es mayor cuando los poros contienen cierta cantidad de agua, sin llegar a saturarse. Solo en casos de poros completamente saturados, el flujo del gas se convierte en el factor controlante de la velocidad de corrosión. Mayormente, el acceso de oxígeno es suficiente para mantener la velocidad de corrosión. (Gómez, 2022)

b) Temperatura

Es importante considerar el entorno donde se va a llevar a cabo la obra de construcción, debido a que este entorno puede desencadenar la aparición de corrosión en el concreto reforzado. Tanto una zona con altas temperaturas como una zona extremadamente fría trae consigo efectos en el entorno del concreto.

La temperatura tiene un impacto en el proceso de corrosión, facilitando el transporte de sustancias con el aumento de la movilidad de las moléculas. Sin embargo, la disminución de la temperatura puede llevar a condensaciones y aumento de la humedad del material. La interacción de la temperatura, humedad y oxígeno genera efectos contradictorios, lo cual dificulta predecir con precisión el proceso de corrosión basándose en un solo factor. Este fenómeno de interferencia puede conducir a predicciones erróneas. (Gómez, 2022)

c) Presencia de cloruros, sulfatos y carbonatos

La corrosión puede ser influenciada por factores químicos como la carbonatación y la presencia de iones de cloruro. La carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono ingresa al concreto y reduce gradualmente su pH, lo que provoca corrosión significativa. Por otro lado, la interacción de iones de cloruro con el acero de refuerzo también genera corrosión constante que afecta las propiedades mecánicas a largo plazo. En estructuras cercanas al mar, es necesario considerar estos factores en el diseño para prevenir y mitigar la corrosión. (Alarcón y Delgado, 2021). Estos factores se consideran durante el diseño de la mezcla de concreto, durante la elección del tipo de cemento, relación a/c, aditivos especiales según las condiciones de exposición.

2.3.1.2. Factores relacionados con el concreto.

Las normas de construcción determinan, caso por caso, el espesor del revestimiento, la relación a/c y la resistencia mínima necesaria para el concreto. Todas estas características, que sirven para retrasar o evitar la corrosión del acero al restringir la entrada de agentes externos, se denominan requisitos mínimos de resistencia.

a) Dosificación del concreto

La relación a/c juega un papel importante en la corrosión y la carbonatación del concreto. Una dosificación incorrecta del concreto aumenta considerablemente el riesgo de corrosión. Esto puede deberse a no seguir los parámetros establecidos en las normas o cometer errores durante la construcción, como exceder la relación de agua/cemento de 0.4. En algunos casos, no se cumple esta relación y se permite una mezcla con un alto contenido de agua que estará en contacto con el acero, lo que puede generar problemas relacionados con los iones de cloruro. Por otro lado, si se agrega una cantidad insuficiente de agua, se formarán vacíos durante el fraguado y la filtración de líquidos hacia el acero será más rápida y dañina. (Alarcón y Delgado, 2021)

b) Espesor del recubrimiento

El recubrimiento del concreto desempeña un papel esencial al proporcionar protección a las varillas de refuerzo contra agentes dañinos en el entorno. Actuando como una barrera física, el recubrimiento evita que sustancias químicas como los iones de cloruro y el dióxido de carbono alcancen la superficie de las varillas. Además, la alcalinidad del agua presente en los poros del concreto brinda una protección química adicional contra la corrosión de las varillas. (Torres, 2007)

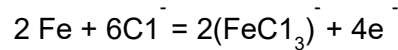
c) Compacidad

La compacidad del concreto está relacionada con la capacidad de acomodamiento de los agregados gruesos y finos, una correcta y mayor compacidad del concreto aporta durabilidad e impermeabilización, reduce los poros abiertos e interconectados lo cual vuelve vulnerable al concreto frente al ingreso de iones cloruros, causantes de la corrosión del acero de refuerzo.

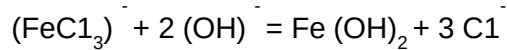
2.3.2. Corrosión de estructuras en ambiente marino

La corrosión se agrava significativamente en ambientes marinos, altamente agresivos debido a la presencia de iones cloruros en el agua o la niebla marina. Los cloruros presentes atacan la estructura y la debilitan gradualmente con el tiempo. Como consecuencia, cuando la estructura se somete a cargas externas, como los terremotos, su capacidad para soportar dichas cargas se reduce debido a la pérdida de sección causada por la acción corrosiva de los cloruros. (Luque et al., 2008)

El proceso de oxidación se ve facilitado por la presencia de iones cloruro, que también participan en la reacción. Lo hace oxidando el acero, lo que da lugar a la formación del ion complejo cloruro férrico, también conocido como $(FeCl_3)^-$, y arrastrando después este ion inestable a la solución (Figura N.º 2). Después, sufre una reacción con los iones hidroxilo disponibles para producir hidróxido de hierro, también conocido como $Fe(OH)_2$, que posteriormente consume los iones hidroxilo al tiempo que libera iones cloruro. Estas respuestas se muestran a continuación mediante una ilustración esquemática:



seguido por:



Los electrodos se generan como efecto secundario de un proceso de oxidación, y estos electrodos migran a través del acero hasta la superficie catódica. Este proceso provoca una acumulación de iones de cloruro y un descenso del pH, que contribuyen al deterioro continuo de la capa protectora pasiva. Como consecuencia, la capa no puede funcionar correctamente. (Gonzales De La Cotera, 1998)

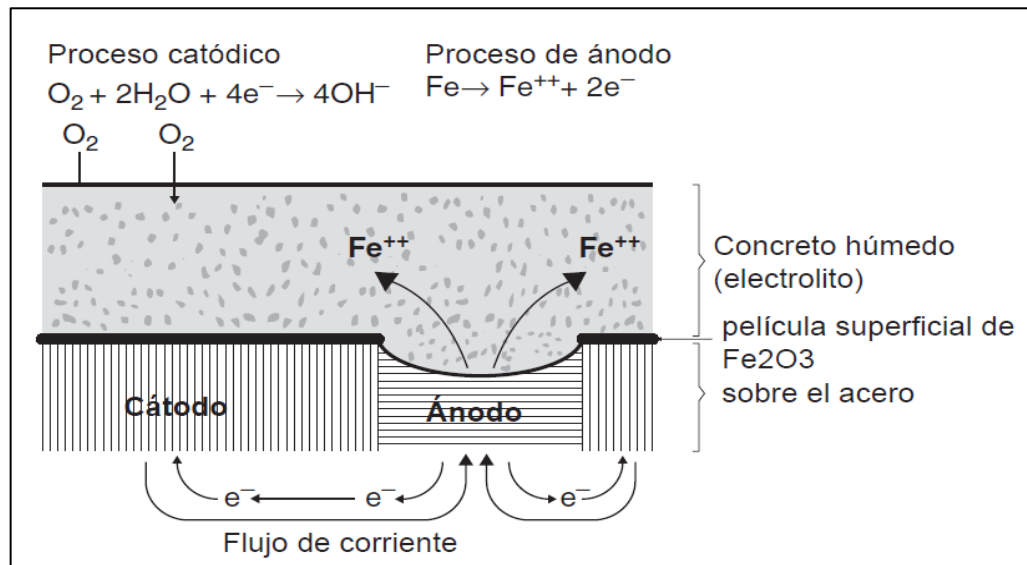


Figura N° 2: Mecanismo de corrosión del acero en el concreto. Fuente: Adaptado de Mehta y Monteiro (2006)

La porosidad y la capilaridad permiten el paso del agua de mar, el calcio, el magnesio y los sulfatos y cloruros alcalinos a través del concreto armado que está en contacto continuo con el agua de mar. Los sulfatos provenientes del agua de mar en contacto con las estructuras de concreto reaccionan con los aluminatos presentes en la pasta de cemento endurecida lo cual produce formación de sulfoaluminatos, que son compuestos expansivos que provocan micro fisuras en el concreto facilitando que el cloruro penetre y corroa el acero de refuerzo, lo que a su vez hace que la sección transversal del acero disminuya, lo que se traduce

en una pérdida de resistencia a la tracción y a la fatiga. Los productos de corrosión expansivos resultantes conducen a la pérdida de adherencia y a sus fisuras internas, que se suman a las fisuras externas causadas por sulfatos, incrementando y acelerando ambos efectos. (Gonzales De La Cotera, 1998)

La corrosión se presenta en diferentes zonas de exposición, las cuales se pueden observar en la Figura N° 3. Y se describen a continuación.

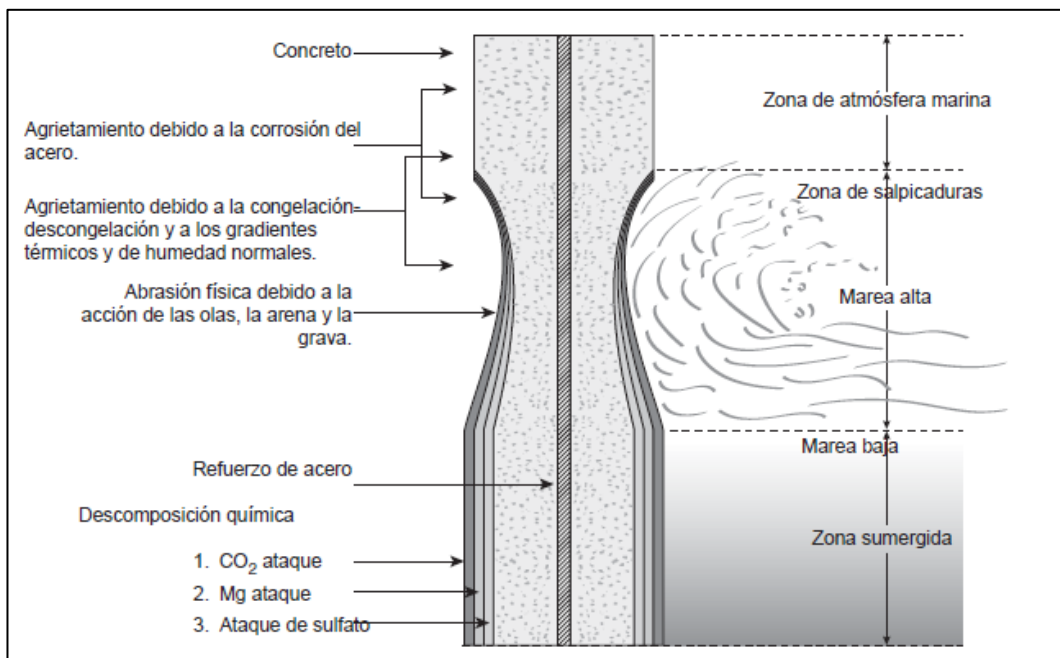


Figura N° 3: Esquema de las zonas de corrosión de un cilindro de concreto expuesto al agua de mar. Fuente: Adaptado de Mehta y Monteiro (2006)

a) Zona de atmósfera marina

La corrosión puede producirse en estructuras de concreto situadas cerca del océano porque las sales pueden encontrarse en el aire cerca del agua, especialmente en el viento marino y la niebla. Dependiendo de los vientos predominantes en una zona, la corrosión causada por el cloruro transportado por el aire puede dañar el concreto a muchos kilómetros tierra adentro desde el océano. La corrosión en esta zona provoca fallos visibles en el concreto, como grietas, fisuras y desprendimiento del revestimiento. Sin embargo, la corrosión en esta zona también causa peligrosos daños invisibles, que afectan a las estructuras en caso de terremoto. Esto significa que el acero se debilita por el ataque del

cloruro y sólo puede soportar una pequeña parte de la carga de diseño, comprometiendo así la resistencia estructural (Gonzales De La Coteria, 1998)

b) Zona de salpicaduras.

El concreto es susceptible de sufrir daños por las salpicaduras de las olas y la exposición a la espuma en lugares costeros situados por encima del nivel de la marea alta. Además, existe la posibilidad de que se alternen ciclos húmedos y secos, lo que, dependiendo de las circunstancias de temperatura y humedad del entorno, puede causar daños importantes al concreto (Gonzales De La Coteria, 1998). Esta zona es la que presenta mayor riesgo de corrosión debido a la constante interacción del concreto humedecido con el oxígeno del ambiente.

c) Zona de mareas

Esta zona corresponde al área entre los niveles de marea alta y baja, donde el concreto se sumerge y emerge de forma cíclica diariamente. Durante este ciclo, el concreto expuesto a las mareas puede sufrir fisuras o grietas debido a impactos y la acción de las olas, lo cual puede acelerar el proceso de corrosión. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones [IECA], 2013)

d) Zona sumergida

En situaciones como ésta, la forma en que la corrosión afecta al concreto varía en función de su profundidad. A medida que uno se adentra en el concreto, los poros superficiales empiezan a cerrarse, lo que provoca una reducción de la permeabilidad del concreto (Gonzales De La Coteria, 1998).

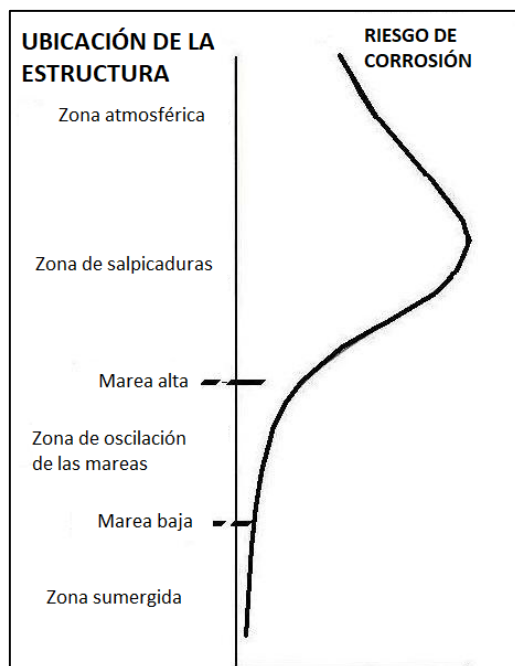


Figura N° 4: Variación del riesgo de corrosión según la zona de exposición marina. Fuente: IECA (2013)

El riesgo de deterioro por corrosión que habitualmente se da en la zona sumergida es pequeño, debido a la baja concentración de oxígeno en el agua y a su lenta velocidad de difusión hasta el acero en el hormigón saturado de agua. Hay una mayor cantidad de oxígeno en la zona de mareas, pero, aun así, la corrosión está limitada por la lenta velocidad de difusión a través del hormigón saturado. (IECA, 2013)

Los océanos son vitales para la vida humana y se espera que tengamos un contacto significativo con ellos en el futuro. En este sentido, el concreto se destaca como una opción eficiente y sostenible para la construir estructuras marinas, ofreciendo una buena relación entre economía y durabilidad. El mayor riesgo de corrosión en las armaduras de acero se encuentra en las zonas expuestas a salpicaduras y la atmósfera. A medida que nos alejamos de estas zonas y nos adentramos en la zona sumergida, el riesgo de corrosión disminuye rápidamente. Sin embargo, en concretos porosos con bajo contenido de cemento (alta relación a/c), hay un alto riesgo de corrosión por cloruros en la zona sumergida (Figura N°4), conocido como corrosión por macropilas. (IECA, 2013)

Las estructuras de concreto armado están sujetas a una mayor corrosión como resultado del impacto directo del agua, así como de la exposición prolongada a la brisa marina y la niebla. Debido al hecho de que nuestra nación tiene una costa de aproximadamente 3.000 kilómetros de largo y cuenta con varios puertos y áreas metropolitanas importantes, es muy necesario explorar y analizar los problemas de corrosión que existen a lo largo de nuestra costa con el fin de maximizar el retorno de la inversión en obras de concreto y reducir las pérdidas económicas que son causadas por la corrosión.

2.3.3. Durabilidad para entornos marinos.

Las estructuras se han desarrollado con el objetivo de servir a las necesidades humanas y, para ello, deben cumplir características como la funcionalidad, la seguridad, la durabilidad y la posibilidad de ser económicamente viables. El proceso de diseño de una estructura requiere la participación de expertos de diversas disciplinas, y es labor del ingeniero civil garantizar que las estructuras cumplan las características enumeradas anteriormente (Treviño, 1998).

La corrosión del acero en el concreto reforzado es una problemática que afecta la durabilidad de las obras civiles. La capacidad de un elemento de concreto para mantener sus cualidades a lo largo de toda su vida útil es a lo que nos referimos cuando hablamos de su durabilidad, considerando las condiciones de exposición. La corrosión compromete la integridad de la estructura y reduce su vida útil. Es importante tomar medidas preventivas y utilizar técnicas adecuadas para minimizar la corrosión y garantizar la durabilidad del concreto reforzado.

La expresión "fallo por durabilidad" se utiliza cuando se produce un deterioro material en una estructura o elemento estructural, a diferencia del "fallo mecánico", que se produce por cargas externas. Esto contrasta con la palabra "fallo mecánico", que se utiliza cuando hay un fallo causado por una carga interna. Es esencial tener en cuenta que un fallo en la durabilidad puede provocar una pérdida de la integridad mecánica (Torres y Martínez, 2001).

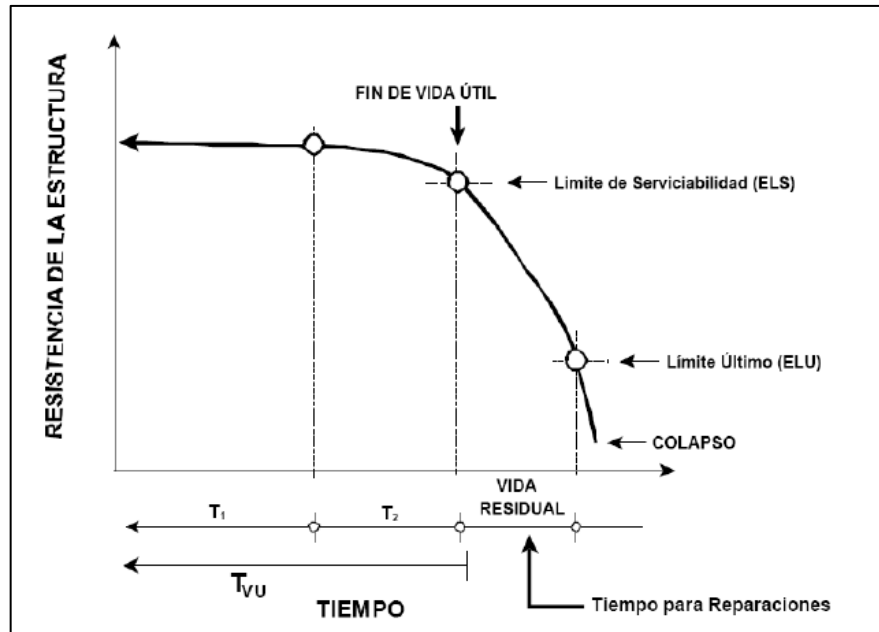


Figura N° 5: Modelo de durabilidad de una estructura Fuente: Torres y Martínez, (2001)

El periodo de tiempo tras el cual una estructura ha alcanzado el límite admisible de su vida útil se denomina vida residual (Figura N°5). Durante este tiempo, el inmueble debe repararse, remodelarse o renovarse por completo para recuperar el mismo nivel de funcionamiento y atractivo estético que tenía cuando se construyó. En pocas palabras, la fase de vida residual se refiere al tiempo que le queda al propietario del edificio o del elemento estructural para acometer las reparaciones necesarias antes de que el nivel de deterioro alcance un umbral crítico que pueda provocar el derrumbe del inmueble. (Torres y Martínez, 2001)

En Perú, la Norma E.060 Concreto Reforzado establece las pautas de diseño para garantizar la durabilidad del concreto. El enfoque principal es reducir la porosidad y aumentar la densidad del concreto, con énfasis en la relación agua-cemento (a/c). Para estructuras marinas, la permeabilidad del concreto es un factor importante. Una baja permeabilidad aumenta la probabilidad de que la estructura mantenga su rendimiento a lo largo de su vida útil. En este contexto, se abordan las pautas de diseño específicas derivadas de la normativa para el concreto expuesto a condiciones especiales, incluyendo las relaciones máximas de a/c y el $f'c$ mínimo de acuerdo con la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Requisitos para condiciones especiales de exposición

Condición de la exposición	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal *	f'_c mínimo (MPa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros*
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0,50	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0,45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0,40	35

Fuente: RNE- E.060 Concreto Reforzado

Para los concreto expuestos a sulfatos se deben cumplir con los requisitos indicados en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Requisitos para concretos expuestos a soluciones de sulfato.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO_4) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO_4) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	f'_c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	$0,0 \leq SO_4 < 0,1$	$0 \leq SO_4 < 150$	—	—	—
Moderada**	$0,1 \leq SO_4 < 0,2$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	$0,2 \leq SO_4 < 2,0$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0,45	31
Muy severa	$2,0 < SO_4$	$10000 < SO_4$	Tipo V más puzolana***	0,45	31

Fuente: RNE - E.060 Concreto Reforzado

2.4. EL PAPEL DEL AGUA EN EL CONCRETO

El agua es el fluido más abundante en la naturaleza. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el agua puede ser tanto beneficiosa como perjudicial para el concreto en ciertas condiciones. Dado que el agua contribuye a los fenómenos

físicos y químicos que provocan el deterioro del concreto, éste puede verse afectado por ella, por ello es recomendable conocer el rol del agua en los diferentes escenarios por los que atraviesa el concreto.

2.4.1. El agua en la mezcla de concreto

Debido a su capacidad para generar la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia a través de reacciones químicas que dan lugar a la producción de compuestos finales de concreto, el agua que se utiliza en el concreto es de suma importancia. Según las normas, se recomienda que esté limpia y desprovista de aceites, ácidos, álcalis, sales y materiales orgánicos. En consecuencia, es de suma importancia que el agua que se utilizará en la mezcla de concreto sea potable o se acerque lo más posible a poseer esta cualidad. Esto se hace para garantizar que no habrá, o que sólo habrá, una concentración mínima de contaminantes que puedan afectar al rendimiento del concreto.

A pesar de que la resistencia a la compresión del concreto ha disminuido hasta en un 15% y pueden producirse eflorescencias, el agua de mar que contiene una media del 3,5% de cloruro sódico y sulfato de magnesio se ha utilizado sin problemas como componente del concreto en muchos lugares. Y ello a pesar de que el agua de mar contiene una media del 3,5% de cloruro sódico. Cuando se trata de concreto armado, existe la posibilidad de que se produzca corrosión del acero. Dado que el riesgo de corrosión de la armadura del concreto presforzado es mayor cuando está sometida a tensión y que su sección transversal es menor, no se permite el uso de agua salada en la producción de este tipo de concreto. (Fernandez, 1994)

2.4.2. El agua en el curado del concreto

Para la obtención de un concreto de calidad, no basta con una adecuada dosificación, fabricación, transporte, colocación y compactación. Si el curado no es adecuado el concreto no logrará desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñado. (Figura N° 6) Por lo tanto, el curado es una parte esencial del proceso de obtener un concreto con las características deseadas.

El curado se realiza para evitar la pérdida de agua ya presente en la masa de concreto. Esto permite que se produzcan las reacciones normales de hidratación sin que se generen tensiones internas que puedan dar lugar a efectos patológicos. Estos efectos podrían adoptar la forma de fisuración superficial o profunda, reducción de la resistencia mecánica y deterioro de la durabilidad del concreto. La finalidad del curado es evitar la pérdida del agua ya presente en la masa de concreto. (Treviño, 1998)

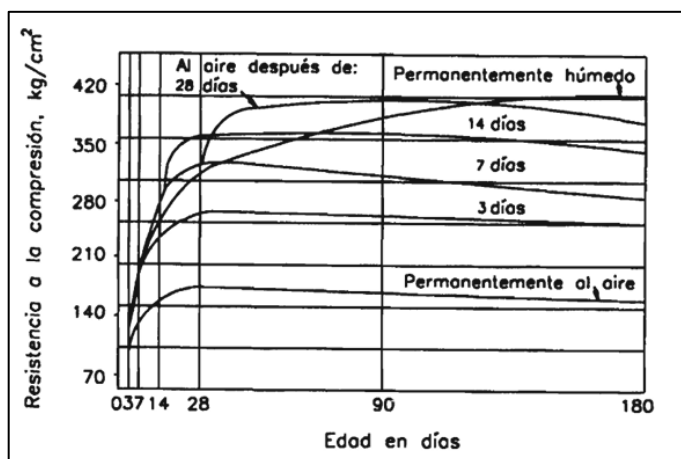


Figura N° 6: Efecto del tiempo de curado del concreto en la resistencia a la compresión. Fuente: Harmsen (2002)

2.4.3. El agua como medio de exposición

Aún más peligrosos que el agua que se utiliza en la mezcla del concreto son los compuestos tóxicos que están presentes en el agua y que estarán en contacto con el concreto de forma continua o durante largos periodos de tiempo.

El medio marino es muy hostil para la mayoría de los materiales de construcción que se utilizan. En particular, se sabe que el agua de mar contiene un gran número de sales disueltas, algunas de las cuales pueden reducir la longevidad del concreto. En proporciones significativas, en la mayoría de los océanos son: cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio (MgCl₂), sulfato de magnesio (MgSO₄), sulfato de calcio (CaSO₄), cloruro de potasio (KCl) y sulfato de potasio (K₂SO₄). Aunque las cantidades varían de un mar a otro, la cantidad global de sal en la mayoría de los mares ronda los 35 gramos por litro. Es importante tener en cuenta que, además de oxígeno y dióxido de carbono, el agua salada también tiene

oxígeno y dióxido de carbono disueltos en ella. La concentración de estos gases es muy sensible a las condiciones ambientales de su entorno inmediato. (IECA, 2013)

2.5. EL ACERO

Carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio son algunos de los componentes que se combinan para formar el acero, que es una aleación. La cantidad de carbono en un material es el factor más esencial para determinar sus cualidades mecánicas. (Harmsen, 2002)

2.5.1. Varillas corrugadas de acero.

En los apartados anteriores se han expuesto algunas de las características del concreto, tanto sus ventajas como sus desventajas, y se menciona dentro de ellas a su baja resistencia a la tracción. Para que este elemento se utilice sin problemas bajo las solicitaciones de una estructura requiere de elementos complementarios que le brinden las características que necesita y el acero es el material que le proporciona resistencia a la tracción al concreto.

Las varillas corrugadas tienen sección circular y, como su nombre indica, la superficie de las varillas está corrugada para mejorar su adherencia al concreto. Estas corrugaciones tienen que cumplir unas normas mínimas para que se tengan en cuenta en el diseño. Existen tres grados principales de acero corrugado: grado 40, grado 60 y grado 75; sin embargo, el único que se utiliza en nuestro medio es el grado 60. El Tabla N°4 presenta un resumen de las cualidades que comparten estas tres variedades distintas de acero. (Harmsen, 2002)

Tabla N° 4: Características resistentes de los aceros grado 40, 60 y 75

-	F_y (kg/cm ²)	F_s (kg/cm ²)
Grado 40	2800	4900
Grado 60	4200	6300
Grado 75	5300	7000
<i>Fy: Esfuerzo de fluencia del acero</i> <i>Fs: Resistencia mínima a la tracción a la rotura</i>		

Fuente: Harmsen (2022).

Es fundamental comprender dos propiedades importantes del acero estructural, el F_y que es el esfuerzo de fluencia del acero que indica la tensión en la cual el acero comienza a deformarse plásticamente. Y el F_s como resistencia mínima a la tracción a la rotura, que es la máxima tensión que puede soportar el acero antes de romperse.

El acero de refuerzo se utiliza como elemento en las estructuras de concreto para complementar el trabajo de tracción del acero con el trabajo de compresión del concreto. Esta característica satisface la necesidad de hacerlo más adherente al concreto que lo rodea y se convierte en el refuerzo ideal para la construcción de obras civiles en nuestro medio, debido a sus propiedades sismorresistentes, ya que el Perú es un país que se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico y está constantemente expuesto a sismos (Alarcón y Delgado, 2021). Y de acuerdo con el RNE E.060 Concreto Armado, estos elementos deben ser necesariamente varillas corrugadas.

2.5.2. Propiedades de las varillas corrugadas de acero

2.5.2.1. Características físicas

El acero tiene multitud de cualidades; sin embargo, en el caso de las varillas corrugadas, tiene propiedades físicas características como son el peso lineal, diámetro, área de la sección, perímetro nominal, espaciamiento entre resaltes, altura de resaltes y que se presentan en la Tabla N° 5.

El acero tiene una densidad específica media de 7900 kg/m^3 , lo que significa que es un material pesado para transportar en grandes cantidades. Otro factor para tener en cuenta es la densidad específica del acero. En el mercado peruano, las varillas de refuerzo estándar suelen estar disponibles en los siguientes diámetros: Los tamaños más comunes son 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1" y 1 1/8", y su longitud suele ser de 9 metros.

Tabla N° 5: Especificaciones dimensionales y peso lineal

Designación de la barra corrugada	Peso métrico nominal kg/m	Dimensiones nominales			Dimensiones resaltes (mm)		
		Diámetro mm	Área sección nominal	Perímetro nominal mm	Espaciamiento promedio máximo	Altura promedio mínimo	Separación (GAP) 12% del perímetro nominal máxima
6 mm	0.220	6.0	28	18.8	4.2	0.24	2.35
8 mm	0.395	8.0	50	25.1	5.6	0.32	3.14
3/8"	0.560	9.5	71	29.9	6.7	0.38	3.60
12 mm	0.888	12.0	113	37.7	8.4	0.48	4.71
1/2"	0.994	12.7	129	39.9	8.8	0.51	4.90
5/8"	1.552	15.9	199	49.9	11.1	0.71	6.1
3/4"	2.235	19.1	284	59.8	13.3	0.97	7.3
1"	3.973	25.4	510	79.8	17.8	1.27	9.7
1 3/8"	7.907	35.8	1006	112.5	25.1	1.80	13.7

Fuente: SIDERPERÚ 2019

2.5.2.2. Resistencia a la tracción

La figura N°7 ilustra la relación tensión-deformación, así como la fase elástica de aceros de diferentes calidades. Estos aceros presentan el mismo comportamiento, y las curvas tensión-deformación no difieren entre sí en este punto. El módulo de elasticidad, que es el comportamiento elástico del acero cuando se le aplica una fuerza longitudinal, puede obtenerse a partir de este mismo gráfico. El módulo de elasticidad es el comportamiento elástico del acero cuando se le aplica una fuerza longitudinal. Dado que se define como la tangente del ángulo “ α ”, también es posible observar que este parámetro es independiente del grado o diámetro de la varilla de acero, ya que, como se ha mencionado anteriormente, se comportan de forma idéntica (Harmsen, 2002).

$$E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

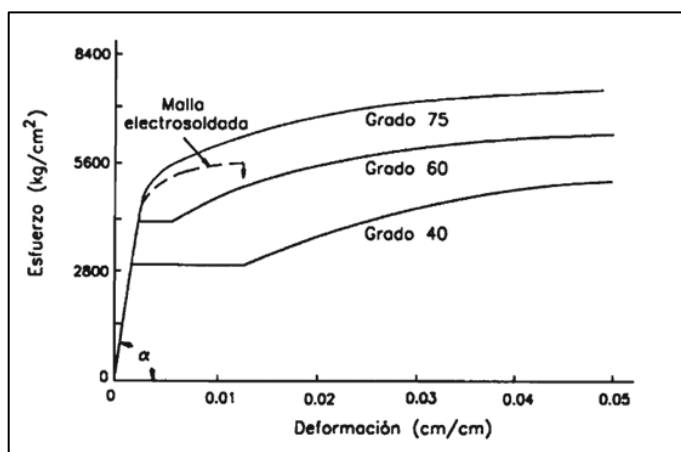


Figura N° 7: Curva esfuerzo – deformación y módulo de elasticidad del acero. Fuente: Harmsen (2002)

2.5.2.3. Ductilidad

La ductilidad es una característica clave en las varillas de acero. Se refiere a la capacidad del material para sufrir deformaciones o alargamiento bajo carga sin romperse, una vez superado el límite elástico. Por lo tanto, es importante comprender la ductilidad del acero, ya que una varilla que carece de esta propiedad con probabilidad será frágil y rígida. (Lalvay, 2017)

2.5.2.4. Fatiga del acero

La fatiga es un mecanismo de fractura que ocurre en estructuras y materiales cuando son sometidos a cargas repetidas de tensión por debajo de su resistencia máxima. Esto provoca la formación de fisuras que eventualmente conducen a la ruptura del material. El acero puede estar expuesto a un cierto rango de fluctuación de tensiones durante un tiempo interminable sin sufrir ninguna pérdida de su resistencia. Esto no guarda relación con el límite elástico del material. (Harmsen, 2002)

2.5.2.5. Oxidación del acero

El proceso de oxidación del acero se acelera cuando se expone al entorno. La oxidación de la armadura metálica influye considerablemente en las cualidades funcionales del concreto armado, como la adherencia, y también provoca el agrietamiento y desprendimiento de trozos de concreto, lo que socava la integridad estructural de la estructura (Del Valle et al., 2001).

Debido a los procesos químicos que tienen lugar cuando la armadura de acero al estar dentro del concreto, si se oxida, el volumen de la armadura aumentará y el revestimiento se descascarillará. El proceso avanzará más rápidamente a medida que siga entrando oxígeno en el sistema, y la armadura acabará erosionándose por completo (Harmsen, 2002).

2.5.3. Ventajas y desventajas de las varillas corrugadas de acero

Las varillas corrugadas de acero en la construcción presentan algunas ventajas y desventajas y se presentan en la Tabla N° 6:

Tabla N° 6: Ventajas y desventajas de las varillas corrugadas de acero

<i>Ventajas del acero</i>	<i>Desventajas del acero</i>
Permite la soldadura sin debilitación	Son muy pesadas
Homogeneidad en las propiedades del acero	Alta conductividad térmica y eléctrica
Maleable y adaptable	Son susceptibles a la corrosión
Comercial	-

Fuente: Adaptación de Lalvay (2017)

2.6. POLÍMERO REFORZADO CON FIBRA (FRP)

En el sector construcción, además de los materiales convencionales, se han comenzado a utilizar materiales no convencionales en el campo de las estructuras, como es el caso de las fibras de refuerzo (Figura N° 8). Entre los tipos de fibras comúnmente empleados en la construcción están el vidrio, el basalto, el carbono y la aramida. (Almerich, 2015). Estas fibras se utilizan como refuerzo en materiales compuestos, donde la fibra proporciona resistencia y una matriz de polímero brinda rigidez a la varilla, manteniendo compacta y unida a la fibra.

Fibra: Es un material fino (filamentos) de diferentes tipos (vidrio, carbono o aramida). Estas fibras se utilizan ampliamente como agentes de refuerzo en productos poliméricos y también como material aislante. Las fibras se impregnan en una matriz para formar la estructura final del material compuesto. (Lalvay, 2017)

Matriz Polimérica: La matriz desempeña un papel crucial, juntar y mantener compactas a las fibras. Además, es responsable de transmitir los esfuerzos a las fibras, aunque su resistencia a los esfuerzos es considerablemente menor. Es importante destacar que la matriz polimérica debe tener ductilidad y poseer un módulo de elasticidad menor al de la fibra. Esto permite que la matriz absorba la energía de deformación y proporcione cierta flexibilidad al material compuesto, mientras que la fibra proporciona la resistencia estructural necesaria. (Lalvay, 2017)



Figura N° 8: Tipos de varillas de refuerzo de PRF. Fuente. ACI 440.1R (2015)

A continuación, se introduce el PRFV, el cual se destaca por ser ampliamente utilizado en construcciones e infraestructuras debido a su costo y características.

2.6.1. Varillas de polímero reforzadas con fibra de vidrio

El Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), también conocido como GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), es un material compuesto formado por una fuerte estructura de fibra de vidrio, con una relación longitud/espesor que proporciona una clara función de refuerzo en una dirección, y la resina que actúa como aglutinante de éstas. El PRFV es un material ligero, resistente y rígido, y tiene buenas capacidades como aislante del calor, el sonido y la electricidad, además de ser resistente a la corrosión y el desgaste. (Luís et al., 2017).

2.6.2. Propiedades de las varillas de PRFV

Las propiedades mecánicas de los PRFV pueden variar significativamente dependiendo de varios factores. Estos factores incluyen el volumen de fibra utilizado, el tipo de fibra de vidrio y resina utilizada, la orientación de las fibras durante la fabricación y el control de calidad aplicado durante el proceso de producción. (Almerich, 2015)

A continuación, se detallan las principales propiedades físicas y mecánicas de las varillas de PRFV.

2.6.2.1. Características físicas

Dado que la varilla de PRFV es tan ligera, la densidad es un atributo físico importante que debe tenerse en cuenta. Existe una amplia gama de valores posibles para la masa específica de la varilla de PRFV, que oscila entre 1250 y 2100 kg/m³, y para las varillas de acero este valor es de 7900 kg/m³. Esto significa que las varillas de PRFV pesan aproximadamente cuatro veces menos que las varillas de acero. Esta característica tiene varios beneficios, como la reducción de costos en transporte, manipulación del material y facilidad de instalación en el sitio de obra (Luís et al., 2017).

2.6.2.2. Resistencia a la tracción

Como la varilla de PRFV está hecha de un material anisótropo, tiene una mayor resistencia a la tracción en su eje longitudinal. Esto se debe a que las fibras que componen el material se extienden en esa dirección (Almerich, 2015). Las varillas hechas de polímero reforzado con fibras (FRP) no muestran ningún comportamiento plástico (fluencia) antes de romperse cuando se exponen a un esfuerzo de tracción. (Figura N° 9) Se observa una conexión lineal entre el esfuerzo y la deformación en el comportamiento a tracción de las varillas de PRF hasta el punto de falla cuando las varillas están construidas con un solo tipo de material de fibra (Luís et al., 2017).

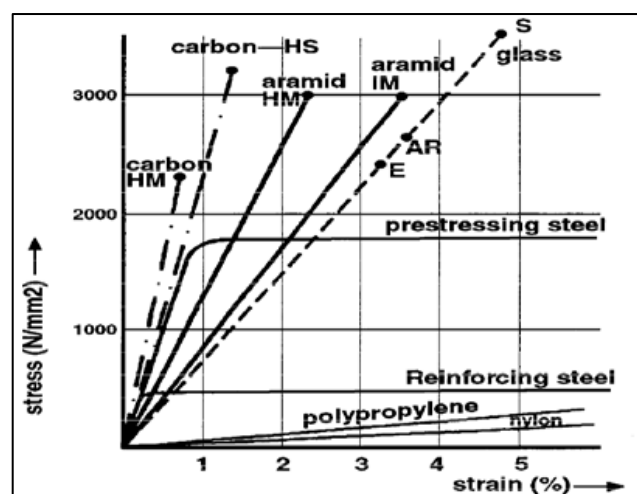


Figura N° 9: Curvas de comportamiento a tracción de las varillas de acero y PRFV. Fuente: Almerich (2015)

La resistencia de tracción y rigidez de las varillas de polímero reforzado con fibras (PRF) están determinadas por diversos factores. Mientras que las fibras de vidrio exhiben una resistencia excepcional a la fluencia, las resinas no poseen esta característica. Por lo tanto, el volumen y la disposición de las fibras desempeñan un papel crucial en el comportamiento de fluencia de las varillas de PRFV. Se ha realizado un resumen de los valores de tracción de algunas varillas de PRF ampliamente utilizadas en la Tabla N° 7. (ACI 440.1R, 2015).

Tabla N° 7: Propiedades de tracción habituales del polímero reforzado con fibra

<i>Propiedades de tracción habituales del refuerzo</i>	Acero	PRFV	CFRP	AFRP
<i>Esfuerzo de fluencia nominal (Mpa)</i>	276-517	N/A	N/A	N/A
<i>Resistencia a la tracción (Mpa)</i>	483-690	483 a 1600	600 a 3690	1720 a 2540

Fuente: ACI 440.1R (2015)

En la mayoría de los casos, la resistencia a la tracción de los refuerzos de FRP suele ser mayor que la de los refuerzos de acero. Los estudios han revelado que la resistencia a la tracción depende del diámetro. Esto se debe al hecho de que las fibras situadas hacia el centro de la sección transversal no están sometidas a tanta tensión como las situadas cerca de la superficie exterior. Por lo tanto, la resistencia a la tracción de la sección transversal disminuye a medida que aumenta el diámetro (Luís et al, 2017).

2.6.2.3. Módulo de Elasticidad

Los estudios realizados sobre la varilla de PRFV revelaron que tiene un comportamiento elástico lineal hasta el momento en que se rompe. Su módulo de elasticidad es aproximadamente un 20% inferior al del acero, lo que supone una diferencia significativa. Existe un amplio rango de variabilidad en el módulo de elasticidad a la tracción de la varilla de PRFV, de 35 a 55 GPa. Esto indica que no habrá advertencias visibles en ninguna parte de la estructura en caso de que falle la parte estructural reforzada con PRFV (Almerich, 2015).

2.6.2.4. Fatiga

Cuando la tensión aplicada no supera el cincuenta por ciento de la resistencia última del material y actúa en la misma dirección que la matriz, el comportamiento

bajo carga dinámica es óptimo. Este fenómeno se conoce como fatiga dinámica (Almerich, 2015).

2.6.2.5. Durabilidad

El medio ambiente puede influir considerablemente en las características mecánicas de las varillas de PRF. La durabilidad de las varillas de PRF puede verse afectada, en mayor o menor grado, por la presencia de agua, soluciones alcalinas o ácidas, soluciones salinas, exposición a la luz ultravioleta y altas temperaturas (Nanni et al., 2014).

2.6.3. Ventajas y desventajas de las varillas de PRFV

Cada material tiene sus propias ventajas y desventajas según su composición y estructura cuando se utilizan en diversos contextos. Las cualidades no homogéneas y altamente anisótropas de las varillas de PRFV, que se evalúan experimentalmente mediante ensayos establecidos, son una característica distintiva de este material. En comparación con el acero, las varillas de PRFV utilizadas como refuerzo en el concreto presentan ventajas y desventajas que se detallan en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8: Ventajas y desventajas del refuerzo de FRP

<i>Ventajas de refuerzo de FRP</i>	<i>Desventajas de refuerzo de FRP</i>
Excelente resistencia a la tracción	Naturaleza frágil, no fluye
Resistente a la corrosión	Poco resistente en el sentido transversal
No son magnéticos	Bajo módulo de elasticidad (depende del tipo de fibra).
Buena resistencia fatiga (depende del tipo de fibra).	Probable daño del polímero y las fibras bajo exposición a los rayos UV.
Peso ligero (alrededor de la quinta parte o la cuarta parte de la densidad del acero).	Alto coeficiente de dilatación térmica perpendicular de las fibras, en relación con el concreto. (depende del tipo de fibra)
Baja conductividad eléctrica y térmica (vidrio y aramida).	Baja resistencia al fuego, dependiendo del tipo de matriz y del recubrimiento.

Fuente: Adaptado de ACI 440.1R-06

2.7. DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO CON FRP

La mayoría de los compuestos de PRFV presentan una relación elástico-lineal entre la tensión y la deformación hasta el fallo. Esto indica que las técnicas utilizadas para diseñar el concreto armado con el PRFV deben tener en cuenta la falta de ductilidad del material, diferente del concreto reforzado con acero, donde la ductilidad sí es un factor considerado en el diseño. (Almerich, 2015).

Por ello, la mayoría de las normas y reglamentos que tratan el tema proponen diseños hiperreforzados, que incluyen una cantidad de refuerzo superior a la equilibrada. Esto se hace para tener una mayor reserva de resistencia y compensar la falta de ductilidad. Como consecuencia de este aumento de los conocimientos sobre el comportamiento de los refuerzos FRP, en los últimos años se han publicado varios códigos o guías de diseño. Las ediciones más actuales de algunos de estos códigos o guías como se muestran en la Tabla N°9 (Almerich, 2015).

Tabla N° 9: Códigos y Guías de diseño acerca de los refuerzos de FRP.

CÓDIGOS Y GUÍAS DE DISEÑO	
ACI	ACI 440R-07 (2007) "Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
	ACI 440.1R-06 (2006) "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
	ACI 440.5-08 (2008) "Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bar," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
	ACI 440.6-08 (2008) "Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
	ACI 440.3R-04 (2004) "Guide for Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
	CAN/CSA-S6-06 "Canadian Highway Bridge Design Code" Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (December 2006), 800p.
ASTM	ASTM D7205. (2021). Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars
	ASTM D7913. (2020). Standard Test Method for Bond Strength of Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite Bars to Concrete by Pullout Testing
	ASTM D7337-07 - Creep Rupture
	ASM D7522-09 - Laminate Direct Pull Off
	ASTM D7565-09 - Laminate Tension/Calc

Fuente: Adaptado de Almerich (2015)

2.8. COSTO DE CONSTRUCCIÓN CON ESTRUCTURAS REFORZADAS CON BARRAS GFRP.

En el 2015, Brown realizó una comparativa de costos referente al uso de barras GFRP, con los costos incurridos para la construcción de una columna. Los costos del refuerzo de GFRP se obtuvo de una cotización oficial proporcionada por un distribuidor de GFRP en Australia y los costos del acero se proporcionaron mediante un distribuidor comercial en Australia. El costo de las barras longitudinales de GFRP y acero, por metro, fue de \$1.65 y \$ 1.40 respectivamente, Mientras que el costo de los estribos de GFRP y acero fueron de \$ 2.31 y \$1.70 por estribo, respectivamente. En total, el costo por metro para la columna reforzada con GFRP sería de \$13.20 y de la columna reforzada con acero de \$ 9.90. El costo del material de refuerzo para una columna por metro es de \$ 3.30 más cuando se usa refuerzo de GFRP comparado con el refuerzo de acero, considerando solo el suministro del refuerzo.

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

3.1.1. Cemento

Los cementos utilizados en construcción son principalmente los cementos Portland y sus derivados. Estos cementos se componen de Clinker Portland y otros materiales que aportan propiedades físicas al cemento. (Fernandez, 1994)

El cemento empleado en los ensayos realizados para la presente tesis es el Cemento Portland tipo GU, definido como el producto obtenido por la molienda del Clinker tipo I y adiciones seleccionadas, cumpliendo con la Norma Técnica Peruana NTP 334.082 y la Norma Técnica Americana ASTM C-1157. Las propiedades físicas y químicas del cemento que se utilizó se exponen en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Propiedades físicas del cemento Portland APU tipo GU

Parámetros	Unidades	Cemento APU	Requisitos: NTP-334.082 / ASTM C-1157
<i>Contenido de aire</i>	%	4.63	Máximo 12
<i>Expansión autoclave</i>	%	0.01	Máximo 0.80
<i>Superficie específica</i>	m ² /kg	366	No especifica
<i>Densidad</i>	g/cm ³	3.05	No especifica
<i>Resistencia a la compresión</i>			
3 días	kg/cm ²	272	mínimo 133
7 días	kg/cm ²	320	Mínimo 204
28 días	kg/cm ²	369	Mínimo 285
<i>Tiempo de Fragua</i>			
<i>Inicial</i>	min	128	Mínimo 45
<i>Final</i>	min	284	Máximo 420

Fuente: Adaptado de Ficha Técnica UNACEM – APU

3.1.2. Agua

El agua que se va a utilizar en la fabricación de concreto tiene que cumplir todas las normas de la NTP 339.088 y lo ideal es que también sea potable. Los límites máximos aceptables para el contenido de agua en el concreto se indican en la Tabla N° 11, que presenta las cifras en partes por millón. (Rivva, 2000)

Tabla N° 11: Requisitos mínimos de aceptación del agua de mezclado para el concreto reforzado

Parámetros	Unidades	NTP 339.088
		Límites máx.
Cloruros	ppm	500
Sulfatos	ppm	3000
Sales solubles totales	ppm	1500
pH	-	5 a 8
Sólidos en suspensión	ppm	5000
Materia Orgánica	ppm	3
Alcalinidad	ppm	1000

Fuente: Adaptado de NTP 339.088

Es práctica común utilizar agua de mar como agua de mezcla para el concreto que no incluye acero, ya que tiene un contenido de sal disuelta de hasta 35000 ppm. Según Kosmatka et al. (2004), el agua salada no debe utilizarse en la preparación de concreto reforzado con acero ni en concreto pretensado debido a la posibilidad de corrosión de las armaduras, especialmente en condiciones de calor y humedad. Este riesgo es más frecuente en entornos que incluyen ambos factores. Para los objetivos de este estudio, se va a investigar el uso de agua de mar en el proceso de preparación del concreto reforzado con FRP.

El agua utilizada para el concreto patrón como punto de control será la que proviene de la red de agua potable del Laboratorio No 1 de Ensayo de Materiales. Por otro lado, el agua de mar utilizada para el concreto con agua de mar proviene de las playas de La Punta, Callao. El agua extraída fue almacenada en una zona adecuada para evitar que se contamine con agentes externos. El resultado del análisis químico de la muestra de agua de mar se presenta en la Tabla N°12.

Tabla N° 12: Análisis químico del agua de mar obtenido de La Punta – Callao

Parámetros	Unidades	Agua de mar
Cloruros	ppm	2658
Sulfatos	ppm	18426
Sales solubles totales	ppm	22963
pH	-	6.87
Materia orgánica	ppm	2.16
Alcalinidad	ppm	493

El agua de mar que se utilizará como componente de mezcla del concreto con agua de mar en esta investigación no cumple con los límites permisibles

establecidos en la Norma NTP 339.088, lo cual es necesario para el desarrollo de los objetivos de la presente tesis.

3.1.3. Agregados

Es necesario insistir en la importancia de utilizar la cantidad y el tipo adecuados de áridos. Tanto los áridos finos como los gruesos representan aproximadamente entre el 60% y el 75% del volumen del concreto (y entre el 70% y el 85% de la masa), y tienen un impacto considerable en las características del concreto fresco y endurecido, así como en las proporciones de la mezcla y en la economía del material (Kosmatka et al.,2004).

3.1.3.1. Granulometría

La granulometría de los agregados desempeña un papel importante en la resistencia, durabilidad y consistencia del concreto. Además, la distribución de tamaños de partículas también impacta las proporciones de agua y cemento necesarias para lograr una mezcla de concreto uniforme. Por ello la granulometría de los agregados es de suma importancia para obtener un concreto con características óptimas en términos de rendimiento y calidad.

En la Tabla N° 13 y Tabla N° 14 se presentan los requisitos granulométricos para el agregado fino y grueso, respectivamente, para ser aceptados en la elaboración del concreto, según la norma ASTM C33 y NTP 400.037.

Tabla N° 13: Límites granulométricos del agregado fino – ASTM C33

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa (%)</i>
9.50 mm (3/8")	100 %
4.75 mm (No. 4)	95% a 100%
2.36 mm (No. 8)	80% a 100%
1.18 mm (No. 16)	50% a 85%
0.60 mm (No.30)	25% a 60%
0.30 mm (No. 50)	5% a 30%
0.50 mm (No. 100)	0% a 10%

Fuente: Adaptación del ASTM C33

Tabla N° 14: Límites granulométricos para el agregado grueso - ASTM C33

Huso	Tamaño Máximo Nominal	100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37.5 mm (1 1/2 pulg.)	25 mm (1 pulg.)	19 mm (3/4 pulg.)	12.5 mm (1/2 pulg.)	9.5 mm (3/8 pulg.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	0.30 mm (No. 50)
1	90 mm a 37.50 mm (3 1/2 pulg. a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.50 mm (2 1/2 pulg. a 1 1/2 pulg.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 pulg. a 1 pulg.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg. a No. 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.50 mm a 19 mm (1 1/2 pulg. a 3/4 pulg.)	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.50 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.50 mm (1 pulg. a 1/2 pulg.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.50 mm (1 pulg. a 3/8 pulg.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.50 mm (3/4 pulg. a 3/8 pulg.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.50 mm a 2.36 mm (3/8 pulg. a No. 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.50 mm a 1.18 mm (3/8 pulg. a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Adaptación del ASTM C33

Se han realizado análisis granulométricos de los agregados utilizados de acuerdo con las normas ASTM C136 y NTP 400.012. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla N°15 y Tabla N°16, de las cuales se obtienen las curvas granulométricas que se muestran en la Figura N° 10 y Figura N° 11 para el agregado fino y grueso, respectivamente.

Tabla N° 15: Granulometría del agregado fino utilizado

Arena					
Tamiz		Peso Retenido (g)	% Retenido.	% Acumulado.	% Pasa
3/8"	9.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75 mm	16.4	3.28	3.28	96.72
N°8	2.36 mm	80.8	16.16	19.44	80.56
N°16	1.18 mm	118.9	23.78	43.23	56.77
N°30	600 um	110.9	22.18	65.41	34.59
N°50	300 um	85.3	17.06	82.48	17.52
N°100	150 um	47.2	9.44	91.92	8.08
Fondo		40.4	8.08	100.00	0.00

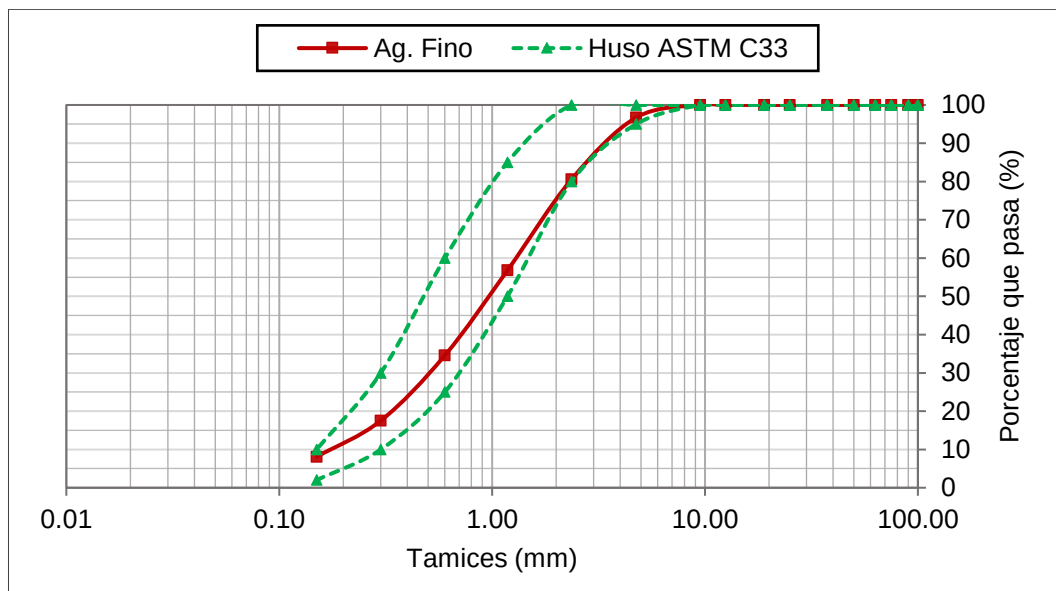


Figura N° 10: Curva granulométrica del agregado fino utilizado.

Tabla N° 16: Granulometría del agregado grueso utilizado

Piedra					
Tamiz		Peso Retenido. (g)	% Retenido.	% Acumulado.	%Pasa
1 1/2"	37.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
1"	25 mm	130.87	2.61	2.61	97.39
3/4"	19 mm	2476.2	49.46	52.07	47.93
1/2"	12.5 mm	2070	41.34	93.41	6.59
3/8"	9.5 mm	202.8	4.05	97.46	2.54
N°4	4.75 mm	69.4	1.39	98.85	1.15
N°8	2.36 mm	0	0.00	98.85	1.15
N°16	1.18 mm	0	0.00	98.85	1.15
N°30	600 um	0	0.00	98.85	1.15
N°50	300 um	0	0.00	98.85	1.15
N°100	150 um	0	0.00	98.85	1.15
Fondo		57.6	1.15	100.00	0.00

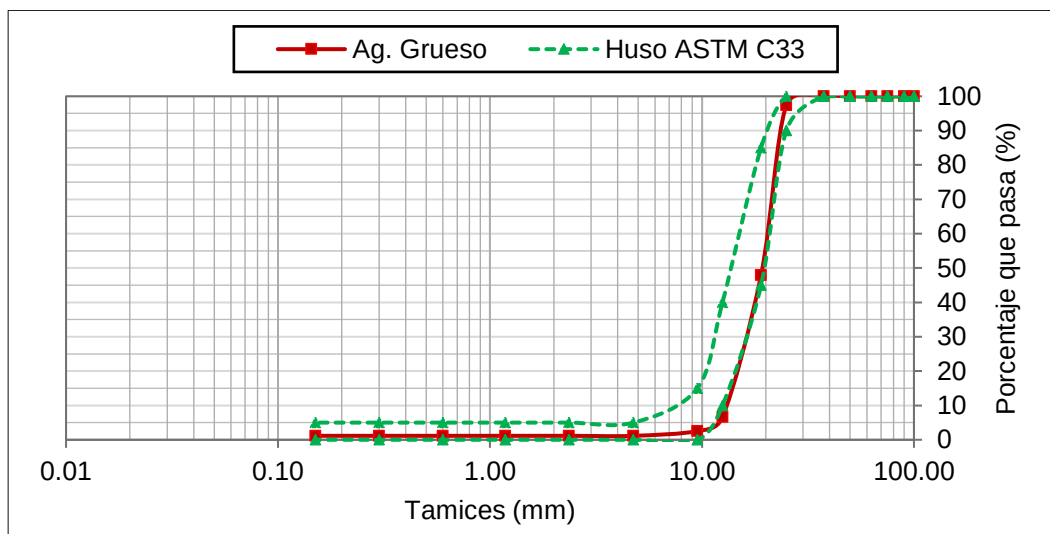


Figura N° 11: Curva granulométrica del agregado grueso utilizado.

Es esencial señalar que el análisis granulométrico nos permite calcular el módulo de finura. Se trata de un número que se utiliza en el proceso de descripción de la distribución granulométrica en los agregados. Para determinarlo, primero hay que sumar el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz de una serie estándar y, a continuación, dividir el total por 100 para obtener la respuesta. Cuando el módulo de finura es mayor, el tamaño medio de las partículas será

mayor, y viceversa. En el caso de los áridos empleados, el módulo de finura de los áridos finos fue de 3,06 y el de los áridos gruesos de 7,43.

3.1.3.2. Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que se encuentra retenida en las partículas del agregado en un tiempo y condiciones ambientales específicas (Yataco, 2022). Este factor permite ajustar la cantidad de agua y lograr una consistencia adecuada en la mezcla de concreto. El contenido de humedad de los agregados se calculó de acuerdo con las normas ASTM C566 y NTP 339.185, y los resultados se muestran en la Tabla N.º 17 y Tabla N.º 18.

Tabla N.º 17: Contenido de humedad del agregado fino utilizado.

Agregado Fino		
<i>Peso muestra en ambiente</i>	500.0	(g)
<i>Peso muestra seca al horno</i>	491.3	(g)
<i>Peso agua perdida</i>	8.7	(g)
<i>Contenido de humedad</i>	1.77	(%)

Tabla N.º 18: Contenido de humedad del agregado grueso utilizado.

Agregado Grueso		
<i>Peso muestra en ambiente</i>	3000.0	(g)
<i>Peso muestra seca al horno</i>	2975.0	(g)
<i>Peso agua perdida</i>	25.0	(g)
<i>Contenido de humedad</i>	0.84	(%)

3.1.3.3. Peso Específico y absorción

La densidad de los agregados es un parámetro que permite evaluar su calidad, ya que un valor elevado está asociado a materiales con buenas propiedades mecánicas, mientras que valores bajos suelen indicar materiales porosos, absorbentes y de baja resistencia. Por otro lado, la capacidad de los agregados para retener las moléculas de agua en sus poros, gracias a la capilaridad, se conoce como absorción. Esta característica tiene un impacto directo en la cantidad

de agua suministrada al concreto, lo que a su vez afecta propiedades clave como la resistencia y la facilidad de manipulación (Huinco, 2011).

El peso específico y absorción del agregado fino y grueso son determinados según la NTP 400.021 y NTP 400.022 respectivamente, los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla N° 19 y Tabla N° 20.

Tabla N° 19: Peso específico y absorción del agregado fino utilizado.

Agregado Fino		
<i>Peso arena superficialmente seca</i>	500.0	(g)
<i>Peso arena superficialmente seca + balón + agua</i>	998.1	(g)
<i>Peso del balón</i>	193.0	(g)
<i>Peso del agua</i>	305.1	(g)
<i>Peso de la arena seca al horno</i>	489.5	(g)
<i>Volumen del balón</i>	500	(cm ³)
<i>Peso específico de masa</i>	2.512	(g/cm ³)
<i>Peso específico de masa superficialmente seco</i>	2.565	(g/cm ³)
<i>Peso específico aparente</i>	2.655	(g/cm ³)
<i>Porcentaje de absorción</i>	2.15	(%)

Tabla N° 20: Peso específico y absorción del agregado grueso utilizado.

Agregado Grueso		
<i>Peso muestra secada al horno</i>	2953.0	(g)
<i>Peso muestra saturada superficialmente seca</i>	3000.2	(g)
<i>Peso muestra saturada en agua + canastilla</i>	--	(g)
<i>Peso de la canastilla</i>	--	(g)
<i>Peso muestra saturada en agua</i>	1936.1	(g)
<i>Peso específico de masa</i>	2.775	(g/cm ³)
<i>Peso específico de masa superficialmente seco</i>	2.819	(g/cm ³)
<i>Peso específico aparente</i>	2.903	(g/cm ³)
<i>Porcentaje de absorción</i>	1.60	(%)

3.1.3.4. Peso Unitario

El peso unitario se refiere al peso de un volumen específico de material. Este dato es esencial al clasificar los agregados como ligeros o pesados, y varía según características intrínsecas, como la forma, la distribución de tamaños y el tamaño máximo. Dependiendo del tipo de consolidación, existen dos tipos de peso unitario: suelto y compactado. (Huincho, 2011).

Los resultados del ensayo de peso unitario realizado a los agregados utilizados, de acuerdo con las normas ASTM C29 y NTP 400.017, se presentan en la Tabla N° 21 y Tabla N° 22.

Tabla N° 21: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Agregado Fino		
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)		
<i>Peso muestra + recipiente</i>	6121.5	(g)
<i>Peso recipiente</i>	1572.5	(g)
<i>Peso muestra</i>	4549.0	(g)
<i>Volumen recipiente</i>	0.1	(pie ³)
P.U.S.	1606.47	(kg/m ³)
Peso Unitario Compactado (P.U.C.)		
<i>Peso muestra + recipiente</i>	6434.5	(g)
<i>Peso recipiente</i>	1572.5	(g)
<i>Peso muestra</i>	4862.0	(g)
<i>Volumen recipiente</i>	0.1	(pie ³)
P.U.C.	1717.00	(kg/m ³)

Tabla N° 22: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Agregado Grueso		
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)		
<i>Peso muestra + recipiente</i>	5586.5	(g)
<i>Peso recipiente</i>	1572.5	(g)
<i>Peso muestra</i>	4014.0	(g)
<i>Volumen recipiente</i>	0.1	(pie ³)
P.U.S.	1417.53	(kg/m ³)
Peso Unitario Compactado (P.U.C.)		
<i>Peso muestra + recipiente</i>	5997.5	(g)
<i>Peso recipiente</i>	1572.5	(g)
<i>Peso muestra</i>	4425.0	(g)
<i>Volumen recipiente</i>	0.1	(pie ³)
P.U.C.	1562.68	(kg/m ³)

3.2. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

Debido a que las características de los materiales, el clima, la temperatura y la obra son diferentes en cada proyecto, no existe una fórmula universal para el diseño de mezclas. El objetivo es obtener una mezcla que cumpla eficientemente con los requisitos particulares de cada proyecto.

Este proceso consiste en seleccionar los componentes adecuados, como agua, cemento, agregados y aditivos, para obtener un concreto con las características deseadas en sus dos estados. Se basa en conocimientos científicos y requiere tanto el uso de métodos establecidos como el juicio personal y la experiencia del diseñador. El objetivo es lograr un producto que cumpla con los requisitos del proyecto de manera eficiente. El diseño considera factores como la cantidad de agua, la relación a/c, la cantidad de agregados y las características específicas del proyecto. (Rique, 2011)

El diseño está relacionado con la forma en que asumimos los atributos que consideramos más esenciales que debe cumplir el concreto tanto en estado fresco como endurecido, y que se producen variando las proporciones de los componentes que lo forman. (Cachay, 1995)

3.2.1. Agregado Global

En este método se determina las proporciones adecuadas de los agregados para diseñar un concreto de calidad. Esta combinación se lleva a cabo con fines de diseño de mezcla, de tal manera que, en las proporciones adecuadas, cumpla con las especificaciones requeridas.

Encontrar una mezcla de áridos que optimice el peso unitario y minimice los vacíos, que serán rellenados por la pasta de cemento, es el objetivo principal aquí. Los vacíos serán rellenados por la pasta de cemento. De este modo, se reduce la cantidad de cemento necesaria, lo que a su vez da lugar a mezclas de concreto más rentables (Yataco, 2022). Sin embargo, es importante tener en cuenta otros factores como la resistencia, consistencia y trabajabilidad del concreto, además del peso unitario, para la obtención de la mezcla cumpliendo a su vez con los requisitos adicionales.

3.2.1.1. Peso unitario compactado del agregado global (NTP 400.017)

En el diseño de mezcla se utilizó el método de Compacidad como enfoque empírico para determinar la combinación óptima entre el agregado fino y el agregado grueso. Este método implica la mezcla de diferentes proporciones de estos agregados; por lo que se llevó a cabo el ensayo de peso unitario compactado, la cual consiste en el acomodamiento de las partículas mediante el proceso de compactación que se efectúa mediante 25 golpes de la varilla en tres capas. Esto se realiza en cinco combinaciones (Tabla N° 23): 60% de agregado fino + 40% de agregado grueso, 55% de agregado fino + 45% de agregado grueso, 50% de agregado fino + 50% de agregado grueso, 45% de agregado fino + 55% de agregado grueso, y 40% de agregado fino + 60% de agregado grueso.

Tabla N° 23: Peso Unitario Compactado de las combinaciones de agregado para el método del agregado global.

Combinación	Ag. Fino	Ag. Grueso	P.U.C.
	%	%	(Kg/m³)
C-1	60	40	2444.9
C-2	55	45	2454.4
C-3	50	50	2465.0
C-4	45	55	2460.8
C-5	40	60	2437.5

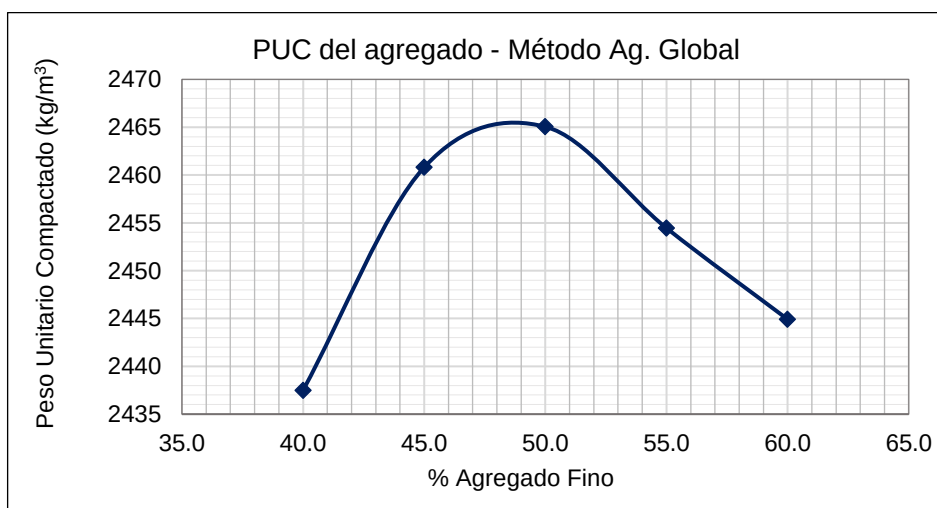


Figura N° 12: Curva del peso unitario compactado del agregado global - % de Ag. Fino vs P.U.C.

De la Figura N° 12 se observa que el porcentaje óptimo con el cual se obtiene el mayor peso unitario compactado es de 49% de arena y 51% de piedra. Sin embargo, se debe realizar ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión para poder verificar que dicha combinación garantice las condiciones requeridas de trabajabilidad y resistencia a la compresión.

3.2.1.2. Asentamiento y resistencia a la compresión a los 7 días

Para asegurar la calidad del concreto, es fundamental considerar tanto su trabajabilidad como su resistencia mecánica. Para lograr la combinación de agregados que garantice lo mencionado, se realizaron varias tandas de prueba. Durante estos ensayos se consideró un rango de asentamiento objetivo de 3" a 4" y se mantuvieron constantes la relación agua - cemento de 0.50 y la cantidad de agua por m³, como se detalla en la tabla N° 24.

Tabla N° 24: Dosificaciones de los diseños de prueba del método del agregado global

Materiales	Unidades	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
<i>Cemento</i>	kg	410	410	410	410	410
<i>Agua</i>	L	205	205	205	205	205
<i>Piedra</i>	Kg	716	805	895	984	1074
<i>Arena</i>	kg	972	891	810	729	648

Luego se realizó el ensayo de asentamiento, mediante el cono de Abrams, para cada combinación de agregados, en conformidad con las normas ASTM C143 y NTP 339.035. Posteriormente, se llenaron los moldes cilíndricos de 4" x 8" y se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión a los siete (7) días, siguiendo las normas ASTM C39 y NTP 339.034. Los resultados se presentan en la Tabla N° 25 y Tabla N° 26, respectivamente.

Tabla N° 25: Slump o asentamiento de cada diseño de prueba del método del agregado global

Asentamiento	Unidades	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	Pulgadas (")	1 ¾"	2 ½"	3 ¼"	3 ½"	3 ¾"

Tabla N° 26: Resistencia a la compresión a los 7 días de cada diseño de prueba

Resistencia a la compresión (f'_c)	Unidades	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	kg/cm ²	276.90	256.42	280.58	258.43	251.58
		270.47	262.96	265.36	295.00	260.64
		274.93	272.77	277.16	277.16	269.37
f'_c (promedio)	kg/cm ²	274.10	264.05	272.50	276.86	260.53

De los resultados mostrados en la tabla N° 26, se genera la Figura N° 13, obteniendo como resultado la combinación de 46% Arena y 54% piedra la que otorga mayor resistencia a la compresión.

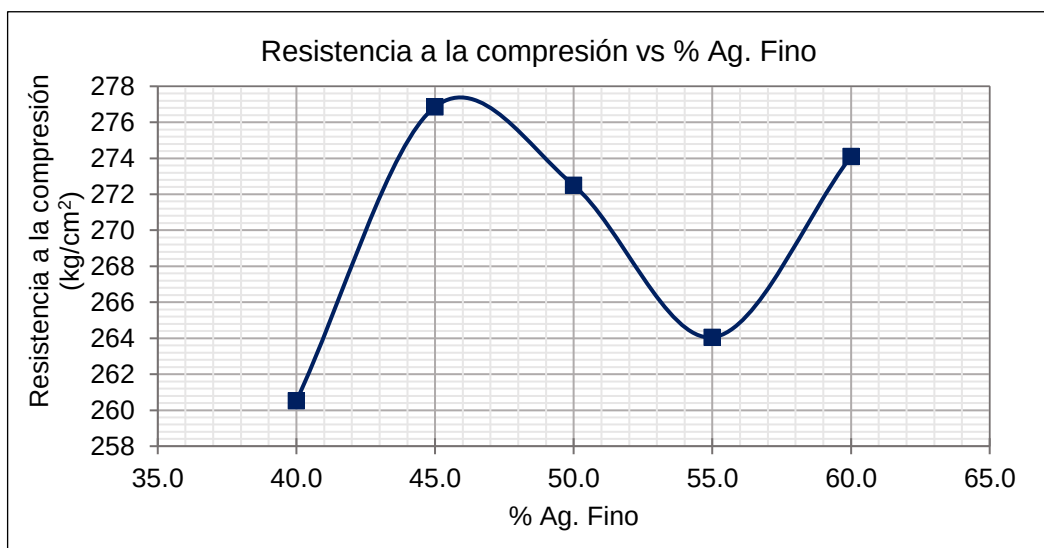


Figura N° 13: Resistencia a la compresión a los 7 días obtenida de cada combinación de agregados.

3.2.1.3. Análisis de resultados del agregado global

Por último, se muestra en la Figura N° 14 y Tabla N° 27 los resultados de la superposición de las curvas de Peso Unitario Compactado y Resistencia a la compresión, con respecto al porcentaje de agregado fino utilizado para cada combinación de agregados.

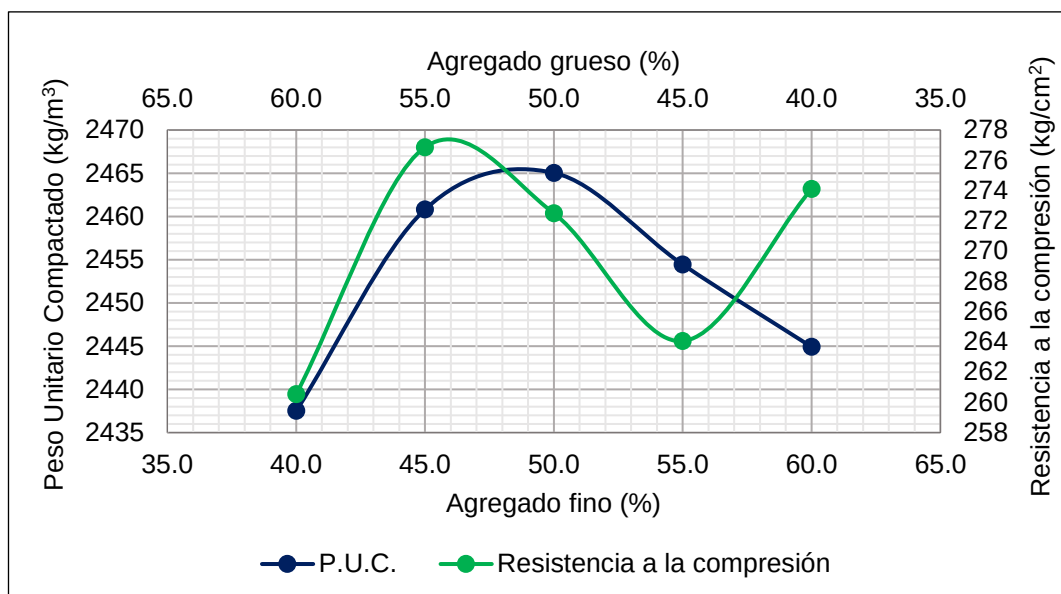


Figura N° 14: Resultados previos para la selección de la combinación de agregados óptima.

Tabla N° 27: Resultados de peso unitario compactado y resistencia a la compresión (7 días) del Agregado Global

Ensayos	(%) Ag. Fino	(%) Ag. Grueso
<i>Máximo P.U.C</i>	49%	51%
<i>Resistencia a la compresión - f'c (7 días)</i>	46%	54%

De los resultados obtenidos de las pruebas de P.U.C., trabajabilidad y resistencia a la compresión, la combinación que se usará en la presente investigación será de 46% de arena y 54% de piedra.

3.2.1.4. Granulometría del agregado global

Finalmente, la granulometría del agregado global seleccionado con 46% de arena y 54% de piedra se detalla en la Tabla N° 28.

Tabla N° 28: Granulometría del agregado global seleccionado, 46% de arena y 54% de piedra

Tamiz		Porcentaje retenido			% Ret. Acum.	%Acum Pasa
		Piedra	Arena	54%P + 46%A		
1 1/2"	37.5 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25 mm	2.61	0.00	1.41	1.41	98.59
3/4"	19 mm	49.46	0.00	26.71	28.12	71.88
1/2"	12.5 mm	41.34	0.00	22.33	50.44	49.56

3/8"	9.5 mm	4.05	0.00	2.19	52.63	47.37
N°4	4.75 mm	1.39	3.28	2.26	54.89	45.11
N°8	2.36 mm	0.00	16.16	7.44	62.32	37.68
N°16	1.18 mm	0.00	23.78	10.94	73.26	26.74
N°30	600 μ m	0.00	22.18	10.20	83.47	16.53
N°50	300 μ m	0.00	17.06	7.85	91.32	8.68
N°100	150 μ m	0.00	9.44	4.34	95.66	4.34
Fondo		1.15	8.08	4.34	100.00	0.00

3.2.2. Criterio de diseño

En esta tesis, se empleó el método del Comité 211 del ACI (American Concrete Institute) para el diseño de la mezcla de concreto. Para determinar el porcentaje de agregados, se utilizó el método de máximo peso unitario compactado, el cual proporcionó una estimación inicial de la dosificación. Posteriormente, se realizaron ajustes graduales en la mezcla a través de dosificaciones de prueba con el fin de cumplir con los requisitos de trabajabilidad y resistencia.

Para los objetivos de esta investigación se diseñará para una relación a/c de 0.5 y el asentamiento requerido es de 3" - 4". La siguiente información se tiene en cuenta para el diseño de la mezcla basado en las pruebas que se completaron anteriormente:

Parámetros para el diseño:

- Exposición: agua de mar
- Relación agua – cemento: 0.5
- Asentamiento: 3" – 4"

Cemento

- Marca. APU
- Tipo: Portland Tipo I - GU
- Peso específico: 3050 kg/m³

Agregado fino

- Peso específico: 2512 kg/m³
- Humedad: 1.77%

- Absorción: 2.15%

Agregado grueso

- Tamaño máximo nominal: $\frac{3}{4}$ "
- Peso específico: 2775 kg/m³
- Humedad: 0.84%
- Absorción: 1.60%

Agua

- Concreto patrón: Agua potable (Cumple la NTP 339.088)
- Concreto en estudio: Agua de mar (No cumple la NTP 339.088)

3.2.2.1. Selección de la proporción de agregados grueso y fino

En la determinación de los porcentajes del agregado grueso y fino, se aplicó el Método del Agregado Global, el cual estableció una combinación específica de agregados: 54% de piedra y 46% de arena.

3.2.2.2. Determinación del contenido de agua y cemento

Utilizando la combinación de agregados determinada mediante el método de la compacidad, se procedió a determinar la cantidad de agua requerida en la mezcla de concreto para satisfacer los estándares de calidad. Se realizaron tres diseños con una relación agua/cemento de 0.50, y se registró el asentamiento obtenido en cada uno de ellos (Tabla N° 29).

Tabla N° 29: Cantidad de agua por metro cúbico en cada diseño de prueba.

Diseño	Agua (lt/m³)	Asentamiento (")
1	205	2 $\frac{1}{2}$
2	210	2 $\frac{3}{4}$
3	215	3 $\frac{1}{2}$

Utilizando la información proporcionada se determinó un contenido de agua de diseño calculado de 215 litros por metro cúbico (lt/m³). Con este valor, se procedió a realizar el diseño de la mezcla de concreto patrón y su variante, reemplazando el agua potable por agua de mar.

3.2.3. Dosificaciones de las mezclas de concreto

Para la presente investigación, se diseñaron dos mezclas diferentes: la primera, denominada mezcla Tipo P, consiste en el concreto convencional de referencia, es decir concreto patrón. La mezcla Tipo M, por su parte, es la mezcla en la que se analiza el efecto del agua de mar. La proporción de la mezcla M es idéntica a la de la mezcla P, pero en lugar de emplear agua potable, se utilizó agua de mar obtenida de la Punta, Callao. La dosificación final de la mezcla de concreto se presenta en la Tabla N° 30, en la que se detallan los pesos secos por metro cúbico de cada mezcla. Cabe destacar que estos pesos se corrigieron por humedad y absorción.

Tabla N° 30: Diseño de mezcla final del concreto patrón y concreto con agua de mar ($a/c=0.50$)

Materiales	Und.	Peso Seco	P.e. (kg/m³)	Vol.	D.O.	D.U.O
Cemento	Kg	430.00	3050.00	0.14	430.0	1.00
Agua potable / Agua de mar	L	215.00	1000.00	0.21	224.8	0.53
Piedra	Kg	935.13	2775.12	0.33	942.9	2.19
Arena	Kg	720.93	2511.54	0.28	733.7	1.71
Aire (%)				0.02		

Siendo:

Peso Seco: Peso de diseño seco por m³

P.e.: Peso Específico de los materiales

Vol.: Volumen

D.O...: Peso de los materiales en obra corregidos por humedad por m³

D.U.O.: Diseño Unitario de Obra.

CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL PRFV Y ACERO

Varios estudios se realizaron con el objetivo de comprender mejor el comportamiento de las varillas de PRFV a lo largo del tiempo. Estos estudios se han basado principalmente en ensayos de laboratorio simulados, utilizando técnicas de envejecimiento acelerado. Estas técnicas implican sumergir las varillas de PRFV en soluciones perjudiciales a temperaturas elevadas para evaluar su integridad física y mecánica a medida que transcurre el tiempo.

En este capítulo, se presentará el estudio de las propiedades mecánicas de las varillas de PRFV y acero, específicamente de la resistencia a la tracción. Se buscará recopilar y analizar la información obtenida para comprender mejor las características y el comportamiento de las varillas de PRFV en comparación con las de acero.

4.1. METODOLOGÍA

La metodología (Figura N° 15) para este capítulo consistió en llevar a cabo pruebas de tracción en varillas de fibra de vidrio y acero con un diámetro de 3/8". También se realizaron estos ensayos en las varillas de acero para poder comparar su comportamiento con las varillas de fibra de vidrio.

1. Ensayo de resistencia a la tracción: Se realizan pruebas de tracción en cuatro muestras de varillas de PRFV y cuatro muestras de varillas de acero en su estado original, sin ningún tipo de acondicionamiento. Se registra la resistencia a la tracción de cada muestra.
2. Acondicionamiento en agua de mar: Se sumergen muestras de varillas de PRFV y acero en una poza con agua de mar a una temperatura de 60°C
3. Ensayo de tracción después del acondicionamiento: Pasados los periodos de acondicionamiento (30, 60, 90 y 120 días), se realizan pruebas de tracción en cuatro muestras de varillas de PRFV y cuatro muestras de varillas de acero acondicionadas en cada periodo. Se registra la resistencia a la tracción de cada muestra.

4. **Análisis de resultados:** Se recopilan los datos obtenidos de las pruebas de resistencia a la tracción en las varillas de PRFV y acero, tanto en su estado original como después del acondicionamiento. Se realiza un análisis comparativo de los resultados para evaluar el efecto del acondicionamiento en el comportamiento de las varillas.



Figura N° 15: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la tracción de las varillas de PRFV y acero.

4.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El ensayo de tracción es un procedimiento en el cual la muestra de material se somete a un esfuerzo axial a lo largo de su eje longitudinal en una máquina de ensayo universal (Figura N°16). Este ensayo se realiza a una velocidad constante hasta que la muestra se rompe. La máquina de ensayo universal está equipada con mordazas que sujetan la muestra para asegurar que el eje principal esté alineado con la dirección de la línea central de presa y así aplicar la fuerza adecuadamente. Durante el ensayo, se registran dos parámetros principales: la carga soportada por la muestra y el alargamiento experimentado por esta.



Figura N° 16: Máquina de ensayo universal para ensayo a tracción - LEM UNI.

En el caso concreto del acero, el ensayo de tracción se realiza para evaluar tanto su resistencia como su ductilidad. Las mordazas de la máquina de ensayos se utilizan para sujetar la probeta de acero y, a continuación, se aplica a la probeta una fuerza de tracción progresiva hasta que se quiebra.

Por otro lado, en el ensayo de tracción del PRFV (polímero reforzado con fibra de vidrio), se sigue un procedimiento similar al del acero. Sin embargo, debido a las características específicas del PRFV, se pueden observar comportamientos diferentes durante la tracción.

Del ensayo a la tracción se obtiene:

- Carga de rotura (kgf)
- Deformación correspondiente a la rotura (mm)

De la curva esfuerzo – deformación y otros datos como el diámetro de la varilla se obtiene los siguientes datos:

- Esfuerzo de rotura (kg/cm^2)

- Módulo de elasticidad. E (MPa)
- Deformación última (%)

4.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

4.3.1. Acero Corrugado

El ensayo de tracción se utiliza ampliamente para determinar las propiedades físicas del acero corrugado, siguiendo las directrices establecidas en la norma ISO 6892-1. El acero corrugado se utiliza en el refuerzo de concreto y se produce en diferentes formas y superficies según las normas de fabricación correspondientes. Para la presente tesis, se emplearán las varillas de acero de 3/8" de la marca SiderPerú.

Durante el ensayo, se utiliza una muestra con una sección transversal constante en toda su longitud. La longitud inicial de la muestra generalmente corresponde a cinco veces su diámetro nominal (d), a menos que se especifique lo contrario en la norma del fabricante.

4.3.2. Varilla de Polímero Reforzada con Fibra de Vidrio

Se llevaron a cabo pruebas para determinar las propiedades de resistencia a la tracción longitudinal de acuerdo con los estándares establecidos en la norma ASTM D7205. Las muestras fueron preparadas siguiendo las especificaciones de diámetro y longitud requeridas. La longitud de la muestra (Figura N° 17) se extiende entre las dos mordazas de ensayo, lo que se conoce como la longitud libre de la varilla (L_o). La norma ACI 440.3R-04, establece como longitud total de la probeta el valor:

$$LT = L1 + L_o + L1$$

Siendo:

L1: La longitud de cada casquillo de acero que recubre los extremos de las varillas en la zona de apriete de las mordazas.

L_o : La distancia libre entre casquillos, cuya longitud debe ser como mínimo 12 veces el diámetro nominal de la varilla.

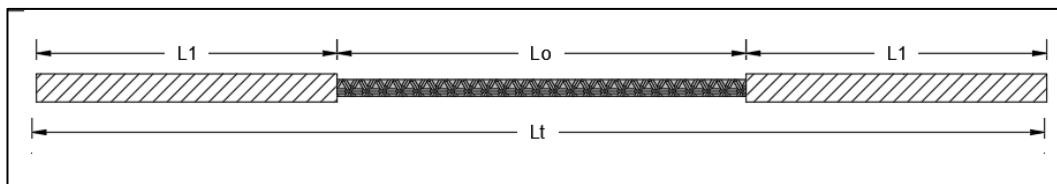


Figura N° 17: Características de la longitud de las varillas para el ensayo a tracción.

Las muestras del ensayo de tracción tenían una longitud mínima para una varilla de FRP de 3/8" de diámetro, que fue de 380 mm. De acuerdo con la norma ASTM D7205, se recomienda instalar tubos de acero rellenos de mortero expansivo en ambos extremos de la muestra como sistema de anclaje (Figura N° 18), por lo que para esta investigación se utilizó el mortero expansivo MAPEFILL. Las dimensiones de estos tubos se establecen en función del diámetro de la muestra, por lo que según la norma para las varillas de PRFV N°3 (3/8") la longitud del tubo es de 250 mm. Es importante implementar este sistema de manera exhaustiva para evitar cualquier deslizamiento entre las mordazas y la muestra durante el ensayo.

Para la presente tesis se optó por usar las varillas de 3/8" de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) grado 60, de la marca canadiense V-ROD.



Figura N° 18: Muestras elaboradas de PRFV para el ensayo a tracción.

4.4. CONDICIÓN 1: NO ACONDICIONADAS

La condición 1 comprende el ensayo de las varillas de PRFV y acero sin entorno acondicionado, es decir en estado original.

4.4.1. Acero Corrugado

A continuación, se presenta la Tabla N° 31 con los resultados obtenidos en el ensayo a tracción de las muestras de acero no acondicionadas.

Tabla N° 31: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de acero no acondicionadas.

ACERO			
Condición de exposición	Periodo de exposición	Carga de Rotura (kgf)	Carga de rotura promedio (kgf)
Ninguno	Ninguno	5200	5200.75
		5205	
		5198	
		5200	

Del ensayo a tracción realizado a las muestras de acero no acondicionadas, se obtiene y muestra en la Figura N° 19, la curva de carga – deformación.

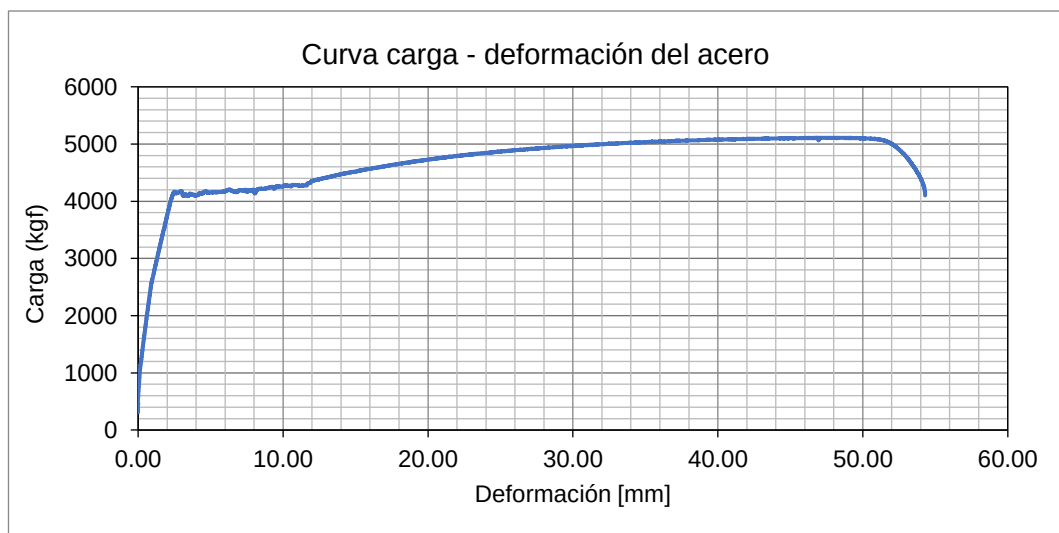


Figura N° 19: Curva carga - deformación obtenido del ensayo a la tracción de la varilla de acero no acondicionada

4.4.2. Varilla de Polímero Reforzada con Fibra de Vidrio

A continuación, se presenta la Tabla N° 32 con los resultados obtenidos en el ensayo a tracción de las muestras de PRFV.

Tabla N° 32: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de PRFV no acondicionadas

PRFV			
<i>Condición de exposición</i>	<i>Periodo de exposición</i>	<i>Carga de Rotura (kgf)</i>	<i>Carga de rotura promedio (kgf)</i>
<i>Ninguno</i>	<i>Ninguno</i>	10529.53	10496.29
		10419.90	
		10550.72	
		10485.00	

Del ensayo a tracción realizado a las muestras de PRFV no acondicionadas, se obtiene y muestra en la Figura N° 20, la curva de carga – deformación.

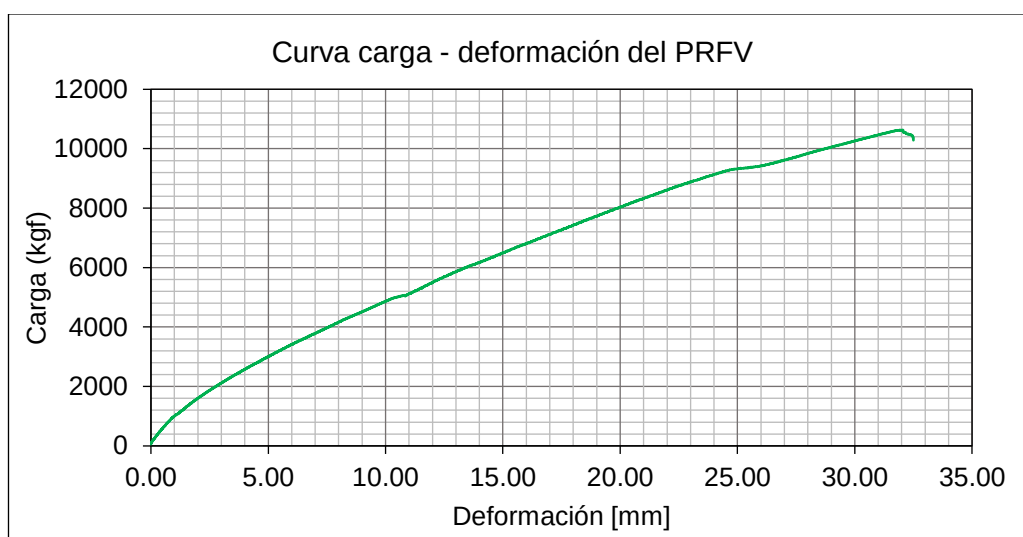


Figura N° 20: Curva carga - deformación obtenido del ensayo a la tracción de la varilla de PRFV no acondicionada

4.5. CONDICIÓN 2: EXPOSICIÓN AL AGUA DE MAR

La segunda condición de este estudio proporciona la oportunidad de investigar y analizar el efecto del agua de mar en el comportamiento a tracción de las varillas de acero y PRFV. Se sumergieron un total de treinta y dos varillas en agua de mar

a una temperatura de 60°C, y posteriormente se evaluaron en diferentes periodos de exposición.

4.5.1. Acero Corrugado

A continuación, se muestran los resultados del ensayo a tracción de las muestras de acero acondicionadas en agua de mar a 60°C durante diferentes periodos de tiempo. En la Tabla N° 33 se presentan los datos obtenidos de las cuatro muestras por cada periodo de 30, 60, 90 y 120 días.

Tabla N° 33: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de acero acondicionadas en agua de mar

ACERO			
Condición de exposición	Periodo de exposición	Carga de Rotura	Carga Rotura promedio
	(días)	(kgf)	(kgf)
Agua de mar a 60°C	30 (días)	5200	5199.50
		5195	
		5205	
		5198	
	60 (días)	5198	5197.25
		5196	
		5200	
		5195	
	90 (días)	5195	5194.25
		5192	
		5196	
		5194	
	120 (días)	5194	5193.75
		5192	
		5195	
		5194	

4.5.2. Varilla de Polímero Reforzada con Fibra de Vidrio

En la siguiente Tabla N° 34 se presentan los resultados del ensayo a tracción de las muestras de acero que fueron sometidas a un acondicionamiento en agua de mar a 60°C durante distintos períodos de tiempo. Para cada período de 30, 60, 90 y 120 días, se registraron los datos obtenidos de las cuatro muestras.

Tabla N° 34: Resultados obtenidos del ensayo a tracción de las muestras de PRFV acondicionadas en agua de mar

PRFV			
Condición de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga de Rotura kgf	Carga Rotura promedio kgf
Agua de mar a 60°C	30 (días)	10553	10492.0
		10485	
		10415	
		10515	
	60 (días)	10470	10489.25
		10487	
		10495	
		10505	
	90 (días)	10479	10483.25
		10478	
		10494	
		10482	
	120 (días)	10480	10483.25
		10485	
		10485	
		10483	

4.6. RESUMEN DE RESULTADOS

Se ha elaborado la Tabla N° 35 como resumen, en la cual se agrupan los resultados obtenidos del ensayo de tracción realizado tanto al acero como al PRFV (polímero reforzado con fibra de vidrio). Se incluyen tanto las muestras no acondicionadas como aquellas acondicionadas en agua de mar a 60°C. Esta tabla proporciona una visión general de los resultados obtenidos y facilita la comparación entre los dos tipos de refuerzo en diferentes condiciones de ensayo.

Tabla N° 35: Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de tracción del acero y PRFV

Condición de exposición	Periodo de exposición (días)	Acero	PRFV
		Carga de rotura - máx. (kgf)	
No acondicionadas		5200.8	10496.3
Agua de mar a 60°C	30 (días)	5199.5	10492.0
	60 (días)	5197.3	10489.3
	90 (días)	5194.3	10481.5
	120 (días)	5193.8	10481.8

CAPÍTULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto está compuesto de diferentes elementos como cemento, agua, aire y agregados. En su estado fresco, el concreto exhibe propiedades plásticas que le permiten ser moldeable y manejable.

Durante la fase de mezclado y colocación del concreto, es importante controlar su calidad y determinar sus propiedades en estado fresco. Estas propiedades incluyen la consistencia, el peso unitario, el contenido de aire y el tiempo de fraguado. Para evaluar estas características, se aplican normas técnicas peruanas que establecen los procedimientos de prueba adecuados.

Comprender las propiedades del concreto fresco es fundamental para trabajar con él de acuerdo con las condiciones específicas de cada proyecto. Además, en este capítulo se busca investigar el impacto de las sales presentes en el agua de mar en las propiedades del concreto fresco. Con este fin, se realizaron ensayos en dos muestras de concreto: el concreto patrón y el concreto con agua de mar.

5.1. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

5.1.1. Asentamiento (NTP 339.035; ASTM C-143)

El asentamiento del concreto fresco es una medida de su trabajabilidad y se refiere a su capacidad de desplazamiento durante la manipulación. Está influenciado por la cantidad de agua en la mezcla y las propiedades de los agregados. Un asentamiento mayor debido a un exceso de agua puede tener efectos negativos en la resistencia del concreto, como segregación, exudación y contracción por secado, comprometiendo su calidad y desempeño.

Para medir el asentamiento, se utilizó el ensayo del "cono de Abrams" de acuerdo con las normas ASTM-C143 y NTP 339.035. En este ensayo, se llena el "cono de Abrams" en tres capas con un volumen igual de concreto fresco compactado. Una vez lleno hasta el borde, se retira el cono y se mide la diferencia de altura entre la

parte superior del cono metálico y la superficie del concreto. Esta diferencia de altura, expresada en pulgadas, es el valor de asentamiento.

En la tabla N.º 36 y figura N.º 21 se muestran los resultados obtenidos al realizar el ensayo de asentamiento al concreto patrón y al concreto con agua de mar

Tabla N° 36: Asentamiento del concreto en estado fresco-concreto patrón y concreto con agua de mar.

Tipo de concreto	Asentamiento	Unidad
<i>Concreto patrón</i>	3 1/2	Pulgadas (")
<i>Concreto con agua de mar</i>	3	Pulgadas (")

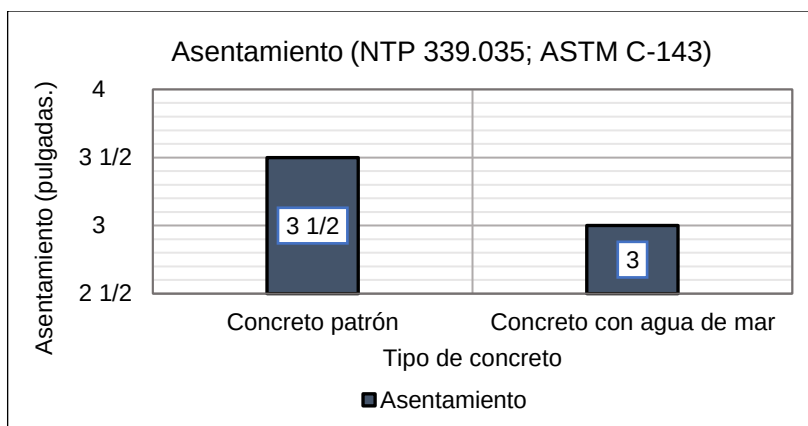


Figura N° 21: Asentamiento del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

5.1.2. Peso Unitario (NTP 339.046; ASTM C-138)

Para calcular el peso unitario del concreto se utiliza la relación entre el peso del concreto recién compactado y la capacidad del recipiente que lo contiene. Esta propiedad se expresa en kg/m^3 y se encuentra influenciado por los pesos específicos de los agregados utilizados en la mezcla de concreto. Según el valor del peso unitario, el concreto se clasifica en tres tipos: liviano, normal y pesado. El concreto se considera liviano si su peso unitario está entre 400 y 1700 kg/m^3 , normal si está entre 1700 y 2500 kg/m^3 , y pesado si su peso unitario es mayor de 2500 kg/m^3 .

El ensayo del peso unitario consiste en llenar un recipiente metálico, que cumpla los requisitos de la NTP 339.046, en tres capas de concreto fresco compactadas con 25 golpes distribuidas y aplicadas con una varilla de acero de 16 mm de diámetro, se llena al ras y por último se pesa en balanza, para luego dividir el peso del concreto fresco entre el volumen del recipiente.

En la Tabla N.º 37 y figura N.º 22 se muestran los cálculos realizados para obtener el peso unitario de cada tipo de concreto evaluado en la presente tesis.

Tabla N.º 37: Cálculos del Peso Unitario del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

Datos del ensayo de Peso Unitario		Concreto patrón	Concreto con agua de mar
M_c	Masa neta del concreto + recipiente (kg)	20.08	20.1
M_m	Masa del recipiente de medida (kg)	3.54	3.54
V_m	Volumen de la medida (ft ³)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
D	Densidad - Peso unitario (kg/m ³)	2336	2339

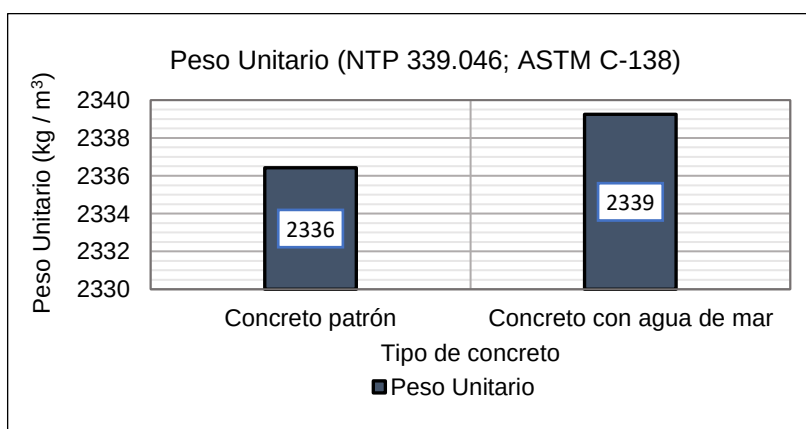


Figura N.º 22: Peso Unitario del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

5.1.3. Contenido de Aire (NTP 339.080; ASTM C-138)

El aire es un componente adicional presente en el concreto, junto con los ingredientes principales como el cemento, el agua y los agregados. Este aire puede existir de forma accidental, como aire atrapado, o de manera intencional, como aire incorporado en la mezcla del concreto (Arcos, 1976).

Conocer el porcentaje de contenido de aire o volumen de aire atrapado en la mezcla de concreto es fundamental para su control de calidad. Existen dos métodos para calcular el contenido de aire en una mezcla de concreto fresco: el método de presión y el método volumétrico.

Se realizó el ensayo de contenido de aire mediante el método a presión, utilizando la olla de Washington, según la NTP 339.080, que mediante el cambio de volumen al aplicar presión se determina el contenido de aire en la mezcla de concreto. Los resultados se pueden observar en la Tabla N.º 38 y figura N.º 23.

Tabla N° 38: Contenido de aire del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

<i>Tipo de concreto</i>	<i>Contenido de aire</i>	<i>Unidad</i>
<i>Concreto patrón</i>	0.91	%
<i>Concreto con agua de mar</i>	0.90	%

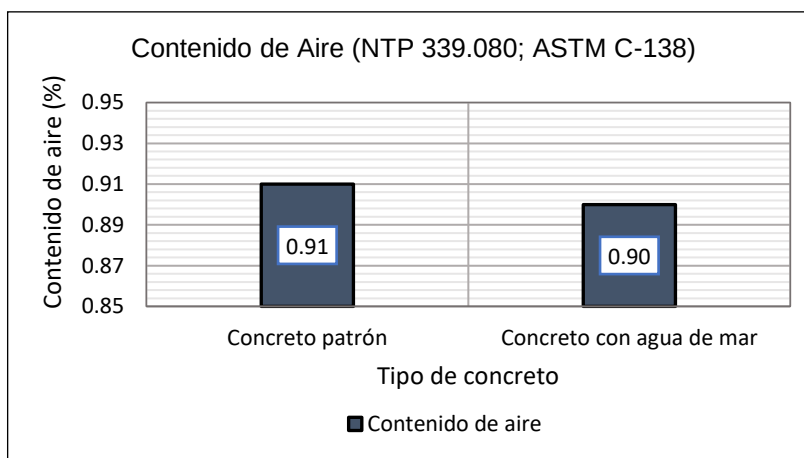


Figura N° 23: Contenido de aire del concreto en estado fresco- concreto patrón y concreto con agua de mar.

5.1.4. Temperatura del Concreto (NTP 339.184; ASTM C1064)

Es importante calcular la temperatura del concreto en su estado fresco, ya que influye en el desempeño del concreto en estado plástico y endurecido. Hay diversos criterios para establecer una temperatura máxima del concreto y es que esto depende del elemento de concreto a vaciar. No obstante, una mayor temperatura del concreto puede traer consigo patologías como pérdida de la

manejabilidad, requiriendo así una mayor cantidad de agua en la mezcla; mayor probabilidad de fisuración por contracción plástica, entre otros.

El procedimiento establecido en la NTP 339.184 se utiliza para medir la temperatura del concreto en estado fresco. Se sumerge el sensor del dispositivo de medición de temperatura en el concreto recién mezclado, asegurándose de que esté al menos 3 pulgadas dentro de la masa. Se cubre suavemente el concreto alrededor del vacío que se forma al introducir el aparato para evitar que el aire pueda afectar los resultados. Después de al menos 2 minutos, se registra y anota la temperatura con una aproximación de 0.5°C. Los resultados obtenidos de este ensayo se presentan en la Tabla N° 39 y figura N.º.24

Tabla N° 39: Temperatura del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

<i>Tipo de concreto</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Unidad</i>
<i>Concreto patrón</i>	20.5	°C
<i>Concreto con agua de mar</i>	21.0	°C

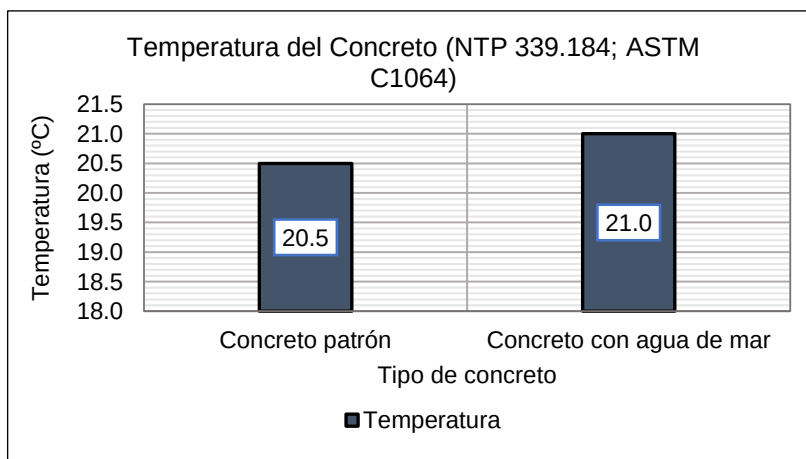


Figura N° 24: Temperatura del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

5.1.5. Tiempo de Fragua (NTP 339.082; ASTM C403)

El tiempo de fragua se refiere al periodo en el que la pasta de cemento del concreto experimenta un proceso de endurecimiento, pasando del estado plástico al estado endurecido, lo que implica la pérdida de su trabajabilidad.

Este ensayo, según la NTP 339.082, se entiende como la resistencia a la penetración de una muestra de un mortero tamizado por la malla N°4 de la mezcla de concreto fresco. Luego se coloca en un recipiente y mediante el aparato de Vicat se realizan las penetraciones con las agujas normalizadas sobre la superficie del mortero.

El proceso de fraguado se divide en dos etapas:

Fraguado inicial: Durante esta etapa, se observa un aumento en la viscosidad y la temperatura de la mezcla. Esto ocurre cuando la mezcla ha perdido parte de su plasticidad debido al aumento de temperatura. Para determinar el tiempo de fraguado inicial, se debe alcanzar una resistencia a la penetración de 500 lb/pulgadas².

Fraguado final: En esta etapa, la mezcla experimenta un endurecimiento como resultado del incremento en su resistencia. La mezcla pierde por completo su plasticidad debido al aumento de su resistencia. Para determinar el tiempo de fraguado final, se requiere alcanzar una resistencia a la penetración de 4000 lb/pulgadas².

Se presentan los resultados del ensayo de tiempo de fraguado tanto para el concreto patrón como para el concreto con agua de mar en las Tablas N° 40 y N.°41, respectivamente.

Tabla N° 40: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto patrón.

TIEMPO DE FRAGUA – CONCRETO PATRÓN					TIPO:	AGUA POTABLE
<i>Lectura</i>	Tiempo (Hora)	Tiempo (Minutos)	Área de contacto de la aguja		Fuerza	Resistencia a la penetración
<i>Nro.</i>	H. Inicio: 11:00 a.m.		N.º	in ²	Libras	Lb/in ²
1	14:30	210	1	1.000	10	10
2	15:40	280	1	1.000	80	80
3	16:20	320	1	1.000	200	200
4	16:35	335	2	0.500	168	336
5	16:50	350	3	0.250	120	480
6	17:30	390	4	0.100	100	1000
7	18:27	447	5	0.050	110	2200
8	19:30	510	6	0.025	115	4600

Tabla N° 41: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto con agua de mar

TIEMPO DE FRAGUA					TIPO:	AGUA DE MAR
Lectura	Tiempo (Hora)	Tiempo (Minutos)	Área de contacto de la aguja		Fuerza	Resistencia a la penetración
Nro.	H. Inicio: 11:30 a.m.		N.º	in ²	Libras	Lb/in ²
1	14:10	160.00	1	1.000	170	170
2	14:44	194.00	2	0.500	186	372
3	15:27	237.00	3	0.250	174	696
4	16:15	285.00	4	0.100	152	1520
5	16:34	304.00	5	0.050	130	2600
6	16:50	320.00	6	0.025	92	3680
7	17:01	331.00	6	0.025	110	4400
8	17:20	350.00	6	0.025	128	5120

Se utilizó la información de la Tabla N° 40 y N° 41 para generar la figura N° 25, que representa la curva de tiempo de fraguado del concreto en estado fresco.

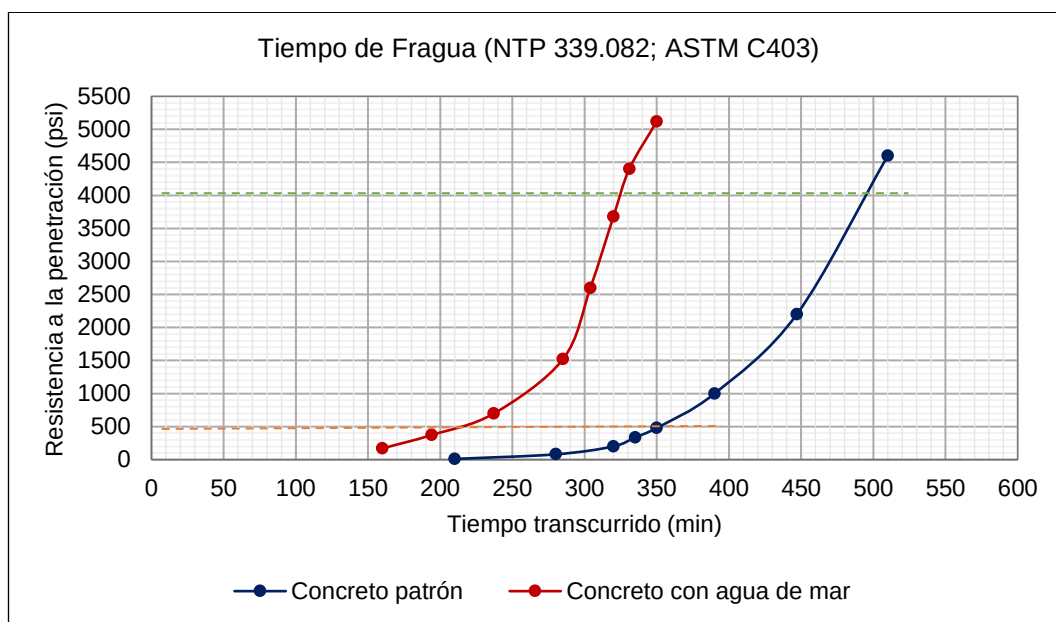


Figura N° 25: Curva del tiempo de fragua del concreto en estado fresco- concreto patrón y concreto con agua de mar.

A partir de la información obtenida en el ensayo de tiempo de fragua se obtuvo los resultados del tiempo de fragua inicial y final presentados en la Tabla N° 42.

Tabla N° 42: Tiempo de fragua del concreto en estado fresco – concreto patrón y concreto con agua de mar.

Concreto Patrón	
<i>Tiempo de fraguado inicial:</i>	350 min
<i>Tiempo de fraguado final:</i>	495 min
Concreto con agua de mar	
<i>Tiempo de fraguado inicial:</i>	218 min
<i>Tiempo de fraguado final:</i>	330 min

5.2. RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados del control de calidad del concreto en estado fresco, tanto para el concreto patrón como para el concreto con agua de mar, se recopilan y muestran en la Tabla N.º 43.

Tabla N° 43: Resumen de los resultados de los ensayos de las propiedades en concreto fresco de las muestras patrón y concreto con agua de mar.

Ensayos	Norma Técnica Peruana	ASTM	Concreto Patrón	Concreto con agua de mar
<i>Asentamiento</i>	NTP 339.035	ASTM C143	3 ½ “	3 “
<i>Peso Unitario</i>	NTP 339.046	ASTM C138	2336 kg/m³	2339 kg/m³
<i>Contenido de aire</i>	NTP 339.080	ASTM C231	0.91%	0.90%
<i>Temperatura</i>	NTP 339.184	ASTM C1064	20.5 °C	21.0 °C
<i>Tiempo de Fragua</i>	NTP 339.082	ASTM C403		
<i>Tiempo inicial</i>			350 min	218 min
<i>Tiempo Final</i>			495 min	330 min

CAPÍTULO VI: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Este capítulo investiga el impacto o la influencia que las sales que se encuentran en el agua de mar, que se utiliza en la elaboración del concreto, tienen sobre las cualidades del concreto endurecido, especialmente sobre la resistencia a la compresión del concreto. La capacidad del concreto para resistir la compresión es el principal criterio que determina su rendimiento como material de construcción. Esta propiedad se ha considerado la más valiosa del concreto, ya sea porque es la principal indicación de la resistencia del material o porque está relacionada con la mayoría de las demás cualidades del concreto, como su resistencia al corte, su módulo de elasticidad o su permeabilidad. En cualquier caso, esta propiedad se considera la más valiosa del concreto (Solís-Carcaño et al., 2008).

La resistencia a la compresión del concreto viene determinada principalmente por su proporción de agua y cemento y su grado de compactación. Esta última característica está relacionada con la trabajabilidad de la mezcla, que se define como la calidad del concreto que determina la facilidad con que puede mezclarse, colocarse, compactarse y acabarse. El informe del comité ACI 116R define la trabajabilidad como la calidad del concreto que determina la facilidad con que puede mezclarse, colocarse, compactarse y acabarse (Neville, 1999).

La NTP 339.034 explica que la resistencia a la compresión (f'_c) se calcula dividiendo la carga máxima (kg) que soporta la probeta hasta su fractura, entre el área promedio de su sección transversal (cm^2), expresándose como el esfuerzo a compresión (kg/cm^2).

6.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio se resume en la Figura N° 26 y consta de los siguientes pasos:

1. Elaboración de probetas: Se fabricaron 42 probetas de concreto patrón y concreto con agua de mar, con dimensiones de 4" x 8".
2. Curado húmedo y ensayo de resistencia a la compresión: Después del desmoldeo, todas las probetas se colocaron en una cámara de curado húmedo

durante 28 días. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en muestras extraídas de ambos tipos de concreto, a los 7, 14 y 28 días para evaluar el comportamiento.

3. Acondicionamiento al agua de mar: Las probetas restantes, que no fueron ensayadas durante el curado húmedo, se sumergieron en una poza con agua de mar a 60°C.
4. Ensayos de resistencia a la compresión luego de la exposición: Después de los periodos de exposición, se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la compresión en las probetas acondicionadas en agua de mar a los 30, 60, 90 y 120 días.
5. Análisis de resultados: Se recopilaron los datos obtenidos de los ensayos para realizar un análisis comparativo entre el concreto patrón y el concreto con agua de mar, evaluando su resistencia a la compresión en diferentes condiciones: curado y exposición al agua de mar.



Figura N° 26: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la compresión del concreto

6.2. CONDICIÓN 1: CURADO HÚMEDO

El curado es un proceso esencial en el concreto, que consiste en suministrar una cantidad adicional de agua después de su endurecimiento inicial. Su objetivo principal es alcanzar los niveles de resistencia deseados para los cuales fue diseñado.

6.2.1. Concreto Patrón

A continuación, los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón en las edades de 7, 14 y 28 días de curado húmedo, se muestran en la Tabla N.º 44.

Tabla N.º 44: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado húmedo del concreto patrón

Edad	Concreto patrón ($a/c = 0.50$)					
	Diámetro			Carga	f'c	f'c_{prom}
(días)	D₁ (cm)	D₂ (cm)	D_{prom}(cm)	(kgf)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
7 días	10.10	10.00	10.05	20920.60	263.73	259.40
	10.10	10.10	10.10	20313.40	253.54	
	10.20	10.20	10.20	21322.50	260.94	
14 días	10.30	10.25	10.28	21706.00	261.77	276.36
	10.20	10.10	10.15	22964.00	283.81	
	10.10	10.10	10.10	22713.00	283.49	
28 días	10	10.05	10.03	25530.00	323.44	307.34
	10.15	10.2	10.18	23670.00	291.10	
	10.1	10.1	10.10	24635.00	307.48	

El gráfico de la curva obtenida de la resistencia a la compresión vs el tiempo de curado de las muestras del concreto patrón, la cual se observa en la Figura N.º 27

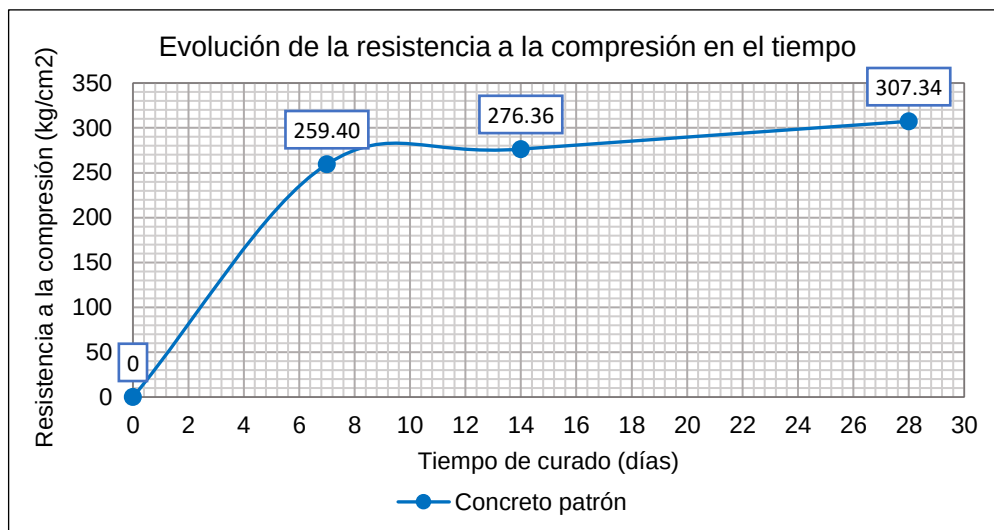


Figura N° 27: Curva de resistencia a la compresión según tiempo de curado del concreto patrón

6.2.2. Concreto con Agua de Mar

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo con la NTP 339.034 a las muestras de concreto con agua de mar. Los resultados obtenidos a las edades de 7, 14 y 28 días de curado húmedo, se muestran en la Tabla N.º 45.

Tabla N° 45: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado húmedo del concreto patrón

Edad	Concreto con agua de mar ($a/c = 0.50$)					
	Diámetro			Carga	f'c	f'c_prom
(días)	D₁ (cm)	D₂ (cm)	D_{prom} (cm)	(Kg)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
7 días	10.20	10.15	10.18	24354.50	299.52	284.51
	10.20	10.20	10.20	22744.30	278.34	
	10.30	10.30	10.30	22969.60	275.67	
14 días	10.20	10.20	10.20	26535.00	324.73	325.03
	10.20	10.10	10.15	25975.00	321.02	
	10.10	10.25	10.18	26779.00	329.33	
28 días	10.05	10	10.03	25383.00	321.58	337.79
	10.05	10	10.03	28427.00	360.14	
	10.15	10.19	10.17	26942.00	331.66	

El gráfico de la curva obtenida de la resistencia a la compresión vs el tiempo de curado de las muestras del concreto con agua de mar, la cual se observa en la figura N.º28

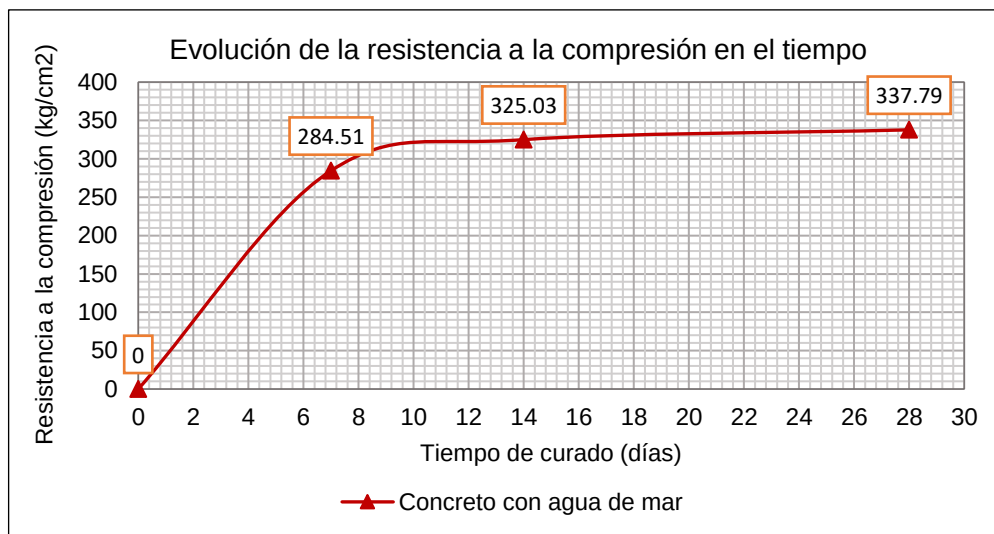


Figura N° 28: Curva de resistencia a la compresión según tiempo de curado del concreto con agua de mar.

6.3. CONDICIÓN 2: EXPOSICIÓN AL AGUA DE MAR

El efecto del agua de mar en el concreto puede ser detectado de diversas maneras. Algunas de ellas son el cambio de peso o el deterioro paulatino que se observa a simple vista, como también puede afectar las propiedades mecánicas de los materiales, reduciendo su resistencia. (Meza, 2003)

6.3.1. Concreto Patrón

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón expuesto a agua de mar durante los periodos de 30, 60, 90 y 120 días de sumersión se presentan en la Tabla N° 46.

Tabla N° 46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días del concreto patrón en exposición al agua de mar

Tiempo de exposición	Concreto patrón				
	Diámetro			Carga	f'c
(días)	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{prom} (cm)	(Kg)	(kg/cm²)
+30 días	9.90	9.90	9.90	26794	348.08
	9.90	9.90	9.90	26268	341.25
	10.00	10.00	10.00	27351	348.24

+60 días	10.05	10.10	10.08	30526	382.90	374.80
	10.00	10.00	10.00	27659	352.17	
	10.20	10.20	10.20	31814	389.34	
+90 días	10.14	10.00	10.07	28094	352.75	344.81
	10.00	10.03	10.02	26978	342.47	
	10.13	10.14	10.14	27365	339.20	
+120 días	10.00	10.00	10.00	28811	366.83	354.60
	9.80	9.80	9.80	27415	363.45	
	10.10	10.10	10.10	26721	333.52	

6.3.2. Concreto con Agua de Mar

En la Tabla N° 47 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto con agua de mar sometido a diferentes periodos de inmersión de 30, 60, 90 y 120 días.

Tabla N° 47: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días del concreto con agua de mar – Acondicionamiento en agua de mar

Tiempo de Exposición	Concreto con agua de mar					
	Diámetro			Carga	f'c	f'c_prom
<i>(días)</i>	D₁ (cm)	D₂ (cm)	D_{prom} (cm)	(Kg)	(Kg/cm²)	(kg/cm²)
+30 días	10.15	10.10	10.13	33555	416.75	434.35
	10.10	10.00	10.05	32378	408.16	
	9.95	9.00	9.48	33713	478.13	
+60 días	10.15	10.25	10.20	36362	445.00	443.85
	10.25	10.10	10.18	35257	433.60	
	10.00	10.05	10.03	35753	452.95	
+90 días	10.21	10.24	10.23	32956	401.35	403.52
	10.08	10.05	10.07	32125	403.76	
	10.04	10.06	10.05	32164	405.46	
+120 días	9.95	9.90	9.93	31319	404.82	407.16
	9.95	9.85	9.90	31180	405.06	
	9.95	9.90	9.93	31845	411.61	

6.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

6.4.1. Concreto Patrón

En resumen, los valores promedio de la resistencia a la compresión obtenidos en la condición 1 y condición 2 del concreto patrón se muestran en la Tabla N° 48 y figura N.º29.

Tabla N° 48: Resumen de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto patrón

Concreto patrón		
Condiciones de exposición	Tiempo de exposición (días)	Resistencia promedio a la compresión
		f'c (kg/cm²)
<i>Curado Húmedo</i>	7 días	259.40
	14 días	276.36
	28 días	307.34
<i>: Agua de mar a 60°C</i>	+30 días	345.86
	+60 días	374.80
	+90 días	344.81
	+120 días	354.60

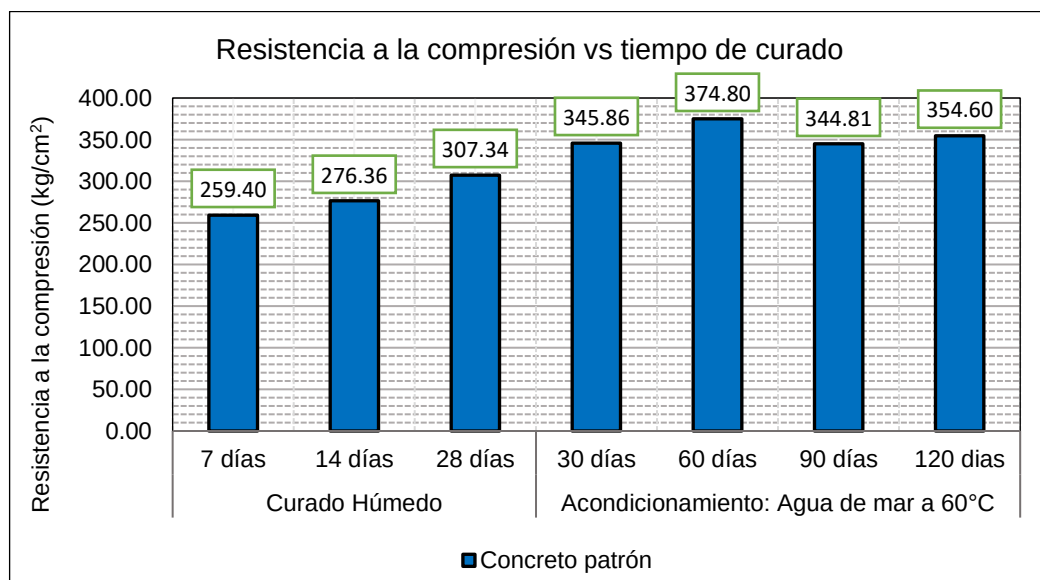


Figura N° 29: Histograma de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón

6.4.2. Concreto con Agua de Mar

En resumen, se presentan en la Tabla N° 49 y figura N.º30 los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos tanto en la condición 1 como en la condición 2 del concreto con agua de mar.

Tabla N° 49: Resumen de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto con agua de mar.

Concreto con agua de mar		
Condiciones de exposición	Tiempo de exposición (días)	Resistencia promedio a la compresión
		f'c (kg/cm²)
<i>Curado Húmedo</i>	7 días	284.51
	14 días	325.03
	28 días	337.79
<i>Agua de mar a 60°C</i>	+30 días	434.35
	+60 días	443.85
	+90 días	403.52
	+120 días	407.16

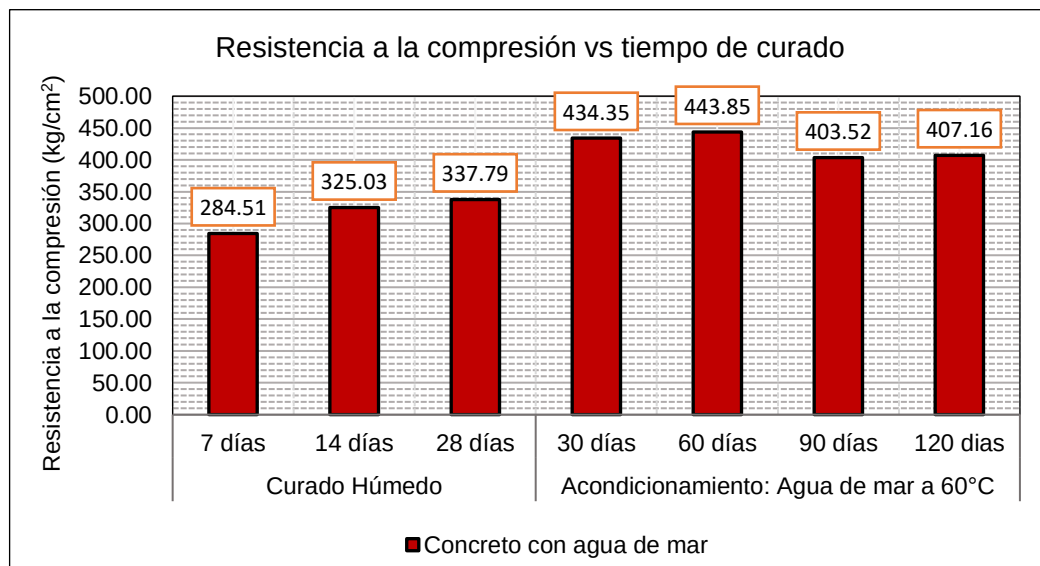


Figura N° 30: Histograma de la resistencia a la compresión promedio del concreto con agua de mar.

CAPÍTULO VII: COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS REFORZADAS CON PRFV Y ACERO

Se reconoce ampliamente que el refuerzo de FRP (Fiber Reinforced Polymer, por sus siglas en inglés) tiene el potencial de solucionar el problema de la corrosión en las estructuras de concreto reforzado debido a sus propiedades no corrosivas. Al no estar sujeto a la degradación por corrosión, el concreto mezclado con agua de mar podría utilizarse en combinación con este tipo de refuerzo no corrosivo.

En este capítulo, se realiza un estudio detallado del comportamiento a flexión y la durabilidad de vigas fabricadas con dos tipos de concreto: el concreto convencional y el concreto mezclado con agua de mar.

7.1. METODOLOGÍA.

La metodología (Figura N.º32) utilizada en este estudio se dividió en etapas para evaluar el comportamiento de las vigas reforzadas con acero y PRFV, utilizando dos tipos de mezclas: concreto patrón (agua potable) y concreto con agua de mar.

1. Elaboración de las vigas: Se fabricaron un total de sesenta vigas con una luz de 50 cm y una sección transversal de 15 cm x 15 cm. Treinta vigas fueron reforzadas con PRFV y treinta con acero. Para cada tipo de refuerzo se elaboraron quince vigas con concreto mezclado con agua potable y quince vigas con agua de mar. (Tabla N.º50)

Tabla N° 50: Resumen de la cantidad de muestras de vigas elaboradas para el estudio del comportamiento a flexión.

Refuerzo utilizado	Tipo de mezcla	
	Concreto patrón.	Concreto con agua de mar.
<i>Acero</i>	15 vigas	15 vigas
<i>PRFV</i>	15 vigas	15 vigas

2. Curado húmedo y ensayo a flexión: Todas las vigas se sometieron a un proceso de curado húmedo durante 28 días para garantizar un adecuado

endurecimiento del concreto. Al finalizar este periodo, se realizaron ensayos de resistencia a la flexión en muestras representativas de cada tipo de viga.

3. Acondicionamiento en agua de mar: Después del periodo de curado húmedo, las vigas que no fueron ensayadas se sumergieron en agua de mar a una temperatura de 60°C. Se establecieron periodos de sumersión durante 4 meses (120 días).
4. Ensayo de resistencia a la flexión de las vigas acondicionadas: Después de los periodos de exposición al agua de mar a 60°C de 30, 60, 90 y 120 días, se llevaron a cabo los ensayos de resistencia a la flexión de cada tipo de viga acondicionada.
5. Evaluación y comparación de resultados: Los resultados experimentales obtenidos de las vigas simplemente apoyadas reforzadas con PRFV y acero se evaluaron y compararon en función del tipo de agua utilizado en la mezcla de concreto y periodo en las condiciones de exposición (Tabla N.º51). Se analizaron la carga de primera fisuración y la capacidad de carga máxima de las vigas.

Tabla N° 51: Periodos de exposición y evaluación según condición de exposición para cada tipo de viga a evaluar.

Refuerzo	PRFV		Acero	
Condiciones de exposición	Tipo de concreto			
	Concreto patrón	Concreto con agua de mar	Concreto patrón	Concreto con agua de mar
CONDICIÓN 1: Curado Húmedo	28 días			
CONDICIÓN 2: Exposición al agua de mar	30 días			
	60 días			
	90 días			
	120 días			

El comportamiento a flexión se evaluará mediante en el ensayo de resistencia a la flexión en vigas según la NTP 339.078. En este ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de luz de una viga (15 cm x 15 cm x 50 cm) hasta que ocurra la falla (Figura N.º31)



Figura N° 31: Esquema de las vigas y del ensayo a flexión para vigas reforzadas

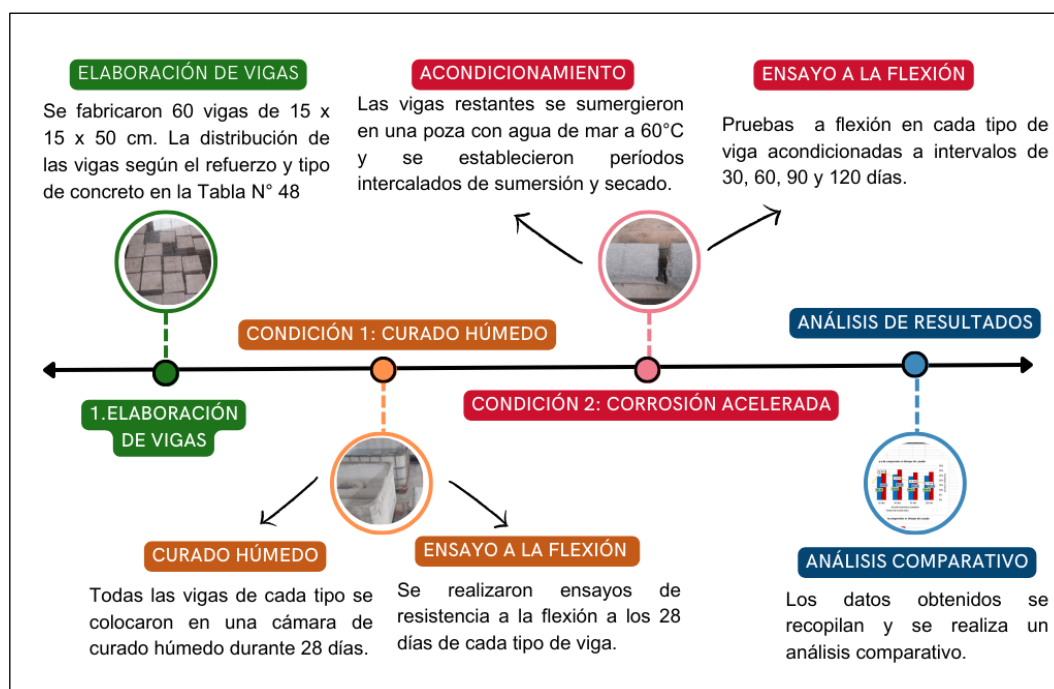


Figura N° 32: Metodología del análisis de las propiedades de resistencia a la flexión.

Los dos diseños de mezcla de concreto utilizados en la investigación, denominados como concreto patrón y concreto con agua de mar, se describieron en capítulos anteriores. Las proporciones de cada mezcla se encuentran detalladas en la Tabla N° 29, presentada en el Capítulo 3.

El agua de mar utilizada para la mezcla de concreto, así como para el acondicionamiento de exposición se obtuvo directamente de la playa La Punta, Callao.

Nomenclatura

Debido a que en esta sección se cuenta con varios parámetros a analizar, tales como tipo de refuerzo, tipo de mezcla y periodo de exposición, es necesario establecer una nomenclatura para un mejor desarrollo de este capítulo.

La nomenclatura utilizada en las vigas se basó en el tipo de refuerzo, el tipo de diseño de mezcla, el acondicionamiento de exposición y el tiempo de exposición. La primera letra de la nomenclatura denota el tipo de refuerzo, “S” para el refuerzo con acero y “G60” para el refuerzo con PRFV. El segundo segmento denota el tipo de diseño de mezcla, la letra “P” para el concreto mezclado con agua potable y la letra “M” para el concreto mezclado con agua de mar. Por último, la tercera parte representa el acondicionamiento y tiempo de exposición, “CH” para curado húmedo y “CA” para exposición al agua de mar, añadiéndole el tiempo de exposición, es decir, 28 para el caso de “CH” y 30, 60, 90, y 120 días para “CA”.

Por ejemplo, “S-P-CH28” para los elementos reforzados con acero “S”, diseño de mezcla de tipo “P”, agua potable, expuestos a acondicionamiento de curado húmedo “CH” durante 28 días.

Se ensayaron un mínimo de tres (3) muestras de vigas para cada tipo de refuerzo, diseño de mezcla y periodo de exposición.

7.2. CONDICIÓN 1: CURADO HÚMEDO

La condición 1 comprende el periodo de curado húmedo de las vigas, con el fin de garantizar la resistencia mínima objetivo y como punto de control se evalúa la resistencia a la flexión en este periodo.

7.2.1. Vigas Reforzadas con Acero

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para la carga de primera fisuración y carga máxima en las muestras reforzadas con acero bajo la condición de curado por 28 días, En las Tabla N°52 y Tabla N°53 se detallan los resultados de S-P-CH28 y S-M-CH28, respectivamente.

Tabla N° 52: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-P-CH28.

Edad	Tipo de viga	S-P-CH28			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga fisuración promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga máxima promedio (kgf)
28 días	Curado Húmedo	3980.00	3983.33	9455.40	9407.43
		3980.00		9331.20	
		3990.00		9435.70	

Tabla N° 53: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-M-CH28.

Edad	Tipo de viga	S-M-CH28			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
28 días	Curado Húmedo	3690.00	3443.33	9467.30	9401.23
		3440.00		9397.90	
		3200.00		9338.50	

Las Figuras N° 33 y N° 34 muestran el comportamiento de las vigas S-P-CH28 y S-M-CH28, respectivamente, es decir, la deflexión en el centro de la viga en función de la carga aplicada durante el ensayo.

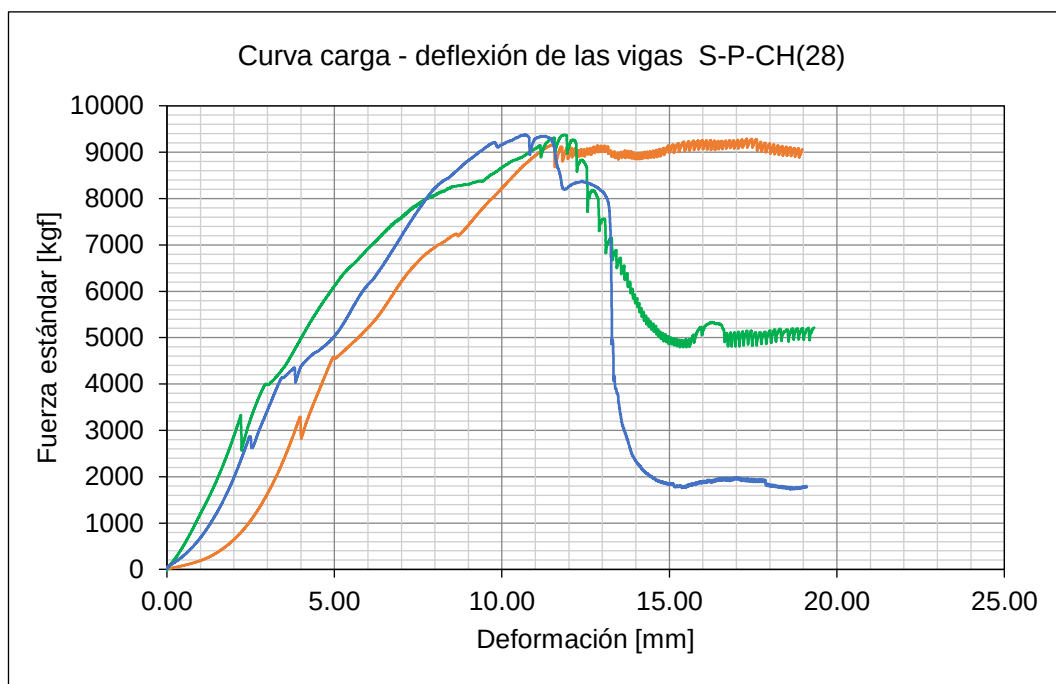


Figura N° 33: Curva experimental carga - deflexión de las vigas de las muestras S-P-CH28

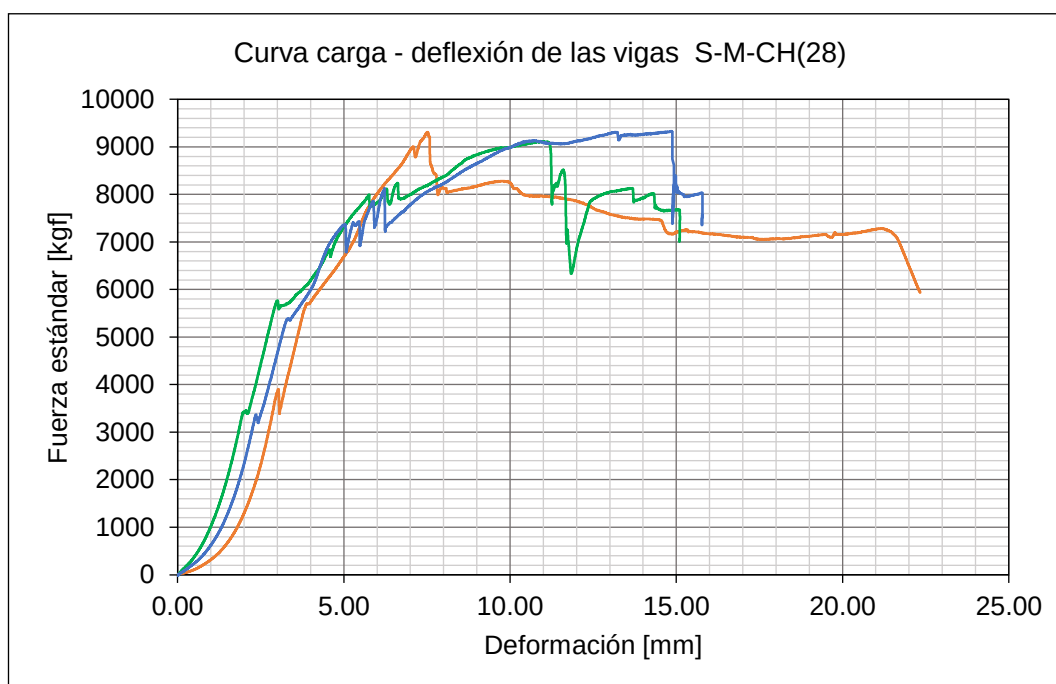


Figura N° 34: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras S-M-CH28

En las Figuras N° 33 y N° 34 se observa una disminución en la fuerza de carga. Esta reducción se debe a que, durante el ensayo de flexión de las vigas reforzadas, después de alcanzar la fuerza de fluencia, las vigas, debido a sus dimensiones, continúan con una falla por pérdida de adherencia entre el concreto y el refuerzo.

7.2.2. Vigas Reforzadas con PRFV

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la carga de fisuración y la carga máxima en las muestras reforzadas con PRFV y curadas por 28 días. Estas muestras son identificadas como G60-P-CH28 y G60-M-CH28. Ver Tabla N° 54 y Tabla N° 55.

Tabla N° 54: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-P-CH28.

Edad	Tipo de viga	G60-P-CH28			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
28 días	Curado Húmedo	3220.00	3225.00	9187.80	9224.07
		3300.00		9197.50	
		3155.00		9286.90	

Tabla N° 55: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-M-CH28.

Edad	Tipo de viga	G60-M-CH28			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
28 días	Curado Húmedo	3290.00	3180.00	9256.70	9208.87
		3100.00		9146.70	
		3150.00		9223.20	

Se presentan las figuras N° 35 y N° 36 que muestran el comportamiento de las vigas G60-P-CH28 y G60-M-CH28, respectivamente, cuando se someten a cargas de flexión. Estas gráficas representan la relación entre la carga aplicada durante el ensayo y la deflexión en el centro de la viga. Estas figuras permiten realizar una comparación entre el desempeño de estas vigas y el de las vigas convencionales reforzadas con acero.

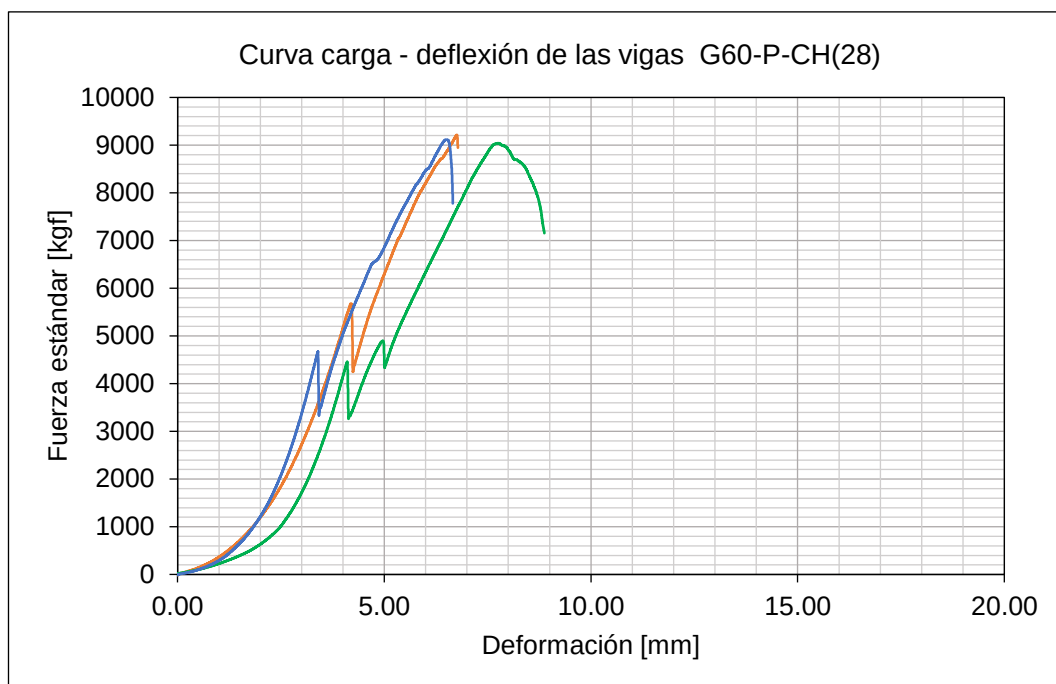


Figura N° 35: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras G60-P-CH28

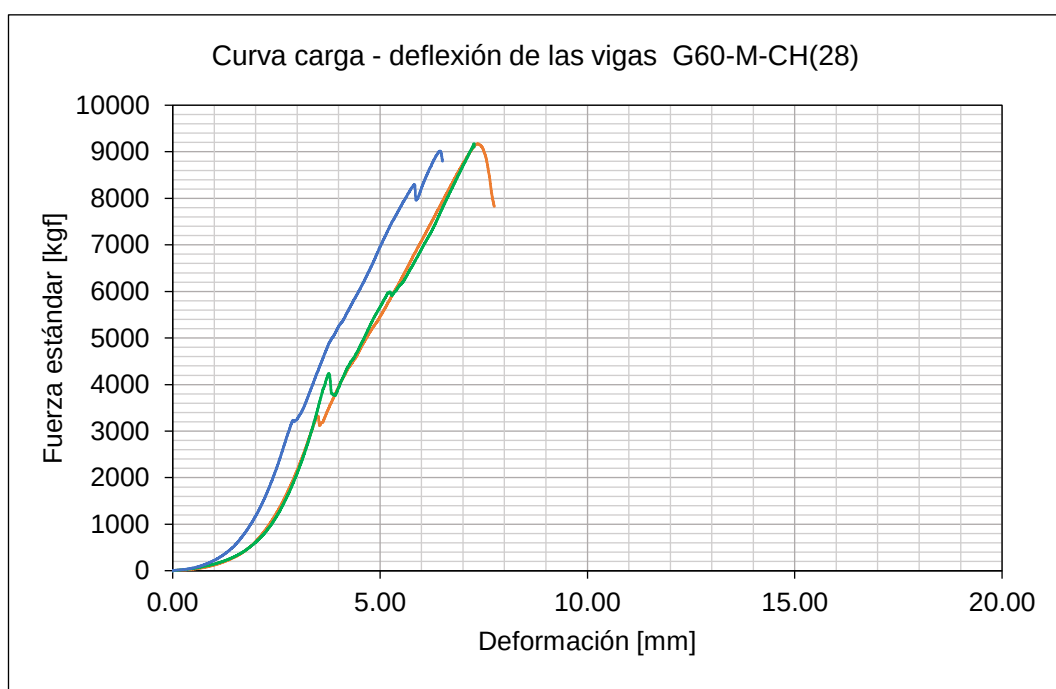


Figura N° 36: Curva experimental carga- deflexión de las vigas de las muestras G60-M-CH28

7.3. CONDICIÓN 2: EXPOSICIÓN AL AGUA DE MAR

La condición 2 permite el estudio del impacto de la condición de exposición al agua de mar en el comportamiento a flexión en elementos de concreto reforzado como vigas reforzadas con varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio y varillas de acero. Cuarenta y ocho (48) vigas fueron sumergidas en agua de mar a 60°C y evaluadas en distintos periodos de exposición.

7.3.1. Vigas Reforzadas con Acero

Los resultados de la carga de fisuración y la carga máxima, en las vigas reforzadas con acero se presentan en las siguientes tablas. En la Tabla N° 56 se muestran los resultados correspondientes a las vigas con nomenclatura S-P-CA, mientras que en la Tabla N° 57 se presentan los resultados para las vigas con nomenclatura S-M-CA.

Tabla N° 56: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-P-CA.

Tiempo	Tipo de viga	S-P-CA			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
+30 días	Agua de mar a 60°C	4320.00	4350.00	9300.00	9373.33
		4300.00		9400.00	
		4430.00		9420.00	
+60 días		4450.00	4570.00	9220.00	9356.67
		4500.00		9400.00	
		4760.00		9450.00	
+90 días		4400.00	4533.33	9300.00	9340.00
		4500.00		9340.00	
		4700.00		9380.00	
+120 días		4200.00	4533.33	9280.00	9301.67
		4800.00		9325.00	
		4600.00		9300.00	

Tabla N° 57: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras S-M-CA.

Tiempo	Tipo de viga	S-M-CA			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
Exposición al agua de mar a 60°C.					
+30 días	Agua de mar a 60°C	3700.00	3821.67	9440.00	9373.33
		3950.00		9450.00	
		3815.00		9230.00	
+60 días		4180.00	4151.67	9360.00	9346.67
		4100.00		9300.00	
		4175.00		9380.00	
+90 días		4200.00	4160.00	9320.00	9330.00
		4100.00		9370.00	
		4180.00		9300.00	
+120 días		4100.00	4300.00	9480.00	9300.00
		4300.00		9200.00	
		4500.00		9220.00	

7.3.2. Vigas Reforzadas con PRFV

Se muestran los resultados de la carga de fisuración y carga máxima en las vigas reforzadas con acero a través de dos tablas. La tabla N° 58, presenta los resultados de las vigas G60-P-CA, mientras que en la tabla N° 59, se encuentran los resultados correspondientes a las vigas G60-M-CA.

Tabla N° 58: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-P-CA

Tiempo	Tipo de viga	G60-P-CA			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
Exposición al agua de mar a 60°C.					
+30 días	Agua de mar a 60°C	3280.00	3320.00	9230.00	9235.0
		3320.00		9250.00	
		3360.00		9225.00	
+60 días		3300.00	3373.33	9280.00	9235.0
		3440.00		9300.00	
		3380.00		9275.00	

+90 días		3550.00	3550.00	9300.00	9323.33
		3500.00		9380.00	
		3600.00		9290.00	
+120 días		3900.00	3873.33	9350.00	9330.0
		3850.00		9300.00	
		3870.00		9340.00	

Tabla N° 59: Carga de primera fisuración y carga máxima de las vigas de las muestras G60-M-CA.

Tiempo	Tipo de viga	G60-M-CA			
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga promedio (kgf)	Carga máxima (kgf)	Carga promedio (kgf)
Exposición al agua de mar a 60°C.					
+30 días	Agua de mar a 60°C	3260.00	3341.67	9230.00	9220.0
		3430.00		9180.00	
		3335.00		9250.00	
+60 días		3550.00	3578.33	9195.00	9220.0
		3600.00		9245.00	
		3585.00		9200.00	
+90 días		3640.00	3600.00	9210.00	9216.67
		3500.00		9240.00	
		3660.00		9180.00	
+120 días		3780.00	3686.67	9350.00	9283.33
		3640.00		9320.00	
		3640.00		9230.00	

7.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

7.4.1. Vigas Reforzadas con Acero

En la tabla N° 60 se presentan los datos de carga de fisuración y carga máxima promedios obtenidos del ensayo a flexión para todas las vigas reforzadas con acero.

Tabla N° 60: Resumen de las cargas obtenidas en las vigas reforzadas con acero para cada tipo de concreto y condición de exposición.

Tiempo	Tipo de viga	S-P		S-M	
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga Máxima (Kgf)	Carga de fisuración (kgf)	Carga Máxima (Kgf)
28 días	Curado Húmedo	3983.33	9407.43	3443.33	9401.23
+30 días	Agua de mar a 60°C	4350.00	9373.33	3821.67	9373.33
+60 días		4570.00	9356.67	4151.67	9346.67
+90 días		4533.33	9340.00	4160.00	9330.00
+120 días		4533.33	9301.67	4300.00	9300.00

7.4.2. Vigas Reforzadas con PRFV

En la tabla N° 61 se presentan los datos de carga de fisuración y carga máxima promedios obtenidos del ensayo a flexión para todas las vigas reforzadas con PRFV.

Tabla N° 61: Resumen de las cargas obtenidas en las vigas reforzadas con PRFV para cada tipo de agua utilizada y condición de exposición.

Tiempo	Tipo de viga	G60-P		G60-M	
(días)	Condiciones de exposición	Carga de fisuración (kgf)	Carga Máxima (Kgf)	Carga de fisuración (kgf)	Carga Máxima (Kgf)
28 días	Curado Húmedo	3225.00	9224.07	3180.00	9208.87
+30 días	Agua de mar a 60°C	3320.00	9201.67	3341.67	9186.67
+60 días		3373.33	9251.67	3578.33	9185.00
+90 días		3550.00	9343.33	3600.00	9216.67
+120 días		3873.33	9420.00	3686.67	9293.33

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DEL ACERO Y PRFV

En esta sección, se lleva a cabo el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del acero y del PRFV. Se evaluaron las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de tracción, tanto en las varillas de control sin acondicionar como en las varillas expuestas, las cuales fueron sumergidas en agua de mar a 60°C para simular la corrosión causada por la presencia de sales durante diferentes periodos de tiempo: 30, 60, 90 y 120 días.

8.1.1. Acero Corrugado

Utilizando los resultados obtenidos en el ensayo de tracción y siguiendo la metodología previamente mencionada, se calcularon los valores característicos de resistencia a la tracción de las varillas de acero. Estos valores se encuentran recopilados en la tabla N° 62.

Tabla N° 62: Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del acero

ACERO				
Condiciones de exposición	Periodo de exposición	Carga de rotura	Resistencia a la tracción	
		F máx (Kgf)	(kg/cm²)	Mpa
Ninguno		5200.8	7325.0	717.85
Agua de mar a 60°C	+30 días	5199.5	7323.2	717.68
	+60 días	5197.3	7320.1	717.37
	+90 días	5194.3	7315.8	716.95
	+120 días	5193.8	7315.1	716.88

A partir de los datos proporcionados, se calcularon los porcentajes de evolución de la resistencia a la tracción en comparación con su resistencia inicial. Los resultados obtenidos muestran la variación de este parámetro a lo largo del tiempo de exposición al agua de mar.

Tabla N° 63: Variación porcentual de la resistencia a la tracción durante el periodo de exposición

ACERO				
Condiciones de exposición	Periodo de exposición	Resistencia a la tracción		% Variación respecto al patrón
		(kg/cm2)	Mpa	
Ninguno		7325.0	717.85	100.00%
Agua de mar a 60°C	+30 días	7323.2	717.68	99.98%
	+60 días	7320.1	717.37	99.93%
	+90 días	7315.8	716.95	99.88%
	+120 días	7315.1	716.88	99.87%

De la tabla N° 63 se elabora la figura N° 37 que representa la relación entre la resistencia de tracción y dos variables clave: la exposición y tiempo de exposición de las varillas de acero. Además, muestra la variación porcentual en comparación con su valor de referencia establecido en condiciones normales.

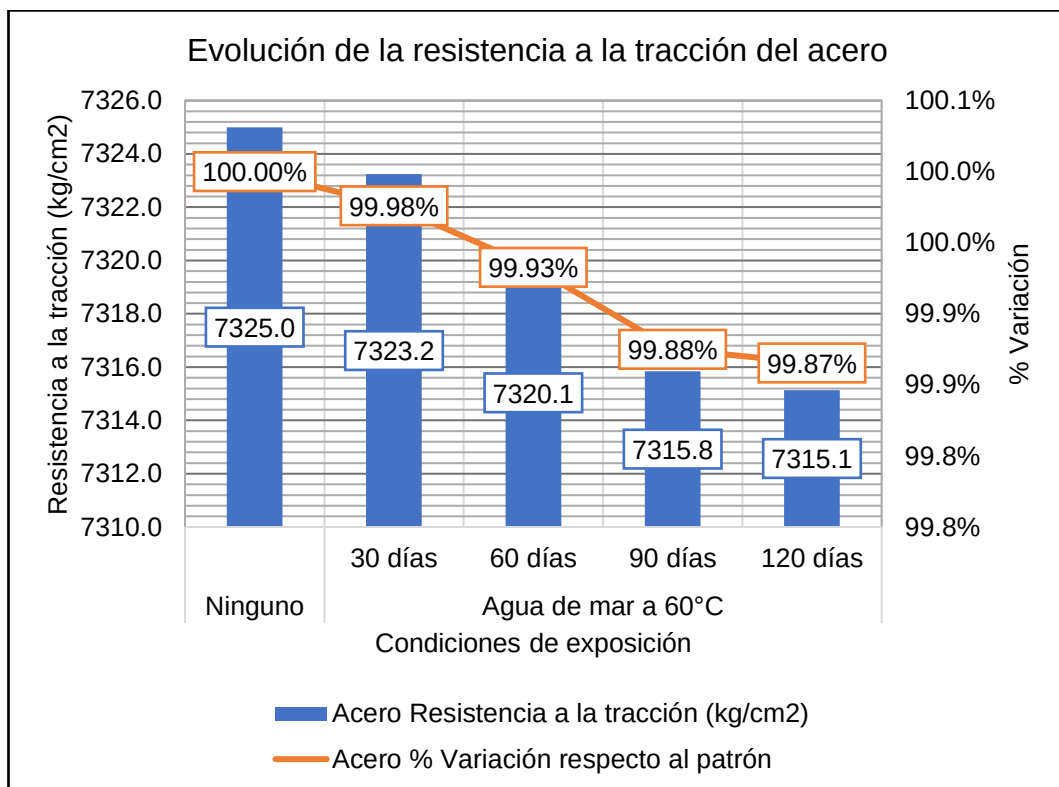


Figura N° 37: Histograma de la variación de la resistencia a la tracción del acero durante el periodo de exposición.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción del acero revelaron los siguientes datos: después de 30, 60, 90 y 120 días de exposición, se observaron

porcentajes de resistencia del 99.98%, 99.93%, 99.88% y 99.87%, respectivamente. Estos resultados indican que, durante el periodo de exposición de 120 días, se detectaron pérdidas mínimas en la resistencia a la tracción del acero. Sin embargo, es importante tener en cuenta la naturaleza corrosiva del material. A largo plazo, en un entorno corrosivo, es probable que se observe una disminución más significativa en la resistencia a la tracción del acero. Por lo tanto, si se prolonga la exposición a la corrosión, se producirán pérdidas notables en la resistencia a la tracción del material.

Curva esfuerzo-deformación:

En la curva esfuerzo – deformación (Figura N° 38) obtenida de las muestras de acero ensayadas se identifican dos regiones principales: la zona elástica y la zona plástica. En la zona elástica, la deformación es proporcional al esfuerzo, mientras que, en la zona plástica, la deformación es permanente.

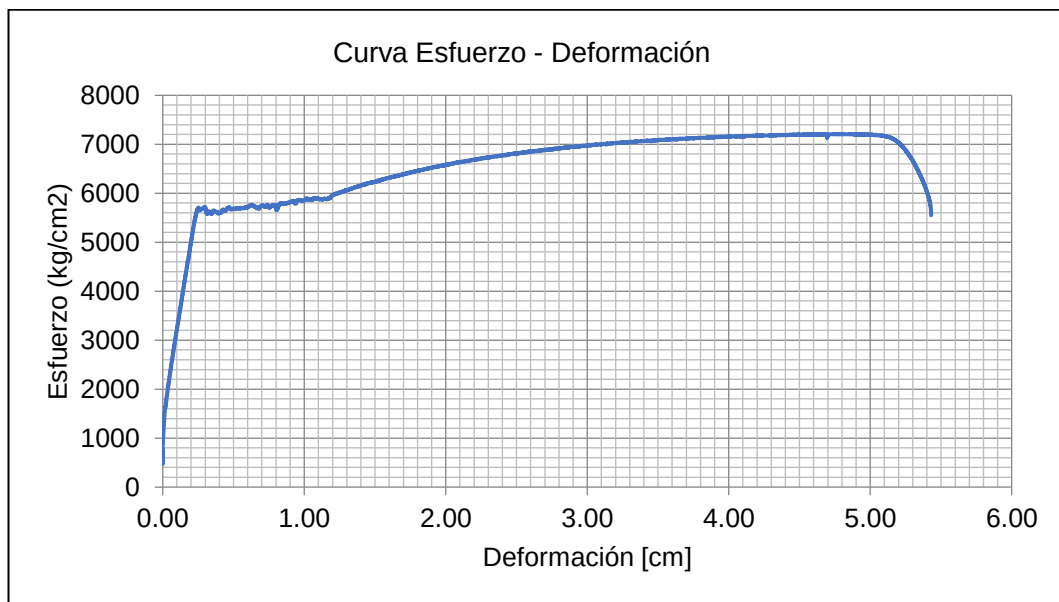


Figura N° 38: Curva esfuerzo - deformación de las varillas de acero

8.1.2. Varilla de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio

A través de la ejecución del ensayo de tracción, se establecieron los valores característicos de resistencia a la tracción de las varillas de PRFV. La información correspondiente a dichos resultados se encuentra especificada en la tabla N.º64

Tabla N° 64: Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del PRFV

PRFV				
Condiciones de exposición	Periodo de exposición	Carga de rotura	Resistencia a la tracción	
		Fmáx. (Kgf)	(kg/cm2)	Mpa
Ninguno		10496.3	14783.5	1448.78
Agua de mar a 60°C	+30 días	10492.0	14777.5	1448.19
	+60 días	10489.3	14773.6	1447.81
	+90 días	10481.5	14762.7	1446.74
	+120 días	10481.8	14763.0	1446.78

De la misma forma que en el apartado anterior, se extrajeron los datos de resistencia a la tracción para evaluar el efecto del agua de mar en diferentes períodos de exposición. Se calculó el porcentaje de cambio en la resistencia a la tracción en comparación con sus valores iniciales, revelando la evolución de este parámetro con el tiempo de exposición (Tabla N°65).

Tabla N° 65: Variación porcentual de la resistencia a la tracción durante el periodo de exposición

PRFV				
Condiciones de exposición	Periodo de exposición	Resistencia a la tracción		% Variación respecto al patrón
		(kg/cm2)	Mpa	
Ninguno		14783.5	1448.78	100.00%
Agua de mar a 60°C	+30 días	14777.5	1448.19	99.96%
	+60 días	14773.6	1447.81	99.93%
	+90 días	14765.1	1446.98	99.88%
	+120 días	14765.1	1446.98	99.88%

La figura N°39 ilustra cómo la carga de resistencia a la tracción de las varillas de PRFV varía en relación con la exposición y la duración de la sumersión. También muestra el porcentaje de cambio de estas cargas en comparación con los valores de referencia establecidos en condiciones normales.

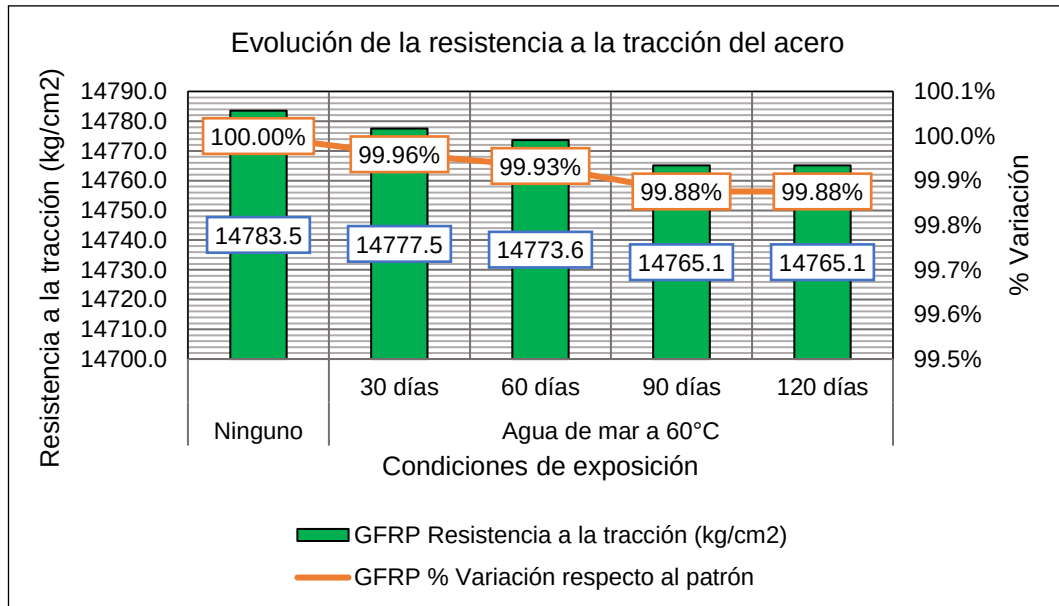


Figura N° 39: Histograma de la variación de la resistencia a la tracción del PRFV durante el periodo de exposición.

Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la tracción del PRFV son los siguientes: después de 30, 60, 90 y 120 días de exposición, se observaron porcentajes de resistencia del 99.96%, 99.93%, 99.88% y 99.88%, respectivamente. Estos datos indican que, a lo largo del período de exposición de 120 días, no se encontraron pérdidas significativas en la resistencia a la tracción del material.

Curva esfuerzo - deformación: La falla se caracterizó por la delaminación longitudinal causada por el desprendimiento de la interfaz entre las fibras y la matriz, como se muestra en la figura N° 40.



Figura N° 40: Modo de falla de las varillas de polímero reforzados con fibra de vidrio (PRFV)

Al comparar la falla del PRFV para cada periodo de exposición se puede suponer que no existe un efecto negativo sobre el modo de falla por tracción a causa del agua de mar y acondicionamiento acelerado. Teniendo en cuenta que el modo de falla típico se mantiene aún durante el acondicionamiento, en la Figura N° 41 se muestra la curva de esfuerzo – deformación representativa de la varilla de PRFV. Según las pruebas de tracción, las varillas de PRFV fallaron repentinamente, sin pasar por una etapa de fluencia, cuando la carga aplicada alcanzó la carga máxima, debido a la falta de ductilidad de la varilla.

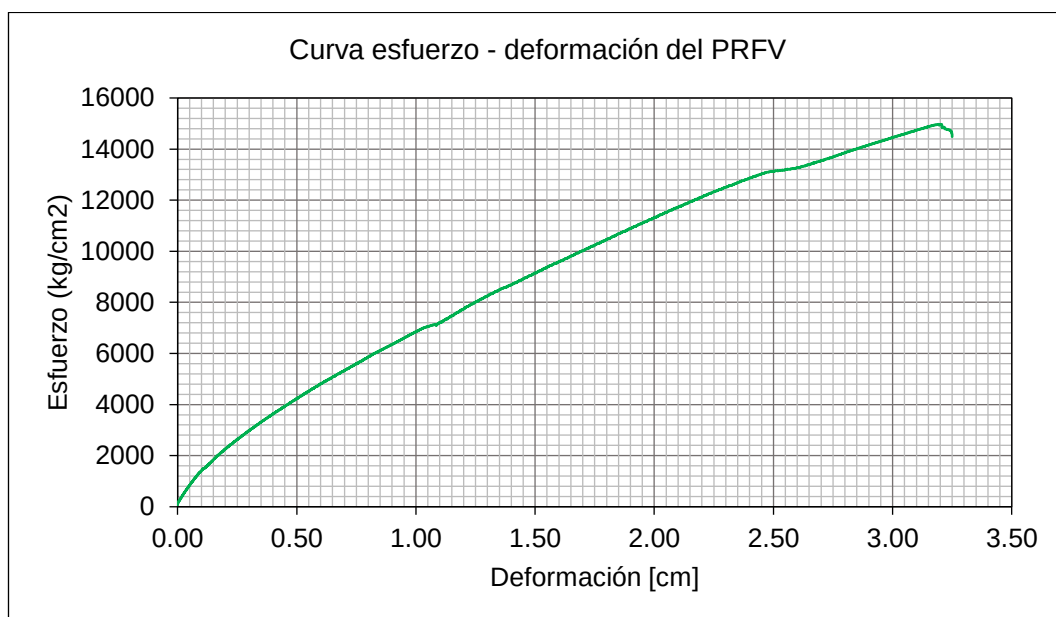


Figura N° 41: Análisis de la curva esfuerzo - deformación de las varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

8.1.3. Análisis global de las propiedades del acero y PRFV

Con el objetivo de llevar a cabo una comparación entre el acero y el PRFV, se recopiló los datos de las tablas N° 62 y N° 64, resultando en la creación de la Tabla N°65, en esta tabla se presenta la variación porcentual de la resistencia a la tracción del PRFV en cada periodo de exposición en relación con la resistencia a la tracción del acero obtenida en el mismo periodo de exposición.

Tabla N° 66: Variación de la resistencia a la tracción de las varillas de acero y PRFV con respecto a la resistencia del acero en cada periodo de tiempo de ensayo.

Condiciones de exposición	Periodo de exposición	Acero		PRFV	
		Resistencia a la tracción (kgf/cm²)		Resistencia a la tracción (kgf/cm²)	% Desarrollo respecto al acero
Ninguno		7325.00	100.00%	14783.51	201.82%
Agua de mar a 60°C	30 días	7323.24	100.00%	14777.46	201.79%
	60 días	7320.07	100.00%	14773.59	201.82%
	90 días	7315.85	100.00%	14765.14	201.82%
	120 días	7315.14	100.00%	14765.14	201.84%

Comparando el acero con el PRFV en términos de resistencia a la tracción en cada periodo de exposición. Los resultados obtenidos son los siguientes:

En condiciones normales, sin acondicionamiento, la resistencia a la tracción del PRFV alcanza hasta un 201.84% del valor de la resistencia a la tracción del acero.

Al exponer el PRFV al agua de mar a 60°C, este material mantiene en gran medida su resistencia. Después de 30 días de exposición, la resistencia a la tracción del PRFV sigue siendo notablemente alta, alcanzando hasta un 201.79% de la resistencia a la tracción del acero.

Incluso con una exposición prolongada al agua de mar a 60°C, la resistencia a la tracción del PRFV se mantiene consistentemente alta. Tras 60 y 90 días de exposición, la resistencia a la tracción del PRFV se registró en un 201.82% del valor de la resistencia a la tracción del acero. Finalmente, después de 120 días de exposición continua al agua de mar a 60°C, la resistencia a la tracción del PRFV incluso aumenta ligeramente, alcanzando hasta un 201.84% de la resistencia a la tracción del acero.

Se observó consistentemente que la resistencia a la tracción de las varillas de PRFV (Plástico Reforzado con Fibras de Vidrio) fue aproximadamente un 101% mayor en comparación con las varillas de acero (ver Figura N.º42). En otras

palabras, la resistencia a la tracción del PRFV fue aproximadamente el doble de la resistencia a la tracción del acero.

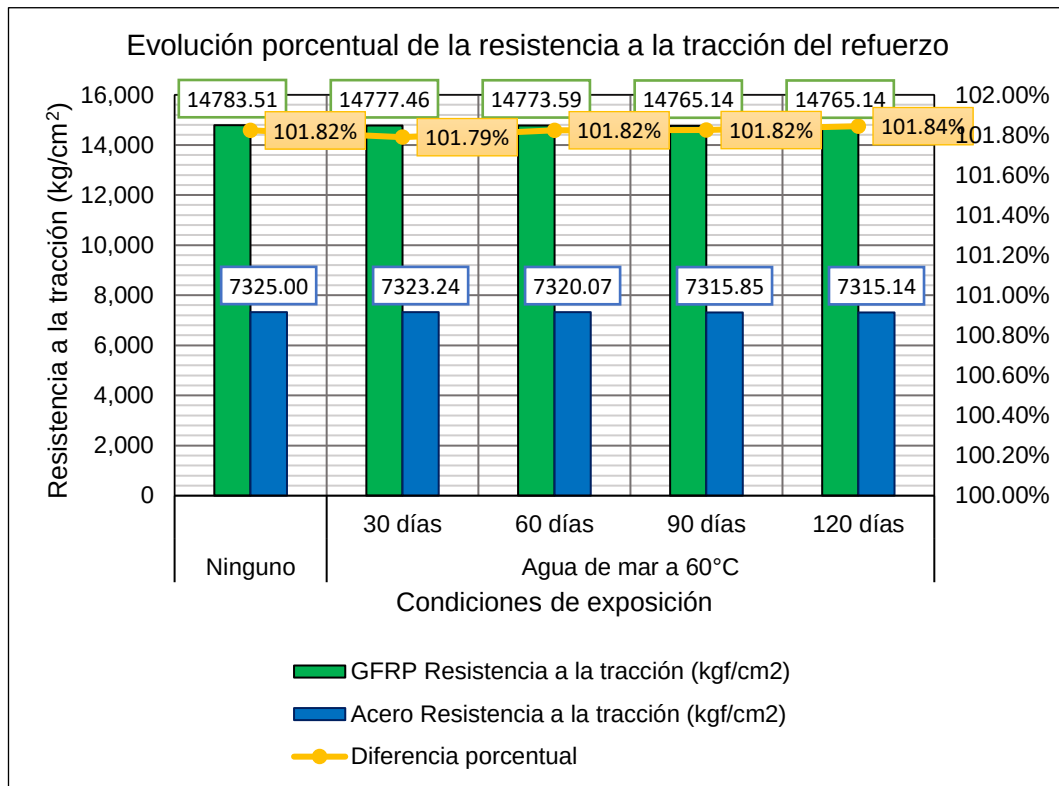


Figura N° 42: Histograma y variación porcentual de la resistencia a la tracción del refuerzo con respecto al acero en cada periodo de ensayo.

Curva esfuerzo – deformación

En la comparación de las curvas de deformación entre el PRFV y el acero, es fundamental tener en cuenta que las varillas de PRFV no presentan un periodo plástico antes de la ruptura. En cambio, su relación esfuerzo-deformación es lineal hasta el fallo, sin contar con reservas de deformación posteriores al esfuerzo de ruptura. Esto se puede observar en la Figura N°43.

Por otro lado, el acero corrugado tiene la capacidad de ser dúctil, lo que implica que su curva de deformación muestra un periodo plástico después de alcanzar el punto de fluencia. Esto significa que el acero puede deformarse significativamente antes de la ruptura, lo que le confiere cierta capacidad de absorber energía y resistir cargas adicionales.

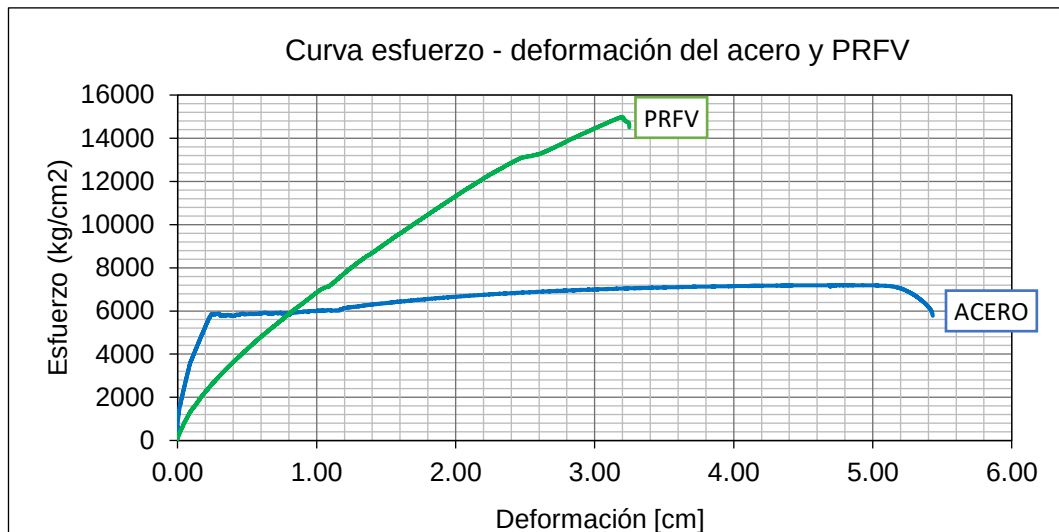


Figura N° 43: Comparativa: Curvas de esfuerzo - deformación del acero y PRFV

Propiedades físicas:

Realizando una comparativa (Tabla N° 67) de las propiedades físicas entre las varillas de PRFV y acero, como el caso del peso, considerando que tienen el mismo diámetro, se puede calcular su peso lineal en kg/m. Se observa que el peso del acero es de 0.56 kg/m, mientras que el del PRFV es de 0.175 kg/m. Esto significa que el PRFV tiene aproximadamente el 31.25% del peso del acero, es decir, el acero pesa aproximadamente 3 veces el PRFV.

Tabla N° 67: Peso de las varillas de PRFV y acero.

Tipo	Diámetro de la varilla	Peso nominal (kg/m)	%
Acero	3/8"	0.56	100%
PRFV	3/8"	0.175	31.25%

8.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO

En esta sección, se examinarán los resultados del control de calidad de las propiedades en estado fresco de dos tipos de mezclas de concreto: la mezcla patrón (Mezcla P y la mezcla con agua de mar (Mezcla M). Se analizarán detalladamente los datos obtenidos para comprender y comparar las características de ambas mezclas en su estado fresco.

8.2.1. Asentamiento

El asentamiento de los diseños evaluados en esta investigación se encuentra en el rango de 3 a 4 pulgadas, lo cual está dentro del diseño esperado de la mezcla. Los resultados y la variación porcentual del asentamiento al utilizar agua de mar como reemplazo del agua dulce se muestran en la tabla N°68.

Tabla N° 68: Resultados comparativos del ensayo de asentamiento con respecto a la mezcla de concreto patrón.

Tipo de concreto	Asentamiento	Unidad	Desarrollo porcentual	% Variación
Concreto patrón	3 1/2	Pulgadas (")	100.00%	-14.29%
Concreto con agua de mar	3	Pulgadas (")	85.71%	

De la tabla N° 67 se deriva la figura N.°44

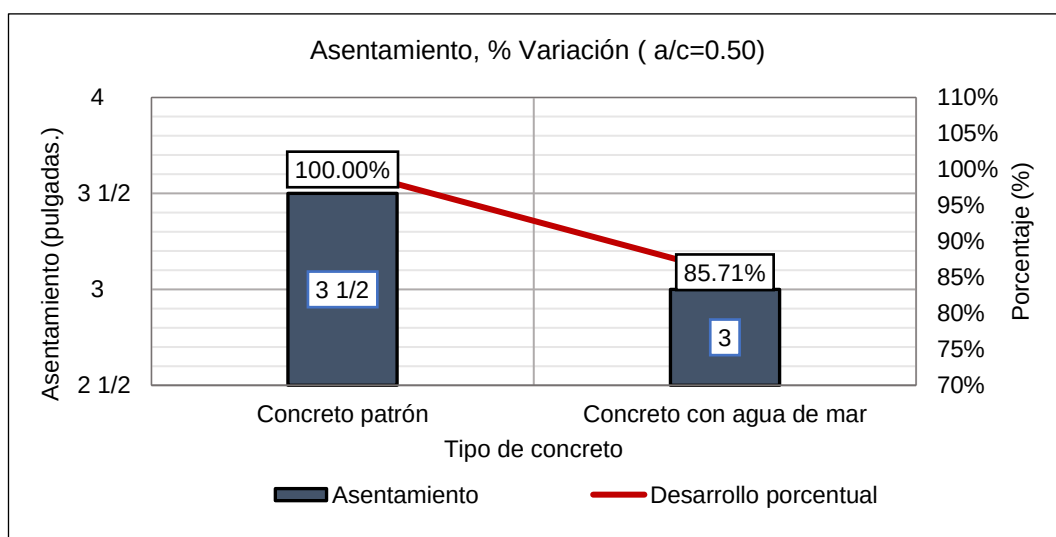


Figura N° 44: Variación del asentamiento del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

Según se observa en la figura N.°44, visualmente se puede apreciar una disminución en el asentamiento del concreto cuando se utiliza agua de mar en comparación con el concreto patrón. Se registró una variación del 14.29% en comparación con el concreto patrón, disminuyendo de 3 ½ pulgadas a 3 pulgadas.

8.2.2. Peso Unitario

Los resultados comparativos del peso unitario de las mezclas de concreto evaluadas se presentan en la Tabla N° 69. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de 2100 kg/m³ a 2500 kg/m³, lo cual indica que el concreto tiene un peso normal.

Tabla N° 69: Resultados comparativos del ensayo de peso unitario con respecto a la mezcla de concreto patrón.

Tipo de concreto	Peso Unitario	Unidad	Desarrollo porcentual	% Variación
Concreto patrón	2336	kg/m ³	100.00%	0.12%
Concreto con agua de mar	2339	kg/m ³	100.12%	

De la tabla N° 69 se deriva la figura N° 45

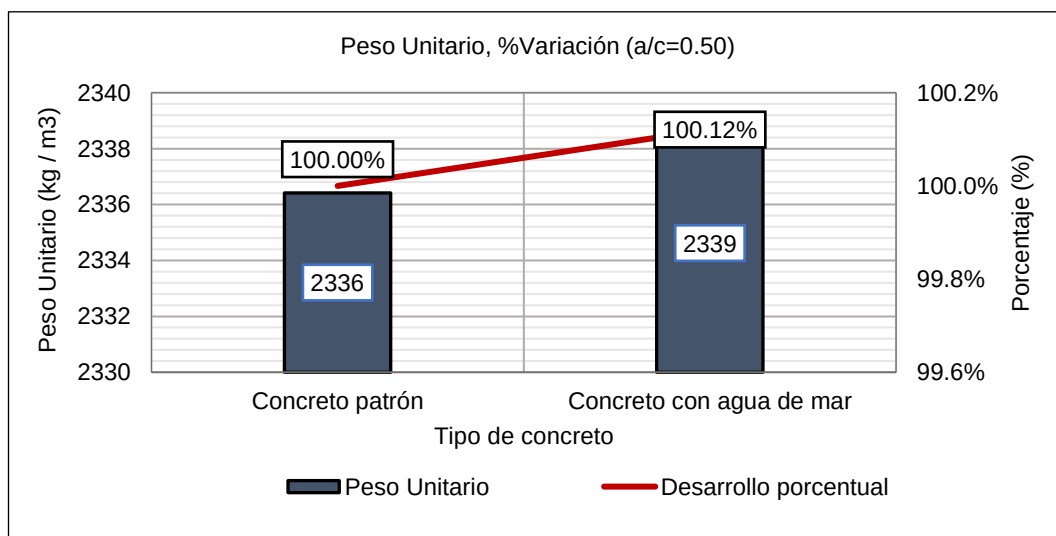


Figura N° 45: Variación del peso unitario del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

Al observar la figura N.º45, se puede notar que la variación en el peso unitario del concreto es del 0.12% en comparación con el concreto patrón. Esto indica que ambos tienen un peso unitario similar. Lo cual era de esperar, ya que el agua de mar tiene una densidad de aproximadamente 2 a 3% mayor en comparación con el agua dulce y el resto de los componentes del concreto son exactamente los mismos.

8.2.3. Contenido de aire

En la Tabla N° 70 se presentan los resultados de manera comparativa del ensayo de contenido de aire de las mezclas evaluadas.

Tabla N° 70: Resultados comparativos del ensayo de contenido de aire con respecto a la mezcla de concreto patrón.

<i>Tipo de concreto</i>	<i>Contenido de aire</i>	<i>Unidad</i>	<i>Desarrollo porcentual</i>	<i>% Variación</i>
<i>Concreto patrón</i>	0.91	%	100.00%	-1.10%
<i>Concreto con agua de mar</i>	0.90	%	98.90%	

De la tabla N° 70 se deriva la figura N.°46.

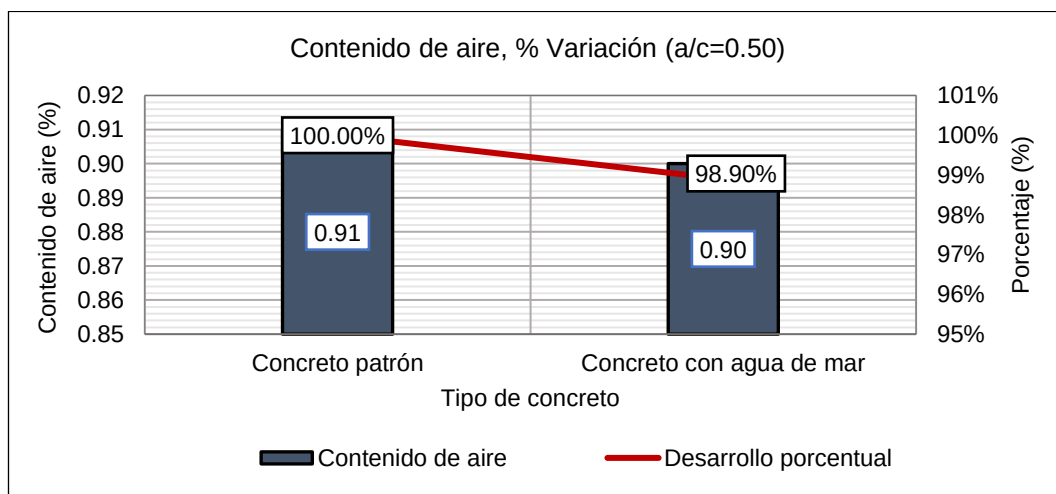


Figura N° 46: Variación del contenido de aire del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

Al analizar la figura N° 46, se puede observar que el contenido de aire en la mezcla con agua de mar es similar al del concreto patrón. La variación fue del 1% en comparación con el concreto patrón, disminuyendo de 0.91% a 0.90%.

8.2.4. Temperatura

Basándonos en las normas existentes relacionados a la tecnología del concreto, podemos indicar que la temperatura máxima permitida para el concreto en estado fresco es de 32°C o 35°C. La NTP 339.114 recomienda que la temperatura del

concreto no debe exceder de 32 °C; sin embargo, también existen consideraciones en los climas cálidos en el cual se acepta el concreto a una temperatura máxima de 35° C.

En la Tabla N° 71 se presentan los resultados de manera comparativa del ensayo de temperatura de las mezclas evaluadas.

Tabla N° 71: Resultados comparativos del ensayo de temperatura con respecto a la mezcla de concreto patrón.

Tipo de concreto	Temperatura	Unidad	Desarrollo porcentual	% Variación
Concreto patrón	20.5	°C	100.00%	2.44%
Concreto con agua de mar	21.0	°C	102.44%	

De la tabla N° 71 se deriva la figura N.º47.

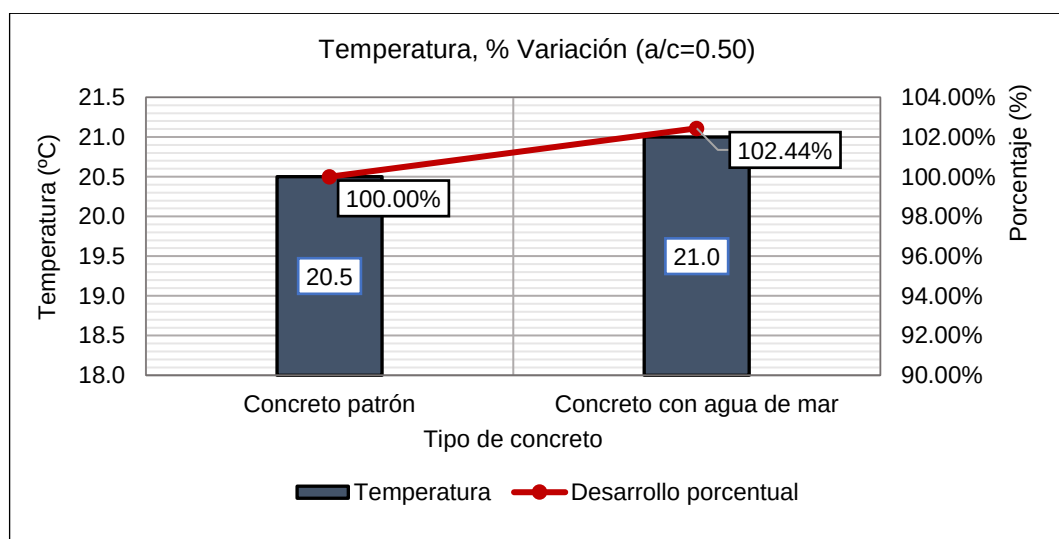


Figura N° 47: Variación de la temperatura del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

A partir de la figura N° 47 se puede apreciar un incremento en la temperatura del concreto cuando se utilizó agua de mar en comparación con el concreto patrón. La variación fue de 2.44% con respecto al concreto patrón, aumentando de 20.5 °C a 21.0 °C.

Se sabe que el incremento de la temperatura del concreto fresco puede tener un impacto negativo en el rendimiento del concreto, incluso en estado endurecido. Se

puede decir que el agua de mar y sus propiedades provocó un aumento de la temperatura del concreto, sin embargo, este incremento no es significativo ya que se encuentra entre los rangos recomendados establecidos por el ASTM C94 y el NTP 334.114, que van desde los 13 °C hasta los 32 °C.

8.2.5. Tiempo de Fragua

Se presentan los resultados comparativos del tiempo de fragua inicial y final en la Tabla N° 72 y Tabla N° 73 respectivamente.

Tabla N° 72: Resultados comparativos del ensayo de tiempo de fragua - inicial con respecto a la mezcla de concreto patrón.

<i>Tipo de diseño</i>	<i>Tiempo de fraguado inicial</i>	<i>Unidad</i>	<i>Desarrollo porcentual</i>	<i>% Variación</i>
<i>Concreto patrón</i>	350.00	min	100.00%	-37.71%
<i>Concreto con agua de mar</i>	218.00	min	62.29%	

De la tabla N° 72 se deriva la figura N.º48.

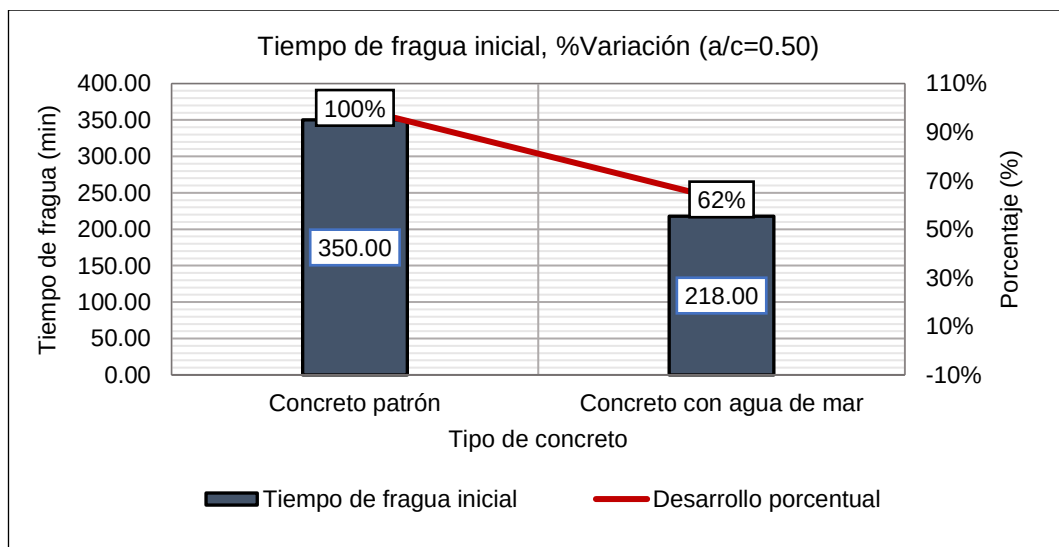


Figura N° 48: Variación del tiempo de fraguado inicial del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

En el caso del concreto patrón, el tiempo de fraguado inicial fue de 350 minutos, mientras que para el concreto con agua de mar fue de 218 minutos, lo que representa una variación del 37.71% en comparación con el concreto patrón.

Tabla N° 73: Resultados comparativos del ensayo de peso unitario con respecto a la mezcla de concreto patrón.

Tipo de diseño	Tiempo de fraguado final	Unidad	Desarrollo porcentual	% Variación
Concreto patrón	495.00	min	100.00%	-33.33%
Concreto con agua de mar	330.00	min	66.67%	

De la tabla N° 73 se deriva la figura N.º 49

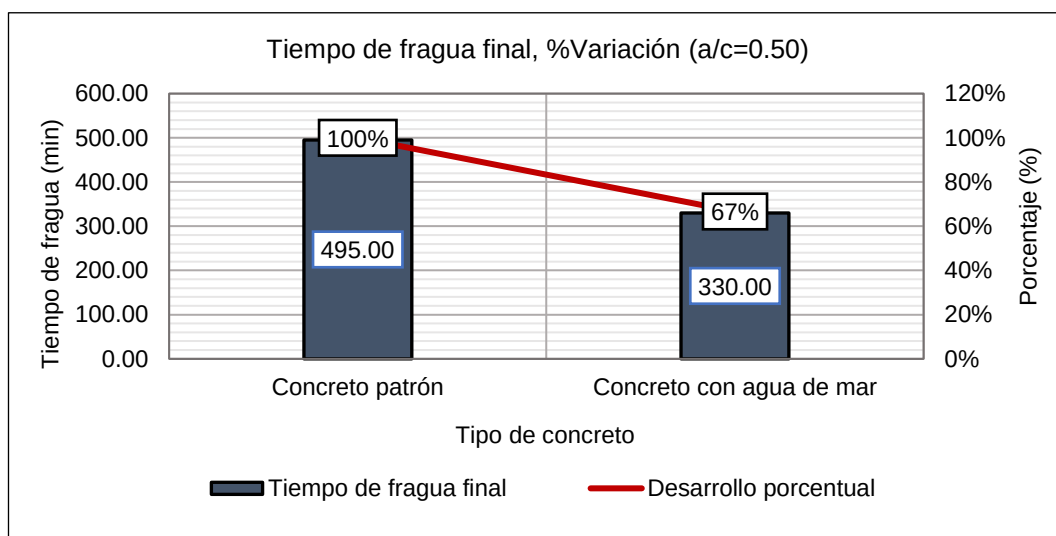


Figura N° 49: Variación del tiempo de fragua final del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón (%)

En el caso del concreto patrón, el tiempo de fraguado final fue de 495 minutos, mientras que para el concreto con agua de mar fue de 330 minutos, lo que representa una variación del 33.33% en comparación con el concreto patrón.

8.2.6. Análisis global de las propiedades del concreto fresco

Los resultados previamente analizados de forma individual para cada ensayo de las propiedades en estado fresco del concreto ahora se presentan de manera conjunta. Se pueden visualizar en la Tabla N° 74.

Tabla N° 74: Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de las propiedades en estado fresco con respecto al concreto patrón

Norma Técnica Peruana	Ensayos	Concreto Patrón		Concreto con agua de mar		Variación porcentual (%)
<i>NTP 339.184</i>	Temperatura	20.5	100%	21.0	102.44%	2.44%
<i>NTP 339.035</i>	Asentamiento	3 1/2	100%	3	85.71%	-14.29%
<i>NTP 339.080</i>	Contenido de aire	0.91%	100%	0.90%	98.90%	-1.10%
<i>NTP 339.046</i>	Peso Unitario	2336	100%	2339	100.12%	0.12%
<i>NTP 339.082</i>	Tiempo de fragua inicial	350	100%	218	62.29%	-37.71%
	Tiempo de fragua final	495	100%	330	66.67%	-33.33%

De la tabla N° 74 se deriva la figura N.°50

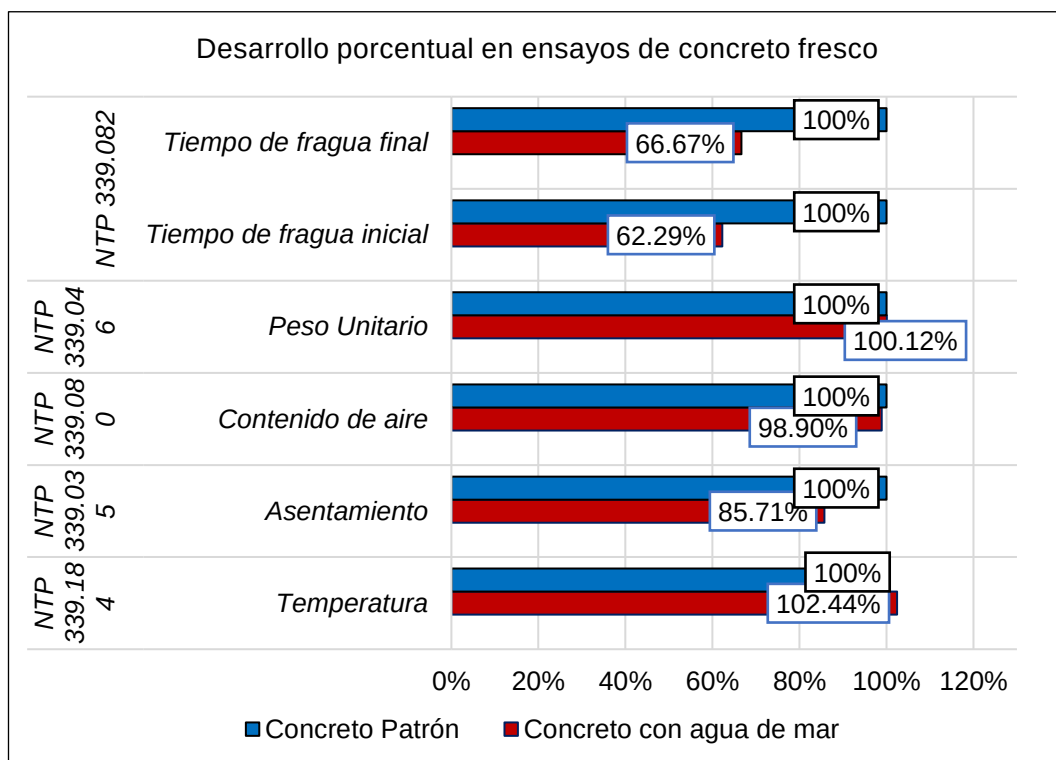


Figura N° 50: Desarrollo porcentual de los resultados de los ensayos de las propiedades en estado fresco con respecto al concreto patrón

La introducción de agua de mar en la mezcla de concreto no ha tenido un impacto significativo en la mayoría de las propiedades del concreto fresco, como se puede observar en la figura N.º50. Tanto el asentamiento, el peso unitario, la temperatura y el contenido de aire del concreto de referencia y el concreto mezclado con agua de mar son comparables. Esta tendencia ha sido corroborada por otros investigadores en estudios similares.

No obstante, se observó una disminución significativa en el tiempo de fraguado debido a la inclusión de agua de mar en la mezcla de concreto. La pasta de cemento mezclada con agua de mar mostró un fraguado más rápido, aproximadamente 130 minutos antes que la pasta de cemento con agua dulce, lo que representa una reducción del 37.71% del tiempo de fragua inicial y del 33.33% del tiempo de fragua final con, con respecto al concreto patrón.

Esto se debe a la aceleración de la hidratación del cemento por los cloruros presentes en el agua de mar. La rápida hidratación del cemento inducida por el agua de mar reduce el asentamiento, la retención del asentamiento y el tiempo de fraguado. Estos resultados coinciden con otros estudios que muestran el efecto acelerador del agua de mar en la hidratación del cemento, sabiendo que los cloruros tienen la capacidad de acelerar dicho proceso.

8.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

En este segmento se examinarán los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto patrón (Mezcla P) y mezclado con agua de mar (Mezcla M), considerando las dos condiciones descritas en el Capítulo VI.

8.3.1. Concreto patrón

En Tabla N° 75 se presenta el desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto patrón, obtenidos a los 7, 14 y 28 días de curado y a los 30, 60, 90 y 120 días de exposición al agua de mar. Como punto de control o

resistencia de referencia se consideró la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de curado.

Tabla N° 75: Resultados porcentuales comparativos de la resistencia a la compresión del concreto patrón.

Resistencia de referencia (kg/cm ²)	Condiciones de exposición	Tiempo de exposición	Resistencia promedio a la compresión	
			Concreto patrón	
			f'c (kg/cm ²)	Desarrollo porcentual (%)
307.34	Curado Húmedo	7 días	259.40	84%
		14 días	276.36	90%
		28 días	307.34	100%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	345.86	113%
		+60 días	374.80	122%
		+90 días	344.81	112%
		+120 días	354.60	115%

De la Tabla N°75 se deriva la Figura N° 51

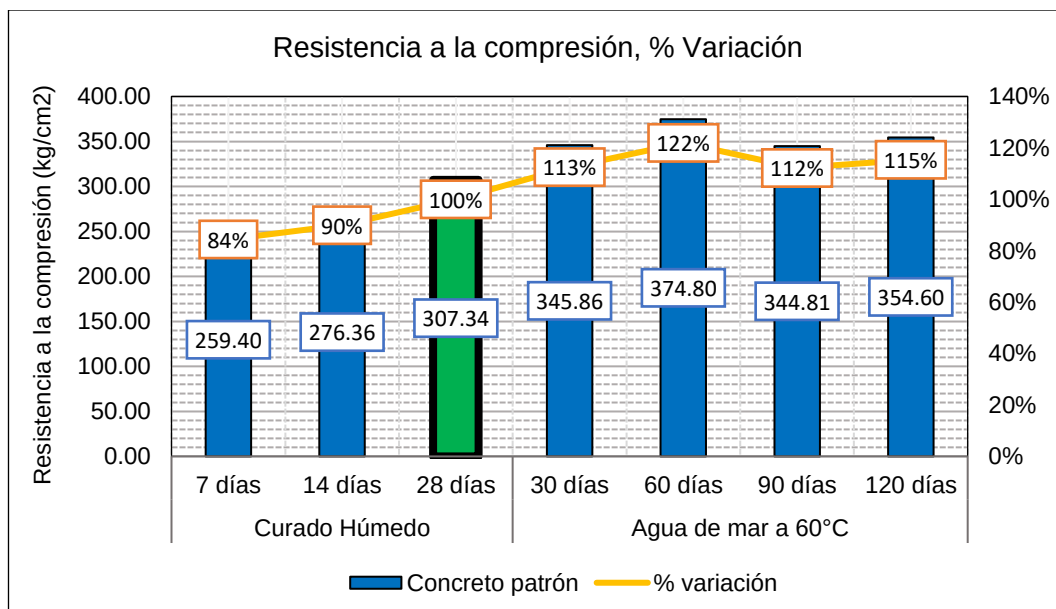


Figura N° 51: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto patrón.

De la figura N°51, se obtiene del concreto con agua potable o patrón que la resistencia a la compresión a los 7 y 14 días del periodo de curado húmedo alcanzó un 84% y 90% de la resistencia obtenida a los 28 días. Una vez culminado

el periodo de curado húmedo, se acondicionaron las probetas en agua de mar a 60°C y se obtuvo que a los 30, 60, 90 y 120 días la resistencia a la compresión alcanzó el 113%, 122%, 112% y 115% con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días de curado. El incremento más significativo, alcanzando hasta un 22% más con respecto a la resistencia de referencia, se observa a los 60 días de exposición. Posteriormente, se observa que la resistencia a la compresión parece mantenerse, sin presentar variaciones significativas. Esta tendencia sugiere que existe un punto en el tiempo en el cual la resistencia del concreto alcanza un nivel máximo aún incluso durante el periodo de acondicionamiento al agua de mar, esto puede deberse a que se sabe que aún después de los 28 días de curado, el concreto sigue ganando resistencia debido a la hidratación del cemento.

8.3.2. Concreto con agua de mar

La Tabla N° 76 muestra el progreso porcentual de la resistencia a la compresión del concreto con agua en diferentes puntos de tiempo: a los 7, 14 y 28 días de curado, así como a los 30, 60, 90 y 120 días de exposición al agua de mar. Se tomó como referencia la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de curado, la cual registró un valor de 307.34 kg/cm².

Tabla N° 76: Resultados porcentuales comparativos de la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar

Resistencia de referencia (kg/cm²)	Condiciones de exposición	Tiempo de exposición	Resistencia promedio a la compresión	
			Concreto con agua de mar	
			f'c (kg/cm²)	Desarrollo porcentual (%)
307.34	Curado Húmedo	7 días	284.51	92.57%
		14 días	325.03	105.76%
		28 días	337.79	109.91%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	434.35	141.32%
		+60 días	443.85	144.42%
		+90 días	403.52	131.30%
		+120 días	407.16	132.48%

De la Tabla N°76 se deriva la Figura N° 52

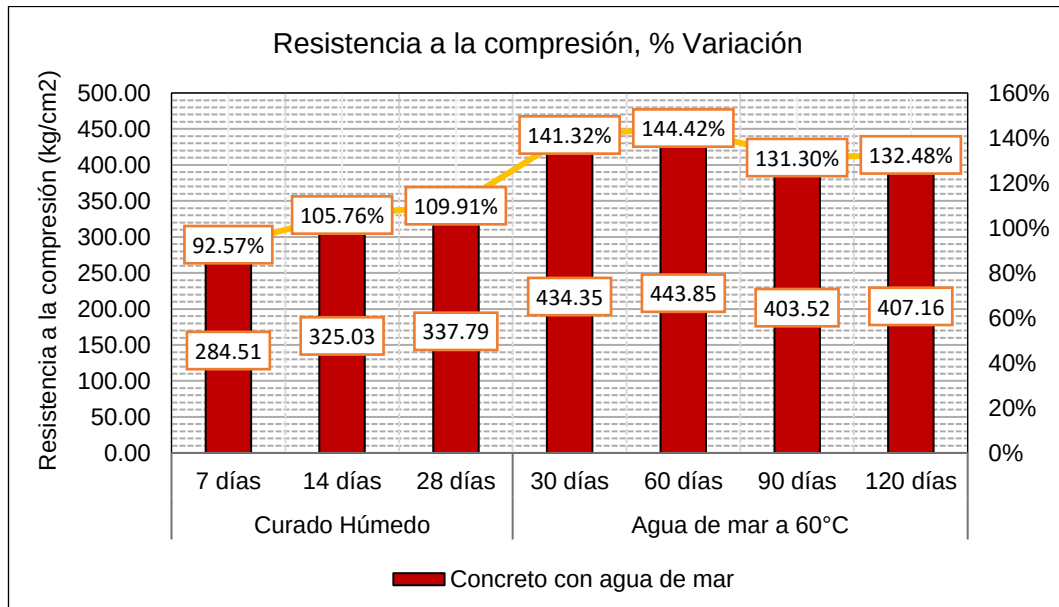


Figura N° 52: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar

De acuerdo con los resultados presentados, se puede observar que el concreto con agua de mar expuesto al acondicionamiento del agua de mar a 60°C muestra un incremento en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón. A los 7, 14 y 28 días de curado húmedo, se registraron valores de resistencia del 92.57%, 105.76% y 109.91% respectivamente, en relación con la resistencia de referencia del concreto patrón. Después del curado húmedo, las muestras fueron expuestas a condiciones de inmersión en agua de mar a 60°C durante 30, 60, 90 y 120 días. Durante este período, se observó un incremento adicional en la resistencia a la compresión del concreto, registrando valores del 141.32%, 144.42%, 131.30% y 132.48% en comparación con la resistencia obtenida a los 28 días de curado del concreto de referencia. El mayor incremento, alcanzando hasta un 44.42% en relación con la resistencia de referencia, se registró a los 60 días de exposición. Estos resultados demuestran que el acondicionamiento en agua de mar no ha tenido un efecto negativo en las propiedades de resistencia a la compresión del concreto con agua de mar.

8.3.3. Análisis global de la resistencia a la compresión

En la tabla N° 77 se detalla el desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión del concreto patrón y del concreto con agua de mar, esta información

se obtiene tomando como referencia a la resistencia alcanzada del concreto patrón en cada periodo evaluado.

Tabla N° 77: Desarrollo porcentual de la resistencia a la compresión

Condiciones de exposición	Tiempo de exposición	Resistencia promedio a la compresión			
		Concreto patrón		Concreto con agua de mar	
		f'c (kg/cm²)	(%)	f'c (kg/cm²)	(%)
<i>Curado Húmedo</i>	7 días	259.40	100%	284.51	109.68%
	14 días	276.36	100%	325.03	117.61%
	28 días	307.34	100%	337.79	109.91%
<i>Agua de mar a 60°C</i>	+30 días	345.86	100%	434.35	125.59%
	+60 días	374.80	100%	443.85	118.42%
	+90 días	344.81	100%	403.52	117.03%
	+ 120 días	354.60	100%	407.16	114.82%

Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar fue consistentemente mayor que la del concreto patrón. Específicamente, a los 7, 14 y 28 días, la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar fue mayor en un 9.68%, 17.61% y 9.91% respectivamente, en comparación con el concreto patrón.

Al analizar el comportamiento de ambos tipos de concreto durante un período de exposición al agua de mar a una temperatura de 60°C. Los resultados revelaron que el concreto expuesto al agua de mar mantuvo una mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón en todos los períodos de tiempo evaluados. Específicamente, a los 30, 60, 90 y 120 días de exposición, la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar superó la del concreto patrón en un 25.59%, 18.42%, 17.03% y 14.82%, respectivamente.

En la figura N°53, se han superpuesto y extendido las curvas correspondientes a las condiciones 1 y 2 para facilitar la visualización de la evolución de la resistencia a la compresión durante la etapa de curado y el acondicionamiento acelerado.

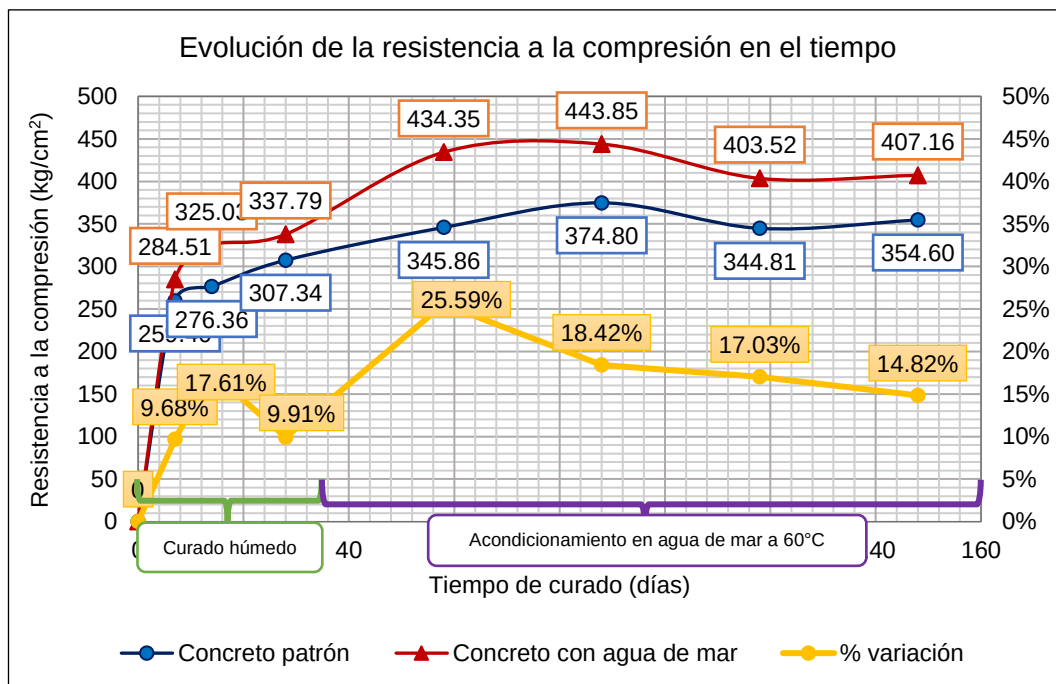


Figura N° 53: Curva de la resistencia a la compresión vs tiempo en las condiciones de curado húmedo y acondicionamiento acelerado

Se puede observar que tanto el concreto patrón como el concreto con agua de mar muestran una tendencia creciente en su resistencia a la compresión hasta los 60 días de exposición al agua de mar, lo que corresponde a una edad de 88 días desde el inicio del fraguado. Esta tendencia es esperada, ya que después de los 28 días de curado, que es el período establecido para evaluar la resistencia a la compresión, el concreto continúa ganando resistencia a medida que su proceso de hidratación se completa. Es probable que, durante los 60 días de exposición al acondicionamiento acelerado sumergido en agua de mar a 60 °C, las muestras aún estén experimentando su proceso de hidratación. A partir de los 90 días de exposición, se comienza a observar una disminución en la resistencia debido a los efectos del agua de mar.

8.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A LA FLEXIÓN

En esta sección, se llevará a cabo un análisis de los resultados del comportamiento a flexión de las vigas de control (sin acondicionamiento) y las vigas expuestas (acondicionadas durante 120 días). Se examinará la relación fuerza-deflexión y se realizará una comparación entre los resultados experimentales obtenidos de ambos tipos de vigas. Esto nos permitirá evaluar

cómo el acondicionamiento afecta la respuesta de las vigas y determinar posibles cambios en su comportamiento a lo largo del periodo de exposición.

8.4.1. Vigas reforzadas con acero

Estas vigas fueron reforzadas con acero y elaboradas utilizando tanto agua potable como agua de mar, y se registraron los resultados tanto durante el curado húmedo como durante el acondicionamiento en agua de mar a 60°C.

8.4.1.1. Curva Carga - Deflexión

Las gráficas de la respuesta experimental carga-deflexión obtenida de los ensayos de flexión a los tercios para las vigas reforzadas con acero a los 28 días de curado húmedo se presentaron en las figuras N.º33 y N.º34. Estas vigas están identificadas como S-P-CH28 y S-M-CH28, que fueron elaboradas con la mezcla P (Agua potable) y la mezcla M (Agua de mar), respectivamente. Debido a que las vigas dentro de cada grupo mostraron un comportamiento similar, se mostrará una única curva carga-deflexión representativa para cada tipo de viga reforzada con acero (Figura N.º54).

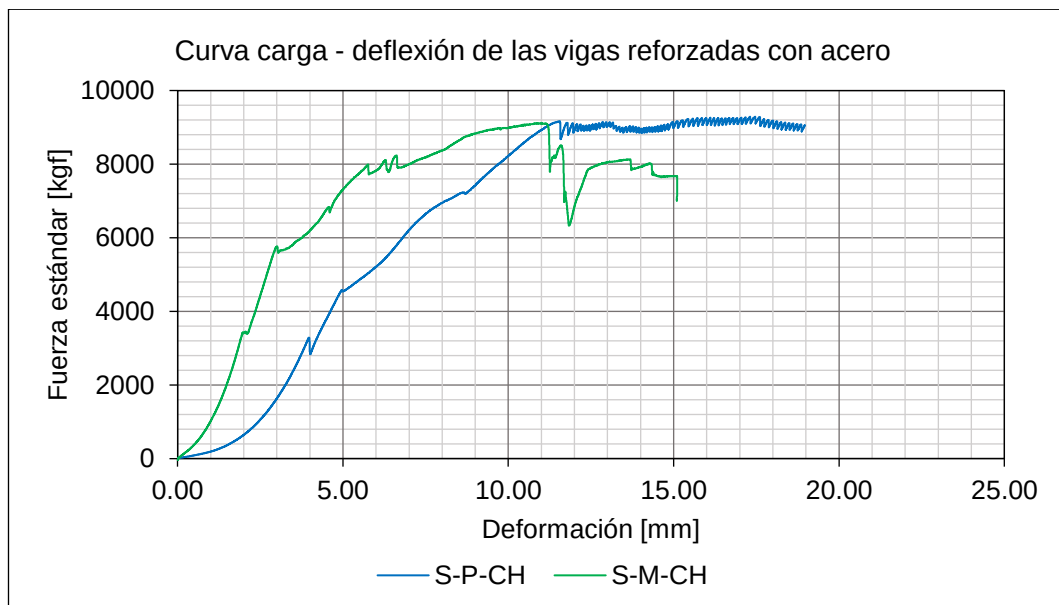


Figura N° 54: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con acero.

8.4.1.2. Carga de primera fisuración

Con el fin de realizar una comparación, utilizaremos la carga de primera fisuración de la viga S-P-CH28 como carga de referencia. Esta carga de primera fisuración de referencia nos servirá como base para evaluar y analizar las variaciones en las cargas de primera fisuración de flexión en las otras vigas en diferentes períodos de exposición, en la Tabla N°78 se presenta los resultados de la viga S-P

Tabla N° 78: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto patrón reforzado con acero (S-P)

Carga de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga de primera fisuración (Kgf)	
			S-P	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
3983.33	Curado Húmedo	28 días	3983.33	100.00%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	4350.00	109.21%
		+60 días	4570.00	114.73%
		+90 días	4533.33	113.81%
		+120 días	4533.33	113.81%

En el caso de las vigas del tipo S-P, durante el periodo de acondicionamiento en agua de mar a 60°C, se observa lo siguiente: a los 30 días, la carga de primera fisuración aumentó a un 109.21% en comparación con la carga de referencia; a los 60 días, el aumento fue a un 114.73%; a los 90 días, se registró un incremento al 113.81%; y finalmente, a los 120 días de exposición, la carga de primera fisuración se mantuvo estable con respecto al valor anterior.

Tabla N° 79: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con acero (S-M)

Carga de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga de primera fisuración (Kgf)	
			S-M	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
3983.33	Curado Húmedo	28 días	3443.33	86.44%
		+30 días	3821.67	95.94%

	Agua de mar a 60°C	+60 días	4151.67	104.23%
		+90 días	4160.00	104.44%
		+120 días	4300.00	107.95%

En el caso de las vigas del tipo S-M (Tabla N°79), se observa que la carga de primera fisuración a los 28 días de curado húmedo fue de 3443.33 kgf, lo que representa el 86.44% de la carga de referencia obtenida de la viga del tipo S-P.

Durante el periodo de acondicionamiento en agua de mar a 60°C, se pueden destacar lo siguiente: a los 30 días, se registró un incremento en la carga de primera fisuración, alcanzando un 95.94% en comparación con la carga de referencia; a los 60 días, se observó un aumento al 104.23%; a los 90 días, se registró un incremento hasta un 104.44%; y finalmente, a los 120 días de exposición, la carga de primera fisuración experimentó un aumento al 107.95%.

8.4.1.3. Carga máxima

Para fines de comparación, utilizaremos como punto de control o de referencia a la carga máxima a flexión obtenida en la viga de tipo S-P a los 28 días de curado húmedo, el cual fue de 9407.43 kgf

Tabla N° 80: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con acero (S-P)

Carga máxima de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga máxima	
			S-P	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
9407.43	Curado Húmedo	28 días	9407.43	100.00%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	9373.33	99.64%
		+60 días	9356.67	99.46%
		+90 días	9340.00	99.28%
		+120 días	9301.67	98.88%

En el caso de las vigas del tipo S-P (Tabla N° 80), durante el periodo de acondicionamiento en agua de mar a 60°C, se observa lo siguiente: a los 30 días,

la carga máxima disminuyó a un 99.64% en comparación con la carga de referencia; a los 60 días, fue del 99.46%; a los 90 días, se registró un 99.28%; y finalmente, a los 120 días de exposición, la carga máxima disminuyó hasta el 98.88% con respecto al punto de referencia.

Tabla N° 81: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con acero (S-M)

Carga máxima de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga máxima (Kgf)	
			S-M	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
9407.43	Curado Húmedo	28 días	9401.23	99.93%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	9373.33	99.64%
		+60 días	9346.67	99.35%
		+90 días	9330.00	99.18%
		+120 días	9300.00	98.86%

Para las vigas del tipo S-M (Tabla N° 81), se observa que la carga máxima a los 28 días de curado húmedo fue de 9401.23 kgf, lo que representa el 99.93 % de la carga máxima obtenida como punto de referencia en la viga del tipo S-P.

Durante el periodo de acondicionamiento en agua de mar a 60°C, se pueden destacar lo siguiente: a los 30 días, se registró una disminución en la carga máxima, siendo un 99.64% en comparación con la carga de referencia; a los 60 días, se observó una reducción a un 99.35%; a los 90 días, se registró nuevamente un descenso a un 99.18%; y finalmente, a los 120 días de exposición, la carga máxima experimentó una disminución al 98.86%.

8.4.2. Vigas reforzadas con PRFV

Estas vigas, reforzadas con PRFV, fueron fabricadas utilizando tanto agua potable como agua de mar. Los resultados se registraron tanto durante el curado húmedo como durante el acondicionamiento en agua de mar a 60°C.

8.4.2.1. Curva Carga - Deflexión

A continuación, se presentan las gráficas de la respuesta experimental carga-deflexión obtenida de los ensayos de flexión a los dos tercios para las vigas reforzadas con PRFV a los 28 días de curado húmedo. Estas vigas están identificadas como G60-P y G60-M. Debido a que las vigas dentro de cada grupo mostraron un comportamiento similar, se mostrará una única curva carga-deflexión representativa para cada tipo de viga.

La figura N°55 muestra la carga obtenida durante el experimento en función de la deflexión, en ella se puede observar las caídas en la carga resistente, esto se puede explicar como la pérdida de adherencia entre la varilla de PRFV y el concreto. Es importante destacar que, a pesar del deslizamiento de la varilla, no se produce un colapso inmediato. Por el contrario, se observa una redistribución de los esfuerzos, lo que permite que el elemento siga incrementando su resistencia.

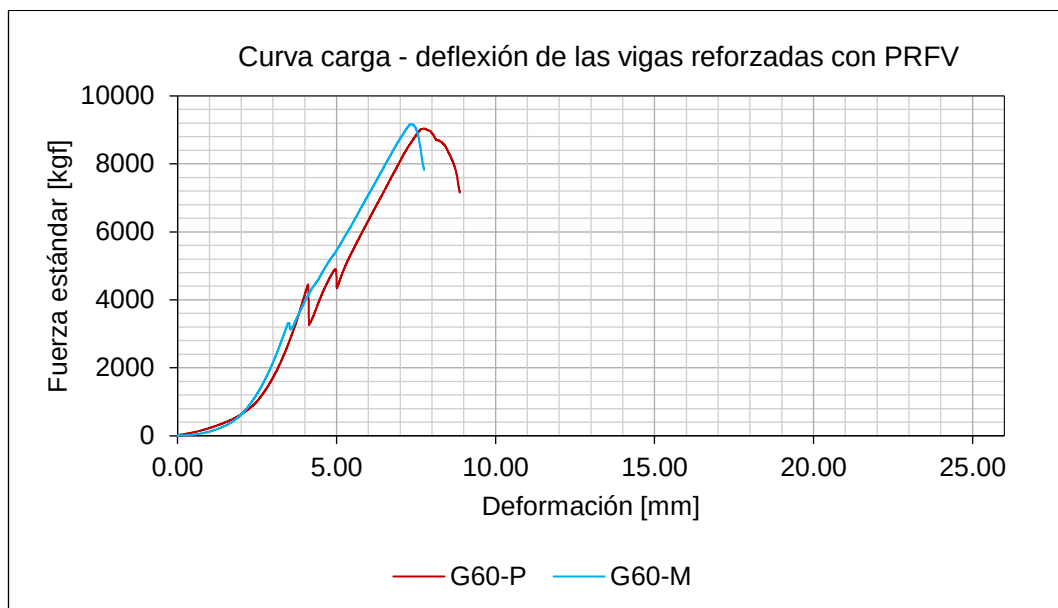


Figura N° 55: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con PRFV.

En la figura N°56, se puede distinguir dos fases en la respuesta carga-deflexión antes de la falla final: la etapa previa a la fisuración y la etapa posterior a la fisuración. Durante la primera etapa, la relación carga-deflexión mostró un

comportamiento lineal hasta que se alcanzó la carga de fisuración. Una vez superada esta carga, la relación carga-deflexión continuó siendo lineal, aunque ligeramente menos pronunciada debido a la presencia de grietas generadas durante el ensayo. Finalmente, las vigas experimentaron una falla repentina sin señales previas, tal y como se había anticipado debido a la falta de ductilidad.

8.4.2.2. Carga de primera fisuración

Para fines de comparación se tomará como punto de control o de referencia a la carga de primera fisuración de la viga de tipo S-AP obtenida a los 28 días de curado húmedo. Esta carga de primera fisuración de referencia nos servirá como base para evaluar y analizar las variaciones en las cargas de primera fisuración de flexión de las otras vigas en diferentes períodos de exposición.

Tabla N° 82: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con PRFV (G60-P)

Carga de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga de primera fisuración	
			G60-P	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
3983.33	Curado Húmedo	28 días	3225.00	80.96%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	3320.00	83.35%
		+60 días	3373.33	84.69%
		+90 días	3550.00	89.12%
		+120 días	3873.33	97.24%

De la tabla N° 82, las vigas G60-P, reforzadas con PRFV y elaboradas con agua potable, muestran un aumento constante en la carga de primera fisuración durante el periodo de exposición al acondicionamiento acelerado en agua de mar a 60°C. Desde una carga inicial de 3225 kgf (80.96% de la carga de referencia) tras 28 días de curado húmedo, esta carga aumenta hasta el 83.35% de la carga de referencia a los 30 días de exposición, y sigue aumentando hasta el 84.69% a los 60 días, el 89.12% a los 90 días, y finalmente el 97.24% a los 120 días. Esto sugiere que la inclusión de agua potable en la mezcla de concreto de las vigas

G60-P no afecta negativamente su resistencia a la fisuración bajo condiciones de exposición al agua de mar.

Tabla N° 83: Desarrollo porcentual de la carga de primera fisuración de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con PRFV (G60-M)

Punto de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga de primera fisuración	
			G60-M	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
3983.33	Curado Húmedo	28 días	3180.00	79.83%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	3341.67	83.89%
		+60 días	3578.33	89.83%
		+90 días	3600.00	90.38%
		+120 días	3686.67	92.55%

En el caso de las vigas del tipo G60-M (Tabla N° 83), se observa que la carga de primera fisuración a los 28 días de curado húmedo fue de 3180.00 kgf, lo que equivale al 79.83% de la carga de referencia obtenida en la viga del tipo S-P.

Durante el periodo de acondicionamiento en agua de mar a 60°C, se destacan los siguientes datos: a los 30 días, se produjo un incremento en la carga de primera fisuración, alcanzando el 83.89% en comparación con la carga de referencia; a los 60 días, se observó un aumento al 83.83%; a los 90 días, se registró un incremento hasta el 90.38%; y finalmente, a los 120 días de exposición, la carga de primera fisuración experimentó un aumento al 92.55%. Estos resultados indican que el uso de agua de mar en la mezcla de concreto de las vigas G60-M tampoco afecta adversamente su resistencia a la fisuración en condiciones de exposición al agua de mar.

8.4.2.3. Carga máxima

Tal como en la sección de las varillas de acero, utilizaremos como punto de control o de referencia la carga máxima a flexión obtenida en la viga de tipo S-P a los 28 días de curado húmedo, el cual fue de 9407.43 kgf.

Tabla N° 84: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto patrón reforzado con PRFV (G60-P)

Carga máxima de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga máxima (Kgf)	
			G60-P	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
9407.43	Curado Húmedo	28 días	9224.07	98.05%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	9235.00	98.17%
		+60 días	9285.00	98.70%
		+90 días	9323.33	99.11%
		+120 días	9330.00	99.18%

En la Tabla N° 84 se observa que, a los 28 días de curado húmedo, las vigas de tipo G60-P alcanzan el 98.05% de la carga máxima de control, lo cual indica una ligera reducción en comparación con las vigas de tipo S-AP. A partir de este punto, se inicia el acondicionamiento acelerado y se observa que a los 30 días de exposición las vigas de tipo G60-P tienen una capacidad máxima de carga del 98.17%. A medida que avanza el período de exposición, a los 60, 90 y 120 días, se observa una tendencia continua de incremento en la capacidad de carga máxima, aunque de forma ligeramente gradual, el incremento fue a un 98.70%, 99.11% y 99.18%, respectivamente.

Tabla N° 85: Desarrollo porcentual de la carga máxima de las vigas de concreto con agua de mar reforzado con PRFV (G60-M)

Carga máxima de referencia (kgf)	Condiciones de exposición	Periodo de exposición (días)	Carga máxima	
			G60-M	
			Kgf	Desarrollo porcentual (%)
9407.43	Curado Húmedo	28 días	9208.87	97.89%
	Agua de mar a 60°C	+30 días	9220.00	98.01%
		+60 días	9220.00	98.01%
		+90 días	9216.67	97.97%
		+120 días	9283.33	98.68%

En la tabla N° 85 se muestra que, al cabo de 28 días de curado húmedo, las vigas de tipo G60-M alcanzan el 97.89% de la carga máxima de las vigas de control, lo que representa una ligera reducción en comparación con las vigas de tipo S-AP. A partir de ese punto, a los 30 días de exposición, las vigas G60-M tienen una capacidad máxima de carga del 98.01%. A los 60, 90 y 120 días, la carga máxima alcanza el 98.01%, 97.97% y 98.68% respectivamente, manteniendo la tendencia positiva.

8.4.3. Análisis global del comportamiento a flexión

Se realizar una comparación global de los resultados de resistencia a la flexión obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión de las vigas reforzadas con acero y PRFV.

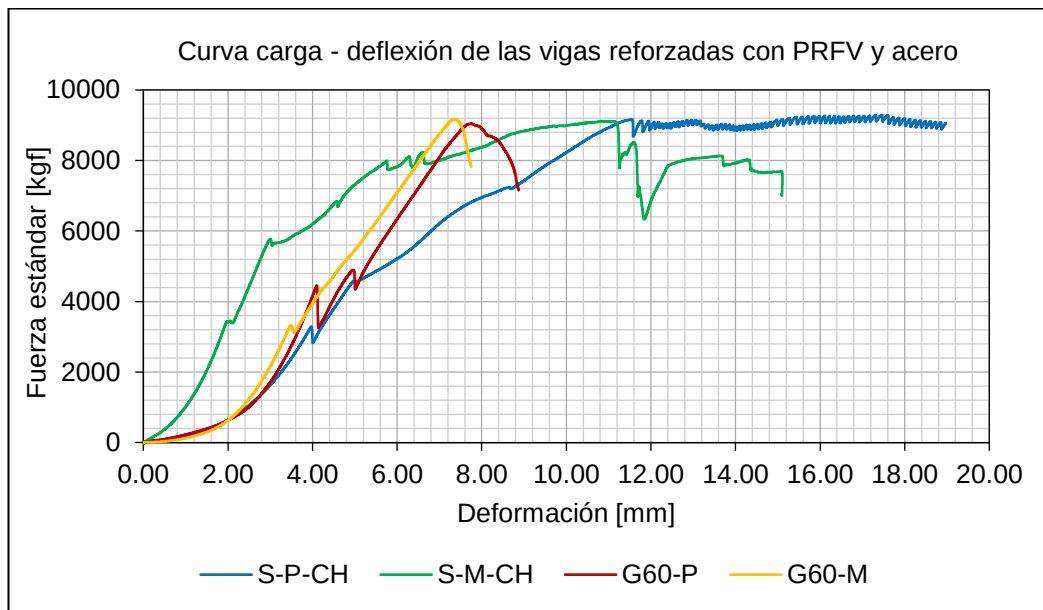


Figura N° 56: Curva experimental carga- deflexión de las muestras representativas reforzadas con PRFV y acero.

En la Figura N° 56 se muestra una comparación de las curvas de carga-deflexión, donde se observa que las vigas con refuerzo de acero (S-P-CH y S-M-CH) presentan carga de agrietamiento, carga de fluencia y carga última, estos últimos indican su capacidad de ductilidad de la viga. Sin embargo, las vigas reforzadas con PRFV (G60-P y G60-M) solo presenta la carga de agrietamiento y carga última, por lo que no presenta fluencia, no tiene ductilidad.

Estos resultados exhiben las diferencias en el comportamiento mecánico entre las vigas reforzadas con acero y las reforzadas con PRFV. Mientras que el acero brinda la capacidad de deformarse y absorber energía antes de la falla, el PRFV presenta un comportamiento más rígido y menos dúctil, ya que no presenta fluencia en su curva de carga-deflexión.

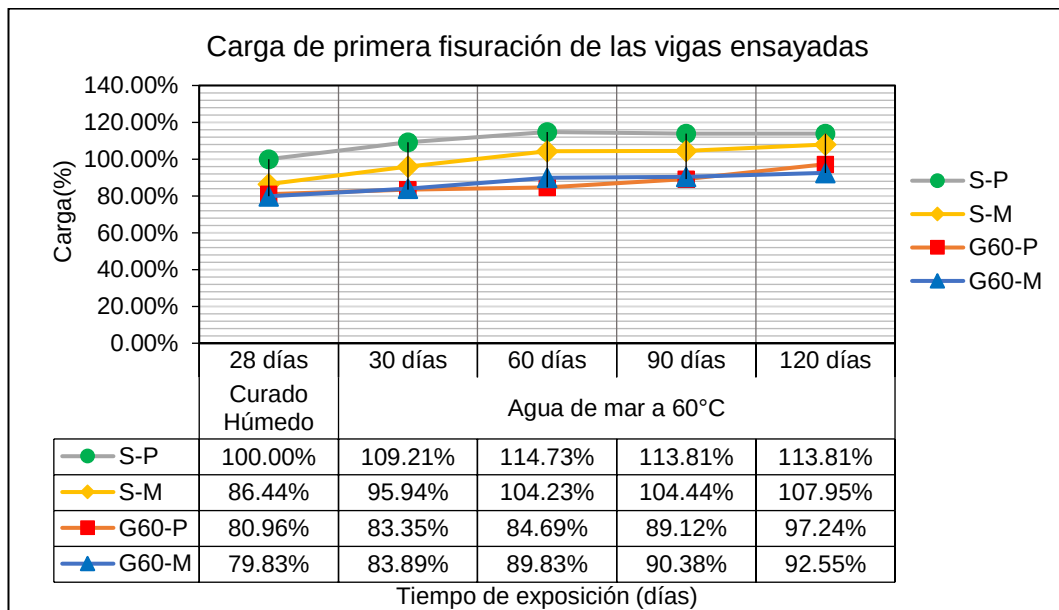


Figura N° 57: Carga de primera fisuración de las vigas S-P, S-M, G60-P y G60-M

En la Figura N° 57, se ilustra que a la viga patrón del tipo S-P se le asigna un valor de referencia de 100% para la carga de primera fisuración. Esta referencia se utiliza posteriormente para realizar comparaciones con las cargas de otras vigas.

Las vigas de tipo S-M, elaboradas con acero y agua de mar, muestran una carga de primera fisuración del 86.44%. Este decremento puede estar atribuido a la acción o presencia de sales marinas en la mezcla. Las vigas reforzadas con PRFV también muestran una disminución; específicamente, la viga G60-P con 80.96% y la G60-M con 79.83%. Este resultado sugiere una influencia considerable del agua de mar en las propiedades de fisuración de las vigas.

Se entiende que la carga de primera fisuración está correlacionada con la resistencia a la compresión del concreto. Durante el periodo de exposición al agua de mar de 120 días, se evidencia un aumento de la carga de primera fisuración en las vigas reforzadas con acero S-P, alcanzando hasta el 113.81%. Sin embargo,

el incremento en la viga de tipo S-M es menor, llegando solo hasta el 107.95%. Este resultado menor puede atribuirse a la influencia del agua de mar.

Por otro lado, las vigas de tipo G60-P aumentaron su carga de primera fisuración hasta un 97.24% al término del periodo de exposición de 120 días. En la viga del mismo tipo, pero fabricada con agua de mar, G60-M, se registró un aumento hasta el 92.55% al final del mismo periodo. Esto muestra que la brecha entre la carga de la viga patrón y las vigas reforzadas con PRFV se reduce, aproximándose cada vez más entre sí.

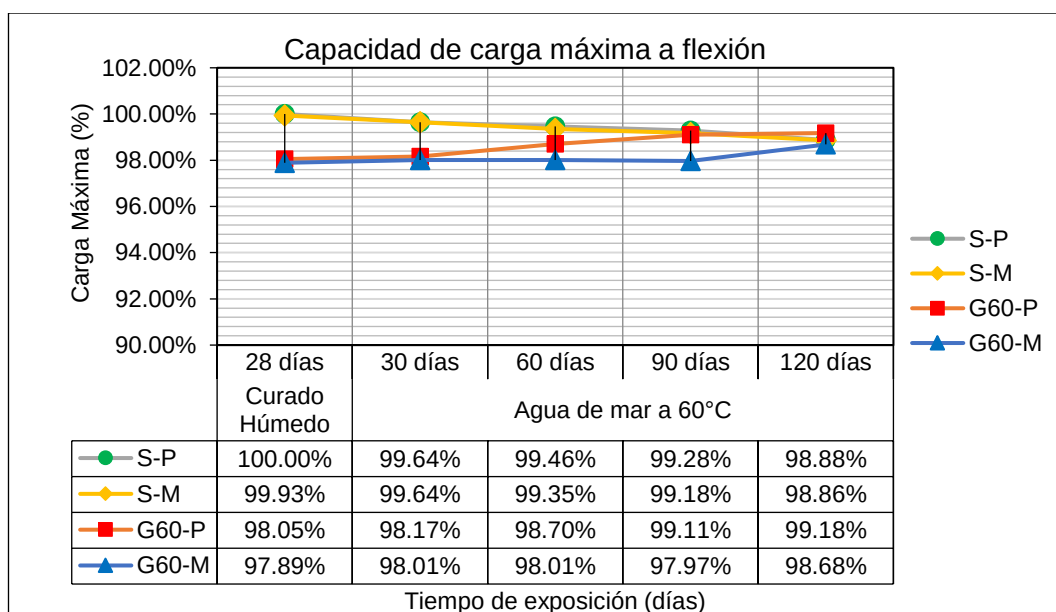


Figura N° 58: Carga máxima de las vigas S-P, S-M, G60-P y G60-M

La Figura N° 58 proporciona una comparación de la capacidad de carga máxima entre las vigas reforzadas con acero y PRFV. Estableciendo el 100% para la viga patrón S-P tras 28 días de curado húmedo, podemos evaluar el desarrollo porcentual de las demás vigas.

Al cabo de 28 días, la viga de tipo S-M alcanza el 99.93% de la capacidad de carga máxima, un valor ligeramente inferior al de la viga S-P. Este decremento puede ser atribuido a la presencia de agua de mar en la mezcla. En cuanto a las vigas reforzadas con PRFV, la de tipo G60-P logra hasta el 98.05% de la carga máxima, y la viga de tipo G60-M alcanza el 97.89% respecto a la viga patrón.

A primera vista, antes del proceso de exposición, se puede observar que la capacidad de carga máxima de las vigas reforzadas con PRFV es competitiva en comparación con las vigas reforzadas con acero. Este análisis preliminar indica que el uso de PRFV en la fabricación de vigas puede ser una alternativa viable a las tradicionales de acero, incluso en presencia de agua de mar en la mezcla.

Durante el periodo de exposición, la viga patrón S-P experimenta una disminución progresiva en su carga máxima, que llega hasta el 98.88% de su valor original. En el caso de la viga S-M, este decremento es ligeramente mayor, alcanzando hasta el 98.86%. Esto sugiere que el agua de mar, tanto en la mezcla como en el entorno, puede limitar el desarrollo de la capacidad de carga máxima.

En contraste, las vigas reforzadas con PRFV experimentan variaciones diferentes. La viga de tipo G60-P muestra un leve incremento en su capacidad de carga, alcanzando hasta el 99.18%. La viga de tipo G60-M, a pesar de presentar una disminución, mantiene un porcentaje alto de su capacidad de carga, llegando hasta el 98.68%.

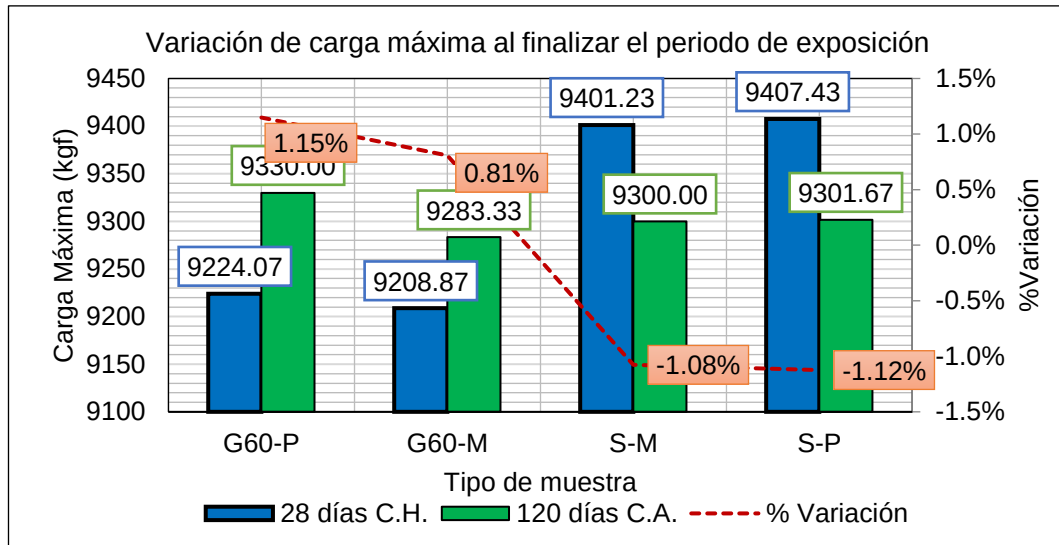
Estos resultados indican que, si bien el uso de agua de mar puede limitar el desarrollo de la capacidad de carga máxima, la resistencia de las vigas reforzadas con PRFV sigue siendo competitiva en comparación con la viga patrón de concreto.

Se recopilan los resultados de carga máxima tanto a los 28 días de curado húmedo como a los 120 días de exposición al acondicionamiento acelerado. Estos datos se utilizan para elaborar la Tabla N° 86, con el objetivo de calcular y obtener la variación existente de cada tipo de muestra al finalizar el período de acondicionamiento.

Tabla N° 86: Variación de la carga máxima a flexión al iniciar y finalizar el periodo de exposición.

Condición	G60-P	G60-M	S-M	S-P
28 días C.H.	9224.07	9208.87	9401.23	9407.43
120 días C.A.	9330.00	9283.33	9300.00	9301.67
% Variación	1.15%	0.81%	-1.08%	-1.12%

*C.H: Curado húmedo. *C.A.: Exposición al agua de mar.



*C.H: Curado húmedo. *C.A.: Exposición al agua de mar.

Figura N° 59: Histograma y variación porcentual de la carga máxima de las vigas G60-P, G60-M, S-M y S-P

Analizando la Figura N°59, en todos los casos de las vigas reforzadas con acero, se observaron reducciones en la capacidad de carga máxima. Para las vigas de tipo S-P y S-M la reducción de su carga máxima fue de 1.08% y 1.12%, respectivamente.

De los distintos tipos de vigas evaluadas, se observa que las vigas del tipo G60-P y G60-M, que cuentan con refuerzo de PRFV, no fueron afectadas negativamente por el acondicionamiento acelerado. De hecho, se observó un aumento en la carga máxima a la flexión durante el periodo de exposición acelerada hasta de un 1.15% en la muestra de G60-P y de 0.81% de la muestra G60-AM. El uso de refuerzo de PRFV en lugar de refuerzo de acero en elementos de flexión puede ser beneficioso. Según los resultados obtenidos, se observa que la tasa de degradación de la resistencia a la flexión es mayor en las vigas reforzadas con acero en comparación con las vigas reforzadas con PRFV.

CONCLUSIONES

El objetivo de esta tesis fue evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto, con relación a/c de 0.50 y utilizando cemento Portland Tipo GU, al utilizar agua de mar en lugar de agua potable para su elaboración, considerando tanto el concreto reforzado con acero convencional como el Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de Grado 60, y expuesto posteriormente al agua de mar. Los resultados obtenidos demuestran que la sustitución del agua potable por agua de mar no impacta significativamente la mayoría de las propiedades del concreto fresco y endurecido, incluso en el caso del concreto reforzado con PRFV cuando se enfrenta a la exposición por agua de mar, como se detalla a continuación:

De acuerdo con el objetivo específico 1, el impacto de la exposición del agua de mar en las propiedades mecánicas de las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de Grado 60 resulta significativamente inferior comparado con las varillas de acero. Los datos obtenidos de esta investigación evidencian que el PRFV Grado 60 sostiene su capacidad para resistir fuerzas de tracción, incluso tras un periodo de exposición al agua de mar.

En comparación con el acero, el Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de Grado 60 mostró una resistencia a la tracción considerablemente mayor en condiciones normales, con un aumento de hasta un 201.84%. A diferencia del acero, el PRFV no muestra un período plástico antes de la ruptura.

Tras 120 días de exposición al agua de mar, el acero mostró una disminución en su resistencia a la tracción menor a 1%, lo cual se calificaría como insignificante; sin embargo, aunque esta reducción es mínima en comparación con la resistencia inicial del material, no se debe pasar por alto la propiedad inherente del acero a corroerse. Por consiguiente, si el acero se somete a un periodo más largo de exposición corrosiva, se podría observar una reducción más sustancial en su resistencia a la tracción.

Después de someter las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de Grado 60 a 120 días de exposición a condiciones de corrosión por el agua de mar, se observó una disminución menor al 1%, lo cual se puede calificar

como insignificante y esta disminución puede estar relacionada con la característica de absorción de la resina que compone las varillas de PRFV, en lugar de ser causada por corrosión.

Se evaluó la resistencia a la tracción del Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) Grado 60 en comparación con el acero a los 30, 60, 90 y 120 días de exposición, se observaron porcentajes de resistencia a la tracción del PRFV que equivalen a un 201.84% en comparación con el valor de resistencia a la tracción del acero.

De acuerdo con el desarrollo del objetivo específico 2, el agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración de concreto, con relación a/c de 0.50 y utilizando cemento Portland Tipo GU, presenta un impacto en las propiedades físicas en estado fresco y en las propiedades mecánicas en estado endurecido.

El uso del agua de mar en reemplazo del agua potable en la mezcla de concreto, con relación a/c de 0.50 y utilizando cemento Portland Tipo GU, no afecta en gran medida las propiedades del concreto fresco, como el asentamiento, el peso unitario, la temperatura y el contenido de aire en comparación con el concreto patrón. Sin embargo, se observa una reducción significativa del 37.31% y 33.33% en el tiempo de fraguado inicial y final, respectivamente, debido al agua de mar. Estos resultados son comparables con los obtenidos por otros autores.

Los resultados indican que el uso del agua de mar en la elaboración del concreto resultó en una mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón del 9.68%, 17.61% y 9.91% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente.

Tanto el concreto con agua potable como el concreto con agua de mar, sometidos a la exposición al agua de mar a 60°C, experimentaron incrementos en su resistencia a la compresión. El concreto con agua potable alcanzó aumentos de entre un 112% y 122%, mientras que el concreto con agua de mar mostró un incremento entre 131.30% y 144.42%, ambos en comparación con la resistencia obtenida del concreto patrón a los 28 días de curado.

Conforme al desarrollo del objetivo específico 3, se obtuvo el comportamiento a flexión de vigas de concreto elaboradas con agua de mar y con agua potable, las cuales se reforzaron con PRFV Grado 60 y acero y luego del periodo de curado fueron expuestas al agua de mar de lo cual se obtuvo los siguiente:

La presencia de agua de mar en la fabricación de las vigas tiene influencia en la carga de primera fisuración. Las vigas reforzadas con acero (S-M) y las reforzadas con PRFV (G60-P y G60-M) muestran una reducción en la carga de primera fisuración hasta el 86.44%, 80.96% y 79.83% respectivamente, en comparación con las vigas de concreto patrón reforzada con acero.

Durante el periodo de corrosión de 120 días, se observa una variación en la carga de primera fisuración en todas las vigas, llegando hasta el 113.81% para las vigas reforzadas con acero (S-P y S-M) y 92.55% para las vigas reforzadas con PRFV (G60-M y G60-P) con respecto a las vigas de concreto patrón reforzada con acero sin exposición.

Los resultados a los 28 días de curado húmedo de las vigas reforzadas con PRFV (G60-P y G60-M) muestran que su capacidad de carga máxima es competitiva en comparación con las vigas reforzadas con acero (S-P y S-M). Incluso en presencia de agua de mar en la mezcla, las vigas de PRFV logran una capacidad de carga de hasta el 98.05% y 97.89% respectivamente, en comparación con la viga vigas de concreto patrón reforzada con acero sin exposición.

Durante el periodo de exposición de 120 días al agua de mar, la viga patrón (S-P) y la viga S-M experimentan una disminución en su carga máxima de aproximadamente 1% y las vigas reforzadas con PRFV Grado 60 (G60-P y G60-M) responden de manera similar, siendo que para las vigas de tipo G60-P y G60 - M aumentaron su carga máxima en un 1% aproximadamente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo ensayos a largo plazo para evaluar las propiedades de tracción, compresión y flexión del concreto reforzado con PRFV mezclado con agua de mar. Estos estudios permitirán obtener datos más completos y confiables sobre el comportamiento del concreto a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones ambientales. Estos estudios ayudarán a comprender mejor los efectos a largo plazo y determinar la durabilidad del concreto en estas condiciones.

Realizar ensayos complementarios para evaluar otras propiedades del concreto reforzado con PRFV mezclado con agua de mar. Estos ensayos pueden incluir la resistencia a la abrasión, la permeabilidad, la durabilidad frente a ciclos de humedecimiento-secado y la adherencia entre el PRFV y el concreto.

Realizar comparaciones de los resultados obtenidos en la investigación con varillas de PRFV de diferentes proveedores. Esto permitirá evaluar si existen diferencias significativas en el desempeño del concreto reforzado con PRFV en función del origen de las varillas. Asimismo, podría brindar información relevante para la selección de proveedores en futuros proyectos de construcción.

Se recomienda llevar a cabo un análisis de costo-beneficio para explorar la viabilidad económica de utilizar agua de mar y Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) en la producción de concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, S. G., y Delgado, L. E. (2021). *Propuesta de utilización de varillas de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV), mediante la técnica Inhibir-Reparar-Fortalecer (IRF) para rehabilitación estructural en vigas y losas de concreto armado con refuerzo corroído*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_46c28ed9511a7d7cf39646f92cceb977
- Almerich, A. I. (2015). *Diseño, según estados límites, de estructuras de concreto armado con redondos de fibra de vidrio GFRP*. [Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de Valencia]. RiuNet Repositorio UPV. <http://dx.doi.org/10.4995/thesis/10251/9744>
- Arcos C. (1976). Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado. *Informes de la Construcción*, 29(286), 87–91. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1976.v29.i286.2709>.
- American Concrete Institute. (2015). *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars (ACI 440.1R-2015)*. ACI.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard test method for temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete (ASTM C1064)*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement (ASTM C1157)*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate (ASTM C127)*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate (ASTM C128)*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2019). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates (ASTM C136)*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete (ASTM C138)*. ASTM.

- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete* (ASTM C143). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete* (ASTM C1602). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard for sampling Freshly Mixed Concrete* (ASTM C172). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method* (ASTM C231). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate* (ASTM C29). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard specification for concrete aggregates* (ASTM C33). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens* (ASTM C39). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2016). *Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance* (ASTM C403). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* (ASTM C566). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)* (ASTM C78). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*. (ASTM D7205). ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for Bond Strength of Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite Bars to Concrete by Pullout Testing* (ASTM D7913). ASTM.
- Asto, O. K. (2020). *Comportamiento estructural de losas macizas de concreto reforzadas con varillas de basalto*. [Tesis de pregrado, Universidad San

- Ignacio de Loyola]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_c44c6c8cba6f5eeac817178848c41f50/Details
- Berg, A. C., Bank, L.C., Oliva M. G. & Russel J.S. (2006). Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck. *Construction and Building Materials*. 20(8). 515-526. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.007>
- 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]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_47e6a75e6b203bc298e0f61423ac8ea0/Details
- Del Valle, A., Pérez, T., y Martínez, M. (2001). El Fenómeno de la Corrosión en Estructuras de Concreto Reforzado. *Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica*, (182). <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt182.pdf>
- Duffó, G. S., y Farina, S. B. (2019). Corrosión en estructuras de concreto armado. Un fenómeno bien conocido pero que aún sigue causando considerables daños. *Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias; Ciencia e Investigación*; 69; 4; 11-2019; 51-65. <http://hdl.handle.net/11336/160885>
- Fernandez, M. (1994). *Patología y Terapéutica del Concreto Armado (3 ed.)*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=611520>.
- Gómez, J. G. (2022). *Durabilidad del Concreto Reforzado*. Universidad Nacional de Colombia. <https://unilibros.co/gpd-durabilidad-del-concreto-reforzado-9789587948929-654aa5624916e.html>
- Gonzales De La Cotera, M. (1998). La corrosión del concreto en ambiente marino. I Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción, American Concrete Institute, Capítulo Peruano.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://www.cozing.com.bo/uploads/document/file/10/15609653611399.pdf>
- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento Pórtland tipo I*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_d6d28af11d7ce534899a5138b0b65e82

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2013). *Hormigón en ambiente marino*. IECA. <https://www.ieca.es/producto/hormigon-en-ambientemarino/>

Instituto Nacional de la Calidad. (2020). *CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos* (7ma ed.) (NTP 334.009:2020). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas* (4a ed.) (NTP 339.034:2015). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland* (4a ed.) (NTP 339.035:2015). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2018). *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco* (4a ed.) (NTP 339.036:2018). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto* (3a ed.) (NTP 339.046:2019). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo* (3a ed.) (NTP 339.078:2017). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco (método de presión)* (3a ed.) (NTP 339.080:2017). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración* (4a ed.) (NTP 339.082:2017). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2019). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento pórtland. Requisitos* (3a ed.) (NTP 339.088:2019). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2022). *CONCRETO. Concreto premezclado. Requisitos* (5a ed.) (NTP 339.114:2022). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2018). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto* (2a ed.) (NTP 339.184:2018). INACAL.

- Instituto Nacional de la Calidad. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado* (2a ed.) (NTP 339.185:2018). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (4a ed.) (NTP 400.012:2021). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados* (4a ed.) (NTP 400.017:2020). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado grueso* (4a ed.) (NTP 400.021:2020). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2021). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado fino* (3a ed.) (NTP 400.022:2021). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos* (4a ed.) (NTP 400.037:2018). INACAL.
- Kessler, R. J., Powers, R. G., & Lasa, I. R. (1997). *Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive*. NACE Corrosion97. <https://www.osti.gov/biblio/548585>
- Khatibmasjedi, M., y Nanni, A. (2018). Durability of GFRP reinforcement in seawater concrete. *American Concrete Institute*, 327, 42.1-42.12. DOI: 10.14359/51713363
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- Lalvay, H. B. (2017). *Análisis, Comportamiento y Comparación de Varillas Corrugadas en Fibra de Vidrio, con Relación a las Varillas Convencionales; Conjuntamente en Elementos Estructurales de Concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7337>
- Llallire, A. B., Pacheco, E. T., Pineda, C. A., Rivera, J. A., y Salinas, F. F. (2020). *Ensayos y recomendaciones para el concreto en estructuras cercanas al mar*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/PUCP_56b8ab7e6ac5388320c6d3f46115714e

- Lu, C., Ni, M., Chu, T., & He, L. (2020). Comparative investigation on tensile performance of FRP bars after exposure to water, seawater, and alkaline solutions. *Journal of materials in civil engineering*, 32(7). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003243](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003243)
- Luís, F. J., Díaz, I. D., y Rivas, H. (2017). Estructuras de concreto armado con varillas de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFV). Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 11(3), 1–16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6452839>
- Luque, L. C., Bolognini, H., Herrera, R. I., Rojas, M. A., y Partidas, E. I. (2008). Evaluación de la corrosión en elementos de concreto armado expuesto al ambiente marino, *Gaceta Técnica*, 7, 33-38. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6521650.pdf>
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. (2006). *Concrete. Microstructure, Properties and Materials* (3rd ed.). Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley. <http://worksaccounts.com/wp-content/uploads/2020/08/Concrete-Microstructure-Properties-and-Materials.pdf>
- Meza, E. C. (2003). *Proceso de corrosión en concreto de mediana a baja resistencia por acción del sulfato de magnesio, usando cemento Portland tipo I*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/UUNI_878140084d4c12b12c4fdbaa48f3da59
- Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature sustainability*, 1(1), 69–76. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>
- Morales-Mangual, C. N. (2020). Flexural and Durability Performance of Seawater-Mixed GFRP-Reinforced Concrete. *University of Miami*. <https://scholarship.miami.edu/esploro/outputs/doctoral/Flexural-and-Durability-Performance-of-Seawater-Mixed/991031524180302976>
- Mufti, A., Onofrei, M., Benmokrane, B., Banthia, N., Boulfiza, M., Newhook, J., & Brett. (2005). Durability of GFRP reinforced concrete in field structures. *7th international symposium on fiber-reinforced polymer reinforcement for reinforced concrete structures*, Kansas City, Estados Unidos. <https://www.semanticscholar.org/paper/Durability-of-GFRP-Reinforced->

- Concrete-in-Field-Mufti-Onofrei/f0ac08ae562e81f1253b77b760414f2969399798
- Nanni, A. (2005). Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R-03). *Structures Congress 2005: Metropolis and Beyond: American Society of Civil Engineers*.
[http://dx.doi.org/10.1061/40753\(171\)158](http://dx.doi.org/10.1061/40753(171)158)
- Nanni, A., De Luca, A., y Jawaheri, H. (2014). *Reinforced concrete with FRP bars: Mechanics and Design*. <http://dx.doi.org/10.1201/b16669>
- Neville, A. (1999). *Tecnología del Concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Nishida, T., Otsuki, N., Ohara, H., Garba-Say, Z. M., y Nagata, T. (2014). Some considerations for applicability of seawater as mixing water in concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 27(7).
[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001006](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001006)
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2021). RNE. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
- Rique, G. J. (2011). *Estudio del concreto de mediana a baja resistencia variando el módulo de finura del agregado fino*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_09723bc2dda85795edcbfcde4b977909
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (1a Ed). Capítulo Peruano American Concrete Institute. http://biblioteca.unfv.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=44071&shelfbrowse_itemnumber=65716
- Solís-Carcaño, R., Moreno, E. I., y Arcudia-Abad, C. (2008). Estudio de la resistencia del concreto por el efecto combinado de la relación agua-cemento, la relación grava-arena y el origen de los agregados. *Revista Técnica*, 31(3), 213–224. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-077020080003000002&lng=es&esytlng=es
- Tanaz, A. R., y Neaz Shiekh, M. (2019). Benefits of using sea sand and seawater in concrete: a comprehensive review. *Australian journal of structural engineering*, 20(4), 280–289.
<http://dx.doi.org/10.1080/13287982.2019.1659213>

- Tarek, U., Yousef, A., Saleh, A. y Sherif, E. (2013) Tensile properties degradation of glass fiber-reinforced polymer bars embedded in concrete under severe laboratory and field environmental conditions. *Journal of Composite Materials*, 47(4) , 393-407. [http://dx.doi.org/ 10.1177/0021998312440473](http://dx.doi.org/10.1177/0021998312440473)
- Torres, A. A. (2007). Consecuencias estructurales de la corrosión del concreto armado. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 30, 245–251. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400027
- Torres, A., y Martínez, M. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto con Criterios de Durabilidad*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes - Instituto Mexicano del Transporte. <http://intranet.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt181.pdf>
- Treviño, E. L. (1998). *Patología de las Estructuras de Concreto Reforzado - Reflexiones y Recomendaciones*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Académico Digital. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/6017>
- Xiao, J., Qiang, C., Nanni, A., y Zhang, K. (2017). Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. *Construction and building materials*, 155, 1101–1111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.130>
- Yataco, J. (2022). *Diseño de concretos autoconsolidantes de alta resistencia inicial para pavimentos rígidos con M.R. $\geq 40 \text{ kg/cm}^2$ dentro de las 24 horas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_3f62a04a5ce5df0143b3f73aa9b8ca2b/Details
- Younis, A., Ebead, U., Suraneni, P., y Nanni, A. (2019). Performance of Seawater-Mixed Recycled-Aggregate Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32 (1). [https://doi.org/10.1061/ \(ASCE\)MT.1943-5533.0002999](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002999)
- Zoran, B., Gordana, A., Nebjosa, D. & Savic, J. (2015). Damage of Concrete and Reinforcement of Reinforced-Concrete Foundations Caused by Environmental Effects. *Procedia Engineering*, 177, 416 - 423. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.187>

ANEXOS

Anexo A: Cemento APU TIPO GU.....	161
Anexo B: Acero SiderPerú.....	163
Anexo C: PRFV VROD G-60.....	165
Anexo D: Matriz de consistencia.....	166
Anexo E: Panel Fotográfico.....	167

ANEXO A: CEMENTO APU TIPO GU

A continuación, se presenta la ficha técnica del Cemento APU tipo GU, Cemento hidráulico de uso general, utilizado para la realización de la presente investigación.



FICHA TÉCNICA CEMENTO APU

DESCRIPCIÓN:

Tipo GU, Cemento hidráulico de uso general.

BENEFICIOS:

- > Óptimos resultados en desarrollo de resistencias.
- > Buena trabajabilidad y acabado.
- > Permite menor tiempo de desencofrado.
- > Ofrece un buen acabado en el tarrajeo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- > Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.082 y la Norma Técnica Americana ASTM C-1157.

APLICACIONES:

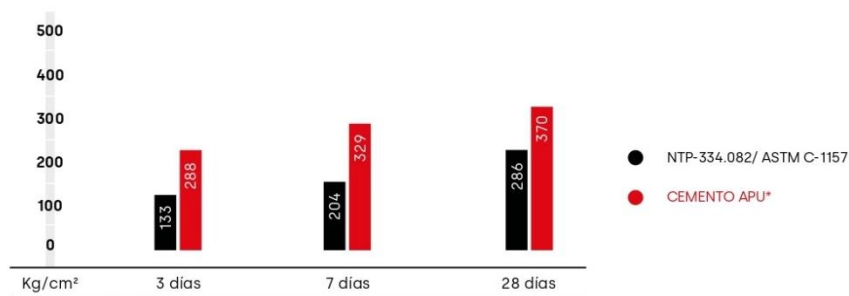
- > Para todo tipo de obras que no tengan requerimientos especiales de algún tipo de cemento.
- > Muros de contención, suelos de cemento.
- > Elaboración de concreto simple y armado.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- > Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- > Granel: A despacharse en camiones bombonas y big bags.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.082 / ASTM C-1157 VS. CEMENTO APU



* Valores referenciales

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO APU	REQUISITOS NTP-334.082 / ASTM C-1157
Contenido de aire	%	4	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	371	No especifica
Densidad	g/cm ³	3.05	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	288	Mínimo 133
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	329	Mínimo 204
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	370	Mínimo 285
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	128	45 a 420
BARRAS CURADAS EN AGUA			
Expansión a 14 días	%	0.011	Máximo 0.020

RECOMENDACIONES GENERALES

RECOMENDACIONES DE USO:

- > Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas.
- > Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- > Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días.

MANIPULACIÓN:

- > Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- > Usar la vestimenta y epp adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas.
- > El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel.

ALMACENAMIENTO:

- > Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad.
- > Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrirlas con mantas de plástico.
- > Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

ANEXO B: ACERO SIDERPERÚ

A continuación, se presenta la ficha técnica del acero SIDERPERU, utilizado para la realización de la presente investigación.



DESCRIPCIÓN

Las barras de refuerzo, también conocidas como barras corrugadas, son usadas como refuerzo en elementos de concreto armado, por su alta adherencia con el concreto debido a que cuenta con corrugas o resaltes tipo High-Bond.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTP 341.031. Grado 60. Norma Técnica Peruana - Barras de acero al carbono, corrugadas, para refuerzo de concreto armado.

ASTM A615/A615M Grado 60. Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement.

Norma Técnica de Edificaciones – E060. Concreto armado.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

El contenido de Fosforo (P) máximo 0.062 % (análisis de producto)

ESPECIFICACIONES DIMENSIONALES Y PESO

Designación de la barra corrugada	Peso métrico nominal kg/m	Dimensiones nominales			Dimensiones resaltes (mm)		
		Diámetro mm	Área sección nominal	Perímetro nominal mm	Espaciamiento promedio máximo	Altura promedio mínimo	Separación (GAP) 12% del perímetro nominal máxima
6 mm	0.220	6.0	28	18.8	4.2	0.24	2.35
8 mm	0.395	8.0	50	25.1	5.6	0.32	3.14
3/8"	0.560	9.5	71	29.9	6.7	0.38	3.60
12 mm	0.888	12.0	113	37.7	8.4	0.48	4.71
1/2"	0.994	12.7	129	39.9	8.8	0.51	4.90
5/8"	1.552	15.9	199	49.9	11.1	0.71	6.1
3/4"	2.235	19.1	284	59.8	13.3	0.97	7.3
1"	3.973	25.4	510	79.8	17.8	1.27	9.7
1 3/8"	7.907	35.8	1006	112.5	25.1	1.80	13.7

Nota1: La variación permisible en el peso métrico no excederá el 6% por debajo del peso nominal.

EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU S.A.A.
Av. Juan de Arona 151, Torre B, 5to piso, San Isidro Teléfono: 51-1-6186868
Av. Santiago Antúnez de Mayolo s/n - Chimbote. Teléfono: 51-43-483000
www.siderperu.com.pe

Rev: 2 – 2019-10-19



PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro nominal (d)	Requisitos de Tracción				Doblado a 180°
	Límite de fluencia MPa (kgf/mm2)	Resistencia de tracción MPa (kgf/mm2) mínimo	Relación RT/LF mínimo	% de alargamiento Lo=200 mm mínimo	Diámetro de mandril de doblado
6 mm	420 (42,8) A 540(55,1)	620 (63.2)	1.25	11	3 d
8 mm				14	
3/8"					
12 mm					
1/2"					
5/8"					
3/4"				12	5 d
1"					7 d
1 3/8"					

Nota 2: d = Diámetro nominal de la barra, Lo = Longitud calibrada de la probeta de ensayo.

LONGITUD

Fabricadas en longitudes de nueve (9) metros consideradas como longitudes estándar o normal. Se pueden fabricar en otras longitudes previo acuerdo con el cliente.

VARIACIÓN PERMISIBLE EN LA LONGITUD

La tolerancia en la longitud es de: + 100 mm
- 0 mm

PRESENTACIÓN

Se suministran en rollos o barras rectas en longitudes estándar.

IDENTIFICACIÓN

Las barras, son identificadas mediante marcas laminadas en alto relieve, que indican al fabricante, designación de tamaño, tipo de acero y designación de la fluencia mínima.



EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU S.A.A.
Av. Juan de Arona 151, Torre B, 5to piso, San Isidro Teléfono: 51-1-6186868
Av. Santiago Antúnez de Mayolo s/n - Chimbote. Teléfono: 51-43-483000
www.siderperu.com.pe

Rev: 2 - 2019-10-19

ANEXO C: PRFV VROD G-60

A continuación, se presenta la ficha técnica de la varilla de polímero reforzado con fibra de vidrio Grado 60 de la marca VROD, utilizado para la realización de la presente investigación.

**Product Data Sheet – V•ROD 60**

Guaranteed tensile strength* (ASTM D7205)	MPa	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1000	1000
	ksi	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	159.5	145	145
Minimum tensile modulus (ASTM D7205)	GPa	60								
Guaranteed transverse shear capacity (ASTM D7617)	MPa	8702.3								
	ksi	180								
Resin		vinylester								
Weight	g/m	78	175	310	442	633	863	1127	1426	1761
Effective cross-sectional area ** (including sand coating) (CSA S806 Annex A)	lb/ft	0.052	0.118	0.208	0.297	0.425	0.58	0.757	0.958	1.183
	mm ²	37.2	83.8	145	232.9	326.8	438.2	572.3	724.3	894.2
Effective diameter	in ²	0.058	0.130	0.225	0.361	0.507	0.679	0.887	1.123	1.386
	mm ²	6.9	10.33	13.59	17.22	20.39	23.6	26.99	30.4	33.7
Nominal cross-sectional area (CSA S807 Table 1)	in ²	0.272	0.407	0.535	0.678	0.803	0.929	1.063	1.197	1.327
	mm ²	32	71	129	199	284	387	510	645	819
	in ²	0.05	0.110	0.199	0.308	0.440	0.6	0.790	1	1.269

* The nominal guaranteed tensile strength must not be used to calculate the strength of the bent portion of a bent bar. Instead use the minimum guaranteed tensile strength found in the technical data sheet of bent **V•ROD bars**.

** Please contact **Pultrall** for dowelling applications.

Development and splice length are available upon request but should be determined by the design engineer.

The guaranteed value presented in this document is the mean value minus 3 times the standard deviation.

It is the responsibility of the design engineers to contact the bar manufacturer to get the latest updates of this technical data sheet (also available at www.vrod.ca). For any additional technical results or literature, please contact **Pultrall**.

COMPLIES WITH THE FOLLOWING STANDARDS:

- **GRADE III CSA**
S807-10
- **GRADE III MTO**
ASTM D7957
- **ASTM D7957**
D7957-17

Available Anchor Heads

	#4 GFRP	#5 GFRP	#6 GFRP
Minimum pull-out strength	80	100	100
	18	22	22

Please refer to the **V•ROD** Grade III data sheet for the properties of the bars.
Product homologated for use in TLS barriers.

700, 9^e Rue Nord, Theford Mines (Quebec) CANADA G6G 6Z5
Phone: **418 335-3202** | Fax: **418 335-5117** | www.vrod.ca

PULTRALL

ANEXO D: MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON PRFV Y ACERO CONVENCIONAL EXPUESTO AL AGUA DE MAR

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, dimensiones e indicadores.			Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	MÉTODO: Inductivo
¿Cuál es el impacto del uso del agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración del concreto reforzado con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) expuestas al agua de mar?	Evaluar las propiedades físico – mecánicas del concreto utilizando agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración del concreto reforzado con acero convencional y Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) expuestos al agua de mar.	El uso de agua de mar como reemplazo del agua potable en la elaboración de concreto no tendrá un impacto negativo en las propiedades y desempeño del concreto reforzado con PRFV que están expuestos al agua de mar.	Variable Independiente • Barras de PRFV. • Barras de acero. • Diseño de mezcla con agua potable y agua de mar. • Exposición a temperatura controlada	• Varillas de PRFV- de 3/8". • Varillas de acero de 3/8". • Dosificación. • Temperatura 60°C	• Grado 60 – vrod • Grado 60 - SiderPerú • Tipo de varilla • relación a/c = 0.50	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicativo DISEÑO Experimental ENFOQUE Cuantitativo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Dependientes	Dimensiones específicas	Indicadores específicos	
¿Cuál es el impacto de la exposición al agua de mar en las propiedades mecánicas de las varillas de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y acero?	Determinar las propiedades mecánicas de las varillas PRFV y acero en estado natural y al estar sometidas a la acción corrosiva por el agua de mar.	El impacto de la corrosión por el agua de mar en las propiedades mecánicas de las varillas de (PRFV) será menor en comparación con las varillas de acero.	• Las propiedades mecánicas de las varillas de GFRP. • Propiedades mecánicas de las varillas de acero.	• Resistencia a la tracción	• kg/cm2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo - comparativo MUESTREO No probabilístico
¿Cuál es el impacto del agua de mar en las propiedades físicas en estado fresco y propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto mezclado con agua de mar y agua potable?	Determinar las propiedades físicas en estado fresco y propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto con agua potable y agua de mar, antes y después de estar expuestas al agua de mar.	El uso del agua de mar como reemplazo del agua potable tendrá un impacto mínimo en las propiedades del concreto en estado fresco ni en las propiedades mecánicas en estado endurecido.	• Propiedades en estado fresco. • Propiedades en estado endurecido en muestras cilíndricas.	• Tiempo de fragua • Asentamiento • Peso Unitario • Temperatura • Contenido de aire • Resistencia a la compresión	• Min • pulgadas • Kg/m3 • °C • % • kg/cm2	MUESTRA 24 varillas 42 probetas 60 vigas POBLACIÓN: Elaboración de muestras para propiedades físico-mecánicas
¿Cuál es el efecto de la exposición al agua de mar en el comportamiento a flexión de las vigas de concreto reforzadas con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y acero, cuando se utilizan agua de mar y agua potable en la mezcla?	Determinar el comportamiento a flexión de vigas de concreto con agua de mar y agua potable reforzadas con PRFV y acero, antes y después de estar expuestas al agua de mar.	Las vigas de concreto reforzadas con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) mostrarán una mayor resistencia a los efectos de la exposición al agua de mar en comparación con las vigas reforzadas con acero.	• Comportamiento a la flexión de las vigas reforzadas con acero y PRFV.	• Resistencia a la flexión	• Carga de primera fisuración (kgf) • Carga máxima (kgf)	INSTRUMENTO Normas Técnicas Peruanas ASTM Norma ACI

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 1 Muestra de acero de 3/8" no acondicionada ensayada a tracción



Fotografía N° 2 Muestras de acero de 3/8" ensayadas a tracción luego de un periodo de 30 días bajo acondicionamiento acelerado



Fotografía N° 3 Muestras de acero luego del periodo de 120 días de acondicionamiento acelerado



Fotografía N° 4 Ensayo a la tracción de las varillas de polímero reforzadas con fibra de vidrio (PRFV)



Fotografía N° 5 Muestra ensayada a tracción de la varilla de polímero reforzada con fibra de vidrio (PRFV)



Fotografía N° 6 Probetas y vigas durante el periodo de curado húmedo



Fotografía N° 7 Ensayo a la compresión de las probetas del concreto con agua de mar.



Fotografía N° 8 Ensayo a flexión de las vigas



Fotografía N° 9 Muestras de vigas ensayadas