UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

"INFLUENCIA DEL AGUA DE MAR EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO ARMADO CON POLÍMERO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GFRP)"

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

BILL ROGGER MONTOYA ALDONATE

ID: 0009-0006-9547-594X

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**."
Montoya Aldonate, Bill Rogger.
bill.montoya.a@uni.pe
+51 914739306

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, faros de amor y apoyo constante. Este logro es el reflejo de nuestra unión y fortaleza. Con profundo cariño y gratitud, este trabajo es por y para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mi querido padre, **Samuel Montoya Solano**, por enseñarme la tenacidad y la importancia de nunca rendirse. Por ser ese faro constante que ilumina mi camino, incluso en los momentos más oscuros. A mi adorada madre, **Angélica Aldonate Ccorahua**, por ser el alma y el corazón detrás de cada página de este trabajo. Por mostrarme con su amor incondicional y su fortaleza que todo es posible cuando uno lo persigue con pasión y determinación.

A mis hermanos: **Mirian**, **Edwin** y **Diego**. Cada uno de ustedes, con sus particularidades, me ha enseñado lecciones valiosas que han moldeado mi carácter y mi forma de enfrentar los desafíos. Gracias por estar a mi lado, por celebrar mis logros y por levantarme en los tropiezos.

Agradezco a **Sara Cubas** infinitamente cada hora compartida, ya fuera ofreciéndome palabras de aliento, ayudándome a aclarar ideas, o simplemente estando allí cuando necesitaba una pausa. Su apoyo ha sido inquebrantable, su cariño y paciencia han sido la fuente de energía que me ha impulsado a continuar, incluso en los momentos más difíciles.

A mi amigo **Miguel Yataco**, por su invaluable apoyo técnico y su disposición constante. Gracias por ser un pilar fundamental en la realización de esta tesis.

A mi asesor **Mg. Ing. Carlos A. Villegas Martínez**, por su guía y paciencia durante este proceso. Su apoyo fue importante para transformar ideas en realidades.

Extiendo mi sincero agradecimiento al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales (**LEM UNI**). No puedo dejar de destacar al Ing. **Luis Huarancca**, **José Luis J.**, **Eber G.**, **Luis O.**, **Anthony S.**, **Christian G.** y **Alexander S**. Más que simples colaboradores, se transformaron en grandes amigos a lo largo de esta travesía.

A mi querida **Universidad Nacional de Ingeniería**, cuyo riguroso enfoque académico ha cincelado en mí las bases sólidas y esenciales que ahora poseo como Ingeniero Civil. Finalmente, deseo extender mi sincera gratitud a **MAPEI**, **UNACEM** y **PULTRALL INC.** Por la donación de materiales, que fue fundamental para esta Tesis.

INDICE

Resumen **5**

Abstract **6**

Prólogo **7**

Lista de tablas **8**

Lista de figuras **11**

Lista de símbolos y siglas **14**

Capítulo I: Introducción **16**

1.1. Generalidades 16

1.2. Realidad problemática 17

1.3. Formulación del problema 19

1.4. Objetivos del estudio 19

1.4.1. Objetivo general 19

1.4.2. Objetivos específicos 19

1.5. Hipótesis 20

1.5.1. Hipótesis general 20

1.5.2. Hipótesis específicas 20

1.6. Metodología 20

1.7. Antecedentes 22

Capítulo II: Marco teórico y conceptual 28

2.1. El concreto 28

2.2. El acero 28

2.3. El concreto armado 29

2.4. Corrosión en el concreto armado 29

2.4.1. Corrosión 29

2.4.2. Corrosión del acero en el concreto 30

2.5. El agua en el concreto 30

2.5.1. Agua de mar 30

2.6. Deterioro de estructuras en ambiente húmedo y marino 31
2.6.1. La construcción en el litoral 31
2.7. Polímero reforzado con fibra (FRP) 31
2.7.1. Definiciones 31
2.7.2. Propiedades del polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) 32
2.7.3. Ventajas y desventajas del GFRP 36
Capítulo III: Descripción y propiedades de los materiales 37
3.1. Cemento portland 37
3.2. Agua 38
3.3. Agua de mar 38
3.4. Agregados 39
3.4.1. Granulometría 39
3.4.2. Módulo de finura (m.f.) 42
3.4.3. Peso específico (P.E.) Y absorción (abs.) 42
3.4.4. Peso unitario (P.U.) 43
3.4.5. Contenido de humedad 45
Capítulo IV: Diseño de mezcla del concreto 46
4.1. Método de diseño utilizado 46
4.1.1. Información para el diseño de mezcla 46
4.2. Agregado global 47
4.2.1. Peso unitario compactado (ntp 400.017) 47
4.2.2. Asentamiento 48
4.2.3. Resistencia a la compresión a los 07 días 48
4.2.4. Análisis de resultados del agregado global 49
4.2.5. Granulometría del agregado global 50
4.3. Diseño del concreto 50
Capítulo V: Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido 52
5.1. Ensayos del concreto en estado fresco 52

5.1.1. Muestreo de concreto fresco (ASTM C172; NTP 339.036) 53
5.1.2. Ensayo de temperatura (ASTM C1064; NTP 339.184) 53
5.1.3. Ensayo de asentamiento (ASTM C143; NTP 339.035) 54
5.1.4. Ensayo de peso unitario (ASTM C138; NTP 339.046) 54
5.1.5. Ensayo de contenido de aire (ASTM C231; NTP 339.080) 55
5.1.6. Ensayo de tiempo de fraguado (ASTM C403; NTP 339.082) 55
5.2. Ensayos del concreto en estado endurecido 55
5.2.1. Resistencia a la compresión (f´c) (ASTM C39; NTP 339.034) 56
Capítulo VI: Propiedades mecánicas de las barras de acero y GFRP 59
6.1. Generalidades 59
6.2. Ensayo a la tracción (ASTM D7205, ASTM A615) 59
6.2.1. Características geométricas 59
6.2.2. Ensayo a la tracción de acero 60
6.2.3. Ensayo a la tracción de GFRP 61
6.2.4. Codificación de las muestras 63
6.3. Ensayo de adherencia (ASTM D7913) 64
6.3.1. Características geométricas 65
6.3.2. Ensayo de adherencia del acero y GFRP 65
6.3.3. Codificación de las muestras 69
Capítulo VII: Flexión de vigas reforzadas con acero y GFRP 71
7.1. Generalidades 71
7.2. Resistencia a la flexión 71
7.2.1. Módulo de rotura para concreto simple 71
7.2.2. Módulo de agrietamiento para concreto reforzado. 74
7.2.3. Carga máxima 77
7.3. Muestras del ensayo 77
Capítulo VIII: Resultados y análisis resultados 80
8.1. Resultados y análisis de las propiedades del concreto en estado fresco. 80

8.1.1. Temperatura (NTP 339.184; ASTM C1064)..... 80
8.1.2. Asentamiento (NTP 339.035; ASTM C143)..... 81
8.1.3. Peso unitario (NTP 339.046; ASTM C138)..... 82
8.1.4. Contenido de aire (NTP 339.080; ASTM C231)..... 84
8.1.5. Tiempo de fraguado (NTP 339.082; ASTM C403)..... 85
8.2. Resultados y análisis de las propiedades del concreto en estado endurecido..... 88
8.2.1. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034; ASTM C39)..... 88
8.2.2. Análisis de resultados..... 92
8.3. Resultados y análisis de las propiedades de las barras de acero y gfrp..... 95
8.3.1. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción..... 95
8.3.2. Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la tracción..... 98
8.3.3. Resultados del ensayo de adherencia..... 103
8.3.4. Análisis de resultados del ensayo de adherencia..... 105
8.4. Resultados y análisis del comportamiento a flexión de vigas reforzadas con acero y GFRP..... 109
8.4.1. Resultados de agrietamiento..... 109
8.4.2. Análisis de resultados de agrietamiento..... 115
8.4.3. Resultados de carga máxima soportada..... 119
8.4.4. Análisis de resultados de carga máxima soportada..... 123
Conclusiones..... 128
Recomendaciones..... 132
Referencias bibliográficas..... 133
Anexos..... 143

RESUMEN

El concreto armado ha sido ampliamente utilizado en la construcción debido a sus ventajas en términos de versatilidad, resistencia y durabilidad. Sin embargo, también puede sufrir daños y deterioro con el tiempo, especialmente cuando está expuesto a entornos agresivos como el mar, lo que lleva a costosas reparaciones o incluso a la demolición de estructuras. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del uso del agua de mar tanto como reemplazo del agua potable durante la elaboración del concreto y como medio de exposición, en las propiedades físico-mecánicas del concreto armado utilizando acero y polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP).

Se emplearon dos tipos de mezcla de concreto, una con agua potable y otra con agua de mar, con la misma relación agua-cemento de 0,55. Se llevaron a cabo pruebas mecánicas en el concreto y en los materiales de refuerzo, acero y GFRP, incluyendo resistencia a la flexión. Posteriormente, las muestras fueron expuestas al agua de mar a una temperatura de 60°C, y se analizaron sus propiedades a intervalos de tiempo de 30, 60, 90 y 120 días. El uso de agua de mar en la elaboración de concreto tuvo un impacto evidente: aceleró el tiempo fragua inicial en un 17 % y la fragua final en un 20 %. El concreto con agua de mar mostró resistencias a la compresión más altas que el concreto con agua potable, registrando valores de 101,78%, 101,54% y 103,06% con respecto al concreto con agua potable a los 7, 21 y 28 días, respectivamente. En cuanto a la resistencia a la tracción de material de refuerzo, el GFRP superó al acero en un 47,43% en condiciones normales (sin exposición al agua de mar). A los 28 días, las vigas reforzadas con GFRP muestran resistencia al agrietamiento ligeramente mayor, con un aumento del 3,03% en comparación con las vigas reforzadas con acero, y bajo condiciones de exposición al agua de mar las vigas reforzadas con GFRP presentaron resistencia al agrietamiento de hasta un 8,63% superior a las vigas reforzadas con acero. A los 28 días de curado y bajo condiciones de exposición al agua de mar, las vigas reforzadas con GFRP alcanzaron cargas máximas que representaron el 99 % ± 1% con respecto a la carga máxima de las vigas reforzadas con acero.

Es importante señalar que estos resultados se basaron en estudios a corto plazo; por lo tanto, se recomienda llevar a cabo una evaluación a largo plazo del concreto mezclado con agua de mar reforzado con GFRP y expuesto al agua de mar.

ABSTRACT

Reinforced concrete has been widely used in construction due to its advantages in terms of versatility, strength and durability. However, it can also suffer damage and deterioration over time, especially when exposed to harsh environments such as the sea, leading to costly repairs or even demolition of structures. This study aimed to evaluate the influence of the use of seawater both as a replacement for drinking water during the production of concrete and as a means of exposure, on the physical-mechanical properties of concrete reinforced using steel and fiberglass reinforced polymer GFRP).

Two types of concrete mixture were used, one with drinking water and the other with seawater, with the same water-cement ratio of 0,55. Mechanical tests were carried out on the concrete and the reinforcing materials, steel and GFRP, including flexural strength. Subsequently, the samples were exposed to seawater at a temperature of 60°C, and their properties were analyzed at time intervals of 30, 60, 90 and 120 days. The use of seawater in the production of concrete had an obvious impact: it accelerated the initial setting time by 17 % and the final setting time by 20 %. The concrete with seawater showed higher compressive strengths than the concrete with drinking water, registering values of 101,78%, 101,54% and 103,06% with respect to the concrete with drinking water at 7, 21 and 28 days, respectively. In terms of tensile strength of reinforcing material, GFRP outperformed steel by 47,43% under normal conditions (without exposure to seawater). At 28 days, the GFRP-reinforced beams show slightly higher cracking resistance, with an increase of 3,03% compared to the steel-reinforced beams, and under seawater exposure conditions the GFRP-reinforced beams showed cracking resistance. up to 8,63 % higher than steel reinforced beams. After 28 days of curing and under conditions of exposure to seawater, the GFRP-reinforced beams reached maximum loads that represented 99 % ± 1 % of the maximum load of the steel-reinforced beams.

It is important to note that these results were based on short-term studies; Therefore, it is recommended to carry out a long-term evaluation of GFRP-reinforced seawater-mixed concrete exposed to seawater.

PRÓLOGO

En el campo de la ingeniería civil, asegurar la durabilidad del concreto es esencial para mantener la estabilidad y la vida útil de las infraestructuras. Las estructuras expuestas a ambientes agresivos, como los marinos, enfrentan desafíos particulares que pueden comprometer su integridad con el tiempo. La corrosión y el deterioro acelerado en estos entornos no solo afectan la seguridad de las construcciones, sino que también generan costos significativos en términos de mantenimiento y reparación.

La tesis titulada "Influencia del Agua de Mar en las Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto Armado con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP)" se enfoca en analizar cómo el uso de agua de mar afecta las propiedades del concreto. En este estudio se examina cómo el agua de mar interactúa con el concreto y cómo el uso del GFRP, un tipo de refuerzo, puede mejorar la durabilidad del concreto en estas condiciones agresivas.

Los resultados de esta investigación proporcionan una base valiosa para futuros estudios y aplicaciones en el diseño de materiales de construcción más resistentes. Comprender mejor cómo el concreto y los refuerzos se comportan en ambientes marinos es crucial para desarrollar infraestructuras más duraderas y eficaces en zonas costeras.

Asesor de la tesis.

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1: Resumen de antecedentes referenciales 27
Tabla N°2: Normas de la calidad del agua para morteros y concretos 30
Tabla N°3 Densidades típicas de las barras reforzadas..... 33
Tabla N°4: Valores de coeficientes de dilatación térmica de barras de refuerzo. 33
Tabla N° 5: Valores típicos de resistencia a la tracción..... 34
Tabla N°6: Propiedades físicas del cemento Sol Tipo 1..... 37
Tabla N°7: pH del agua potable del LEM UNI..... 38
Tabla N°8: Análisis químico del agua de mar (La punta-Callao) 39
Tabla N°9: Análisis granulométrico del agregado grueso..... 40
Tabla N°10: Análisis granulométrico del agregado fino..... 41
Tabla N°11: Módulo de finura de los agregados 42
Tabla N°12: Peso específico y absorción del agregado grueso 43
Tabla N°13: Peso específico y absorción del agregado fino. 43
Tabla N°14: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso 44
Tabla N°15: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino. 44
Tabla N°16: Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino 45
Tabla N°17: Peso específico del cemento tipo 1 (SOL) 46
Tabla N°18: Propiedades de los agregados a utilizar 46
Tabla N°19: Peso específico del agua potable y agua de mar..... 47
Tabla N°20: Combinaciones de agregados para determinar el P.U.C. del agregado global..... 47
Tabla N°21: Proporción de materiales por m3 para cada prueba..... 48
Tabla N°22: Resistencia a la compresión a los 7 días de cada prueba..... 48
Tabla N°23: Resistencia a la compresión promedio a los 7 días de cada prueba. 49
Tabla N°24: Proporción de materiales en la mezcla de concreto patrón por m^3 51
Tabla N°25: Ensayos y normas en concreto fresco realizados 52
Tabla N°26: Ensayos y normas en concreto endurecido..... 56
Tabla N°27: Nomenclatura de las muestras cilíndricas de concreto patrón y concreto con agua de mar 56
Tabla N°28: Dimensiones de las muestras de CP a diferentes edades de curado en agua potable y agua de mar..... 57
Tabla N°29: Dimensiones de las muestras de CM a diferentes edades de curado en agua potable y agua de mar..... 58

Tabla N°30: Normas para determinar las propiedades de las barras de GFRP y acero 59
Tabla N°31: Características de las barras de refuerzo para el ensayo a tracción 59
Tabla N°32: Dimensiones del tubo de acero según diámetro de la barra de GFRP 62
Tabla N°33: Nomenclatura de muestras para el ensayo a tracción. 63
Tabla N°34: Codificación de muestras de barras de GFRP y acero para el ensayo de tracción 64
Tabla N°35: Características de las muestras de barras de GFRP y acero para el ensayo de adherencia 65
Tabla N°36: Nomenclatura de muestras para el ensayo de adherencia 69
Tabla N°37: Codificación de las muestras de GFRP y acero para el ensayo de adherencia. 70
Tabla N°38: Nomenclatura de muestras de vigas para el ensayo de flexión 78
Tabla N°39: Codificación de muestras de vigas para el ensayo de flexión. 79
Tabla N°40: Resultados y variación porcentual en el ensayo de temperatura. 80
Tabla N°41: Resultados y variación porcentual en el ensayo de asentamiento. 81
Tabla N°42: Resultados del ensayo de peso unitario. 82
Tabla N°43: Variación porcentual en el ensayo de peso unitario. 83
Tabla N°44: Resultados y variación porcentual en el ensayo de contenido de aire. 84
Tabla N°45: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto patrón 85
Tabla N°46: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto con agua de mar 85
Tabla N°47: Variación porcentual en el ensayo de tiempo de fraguado (inicial) 86
Tabla N°48: Variación porcentual en el ensayo de tiempo de fraguado (final). 87
Tabla N°49: Resultados de resistencia a la compresión del concreto patrón. 89
Tabla N°50: Resistencia a la compresión del concreto con agua de mar 90
Tabla N°51: Variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar respecto al concreto patrón. 94
Tabla N°52: Resultados del ensayo a la tracción del acero. 96

Tabla N°53: Resultados de resistencia a la tracción del GFRP 97
Tabla N°54: Resultados porcentuales de resistencia a la tracción de las barras de GFRP respecto a las barras de acero 99
Tabla N°55: Variación porcentual de resistencia a la tracción del acero respecto a condiciones iniciales 101
Tabla N°56: Variación porcentual de resistencia a la tracción del GFRP respecto a condiciones iniciales 102
Tabla N°57: Resultados del esfuerzo de adherencia del acero 103
Tabla N°58: Resultados del esfuerzo de adherencia del GFRP 104
Tabla N°59: Variación porcentual del esfuerzo de adherencia de las barras de acero y GFRP 107
Tabla N°60: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas reforzadas con acero 109
Tabla N°61: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con acero 110
Tabla N°62: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP 111
Tabla N°63: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP 112
Tabla N°64: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP 113
Tabla N°65: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas mezcladas con agua de mar reforzada con GFRP 114
Tabla N°66: Variación porcentual del agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP respecto a las vigas reforzadas con acero. 117
Tabla N°67: Resultados de carga máxima de vigas reforzada con acero 119
Tabla N°68: Resultados de carga máxima de vigas reforzada con GFRP 121
Tabla N°69: Resultados de carga máxima de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP 122
Tabla N°70: Variación porcentual de la carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP respecto a las vigas reforzadas con acero. 125

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1: Concreto convencional y no convencional 28
Figura N°2: Identificación de una varilla de acero 29
Figura N°3: Curvas de comportamientos a tracción de barras de acero y GFRP 34
Figura N°4: Curva granulométrica del agregado grueso. 40
Figura N°5: Curva granulométrica del agregado fino. 41
Figura N°6: Gráfica combinada de P.U.C. y resistencia a la compresión de las pruebas 49
Figura N°7: Curva Granulométrica del Agregado Global 50
Figura N°8: Proporciones de la muestra de barra de acero para el ensayo de tracción 60
Figura N°9: Muestra de barra de acero para el ensayo de tracción. 60
Figura N°10: Ejemplo de detalle de anclaje de barra de GFRP 61
Figura N°11: Proporciones de la muestra para el ensayo. 62
Figura N°12: Longitud total de la muestra a ensayar 62
Figura N°13: Ejemplo de preparación de la muestra para el ensayo de adherencia 66
Figura N°14: Ejemplo de preparación de la muestra para el ensayo de adherencia. 67
Figura N°15: Modelo tridimensional de la muestra para el ensayo de adherencia del acero 68
Figura N°16: Detalle de la muestra para el ensayo de adherencia del acero. 68
Figura N°17: Modelo tridimensional de la muestra para el ensayo de adherencia del GFRP 69
Figura N°18: Detalle de la muestra para el ensayo de adherencia del GFRP 69
Figura N°19: Comportamiento de una viga de concreto al aplicarse una carga. 72
Figura N°20: Ejemplo de una viga simplemente apoyada con carga puntual al centro 72
Figura N°21: Ejemplo de una viga simplemente apoyada con carga a los tercios 73
Figura N°22: Representación de la sección transformada de concreto reforzado 75

Figura N°23: Sección transformada de una sección de concreto reforzado 76
Figura N°24: Dimensiones de las muestras de viga reforzada con GFRP..... 78
Figura N°25: Dimensiones de las muestras de viga reforzada con acero..... 78
Figura N°26: Comparación de valores y variación porcentual de temperatura. 81
Figura N°27: Comparación de valores y variación porcentual de asentamiento. 82
Figura N°28: Comparación de valores y variación porcentual de peso unitario. 83
Figura N°29: Comparación de valores y variación porcentual de contenido de aire. 84
Figura N°30: Comparación de valores y variación porcentual de tiempo de fraguado (inicial) 86
Figura N°31: Comparación de valores y variación porcentual de tiempo de fraguado (final)..... 87
Figura N°32: Gráfica de resultados del ensayo de tiempo de fragua 88
Figura N°33: Resistencia a la compresión del concreto patrón a través del tiempo (exposición)..... 90
Figura N°34: Resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar a través del tiempo (exposición) 91
Figura N°35: Evolución de la resistencia a la compresión de los dos tipos de concreto..... 94
Figura N°36: Evolución gráfica a través del tiempo del concreto mezclado con agua de mar y el concreto patrón. 95
Figura N°37: Evolución de la resistencia a la tracción del acero 96
Figura N°38: Evolución de la resistencia a la tracción del GFRP 98
Figura N°39 Evolución y variación porcentual de la resistencia a la tracción de barras de GFRP y acero. 100
Figura N°40: Evolución de la resistencia a la tracción de las barras de acero y GFRP..... 100
Figura N°41: Evolución de la resistencia a la tracción del acero respecto a las condiciones iniciales..... 101
Figura N°42: Evolución de la resistencia a la tracción del GFRP respecto a las condiciones iniciales..... 102
Figura N°43: Evolución del esfuerzo de adherencia del acero 104

Figura N°44: Evolución del esfuerzo de adherencia del GFRP 105
Figura N°45: Evolución y variación porcentual de la fuerza de adherencia de las barras de acero y GFRP 108
Figura N°46: Evolución de la fuerza de adherencia de las barras de acero y GFRP 108
Figura N°47: Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con acero. 111
Figura N°48: Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP. 113
Figura N°49: Evolución del agrietamiento de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP 115
Figura N° 50 Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con acero y GFRP 118
Figura N°51: Variación porcentual de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP) 118
Figura N°52: Variación porcentual de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP (VFM) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP) 119
Figura N° 53 Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con acero. 120
Figura N°54: Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP 122
Figura N°55: Evolución de carga máxima de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP 123
Figura N°56: Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con acero y GFRP 126
Figura N°57: Variación porcentual de carga máxima de vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP) 126
Figura N°58: Variación porcentual de carga máxima de vigas reforzadas con GFRP (VFM) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP) 127

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

%	:	Porcentaje
"	:	Pulgada
°C	:	Grado Celsius
τ	:	Esfuerzo promedio de adherencia

SIGLAS

Abs	:	Absorción
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
Ec	:	Módulo de Elasticidad del Concreto
Er	:	Módulo de Elasticidad del Refuerzo
f'c	:	Resistencia a la Compresión del Concreto
ft3	:	Pie cúbico
FRP	:	Fiber Reinforced Polymer (Polímero Reforzado con Fibras)
GFRP	:	Glass Fiber Reinforced Polymer
CFRP	:	Carbon Fiber Reinforced Polymer
AFRP	:	Aramid Fiber Reinforced Polymer
g	:	gramo
g/cm^3	:	gramo por centímetro cúbico
Hum.	:	Humedad
I_{gg}	:	Momento de inercia en la sección transversal, respecto al eje neutro.
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.
M	:	Momento flector externo en la sección
Min.	:	minutos (Unidad de tiempo)
Mg/l	:	Miligramos por litro
Mm	:	Milímetro
MPa	:	Megapascal (Unidad de Presión, 10^6 Pascal)
NTP	:	Norma Técnica Peruana
Ppm	:	Partes por millón
P.e.	:	Peso específico
P.U.	:	Peso unitario
P.U.C.	:	Peso unitario compactado
Pulg.	:	Pulgada
P.U.S.	:	Peso unitario suelto
σ	:	Esfuerzo de flexión
σ_a	:	Módulo de agrietamiento
Und.	:	Unidad
UNI	:	Universidad Nacional de Ingeniería
y	:	Distancia del eje neutro a la fibra exterior
Ft	:	Resistencia a la tracción.
LT	:	Longitud total.
La	:	Longitud del tubo.
C_b	:	Circunferencia efectiva de la barra de GFRP.
d_b	:	Diámetro efectivo.
Pcr	:	carga de rotura.
Mcr	:	Momento de agrietamiento.
fr	:	Módulo de rotura.
At	:	Área total.
Ac	:	Área del concreto.
Ar	:	Área del refuerzo.
n	:	Razón modular

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El concreto armado se destaca como el material más utilizado en la construcción gracias a sus notables ventajas en términos de versatilidad, resistencia y durabilidad, lo que lo convierte en una elección preferida en comparación con otros materiales de construcción disponibles. (Molina, 2009)

Sin embargo, a pesar de los beneficios del concreto, es importante reconocer que este material también puede sufrir daños y deterioro con el tiempo. En la actualidad, muchos edificios y estructuras de concreto requieren reparaciones costosas o incluso su demolición debido a los ataques físicos o químicos que experimentan. Es interesante notar que, existen ejemplos de concreto heredado de los romanos que han llegado hasta nuestros días en excelente estado, lo que demuestra su durabilidad. Al mismo tiempo, es preocupante ver cómo muchos puentes de concreto, con menos de 50 años de antigüedad, deben ser demolidos debido a ataques severos que han sufrido (Fernandez, 1994)

La exposición de las estructuras en ambientes marinos provoca la corrosión de las armaduras de acero en las estructuras de concreto armado, lo cual es un problema frecuente que causa un grave deterioro en dichas estructuras. Este proceso corrosivo se desarrolla de forma invisible y lenta en el interior de la estructura. Cuando finalmente los efectos de la corrosión se hacen visibles en el exterior, suele ser un indicio de que el daño ya es considerable, lo que a menudo conlleva a costosas reparaciones e incluso el cese de servicio de la estructura. (Molina, 2009)

El uso extensivo del concreto en la construcción suscita preocupaciones sobre su impacto en el medio ambiente y su capacidad para mantenerse a lo largo del tiempo, además de las dificultades asociadas a la durabilidad del concreto. En las últimas décadas, se ha producido un aumento perceptible de la demanda de concreto en todo el mundo. Esto puede atribuirse al aumento de la población mundial, así como a la necesidad de más infraestructuras. La fabricación de concreto requiere una cantidad cada vez mayor de agua pura, que a su vez crece

con la necesidad de nuevas infraestructuras. Además de la escasez de agua dulce, que ya afecta a más de cuarenta por ciento de la población mundial, ha surgido esta necesidad (Tanaz y Neaz , 2019).

Con una producción anual estimada entre 21.000 y 31.000 millones de toneladas, el concreto es el material más utilizado en el mundo después del agua. Hay que estudiar y promover la conservación del agua dulce y el uso del agua salada, que constituye el 97% del agua de la Tierra, resulta absolutamente necesaria en este contexto. Actualmente, todas las estructuras costeras están expuestas directa o indirectamente al agua de mar, la cual contiene sales y otros compuestos agresivos para las estructuras. (Qingyong, Chen, Zhao, Admilson y Zhang, 2018)

Considerando la importancia del concreto en la construcción y los desafíos que enfrenta, es crucial abordar estos problemas desde una perspectiva de desarrollo sostenible. Se requiere investigación y desarrollo de soluciones innovadoras que mejoren la durabilidad del concreto y reduzcan su impacto ambiental. Además, se deben implementar prácticas constructivas que optimicen el uso de recursos y mitiguen los efectos negativos en el suministro de agua dulce

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Por sus cualidades, el concreto se ha utilizado como material de construcción durante décadas, en un principio se creyó que este material sería duradero; sin embargo, con el transcurso de los años surgieron problemas que requerían una costosa inversión para su protección frente a los diferentes entornos medioambientales, esto provoca lo que conocemos como corrosión del acero de refuerzo, siendo este un material versátil en cuanto a su uso, que comprende desde herramientas hasta obras de ingeniería civil, por sus buenas propiedades de tracción.

La causa más común del deterioro de los elementos de concreto armado es la corrosión y tiene un impacto directo en las cualidades de la armadura, especialmente en las zonas costeras. Además, actualmente es considerado uno de los problemas más difíciles de solucionar a nivel mundial. (Hernandez y Mendoza, 2006). Mejorar la durabilidad de las estructuras nuevas puede reducir

los costos asociados con su vida útil futura. No obstante, las medidas que mejoran la durabilidad aumentan el coste inicial de una estructura. Por lo tanto, una solución rentable puede determinarse en función del costo del ciclo de vida, es decir, teniendo en cuenta todos los costos asociados con el diseño, la construcción, el mantenimiento y los posibles modos de falla de una estructura. (Val, 2005)

En un entorno medio, el coste anual previsto de mantenimiento y conservación de una estructura equivale aproximadamente al 2% del gasto original, considerando la operación en una atmósfera promedio. Sin embargo, esto varía cuando se trata de estructuras expuestas a ambientes muy agresivos, en los cuales la concentración de sales y dióxido de carbono son superiores a las permitidas que reducen drásticamente la durabilidad del concreto. (De Rincon, et al., 2002)

La construcción ha sido uno de los principales sectores que ha impulsado del crecimiento económico en el Perú. En conjunto es necesario considerar la estrecha relación con la utilización de los recursos de una forma eficiente, un cambio importante a favor de la sostenibilidad es la sustitución de materiales tradicionales por materiales compuestos con polímeros reforzados con fibra de vidrio, que entre sus principales propiedades encontramos que son elementos que demuestran un buen comportamiento ante agentes ambientales agresivos. (Castillo-Barahona, 2010)

Además, es importante mencionar que, según la investigación publicada en la revista Nature, Impacts of booming concrete production on water resources worldwide (2018), una décima parte del consumo industrial mundial de agua dulce, es decir, alrededor del 2,5% del agua accesible en la Tierra, se utiliza para fabricar concreto. De este modo, la disponibilidad y sostenibilidad de las estructuras expuestas a duras condiciones externas mejorarán con el uso combinado de concretos sostenibles y refuerzo de GFRP

La exposición del acero en entornos agresivos provoca la corrosión en la armadura, la cual es una de las principales razones detrás del deterioro en las estructuras de concreto armado. Durante los últimos años se ha evaluado el

uso de barras compuestas de polímeros reforzados con fibra de vidrio como alternativa de refuerzo para estas estructuras. Su propiedad más destacada es su resistencia a la corrosión. La utilización de este material no corrosivo abre la posibilidad de sustituir el agua potable por agua de mar en la producción de concreto ya que el uso de agua de mar en el concreto armado se encuentra prohibido debido a su alto contenido de cloruro, el cual acelera el deterioro del acero de refuerzo. (Morales-Mangual, 2020)

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo afecta la utilización de agua de mar en las propiedades físico-mecánicas del concreto armado con acero y con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP), utilizando el agua de mar como reemplazo del agua potable y como medio de exposición?

1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del agua de mar en las propiedades físico-mecánicas del concreto armado con acero y con Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP), utilizando el agua de mar como reemplazo del agua potable y como medio de exposición.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades mecánicas de las barras GFRP y acero, antes y después de su exposición al agua de mar.

- Determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido tanto del concreto patrón como del concreto mezclado con agua de mar.

- Determinar la resistencia a la flexión las vigas reforzadas con GFRP y acero, tanto bajo condiciones normales como después de su exposición al agua de mar.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

El uso del agua de mar en reemplazo del agua potable en el concreto junto con el uso del GFRP en lugar del acero en estructuras de concreto armado y su exposición al agua de mar no influye significativamente en sus propiedades físico-mecánicas.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- La exposición al agua de mar no influye significativamente en las propiedades mecánicas de las barras de GFRP en comparación con las propiedades mecánicas del acero.
- La incorporación de agua de mar en la mezcla de concreto no generará cambios significativos en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido en comparación con el concreto con agua potable.
- La exposición al agua de mar no afecta de manera significativa en la capacidad de flexión de las vigas reforzadas con GFRP, en comparación con las vigas reforzadas con acero.

1.6. METODOLOGÍA

Se utilizó una metodología experimental para llevar a cabo la investigación, realizando ensayos en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales "Ing. Manuel Gonzales de la Cotera".

La metodología inició con una revisión bibliográfica. Se llevó a cabo una búsqueda de información relevante relacionada con el uso y comportamiento de barras de polímero reforzado con fibra de vidrio y la utilización de agua de mar en el diseño de mezcla de concreto. Se dio prioridad a fuentes actualizadas, como tesis, revistas científicas y libros. Además, se consultaron normativas y guías pertinentes, como las Normas Técnicas Peruanas (NTP), las Normas del

American Society of Testing Materials (ASTM) y las guías del American Concrete Institute (ACI).

Una vez recopilada la información, se definieron los materiales y equipos necesarios para la investigación. Se adquirieron los materiales, incluyendo agregados, cemento SOL Portland tipo 1, agua potable, agua de mar y para el refuerzo, el acero 3/8" de la empresa SIDERPERÚ y las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio de 3/8" Grado 46, de la empresa canadiense V-ROD.

A continuación, se llevó a cabo el diseño de mezcla de concreto, desarrollando dos diseños con diferentes fuentes de agua. Se utilizó una relación agua y cemento de 0.55 en este estudio con el objetivo de evaluar un escenario desfavorable. Se prepararon las muestras de concreto utilizando agua potable en el primer diseño y agua de mar como reemplazo total del agua en el segundo diseño.

Seguidamente se recopilaron los datos necesarios y se realizaron las pruebas. Tanto el estado original del material de refuerzo de acero y GFRP como el concreto se sometieron a pruebas mecánicas. Utilizando agua potable y agua de mar, se realizaron mediciones de la resistencia a la compresión del concreto en distintos intervalos de tiempo. Además, se realizaron mediciones de la resistencia a la flexión de las vigas reforzadas con GFRP y barras de acero.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a una fase de exposición al agua de mar a 60°C. Varios estudios han utilizado la temperatura elevada como factor del aumento en la velocidad de corrosión al acelerar la difusión del oxígeno, por lo que este entorno actuará como agente agresivo debido a la naturaleza de los materiales (Khatibmasjedi y Nanni, 2018). Además, en el contexto de este acondicionamiento, se llevó a cabo un estudio de la resistencia a la compresión y resistencia a la tracción de las barras de refuerzo después de un período de inmersión en agua de mar. También se evaluó la resistencia a la flexión de las vigas de concreto tras su exposición al agua de mar. Estas pruebas se realizaron en intervalos de 30, 60, 90 y 120 días para evaluar cómo evolucionó el comportamiento de las muestras con el tiempo.

A final se examinaron los resultados obtenidos y se formularon conclusiones y recomendaciones basadas en ellos. Para facilitar la presentación y comparación de los resultados, los datos se agruparon en tablas y gráficos. Se evaluaron los efectos del uso de concreto mezclado con agua de mar y de la sustitución del acero por polímero reforzado con fibra de vidrio en el rendimiento de la estructura, y se determinó si los resultados corroboran la premisa central de la investigación.

1.7. ANTECEDENTES

El uso generalizado de compuestos de polímeros reforzados con fibras (FRP) se remonta a la década de 1940, tras la Segunda Guerra Mundial, según la Guía para el diseño y la construcción de estructuras de concreto armado empleando polímeros reforzados con fibras (FRP). Debido a los avances en el sector aeroespacial y de defensa durante la Guerra Fría, la industria aeronáutica impulsó el uso de materiales compuestos por sus ventajas en cuanto a resistencia y ligereza. Además, la expansión de la economía estadounidense creó la necesidad de productos de bajo coste para satisfacer la demanda de los consumidores. Los materiales compuestos pultrusionados se emplearon por primera vez en la producción de palos de golf y cañas de pescar porque la tecnología de pultrusión proporcionaba una forma rápida y económica de crear piezas con una forma continua. Sin embargo, la aplicación de estos elementos como refuerzo en el concreto no se consideró seriamente hasta la década de 1960 (ACI 440.1R, 2015).

El estudio "Correlación entre vigas de concreto reforzadas con barras de acero y barras FRP sometidas a esfuerzos de flexión en los tercios del vano" menciona que el acero ha sido hasta ahora el único material de refuerzo utilizado en el concreto reforzado, a pesar de su susceptibilidad a la corrosión. El objetivo de este estudio era examinar el uso de FRP en lugar de acero en concreto reforzado expuesto a cargas de flexión. Se construyeron ejemplos de concreto de tres tipos diferentes: concreto simple, concreto reforzado con barras de acero y concreto reforzado con GFRP del mismo diámetro. Se anotó el momento máximo durante el ensayo de las vigas y se calculó el módulo de rotura correspondiente. Los resultados mostraron que el FRP ofrecía una resistencia mucho mayor que el acero debido a su elevada resistencia a la tracción. Además, se confirmó la contribución adherente entre la armadura y el concreto, lo que llevó a la conclusión

de que el FRP presentaba una adherencia menor entre la armadura y el concreto que el acero (Rivadeneira, 2016).

En relación con el comportamiento de vigas de concreto reforzadas con barras de GFRP bajo carga de flexión, la investigación “Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars” se centra en la investigación de la capacidad de servicio, resistencia y deformabilidad de vigas de concreto reforzadas con barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) deformadas, tanto de concreto de resistencia normal como de alta resistencia, bajo carga de flexión. Para llevar a cabo el estudio, se ensayaron ocho vigas, todas con dimensiones de sección transversal de 200 mm de ancho, 300 mm de altura y una luz libre de 2700 mm, sometiéndolas a carga de flexión en dos puntos hasta su fallo. Cada viga contaba con dos barras de GFRP como refuerzo inferior/de tracción, con tamaños de barras que variaban entre 12 mm y 25 mm de diámetro y proporciones de refuerzo que oscilaban entre 0,38% y 1,63%. Los resultados de las pruebas revelaron que el aumento de la relación de refuerzo de GFRP tuvo un mayor impacto en el momento de servicio que en el momento de resistencia. Además, se investigaron los efectos del espaciado de las barras, encontrando que un menor espaciado resultaba en un aumento del momento de servicio, mientras que un aumento en la resistencia del concreto aumentaba el momento resistente. Se propuso un nuevo enfoque para determinar el índice de ductilidad de las vigas de hormigón con barras de GFRP basado en la curvatura de la viga, demostrando una clara tendencia donde las vigas de HSC tenían índices de ductilidad más altos que las de NSC. (Abdelkarim, Ahmed, Mohamed, y Benmokrane, 2019).

El artículo “Compression Behavior of Seawater and Sea-Sand Concrete Reinforced with Fiber and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars” investigó el uso de barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) y fibras de polipropileno (PP) para mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón frente al ataque de cloruros, especialmente en ambientes marinos. Se realizaron pruebas en columnas de concreto de arena de mar reforzadas con PP y barras de GFRP bajo cargas de compresión axial y excéntrica. Los resultados mostraron que, en las pruebas de compresión axial, el aumento de la relación de refuerzo longitudinal tuvo un impacto limitado en los resultados, y la contribución de las barras de GFRP

a la capacidad de carga fue mínima. Además, se observó que las fibras de polipropileno pudieron restringir eficazmente el desarrollo de grietas en las columnas de concreto. Los análisis teóricos coincidieron bien con los datos experimentales, lo que respalda la eficacia de las fibras de polipropileno y las barras de GFRP en mejorar la resistencia y la capacidad de carga del hormigón expuesto a condiciones agresivas, como ambientes marinos y ataques de cloruros. (Zhou, He, y Shen, 2020).

En la investigación titulada "Flexural and Durability Performance of seawater mixed GFRp Reinforced concrete" se resaltó que la corrosión de la armadura de acero constituye una de las principales causas de deterioro en el concreto armado. A lo largo de los años, se ha explorado la sustitución de las barras de acero convencionales por materiales resistentes a la corrosión, como es el caso de GFRP. En este estudio, se examinaron cuarenta y ocho losas de hormigón armado (RC) reforzadas con polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP), fabricadas con hormigón mezclado con agua de mar, con el objetivo de evaluar el posible deterioro del rendimiento en diversas condiciones ambientales durante períodos de 1, 6, 12 y 24 meses. Los ambientes de prueba incluyeron condiciones de campo típicas de una región subtropical y la inmersión en agua de mar a 60°C como método de envejecimiento acelerado. Todas las losas se sometieron a pruebas de carga de flexión de tres puntos, y en todas se observó la rotura de las barras como modo de fallo. Se observó que el diseño de la mezcla de concreto y la exposición al envejecimiento acelerado afectaron la capacidad última de las losas de GFRP-RC que fue de hasta 17.5% inferior en comparación con aquellas acondicionadas en un entorno de campo. (Morales – Mangual, 2020)

El estudio de la investigación “Bonding properties of different kinds of FRP bars and Steel bars with all coral aggregate seawater concrete” analizó el rendimiento de la unión en concreto de agua de mar con agregado de coral y polímero reforzado con fibra (FRP), evaluando diferentes tipos de barras de FRP mediante pruebas de tracción y adherencia. Se observó que las barras de CFRP y BFRP presentaron fallos por extracción, mientras que las barras de GFRP experimentaron fallos por división. Factores como la altura, espaciado y ángulo de inclinación de los nervios influyeron en los modos de fallo. Se analizaron los efectos del tipo de fibra, estado de la superficie, modo de fallo y tipo de concreto

en el comportamiento de la adherencia. La carga final de las barras de CFRP redondas lisas con hormigón de coral fue menor debido a la rugosidad de la superficie, mientras que las barras de BFRP redondas y lisas mostraron una resistencia significativamente mayor, atribuible a la absorción de agua de la arena de los arrecifes de coral. En resumen, el estudio destacó la complejidad y la influencia de diversos factores en el comportamiento de la adherencia en sistemas de construcción con FRP y concreto con de agua de mar con agregado de coral. (Yin, Hu y Liang, 2020)

La investigación en “Benefits of using sea sand and seawater in concrete: a comprehensive review” trata del impacto de condiciones de envejecimiento acelerado en la capacidad de flexión y ductilidad de elementos de concreto reforzados con fibra de vidrio (RC-GFRP) y barras de acero (RC-acero). Con treinta y seis especímenes diseñados con distintos niveles de refuerzo, sometidos a condiciones de envejecimiento acelerado (Agua de mar a 60°C), se observó una significativa reducción en la capacidad de flexión tanto para el acero RC como para el GFRP RC. Los diferentes tipos de refuerzo GFRP mostraron diferentes tasas de degradación de la capacidad de flexión cuando se usan en concreto reforzado en las mismas condiciones de exposición. La sustitución de barras de acero por armaduras de GFRP en vigas de hormigón resultó en mayor resistencia y menor deflexión en la fase de fallo debido al comportamiento no dúctil del refuerzo FRP, mientras que el refuerzo de flexión con PRFV en el hormigón mostró una mejora significativa en la resistencia a la flexión (Dhondy, Remennikov y Shiekh, 2019).

En la investigación titulada “Influence of Seawater Curing in Standard and High-Strength Submerged Concrete” se busca conocer la influencia del curado con agua de mar en las propiedades del concreto armado utilizado en estructura marítimas. Se destaca que en las normas internaciones no está permitido este tipo de curado. Se realizó diferentes pruebas, incluyendo densidad, resistencia a la compresión, porosidad, absorción, capilaridad y tasa de penetración de cloruros en concreto curado tanto con agua potable como con agua de mar. Se encontró que el agua de mar no afecta significativamente la resistencia a la compresión ni la porosidad del concreto; sin embargo, se observó diferencias a corto plazo en el

concreto curado con agua de mar, las cuales en edades posteriores desaparecen. (Alaejos y Bermúdez, 2011)

En la investigación "Compressive Strength Development of Seawater-Mixed Concrete Subject to Different Curing Regimes" el estudio trata sobre el efecto de diferentes regímenes de curado en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar. Se compararon propiedades del concreto mezclado con agua de mar y concreto mezclado con agua potable utilizando como material cementante suplementario a la ceniza volante, destacando un rendimiento similar o mejor del concreto mezclado con agua de mar. Se observó un desempeño similar en términos de resistencia a la compresión entre el concreto con agua de mar y el concreto mezclado con agua de mar cuando se exponen a un ambiente subtropical y zona de mareas (ciclos húmedo-seco) y curado húmedo (en una sala de niebla) ; sin embargo se registró un aumento del 14% en la resistencia la compresión a los 24 meses de curado cuando el concreto se expuso al agua de mar a 60°C , el autor indica que puede existir un efecto sinérgico entre el agua de mar y ceniza volante, que en parte puede explicar el mejor rendimiento del concreto mezclado con agua de mar. (Khatibmasjedi, Ramanathan, Suraneni y Nanni, 2020)

En los antecedentes presentados (Ver Tabla N° 1), se ha investigado ampliamente el uso del FRP como sustituto del acero en elementos de concreto armado, abarcando tanto el comportamiento a flexión como a compresión. Se han realizado numerosos estudios sobre el efecto del agua de mar en el concreto, tanto con y sin aditivos, e incluso utilizando materiales cementantes suplementarios. Además, se ha explorado el impacto del agua de mar como medio de curado o exposición en el concreto. Los autores presentados emplearon el agua de mar a una temperatura controlada de 60°C para acelerar la corrosión en sus estudios. Si bien ya existen investigaciones sobre el uso de elementos estructurales de GFRP bajo exposición al agua de mar y sobre el efecto del agua de mar en el concreto, esta investigación busca integrar ambas propuestas para analizar de manera integral la viabilidad de utilizar agua de mar junto con el refuerzo de GFRP en elementos de concreto armado expuestos a ambientes marinos.

Tabla N°1: Resumen de antecedentes referenciales

	Autor	Año	Estudio	Medio de exposición	Pruebas
1	Rivadeneira	2016	Uso de FRP en reemplazo del acero	-	Comportamiento a la flexión
2	Abdelkarim, Ahmed, Mohamed, y Benmokrane	2019	Uso de FRP en reemplazo del acero	-	Comportamiento a la flexión
3	Zhou, He, y Shen	2020	Uso de FRP en reemplazo del acero	-	Comportamiento a la flexión
4	Morales – Mangual	2020	Uso de FRP en reemplazo del acero	Agua de mar a 60°C	Comportamiento a la flexión
5	Dhondy, Remennikov y Shiekh	2019	Uso de FRP en reemplazo del acero	Agua de mar a 60°C	Comportamiento a la flexión
6	Yin, Hu y Liang	2020	Adherencia FRP	-	Adherencia
7	Alaejos y Bermúdez	2011	Exposición del concreto	Agua de mar	Propiedades mecánicas
8	Khatibmasjedi, Ramanathan, Suraneni, & Nanni,	2020	Agua de mar en el concreto	Agua de mar a 60°C	Propiedades mecánicas

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. EL CONCRETO

Esencialmente, el concreto es una combinación de dos ingredientes: pasta y partículas. Los áridos, a menudo arena y piedra se unen mediante una pasta hecha de cemento portland y agua para formar un material parecido a la roca. La pasta también puede incluir otros componentes cementantes (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

También la inclusión de aditivos pueden ser parte del concreto para obtener características determinadas, según su tipo. Por ello, se describe en la Figura N°1 de manera didáctica la composición del concreto convencional y no convencional, que se determina en función del uso y el tipo de material.

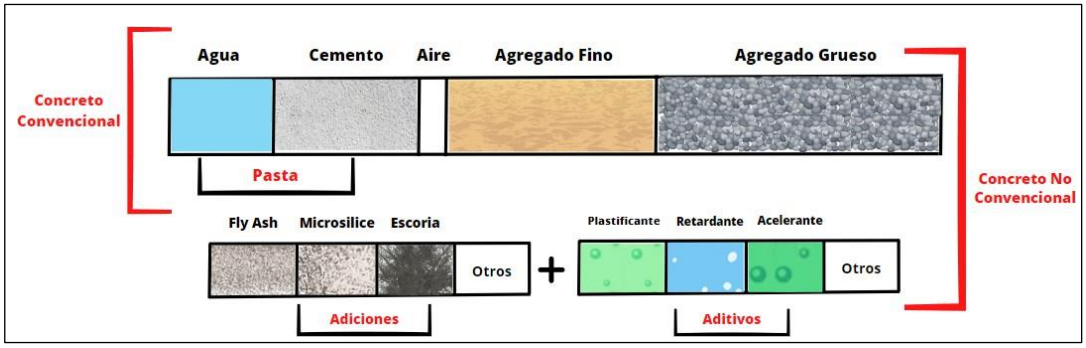


Figura N°1: Concreto convencional y no convencional. Fuente: Elaboración propia

2.2. EL ACERO

Debido a que presentan corrugaciones o protuberancias de tipo High-Bond, las barras de acero de refuerzo, también conocidas como armaduras, se utilizan como refuerzo en componentes de concreto armado. Esto es posible gracias a la buena adherencia de las armaduras al concreto. Suelen fabricarse en longitudes de nueve metros, que es la norma industrial para sus longitudes. La identificación de las barras se realiza mediante marcas laminadas en alto relieve, como se muestra en la Figura N°2; estas marcas proporcionan el fabricante, la designación del tamaño, el tipo de acero y la designación de la fluencia mínima. (Siderperú, 2019)

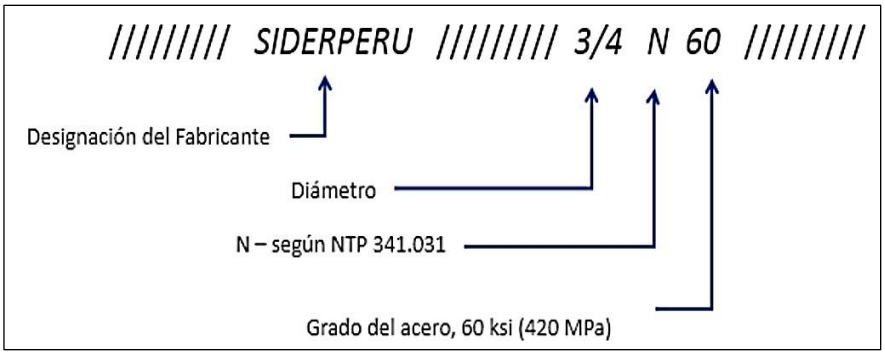


Figura N°2: Identificación de una varilla de acero. Fuente: Siderperú

Además, los diámetros comerciales son de 6mm, 8mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 3/8", usualmente vendidos en Perú.

2.3. EL CONCRETO ARMADO

El concreto y el acero son los dos componentes del concreto armado. Estos dos materiales se complementan muy bien, ya que las ventajas de uno compensan los inconvenientes del otro. Por ejemplo, uno de los principales inconvenientes del concreto es que no posee suficiente resistencia a la tracción, mientras que la resistencia a la tracción se considera una de las principales ventajas del acero. La resistencia a la tracción de las barras de refuerzo es aproximadamente cien veces superior a la del concreto que se suele utilizar. (McCormac y Brown, 2017)

2.4. CORROSIÓN EN EL CONCRETO ARMADO

2.4.1. Corrosión

El proceso por el cual la estructura química y la integridad estructural de una masa sólida se alteran debido a la exposición a un ambiente corrosivo se conoce como corrosión. Puede ocurrir tanto en líquidos corrosivos como en ambientes gaseosos y puede ser provocada por reacciones químicas, alta temperatura, radiación, bacterias, entre otros factores. La corrosión suele asociarse con la formación de óxido en metales y puede ocurrir en diferentes condiciones de temperatura y tiempo. (Askeland y Wright, 2017)

2.4.2. Corrosión del acero en el concreto

Como consecuencia de la interacción entre el hierro del acero y el oxígeno del ambiente, la sección transversal de la barra de refuerzo de acero disminuye por el proceso de corrosión. Toda la circunferencia de la barra se recubre con una capa de subproductos corrosivos, como óxido o hidróxido de hierro, que se producen como resultado de la reacción. El concreto circundante se ve sometido a presión debido a que el volumen que ocupa esta capa de corrosión es mayor al que ocupaba el acero puesto al inicio. Como consecuencia de ello, aparecerán grietas y desconchados en el concreto. Estas fracturas y desconchados en el revestimiento de concreto no sólo son poco estéticos, sino que también pueden debilitar la adhesión del acero y posiblemente comprometer la resistencia de la estructura. En conclusión, la corrosión del acero de refuerzo en el concreto puede conducir a la degradación de la estructura, lo que a su vez debilita y compromete la integridad del elemento. (Torres y Martinez, 2001)

2.5. EL AGUA EN EL CONCRETO

En la tabla N°2 se muestran las normas respectivas que se centran en estudiar el agua para el empleo en concreto y mortero de diferentes países.

Tabla N°2: Normas de la calidad del agua para morteros y concretos.

País	Norma	Nombre de la norma
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento portland
Chile	NCh1498.Of1982	Hormigón - Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto
Ecuador	1 855-1:01 1 855-2:02	Hormigón premezclado; requisitos Hormigón preparado en obra; requisitos
EE.UU.	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	NTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos portland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

Fuente: Kosmatka et al. (2004)

2.5.1. Agua de mar

Según la literatura técnica disponible, a pesar de la creencia generalizada de que el agua de mar no es adecuada para el concreto armado, la sal del agua de mar puede no tener un impacto negativo significativo en las propiedades del concreto

endurecido, y si surgen problemas de durabilidad, se deben principalmente a la corrosión de la armadura de acero y no a las propiedades del concreto, varios investigadores han señalado en sus publicaciones que el concreto que contenía agua de mar muestra un aumento de la resistencia a la compresión en edades tempranas y Dewar (1963) agregó que la resistencia aumenta con el contenido de salinidad (Younis, Ebead y Nanni, 2017)

2.6. DETERIORO DE ESTRUCTURAS EN AMBIENTE HÚMEDO Y MARINO

2.6.1. La construcción en el litoral

En un entorno marítimo, los procesos de deterioro en los elementos de concreto armado se ven acelerados por la acción del propio mar o por la actividad de la brisa y la niebla marinas. Ambos factores contribuyen al ambiente marino. Este fenómeno es importante debido a la gran longitud de nuestro litoral, que tiene casi 3.000 kilómetros de largo y es donde se encuentran la mayoría de los puertos y áreas metropolitanas más importantes. En consecuencia, es vital examinar y evaluar las dificultades causadas por la exposición a lo largo de nuestra costa para maximizar el rendimiento de las inversiones en obras de concreto y reducir la cantidad de daños económicos que causa (Gonzales, 1998).

La temperatura y la humedad son dos factores que pueden afectar a la velocidad de deterioro por corrosión de las estructuras de concreto armado. Es bien sabido que el aumento de la temperatura acelera los diversos procesos químicos. Se espera que un aumento de la temperatura de 10 grados centígrados provoque una duplicación de la velocidad de reacción. En lo que respecta a la corrosión por cloruros, la influencia de la humedad es especialmente significativa entre los porcentajes del 70 y el 90% de humedad relativa. (Gonzales, 1998).

2.7. POLÍMERO REFORZADO CON FIBRA (FRP)

2.7.1. Definiciones

2.7.1.1. Fibra

Se denomina fibra al material de origen natural o artificial, mineral u orgánico, que adopta la forma de un hilo fino. Para que algo se clasifique como fibra, su longitud debe ser al menos cien veces mayor que su diámetro, que suele oscilar entre 0,1 y 0,3 milímetros (Caneiro, Rivas y Pérez, 2017).

2.7.1.2. Fibra de vidrio

Según Nanni, De Luca y Zadeh (2014), la fibra de vidrio se fabrica principalmente a partir de arena de sílice y se comercializa en distintos grados. Se compone de fibras de vidrio resistentes a los álcalis (vidrio tipo AR), vidrio de uso general (vidrio tipo E), vidrio de alta resistencia (vidrio tipo S) y vidrio tipo C para aumentar la resistencia a los ácidos (Chulia, 2010).

2.7.1.3. Matriz polimérica

La matriz de un compuesto polimérico tiene un doble propósito, funcionando como componente estructural y de protección. El término "resina" engloba al polímero en sí, su material precursor y/o la mezcla con aditivos o componentes químicamente reactivos. Durante el procesamiento, el polímero se conoce como sistema de resina, mientras que después de su curado se le denomina matriz. (FIB, 2007)

2.7.1.4. Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP)

Las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio, también llamadas como GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer, Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio), se fabrican con fibras que luego se impregnan con resinas poliméricas a lo largo del proceso de fabricación; el resultado es la creación de un material compuesto. (FIB, 2007). El material compuesto obtiene su resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor del refuerzo de fibra de vidrio; la resistencia dieléctrica y química es proporcionada por la resina plástica, así como el comportamiento a la intemperie (Caneiro et al., 2017).

2.7.2. Propiedades del Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP)

2.7.2.1. Propiedades Físicas

2.7.2.1.1. Densidad

Posee una baja densidad, su valor está entre 1250 y 2100 Kg/m3, mientras que la densidad del acero es de 7900 Kg/m3, debido a esto es que resalta la facilidad de transporte y manejabilidad del FRP. (Rivadeneira, 2016) En la tabla N°3 se muestran las densidades del acero, GFRP, CFRP y AFRP.

Tabla N°3 Densidades típicas de las barras reforzadas.

	ACERO	GFRP	CFRP	AFRP
Densidad (g/cm^3)	7.9	1.25 a 2.1	1.5 a 1.6	1.25 a 1.4

Fuente: ACI 440.1R (2015)

2.7.2.1.2. Dilatación térmica

La proporción de resinas y fibras en un material compuesto es importante ya que afectan sus valores de expansión térmica. Las características de las fibras son el principal determinante del coeficiente de expansión térmica longitudinal, mientras que los materiales utilizados para el refuerzo tienen un papel secundario. La resina tiene una influencia significativa en el coeficiente anverso. En la Tabla N°4 se comparan los valores de expansión térmica para las barras de GFRP y diversos materiales de refuerzo. (Faria, Díaz y Rivas, 2017)

Tabla N°4: Valores de coeficientes de dilatación térmica de barras de refuerzo.

Dirección	CTE, x 10^{-6}/°C			
	ACERO	GFRP	CFRP	AFRP
Longitudinal	11.7	6.0 a 10.0	-9.0 a 0.0	-6 a 2
Transversal	11.7	21.0 a 23.0	74.0 a 104.0	33.3 a 44.4

Fuente: ACI 440.1R (2015)

2.7.2.2. Propiedades Mecánicas

2.7.2.2.1. Resistencia a la tracción

Las barras de GFRP en general al ser sometidas a tracción no llegan a fluir antes de la rotura (colapso frágil), a diferencia del acero que si llega a fluir antes de su

rotura. (Martínez, Correa y Díaz, 2019) Las barras de GFRP generalmente exhiben una resistencia a la tracción superior en comparación con el acero típico. Sin embargo, el módulo de elasticidad del GFRP es inferior al del acero, lo que se manifiesta en una pendiente más baja en el diagrama de esfuerzo-deformación en comparación con el acero, como se muestra en la Figura N°3. Así mismo en la Tabla N°5 se muestran valores de resistencia a la tracción.

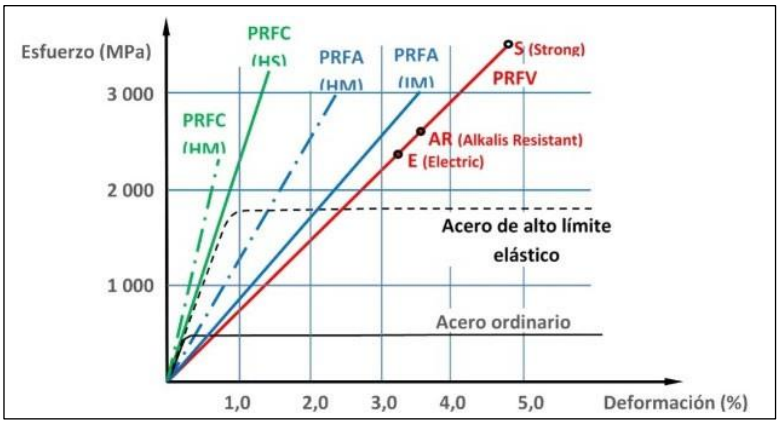


Figura N°3: Curvas de comportamientos a tracción de barras de acero y GFRP. Fuente: Faria et al. (2017)

Tabla N° 5: Valores típicos de resistencia a la tracción.

	Acero	GFRP	CFRP	AFRP
Fluencia (MPa)	276 a 517	-	-	-
Resistencia a tracción (MPa)	483 a 1600	483 a 690	600 a 3690	1720 a 540

Fuente: ACI 440.1R (2015)

2.7.2.2.2. Resistencia al cizallamiento

Las barras de refuerzo GFRP son materiales anisotrópicos con baja resistencia en la dirección transversal. Su resistencia depende de las características de la matriz y la posición de tensiones. Son fácilmente cortables perpendicularmente a las fibras. Para aumentar su resistencia al cizallamiento, se pueden agregar fibras adicionales trenzadas o enrolladas en sentido transversal. (Nanni et al., 2014 citado en Faria et al., 2017)

2.7.2.2.3. Resistencia a la compresión

Las fibras en el GFRP son altamente resistentes a la tracción, pero no ofrecen mucha resistencia a la compresión. Según Nanni et al. (Citado en Faria et al., 2017) en general, la resistencia a compresión del GFRP es aproximadamente el 45% de su resistencia a tracción. Debido a su debilidad en compresión, su uso como refuerzo en aplicaciones estructurales se limita principalmente a la tracción. Sin embargo, se están llevando a cabo investigaciones para optimizar y ampliar el uso de GFRP en aplicaciones de compresión.

2.7.2.2.4. Adherencia

Investigaciones recientes mencionan que existen algunos factores que pueden intervenir en la resistencia de adherencia del GFRP/concreto, siendo: perfil superficial del refuerzo, módulo de elasticidad, recubrimiento del concreto, resistencia del concreto, diámetro del refuerzo, etc.; siendo la influencia de estos factores aún en desarrollo.

Por ello según el estudio experimental de la adherencia de Baena, Torres, Turon, y Barris (2008). En el caso del CFRP y GFRP, las resistencias de adherencia alcanzadas son comparables entre sí en el sentido de que ambas son inferiores a las resistencias de adherencia producidas con barras de acero. Además, se determinó que el aumento de la adherencia se debía a un aumento del f´c del concreto. Se demostró que este resultado era cierto independientemente del tipo de barra que se utilizara.

2.7.2.2.5. Resistencia a la fatiga

Las barras de GFRP resisten de manera excelente a la fatiga, por ello la determinación de la resistencia a la fatiga es un ensayo muy difícil de realizar debido a la naturaleza del ensayo y la elevada resistencia de las barras, ya que se da en condiciones de tensión directa mediante tensión cíclica. (Chuen, 2009)

2.7.2.2.6. Durabilidad

De acuerdo con Nanni et al. (Citado en Faria et al., 2017), por su resistencia a la corrosión, el GFRP es una excelente opción de material para entornos propensos

a la corrosión. Sin embargo, su vida útil puede verse comprometida por diversas variables ambientales, como la presencia de agua, soluciones (salinas, alcalinas o ácidas) exposición a la luz UV y temperatura extrema. Estas variables pueden afectar a las características mecánicas del GFRP.

2.7.3. Ventajas y desventajas del GFRP

2.7.3.1. Ventajas

- Resistente a la corrosión
- Neutralidad electromagnética.
- Peso ligero.
- Aislador térmico.
- Aislador eléctrico.
- Resistencia a la fatiga.

2.7.3.2. Desventajas

- Bajo módulo de elasticidad
- Baja resistencia a la cortante.
- Naturaleza frágil. (no fluye)
- Baja resistencia al fuego

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Los materiales que se utilizaron para el concreto fueron: cemento, agua (agua potable y agua de mar), agregado grueso, agregado fino y para el refuerzo se utilizaron barras de acero y de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio.

Los ensayos de control de calidad en su totalidad fueron realizados en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera” y en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil, ambos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.1. CEMENTO PORTLAND

El cemento cuya función principal al reaccionar con el agua es hidratarse, posteriormente es conglomerar los componentes (arena, piedra, etc.) del concreto. El cemento es importante para la resistencia y durabilidad del concreto, tiene carácter influyente y depende de la calidad del tipo utilizado, pero hay muchos factores adicionales que determinan un concreto de buena calidad.

El cemento empleado es el cemento SOL Portland Tipo I, fabricado por Cementos Lima, en cumplimiento con las normativas correspondientes NTP 334.009 y ASTM C150. Algunas propiedades físicas se muestran en la Tabla N°6.

Tabla N°6: Propiedades físicas del cemento Sol Tipo 1.

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m^2/Kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm^3	3.13	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	Kg/cm^2	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	Kg/cm^2	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	Kg/cm^2	449	Mínimo 285

TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	22	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5

Fuente: UNACEM

3.2. AGUA

El agua utilizada procedía de la red de grifos de agua potable del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales. El resultado del control de calidad realizado se ajustó a los requisitos de ASTM C1602 y NTP 339.088. El valor de pH, que se muestra en la Tabla N°7.

Tabla N°7: pH del agua potable del LEM UNI.

Descripción	pH
Agua potable (LEM UNI)	7

Fuente: Elaboración propia

3.3. AGUA DE MAR

El agua de mar, debido a su composición química no está permitida para su uso en la construcción, de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por las normas nacionales e internacionales. Esto se debe principalmente a su alta concentración de cloruros, lo que representa un riesgo para el acero de refuerzo en estructuras de concreto, ya que puede provocar su corrosión y deterioro. Sin embargo, en el caso de concretos que no contienen acero de refuerzo, el agua de mar podría ser utilizada en combinación con materiales compuestos de fibra de vidrio reforzada con polímeros (GFRP), sin representar una amenaza para la durabilidad de la estructura. El agua de mar empleada en esta investigación proviene del distrito La Punta, provincia del Callao. Los resultados de análisis químico se muestran en la siguiente tabla N°8.

Tabla N°8: Análisis químico del agua de mar (La punta-Callao).

	Unidad	Agua de mar
Cloruros	mg/L	2658
Sulfatos	mg/L	18426
Sales solubles totales	mg/L	22963
pH	-	6.87
Materia orgánica	mg/L	2.16
Alcalinidad	mg/L	493

Fuente: Elaboración propia

3.4. AGREGADOS

Las cualidades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, dependen directamente de los áridos que lo componen. En consecuencia, no se puede ignorar la calidad de los agregados utilizados en la formación del diseño de la mezcla y, como resultado directo de ello, el coste/m3 de concreto. (Yataco, 2022)

El agregado grueso y fino son provenientes de la cantera Jicamarca, localizada a la altura de la refinería de Cajamarquilla, cumpliendo con los requisitos de la normativa nacional e internacional NTP 400.037 y ASTM C33 respectivamente.

Las propiedades físicas de los agregados se realizaron en base a la metodología utilizada de acuerdo con las normativas vigentes ASTM y NTP, desarrollado y descrito a continuación.

3.4.1. Granulometría

Es la distribución de tamaño de las partículas de los agregados, dividiendo en su análisis una muestra en partes según su tamaño acorde a las aberturas de los tamices utilizados y cumpliendo a su vez los límites establecidos por las normativas vigentes ASTM C33 y NTP 400.037. En la tabla N° 9 se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso.

Tabla N°9: Análisis granulométrico del agregado grueso.

Agregado Grueso					
Tamiz		Ret. (g)	%Ret.	%Acum.	%Pasa
1 1/2"	37.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
1"	25 mm	155.47	3.11	3.11	96.89
3/4"	19 mm	2385.9	47.71	50.82	49.18
1/2"	12.5 mm	2032.8	40.65	91.48	8.52
3/8"	9.5 mm	287.3	5.75	97.22	2.78
N°4	4.75 mm	69.4	1.39	98.61	1.39
N°8	2.36 mm	0	0.00	98.61	1.39
N°16	1.18 mm	0	0.00	98.61	1.39
N°30	600 um	0	0.00	98.61	1.39
N°50	300 um	0	0.00	98.61	1.39
N°100	150 um	0	0.00	98.61	1.39
Fondo		69.5	1.39	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°4 se aprecia la curva granulométrica del agregado grueso en base a lo indicado por la norma NTP 400.012.

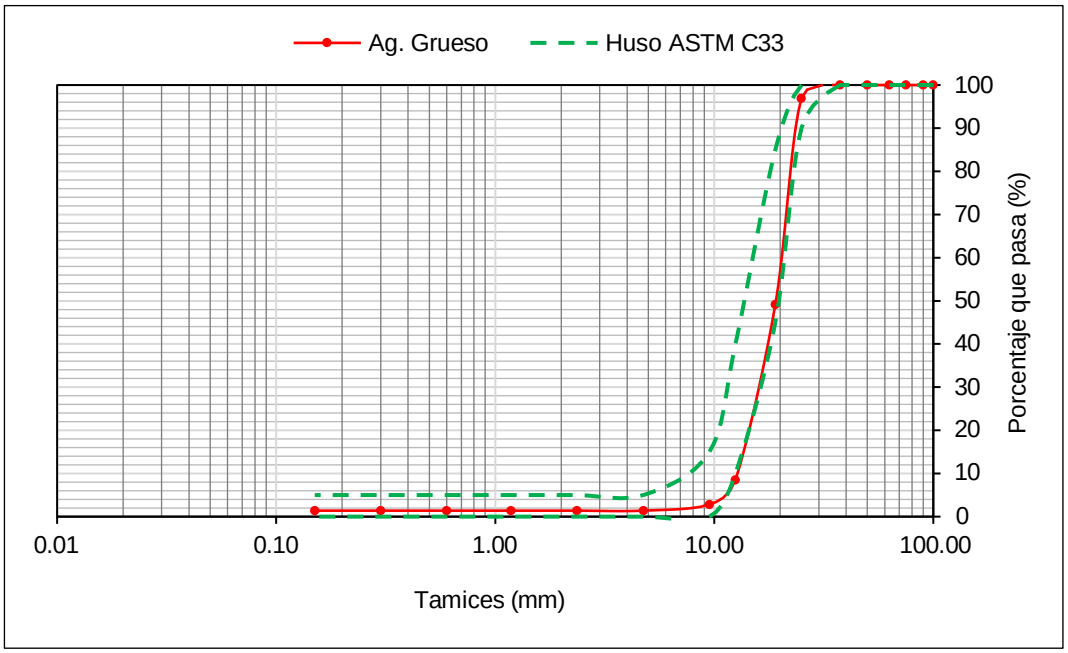


Figura N°4: Curva granulométrica del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia

Así mismo los resultados del análisis granulométrico del agregado fino, según el procedimiento de la norma NTP 400.012, se muestran en la Tabla N°10.

Tabla N°10: Análisis granulométrico del agregado fino.

Agregado Fino					
Tamiz		Ret. (g)	%Ret.	%Acum.	%Pasa
1 1/2"	37.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
1"	25 mm	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19 mm	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5 mm	0	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75 mm	26.8	5.36	5.36	94.64
N°8	2.36 mm	75.6	15.11	20.46	79.54
N°16	1.18 mm	124.6	24.90	45.36	54.64
N°30	600 um	112.3	22.44	67.81	32.19
N°50	300 um	81.2	16.23	84.03	15.97
N°100	150 um	43.7	8.73	92.77	7.23
Fondo		36.2	7.23	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°5 se aprecia la curva granulométrica del agregado fino.

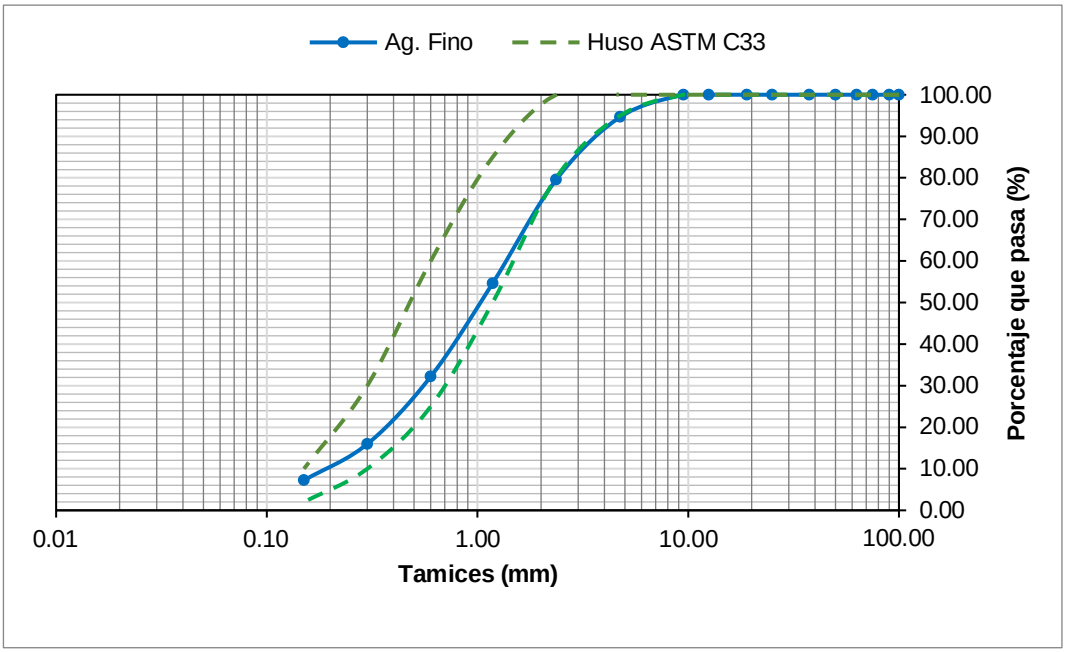


Figura N°5: Curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Módulo de Finura (M.F.)

El módulo de finura es una representación del tamaño medio de las partículas de la muestra agregada; sin embargo, no refleja en modo alguno la distribución de las partículas de la muestra.
El valor se calcula mediante la ecuación (3) que suma los porcentajes retenidos acumulados en los tamices respectivos, establecidos por las normativas vigentes, ASTM C136 y NTP 400.012. En la tabla N°11 se muestran los resultados del módulo de finura de los agregados.

$$MF = \frac{\sum \%\, Ret.acum.\,(3"+1\frac{1}{2}" + \frac{3}{4}"+\frac{3}{8}" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}{100} \quad (3)$$

Tabla N°11: Módulo de finura de los agregados.

	Módulo de Finura
Agregado grueso	7.40
Agregado fino	3.16

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Peso específico (P.e.) y Absorción (Abs.)

El peso específico de los áridos es un indicador de calidad útil porque los valores altos indican materiales con un excelente comportamiento mecánico, mientras que los valores bajos suelen indicar un material poroso, absorbente y débil. Esto se debe a que los valores altos se correlacionan con materiales con un buen comportamiento mecánico. De forma similar, la absorción se refiere a la capacidad de los agregados para atrapar y mantener el agua dentro de sus poros. Su efecto puede verse en la cantidad de agua que se añade al concreto, que puede cambiar tanto las cualidades del concreto en estado fresco como su resistencia mecánica. (Yataco, 2022)

Los resultados de los ensayos se realizaron según las normas ASTM C127, ASTM C128, NTP 400.021 y NTP 400.022, donde se presentan en la Tabla N°12 los resultados para el agregado grueso.

Tabla N°12: Peso específico y absorción del agregado grueso.

Peso específico y absorción del agregado grueso		
Parámetros	cantidad	unidad
Peso muestra secada al horno	2948	(g)
Peso muestra saturada superficialmente seca	3000	(g)
Peso muestra saturada en agua	1951	(g)
Peso específico de masa	**2.81**	(g/cm3)
Peso específico de masa superficialmente seco	2.86	(g/cm3)
Peso específico aparente	2.96	(g/cm3)
Porcentaje de absorción	**1.8**	(%)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°13 se describen los resultados del peso específico y absorción para el agregado fino.

Tabla N°13: Peso específico y absorción del agregado fino.

Peso específico y absorción del agregado fino		
Parámetros	cantidad	unidad
Peso arena superficialmente seca	500	(g)
Peso arena superficialmente seca + balón + agua	999	(g)
Peso del balón	193	(g)
Peso del agua	306	(g)
Peso de la arena seca al horno	489	(g)
Volumen del balón	500	(cm3)
Peso específico de masa	**2.52**	(g/cm3)
Peso específico de masa superficialmente seco	2.58	(g/cm3)
Peso específico aparente	2.67	(g/cm3)
Porcentaje de absorción	**2.3**	(%)

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Peso Unitario (P.U.)

Según Challco (2002), el peso del agregado que corresponde a un determinado volumen unitario se denomina peso unitario o peso aparente. En la mayoría de los casos, se denota utilizando la unidad Kg/m3. Dependiendo del tipo de consolidación que se realice, existen dos formas diferentes de peso unitario:

Peso Unitario Suelto (P.U.S.): Es cuando el proceso de llenado del agregado en el recipiente es continuo sin ninguna presión. (Challco, 2002) Peso Unitario Compactado (P.U.C.): Es cuando el proceso de llenado del agregado en el recipiente es por capas (3) y se ejerce presión (varillado). (Challco, 2002)

Los resultados de este ensayo se realizaron según las normas ASTM C29 y NTP 400.017, se presentan en la Tabla N°14 resultados para el agregado grueso.

Tabla N°14: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Peso unitario del agregado grueso		
Parámetros	Cantidad	Unidad
P.U.S. del agregado grueso		
Peso muestra + recipiente	5596.5	(g)
Peso recipiente	1572.5	(g)
Peso muestra	4024.0	(g)
Volumen recipiente	0.1	(pie^3)
Peso unitario suelto	1420	(kg/m^3)
P.U.C. del agregado grueso		
Peso muestra + recipiente	6010.0	(g)
Peso recipiente	1572.5	(g)
Peso muestra	4437.5	(g)
Volumen recipiente	0.1	(pie^3)
Peso unitario compactado	1570	(kg/m^3)

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se presentan los resultados para el agregado fino en la Tabla N°15.

Tabla N°15: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Peso unitario del agregado fino		
Parámetros	**Cantidad**	**Unidad**
P.U.S. del agregado fino		
Peso muestra + recipiente	6211.5	(g)
Peso recipiente	1572.5	(g)
Peso muestra	4639.0	(g)
Volumen recipiente	0.1	(pie^3)
Peso unitario suelto	1640	(kg/m^3)
P.U.C. del agregado fino		
Peso muestra + recipiente	6438.0	(g)

Peso recipiente	1572.5	(g)
Peso muestra	4865.5	(g)
Volumen recipiente	0.1	(pie^3)
Peso unitario compactado	1720	(kg/m^3)

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Contenido de Humedad

Es la retención de agua por las partículas del árido varía con el tiempo y las condiciones ambientales, este ensayo fue determinado según las normas ASTM C566 y NTP 339.185, en la Tabla N°16 para el agregado grueso y fino, respectivamente.

Tabla N°16: Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino

Contenido de humedad del agregado grueso		
Parámetros	*Cantidad*	*Unidad*
Peso muestra en ambiente	3000.0	(g)
Peso muestra seca al horno	2972.9	(g)
Peso agua perdida	27.1	(g)
Contenido de humedad	0.9	(%)
Contenido de humedad del agregado fino		
Parámetros	*Cantidad*	*Unidad*
Peso muestra en ambiente	500.0	(g)
Peso muestra seca al horno	490.8	(g)
Peso agua perdida	9.2	(g)
Contenido de humedad	1.9	(%)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

El diseño de la mezcla se refiere al proceso de selección de las proporciones de los materiales que componen el concreto, así como la combinación, con el objetivo de obtener un producto que, en estado fresco, tenga la trabajabilidad adecuada; y que, en estado endurecido, cumpla los requisitos establecidos por el proyectista o por las especificaciones de la obra. En otras palabras, el objetivo del diseño de la mezcla es crear una mezcla de concreto que satisfaga tanto los requisitos del estado fresco como los del estado endurecido. (Meza, 2019)

4.1. MÉTODO DE DISEÑO UTILIZADO

Esta investigación se basó en algunos aspectos importantes de la metodología del comité ACI 211 y la metodología de agregado global para la determinación de porcentaje de agregados. También se realizó el ajuste empírico de la cantidad de agua para obtener los resultados deseados.

4.1.1. Información para el diseño de mezcla

Los materiales tanto del concreto patrón como del concreto con agua de mar se detallan en las Tablas N°17, Tabla N°18, Tabla N°19.

Cemento Portland Tipo 1 - SOL

Tabla N°17: Peso específico del cemento tipo 1 (SOL).

	Cemento
Pe (gr/cm3)	3.15

Fuente: UNACEM

Agregado Fino y grueso

Tabla N°18: Propiedades de los agregados a utilizar.

	Piedra	Arena
P.e. (kg/m3)	2810	2520
PUS (kg/m3)	1420	1640
PUC (kg/m3)	1570	1720
Abs. (%)	1.8	2.3
Hum (%)	0.9	1.9

Fuente: Elaboración propia.

Agua potable y agua de mar

Tabla N°19: Peso específico del agua potable y agua de mar.

	Agua Potable	Agua de Mar
P.e. (kg/m3)	1000	1000

Fuente: Elaboración propia.

4.2. AGREGADO GLOBAL

El agregado global es la combinación de agregado grueso y agregado fino en proporciones adecuadas cumpliendo con las especificaciones técnicas. (Cachay, 1995)

La idea de máxima compacidad se utiliza para averiguar qué combinación de áridos produce el mejor resultado. Se trata de encontrar la mezcla de áridos que produzca el mayor peso unitario o el menor número de vacíos totales. (Ponce, 2014)

4.2.1. Peso unitario compactado (NTP 400.017)

El ensayo de peso unitario compactado en agregado global se realizó en diferentes proporciones volumétricas, siendo un total de cinco combinaciones de agregado grueso y agregado fino. Los resultados de las combinaciones y determinación del peso unitario compactado se muestran en la Tabla N°20.

Tabla N°20: Combinaciones de agregados para determinar el P.U.C. del agregado global.

Prueba	Ag. Fino	Ag. Grueso	Peso Compactado	P.U.C.
	%	%	(Kg)	(Kg/m$^{3)}$
P1	60	40	23.01	2437.5
P2	55	45	23.11	2448.1
P3	50	50	23.25	2462.9
P4	45	55	23.21	2458.7
P5	40	60	22.58	2391.9

Fuente: Elaboración propia.

La combinación de la prueba N°3 (P3) según el ensayo, es la que mejor compacidad presentó, sin embargo, se debe analizar también el asentamiento y

la resistencia mecánica para definir el porcentaje óptimo de proporción de agregados.

4.2.2. Asentamiento

Similarmente a lo anterior se realizó cinco combinaciones con las proporciones antes mencionadas, en este caso se utilizará una relación agua-material cementante (a/c) igual a 0.55, manteniendo constante para todas las combinaciones. Posteriormente se realizó el ensayo de asentamiento para cada mezcla (P1, P2, P3, P4 y P5) según la norma ASTM C143 y NTP 339.035 para el concreto en estado fresco, la Tabla N°21 muestra los resultados.

Tabla N°21: Proporción de materiales por m3 para cada prueba.

	Unidades	P1	P2	P3	P4	P5
Cemento	kg	364	364	364	364	364
Agua	L	200	200	200	200	200
Piedra	Kg	744	837	930	1023	1116
Arena	kg	1019	934	849	764	679
Asentamiento	***Pulg.***	***1 ½***	***2 ½***	***3 ¼***	***3 ½***	***4 ¼***

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resistencia a la compresión a los 07 días

Finalmente, luego de 7 días se realizó el ensayo de resistencia a compresión en cilindros de concreto (4" x 8") de cada combinación, de acuerdo con la norma ASTM C39 y NTP 339.034, los resultados se muestran en la Tabla N°22 y Tabla N°23.

Tabla N°22: Resistencia a la compresión a los 7 días de cada prueba.

	Unidades	P1	P2	P3	P4	P5
f'c (7 días)	kg/cm2	296.01	295.44	271.95	281.87	249.69
		297.28	268.37	275.11	295.61	169.23
		310.13	254.15	289.51	273.01	239.27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°23: Resistencia a la compresión promedio a los 7 días de cada prueba.

	Unidades	P1	P2	P3	P4	P5
f'c prom (7 días)	kg/cm2	301.14	272.65	278.86	283.50	219.40

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, se aprecia que la combinación óptima en resistencia a la compresión y también considerando adecuado el asentamiento de la prueba 4 (P4).

4.2.4. Análisis de resultados del agregado global

El análisis final de los resultados servirá para determinar la elección de la combinación adecuada según los requerimientos deseados, teniendo en consideración un aspecto integral de la mezcla de concreto (asentamiento, compacidad y resistencia). Los resultados se muestran en la Figura N°6.

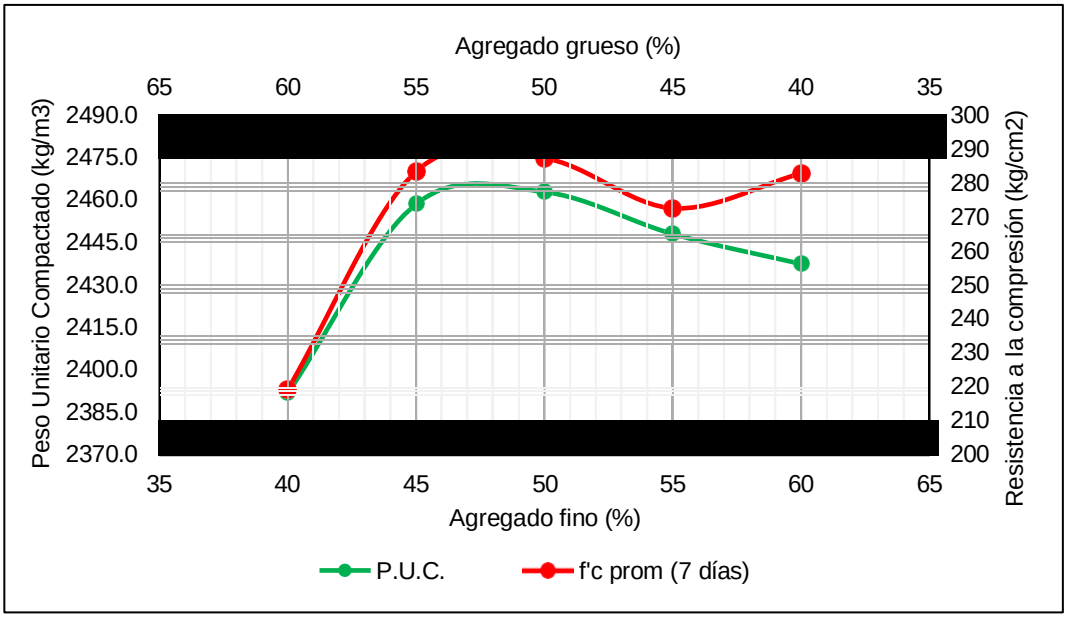


Figura N°6: Gráfica combinada de P.U.C. y resistencia a la compresión de las pruebas. Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados se concluye que la combinación óptima a elegir según las curvas son 52% de agregado grueso y 48% de agregado fino por ser el punto más alto de la curva.

4.2.5. Granulometría del agregado global.

Finalmente se aprecia en la Figura N°7 la granulometría del agregado global y sus límites de acuerdo con el huso.

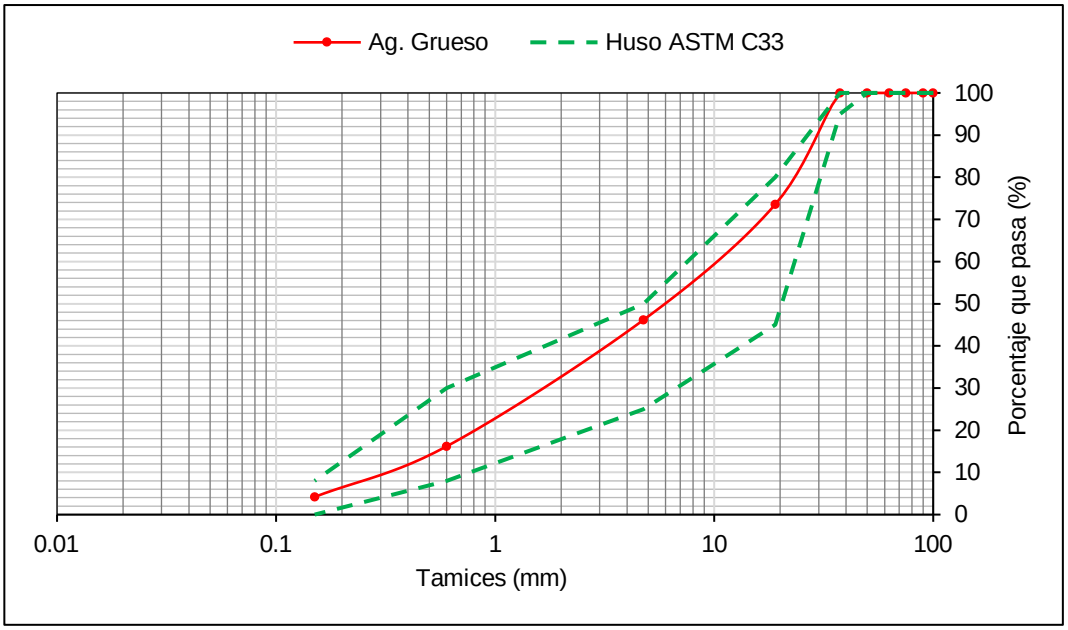


Figura N°7: Curva Granulométrica del Agregado Global. Fuente: Elaboración propia.

4.3. DISEÑO DEL CONCRETO

Para esta investigación tanto para el concreto patrón y el concreto con agua de mar se utilizaron los mismos materiales a excepción del agua, considerando también una relación de agua/material cementante constante.

Se debe realizar la elección de Slump teórico, esto ira de acorde con la investigación a realizarse, para este caso el Slump deseado fue de 3 1/2", este valor se alcanza realizando pruebas previas y haciendo un ajuste empírico de la cantidad de agua en la mezcla. La trabajabilidad del concreto se comprobará mediante el ensayo de Asentamiento con el uso de cono de Abrams.

Se propone la relación de agua/material cementante de 0.55, seguido de esto se propuso una cantidad de agua de 210 Litros por metro cúbico, estos valores propuestos se dan según los requerimientos de la investigación y varias pruebas

previas. Teniendo entonces la cantidad de agua y una relación agua/material cementante, se tendrá la cantidad o el peso de material cementante.

Por el método de agregado global, previamente ya se había determinado la proporción de agregados a utilizarse siendo un 48% de agregado fino y 52% de agregado grueso. Esta proporción servirá para determinar las cantidades en peso de dichos agregados por metro cúbico. Se tendrá entonces las cantidades en peso y volumen de todos los componentes del concreto por metro cúbico, tomando en cuenta también un 0.9% de contenido de aire, tomando como guía al comité 211 del ACI.

Se calcularán las proporciones por cantidad de material cementante (D.U.S), para luego aplicar las correcciones por humedad de los agregados y tener finalmente la dosificación final (D.U.O).

En la Tabla N°24 se muestran las proporciones reajustadas que se usaran como dosificación de control.

Tabla N°24: Proporción de materiales en la mezcla de concreto patrón por m^3.

Materiales	Unidades	Concreto patrón	Concreto con agua de mar
Cemento	kg	394.6	394.6
Agua potable	L	228.4	-
Agua de mar	L	-	228.4
Piedra	Kg	940.4	940.4
Arena	Kg	784.0	784.0

Fuente: Elaboración propia.

Esta dosificación se utilizó después de hacerse pruebas previas, ya que se tuvieron que ajustar algunos valores según los requerimientos de la investigación, como la resistencia la compresión y asentamiento principalmente.

CAPÍTULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

5.1. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Es importante realizar una serie de pruebas para evaluar la calidad, trabajabilidad, facilidad de transporte y colocación del concreto con el fin de investigar el cambio en las características del concreto. Esto es necesario para investigar el cambio en las propiedades del concreto (Nieto, 2007). Se realizaron algunos ensayos importantes manteniendo los procedimientos y teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana (NTP) y las normas de la American Society of Testing Materials (ASTM).

Todos los ensayos que se mencionan continuación se trabajaron con los instrumentos, materiales e indumentaria solicitados por las Normas Los ensayos de concreto fresco se realizaron en dos tipos de mezcla:

- Concreto mezclado con agua potable (patrón)
- Concreto mezclado con agua de mar

Los ensayos para determinar las propiedades del concreto en estado fresco se realizaron de acuerdo con las normas vigentes como se indica en la Tabla N°25.

Tabla N°25: Ensayos y normas en concreto fresco realizados.

Ensayos	Normas
Ensayo de Temperatura	NTP 339.184; ASTM C1064
Ensayo de Asentamiento	NTP 339.035; ASTM C143
Ensayo de Peso Unitario	NTP 339.046; ASTM C138
Ensayo de Contenido de Aire	NTP 339.080; ASTM C231
Ensayo de Tiempo de Fragua	NTP 339.082; ASTM C403

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. Muestreo de concreto fresco (ASTM C172; NTP 339.036)

Antes de iniciar cualquier ensayo en concreto fresco, es importante tener en cuenta la toma de muestra (muestreo) ya que será una cantidad representativa de nuestra mezcla, cumpliendo a su vez las cantidades mínimas y procedimientos de esta normativa.

1. Para ensayos de resistencia mezclar un mínimo de 28 litros (1 pie^3)
2. Se pueden realizar mezclas más pequeñas para otros ensayos individuales como: contenido de aire, temperatura y asentamiento.
3. El lapso deberá ser el más corto posible para iniciar los ensayos de concreto fresco. Siendo 5 minutos para ensayos de asentamiento, temperatura y/o contenido de aire posteriores a la obtención de la muestra. Y para ensayos de resistencia dentro de los 15 minutos posteriores a la obtención de la muestra.
4. Proteger la mezcla del sol, viento, evaporación y cualquier tipo de contaminación.

** Mezclar la muestra con una pala una vez que se encuentro en el buggy o carretilla para asegurar la uniformidad de la muestra

5.1.2. Ensayo de temperatura (ASTM C1064; NTP 339.184)

Este ensayo nos permitirá determinar la temperatura del concreto en estado fresco, midiéndose inmediatamente después de la obtención de la muestra.

1. Teniendo en cuenta que el aparato que registre la temperatura (± 0.5°C) esté debidamente calibrado y cumpla los requerimientos mínimos, se procederá a introducir el sensor del dispositivo en la mezcla con una inmersión mínima de 75 mm (3 “) en todas las direcciones.
2. Se puede presionar la mezcla levemente con los dedos alrededor del sensor para que se pueda cubrir y así evitar la interferencia en su totalidad de la temperatura ambiente.
3. Se dejará el termómetro al menos dos minutos o hasta que la lectura se estabilice.
4. Finalmente tomar la lectura con una aproximación de 0.5 C°.

5.1.3. Ensayo de asentamiento (ASTM C143; NTP 339.035)

Es una propiedad del concreto fresco que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez (mayor facilidad del concreto para fluir durante su colocación). La consistencia del concreto fresco depende del contenido de agua de diseño y las propiedades físicas de los agregados. (Saenz, 2019)

1. Se inicia el ensayo humedeciendo el molde y colocándolo sobre una superficie plana y estable. Se llena inmediatamente el molde en tres capas, siendo la tercera parte para cada una de ellas.

2. Varillar cada una de las capas 25 veces uniformemente, permitiendo que la varilla penetre a la capa subsiguiente una pulgada (25 mm) aproximadamente.

3. En la tercera capa tratar de echar un excedente para que luego de varillar se pueda enrasar la superficie de concreto sin problema alguno, esto se realizará mediante movimientos de rodadura con la misma varilla. Dejar limpio el área que rodea la base del molde, esto con la finalidad de no obstaculizar el concreto una vez deslizado o derrumbado.

4. Retirar el molde (cono) de manera vertical en un tiempo de 5±2 segundos, manteniendo un movimiento constante sin generar torsión o movimientos laterales y registrar con una aproximación de 1/4", el tiempo estimado para este ensayo será de 2.5 minutos

5.1.4. Ensayo de peso unitario (ASTM C138; NTP 339.046)

El peso unitario es el valor determinado por el peso de concreto fresco compactado (varillado o vibrado) por unidad de volumen.

1. Se inicia llenando en tres capas de igual volumen en el molde (14L) previamente humedecido, luego dar 25 golpes si se usa varillado de manera espiral hasta el centro, golpear también con el mazo de goma alrededor de 12 a 15 golpes en cada capa para liberar las burbujas de aire.

2. Luego enrasar la última capa, limpiar los restos de concreto y llevarlo a pesar, el resultado final se reportará con una aproximación de 1 Kg/m3.

5.1.5. Ensayo de contenido de aire (ASTM C231; NTP 339.080)

Es el valor porcentual del volumen de aire contenido en la mezcla de concreto fresco, el conocerlo es importante ya que es un parámetro de la calidad del concreto, como por ejemplo su comportamiento frente a la intemperie. (Barreto, 2021)

1. Humedecer el recipiente y las herramientas, se realizará el mismo procedimiento de llenado y compactación del ensayo anterior, con la diferencia de enrasar la superficie final con una placa de metal de medidas establecidas por la norma.

2. Se procede a la instalación del equipo (método de presión) y el registro del contenido de aire en porcentaje.

5.1.6. Ensayo de tiempo de fraguado (ASTM C403; NTP 339.082)

Permite determinar el tiempo de fraguado (endurecimiento) del concreto midiendo la resistencia a la penetración producida a intervalos regulares de tiempo en el mortero de las mezclas de concreto (Yataco, 2022). Para realizar este ensayo se utiliza el método de resistencia a la penetración. Durante este ensayo, se utilizan agujas metálicas de distintos tamaños en la muestra de concreto nuevo que se ha tamizado previamente. A continuación, se establece un registro de las cargas de penetración utilizadas (Aite, 2017).

5.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

La propiedad principal que se determinará en estado endurecido tanto del concreto patrón y el concreto con agua de mar, será el de resistencia a la compresión, acorde a las normas vigentes.

El ensayo para determinar la propiedad de resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido se realizó de acuerdo con la norma vigente como se indica en la Tabla N°26.

Tabla N°26: Ensayos y normas en concreto endurecido

Ensayo	Norma
Ensayo de resistencia a la compresión	NTP 339.034; ASTM C39

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Resistencia a la compresión (f´c) (ASTM C39; NTP 339.034)

Es práctica común equiparar la resistencia a la compresión del concreto con su resistencia mecánica. Diversas piezas estructurales se desarrollan teniendo en cuenta este atributo para poder utilizarlo como medida de la calidad del concreto. La capacidad del concreto para soportar cargas y tensiones se denomina resistencia a la compresión. Esta propiedad puede medirse calculando la mayor carga axial que provoca la rotura de la probeta (Zavala, 2019).

Para esta investigación se utilizaron un total de 56 muestras cilíndricas de 4”x8”, en la Tabla N°27 se detallarán las nomenclaturas utilizadas para el ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla N°27: Nomenclatura de las muestras cilíndricas de concreto patrón y concreto con agua de mar.

Nomenclatura	
Codificación	Descripción
CP	Probetas de concreto con agua potable
CM	Probetas de concreto con agua de mar

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo la codificación y dimensiones de las muestras por tiempo de exposición a condiciones normales y exposición al agua de mar del concreto patrón se aprecian en la Tabla N°28.

Tabla N°28: Dimensiones de las muestras de CP a diferentes edades de curado en agua potable y agua de mar.

Concreto Patrón					
Periodo	Curado	Codificación	Diámetro		
			D1	D2	D_{prom}
7 días	Agua potable	CP7-1	10.1	10	10.05
		CP7-2	10.1	10.1	10.1
		CP7-3	10.1	10.2	10.15
		CP7-4	10.1	10.1	10.1
21 días	Agua potable	CP21-1	10.11	10.03	10.07
		CP21-2	10.05	10.08	10.07
		CP21-3	10.04	10.1	10.07
		CP21-4	10.02	10	10.01
28 días	Agua potable	CP28-1	10	10	10
		CP28-2	10.1	10.1	10.1
		CP28-3	10.2	10.1	10.15
		CP28-4	10.1	10	10.05
Exposición: Agua de mar					
30 días	Agua de mar	CP30-1	9.95	10	9.98
		CP30-2	10.05	10.1	10.08
		CP30-3	10.1	10.1	10.1
		CP30-4	10.15	10.2	10.18
60 días	Agua de mar	CP60-1	10.15	10.15	10.15
		CP60-2	10.05	10.05	10.05
		CP60-3	10.05	10.1	10.08
		CP60-4	10.05	10.1	10.08
90 días	Agua de mar	CP90-1	9.99	9.97	9.98
		CP90-2	9.97	9.97	9.97
		CP90-3	10.13	10.17	10.15
		CP90-4	10.18	10.17	10.18
120 días	Agua de mar	CP120-1	10.1	10.1	10.1
		CP120-2	9.95	9.9	9.93
		CP120-3	10.1	10.15	10.13
		CP120-4	9.85	9.85	9.85
		CP120-5	9.8	9.8	9.8

Fuente: Elaboración propia.

También la codificación y dimensiones de las muestras por tiempo de exposición a condiciones normales y exposición al agua de mar del concreto mezclado con agua de mar se aprecian en la Tabla N°29.

Tabla N°29: Dimensiones de las muestras de CM a diferentes edades de curado en agua potable y agua de mar.

Periodo	Curado	Concreto con agua de mar			
		Codificación	Diámetro		
			D1	D2	D_{prom}
7 días	Agua potable	CM7-1	10.2	10.25	10.23
		CM7-2	10.1	10.1	10.1
		CM7-3	10.1	10.1	10.1
		CM7-4	10.25	10.2	10.23
21 días	Agua potable	CM21-1	10	9.97	9.99
		CM21-2	9.95	10.09	10.02
		CM21-3	9.99	10.05	10.02
		CM21-4	10	10.1	10.05
28 días	Agua potable	CM28-1	10.1	10.2	10.15
		CM28-2	10	10.1	10.05
		CM28-3	10.1	10.1	10.1
		CM28-4	10.05	10.1	10.075
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	CM30-1	10.1	10.05	10.08
		CM30-2	9.9	10.05	9.98
		CM30-3	10	10	10
		CM30-4	10.05	10	10.03
60 días	Agua de mar	CM60-1	10.15	10.12	10.14
		CM60-2	10.1	10.2	10.15
		CM60-3	10.1	10.2	10.15
		CM60-4	10	10.05	10.03
90 días	Agua de mar	CM90-1	10.13	10.12	10.13
		CM90-2	10	10.05	10.03
		CM90-3	10.06	10	10.03
		CM90-4	10.05	10.11	10.08
120 días	Agua de mar	CM120-1	9.9	10	9.95
		CM120-2	9.9	9.95	9.93
		CM120-3	10	9.95	9.98
		CM120-4	10.2	10.2	10.2
		CM120-5	9.8	9.9	9.85

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS BARRAS DE ACERO Y GFRP

6.1. GENERALIDADES

En este capítulo expone acerca de las propiedades de las barras de GFRP y acero, específicamente el ensayo de tracción y el ensayo de adherencia, estos ensayos se realizaron en condiciones normales y expuestos al agua de mar.

Los ensayos para determinar las propiedades de las barras de acero y GFRP se realizaron de acuerdo con las normas vigentes como se indica en la Tabla N°30.

Tabla N°30: Normas para determinar las propiedades de las barras de GFRP y acero.

Ensayos	Normas
Ensayo de Tracción	ASTM A615, ASTM D7205
Ensayo de Adherencia	ASTM D7913

Fuente: Elaboración propia.

6.2. ENSAYO A LA TRACCIÓN (ASTM D7205, ASTM A615)

De acuerdo con las recomendaciones de la norma ASTM D7205 y ASTM A615 para el ensayo de tracción de barras de GFRP y barras de acero respectivamente, se prepararon las muestras para ejecutar los ensayos en distintas etapas y alcanzar los objetivos planteados.

6.2.1. Características Geométricas

Para los ensayos de tracción de las barras de acero y GFRP se utilizaron las siguientes dimensiones descritas en la tabla N°31.

Tabla N°31: Características de las barras de refuerzo para el ensayo a tracción.

Muestras para ensayo a tracción				
	Grado	Diámetro (pulg)	Longitud (cm)	Cantidad (und)
GFRP	46	3/8	90	20
ACERO	60	3/8	50	20

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Ensayo a la tracción de acero

El ensayo para determinar la tracción en acero corrugado es prácticamente similar al anterior ensayo. En este caso, prescindimos del uso de anclajes debido a la naturaleza dúctil del acero, que elimina la posibilidad de sufrir aplastamiento. Además, es factible realizar evaluaciones con muestras de dimensiones longitudinales más reducidas. En principio, tanto la ASTM A615 y la ISO 15630-1 desarrollaron la misma metodología de ensayo.

*6.2.2.1. Pr*eparación de la muestra

Se toman muestras de una longitud promedio “L” de 500 mm, luego se realiza marcas “a” de 10 cm en los extremos para así tener una longitud centrada de 30 cm, como se observa en la figura N°8.

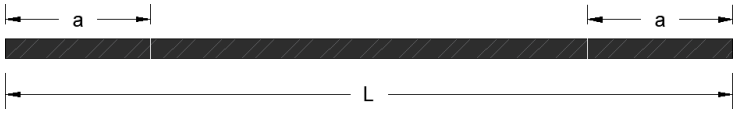


Figura N°8: Proporciones de la muestra de barra de acero para el ensayo de tracción. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.2. Descripción del ensayo

Para la investigación se utilizaron un total de 20 muestras, de 50 cm de longitud, se muestra en la Figura N°9 las dimensiones de la muestra típica de la barra de acero para el ensayo de tracción.

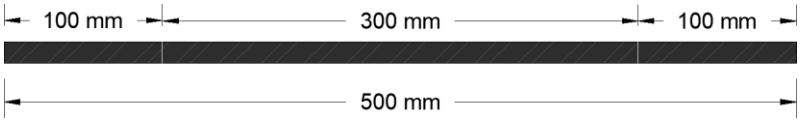


Figura N°9: Muestra de barra de acero para el ensayo de tracción. Fuente: Elaboración propia.

Se coloca la muestra en las mordazas, tal que ocupe al menos 3/4” de su ancho, finalmente se aplica carga y se realiza la medición del esfuerzo a tracción. Finalmente, se toman los registros de carga según corresponda y se determina la resistencia a la tracción a través de la ecuación (4):

$$Ft = \frac{Carga\ máxima}{Área}\left(\frac{Kg}{cm^2}\right) \quad (4)$$

Carga máxima: Es la carga más alta que registrara la máquina de ensayo
Área: Se refiere al área de la sección transversal de la barra de acero

6.2.3. Ensayo a la tracción de GFRP

Este ensayo consiste en someter las barras de GFRP a una carga axial longitudinalmente a una velocidad constante hasta desarrollarse la falla. La recomendación principal que brinda la ASTM D7205 es el método aplicado para soportar la presión de las mordazas del equipo a utilizar, ya que por su naturaleza frágil la barras de GFRP sufren aplastamiento debido a la alta presión del equipo(máquina). Por ello es recomendable colocar tubos de acero en cada extremo de la varilla y luego rellenarlos con un mortero expansivo o algún tipo de pegamento epóxico, esto funcionará como un anclaje que será para evitar principalmente el aplastamiento de la muestra.

6.2.3.1. Preparación de las muestras

De manera general se observa el procedimiento de preparación de la muestra de GFRP, tomando como referencia la norma antes mencionada, la Figura N°10 sirvió como guía para esta investigación.

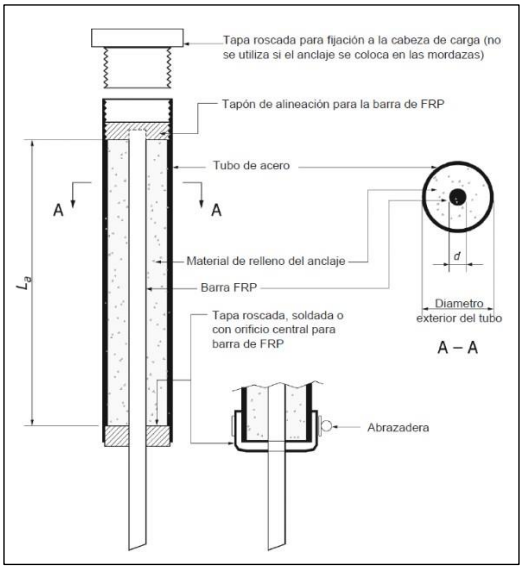


Figura N°10: Ejemplo de detalle de anclaje de barra de GFRP. Fuente: ASTM D7205 (2021)

Según el ASTM D7205 la longitud total (LT) de la muestra está determinada por la suma de la longitud libre (L) más dos veces la longitud de la varilla embebida en los tubos (La), como se calcula mediante la ecuación (5) y se muestra en la Figura N°11.

$$LT = La + L + La \quad (5)$$

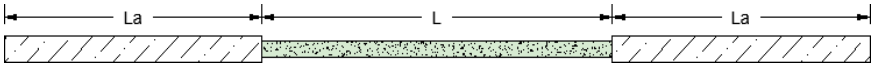


Figura N°11: Proporciones de la muestra para el ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

L: Longitud libre no debe ser inferior a 380 mm (15 pulg) o 40 veces el diámetro efectivo de la barra.

La: Longitud del tubo, tanto el diámetro como la longitud del tubo dependen del diámetro de la barra de GFRP, siendo los valores recomendados por la norma en la Tabla N°32.

Tabla N°32: Dimensiones del tubo de acero según diámetro de la barra de GFRP.

	Tamaño de la barra	Diametro, mm [in.]	Tamaño del tubo	Tubo (di), mm [in.]	Tubo (de), mm [in.]	Longitud del tubo, L_a, mm [in.]
GFRP	2	6.3 [0.250]	Sch 40 ½ in.	15.80 [0.622]	21.34 [0.840]	250 [10]
	3	9.5 [0.375]	Sch 40 ¾ in.	20.93 [0.824]	26.67 [1.050]	350 [14]
	4	12.7 [0.500]	Sch 40 ¾ in.	20.93 [0.824]	26.67 [1.050]	460 [18]
	5	15.9 [0.625]	Sch 40 1 in.	26.64 [1.049]	33.40 [1.315]	550 [22]
	6	19.1 [0.750]	Sch 80 1.25 in.	32.46 [1.278]	42.16 [1.660]	675 [27]
	7	22.2 [0.875]	Sch 80 1.25 in.	32.46 [1.278]	42.16 [1.660]	780 [31]
	8	25.4 [1.000]	HSS 1.9x0.188	38.71 [1.524]	48.26 [1.900]	880 [35]
	9	28.7 [1.128]	HSS 1.9x0.188	38.71 [1.524]	48.26 [1.900]	990 [39]
	10	32.3 [1.270]	DOM 2.5x0.375 in.	44.45 [1.750]	63.50 [2.500]	1160 [46]
CFRP	2	6.3 [0.250]	Sch 40 ½ in.	15.80 [0.622]	21.34 [0.840]	450 [18]
	3	9.5 [0.375]	Sch 40 ¾ in.	20.93 [0.824]	26.67 [1.050]	550 [22]
	4	12.7 [0.500]	Sch 40 ¾ in.	20.93 [0.824]	26.67 [1.050]	660 [26]
	5	15.9 [0.625]	Sch 40 1 in.	26.64 [1.049]	33.40 [1.315]	750 [30]

Fuente: ASTM D7205 (2021)

6.2.3.2. Descripción del ensayo

Para esta investigación se utilizó un total de 20 muestras de 90 cm de longitud total, con una longitud libre de 40 cm y longitud de tubos de 25 cm, como se describe en la Figura N°12.

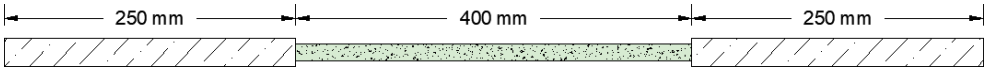


Figura N°12: Longitud total de la muestra a ensayar. Fuente: Elaboración propia.

Los tubos de acero utilizados para el anclaje fueron de diámetro de 3/4", y se utilizó mortero expansivo “MAPEFILL” de la marca MAPEI para el relleno del tubo. También se puede hacer uso de material epóxico para el relleno, así como recomienda la norma.

Para el centrado de las barras dentro del tubo de acero, se utilizaron tapas descartables de botellas, realizando de manera previa un agüero del tamaño aproximado de la barra.

Finalmente, con las muestras rellenas y centradas, se espera el fraguado para luego curar al menos 3 días para que el mortero expansivo trabaje de manera óptima. Luego se procede a ensayar las muestras a los tiempos y condiciones establecidas.

Se tomaron los registros de carga según correspondía y se determinó la resistencia a la tracción a través de la ecuación (6):

$$Ft = \frac{Carga\ máxima}{Área}\left(\frac{Kg}{cm^2}\right) \quad (6)$$

Donde:
Carga máxima: Es la carga más alta que registrara la máquina de ensayo
Área: Se refiere al área de la sección transversal de la barra de GFRP.

Los ensayos a tracción se realizaron en condiciones normales y en condiciones de exposición al agua de mar.

6.2.4. Codificación de las muestras

La nomenclatura de las muestras para el ensayo a la tracción se describe en la Tabla N°33.

Tabla N°33: Nomenclatura de muestras para el ensayo a tracción.

Nomenclatura	
Codificación	Descripción
TA	Muestra de acero para tracción

TF	Muestra de GFRP para tracción

Fuente: Elaboración propia.

La codificación detallada de muestras de las barras de GFRP y acero para el ensayo a la tracción se describen en la Tabla N°34

Tabla N°34: Codificación de muestras de barras de GFRP y acero para el ensayo de tracción.

Codificación			
Periodo	Exposición	Acero	GFRP
	Cond. Normales	TA-1	TF-1
		TA-2	TF-2
		TA-3	TF-3
		TA-4	TF-4
Exposición: agua de mar			
30 días	Agua de mar	TA30-1	TF30-1
		TA30-2	TF30-2
		TA30-3	TF30-3
		TA30-4	TF30-4
60 días	Agua de mar	TA60-1	TF60-1
		TA60-2	TF60-2
		TA60-3	TF60-3
		TA60-4	TF60-4
90 días	Agua de mar	TA90-1	TF90-1
		TA90-2	TF90-2
		TA90-3	TF90-3
		TA90-4	TF90-4
120 días	Agua de mar	TA120-1	TF120-1
		TA120-2	TF120-2
		TA120-3	TF120-3
		TA120-4	TF120-4

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El número que continúa en la codificación hace referencia al periodo de exposición de la muestra.

6.3. ENSAYO DE ADHERENCIA (ASTM D7913)

De acuerdo con las recomendaciones de la norma ASTM D7913 para el ensayo de adherencia de barras de GFRP y acero, se prepararon las muestras para ejecutar los ensayos en distintas etapas y alcanzar los objetivos planteados.

6.3.1. Características Geométricas

Para los ensayos de adherencia se utilizaron las siguientes dimensiones descritas en la Tabla N°35.

Tabla N°35: Características de las muestras de barras de GFRP y acero para el ensayo de adherencia.

Muestras para ensayos de adherencia				
	Grado	Diámetro (Pulg)	Longitud (cm)	Cantidad (und)
GFRP	46	3/8	100	30
Acero	60	3/8	100	30

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2. Ensayo de adherencia del acero y GFRP

Este ensayo consiste en someter las barras de acero y GFRP a una carga axial longitudinalmente a una velocidad constante para determinar la resistencia a la adherencia. Donde en uno de sus extremos las muestras de acero y GFRP estarán embebido dentro de un bloque de concreto, pero no habrá contacto de la varilla en su totalidad; y en el otro extremo siguiendo la recomendación que brinda la ASTM D7205 para el anclaje que soportará la presión de las mordazas como se mencionó en el ensayo de tracción, esta recomendación solo en el caso del GFRP.

Los resultados obtenidos con este ensayo se utilizarán únicamente con fines comparativos, principalmente parámetros sujetos a efectos de las condiciones severas del medio que ocasionen algún cambio en la adherencia con el concreto, que es uno de los objetivos intrínsecos de este trabajo de investigación.

Para el acero se utilizó la misma metodología de ensayo, ya que por tratarse de casos comparativos se optó por seguir la recomendación de la norma.

6.3.2.1. Descripción del ensayo

De manera general se observó el procedimiento de preparación de la muestra de GFRP, tomando como referencia la norma ASTM D7913, la Figura N°13 detalla el

procedimiento de preparación de la muestra que sirvió como guía para realizar el ensayo de adherencia.

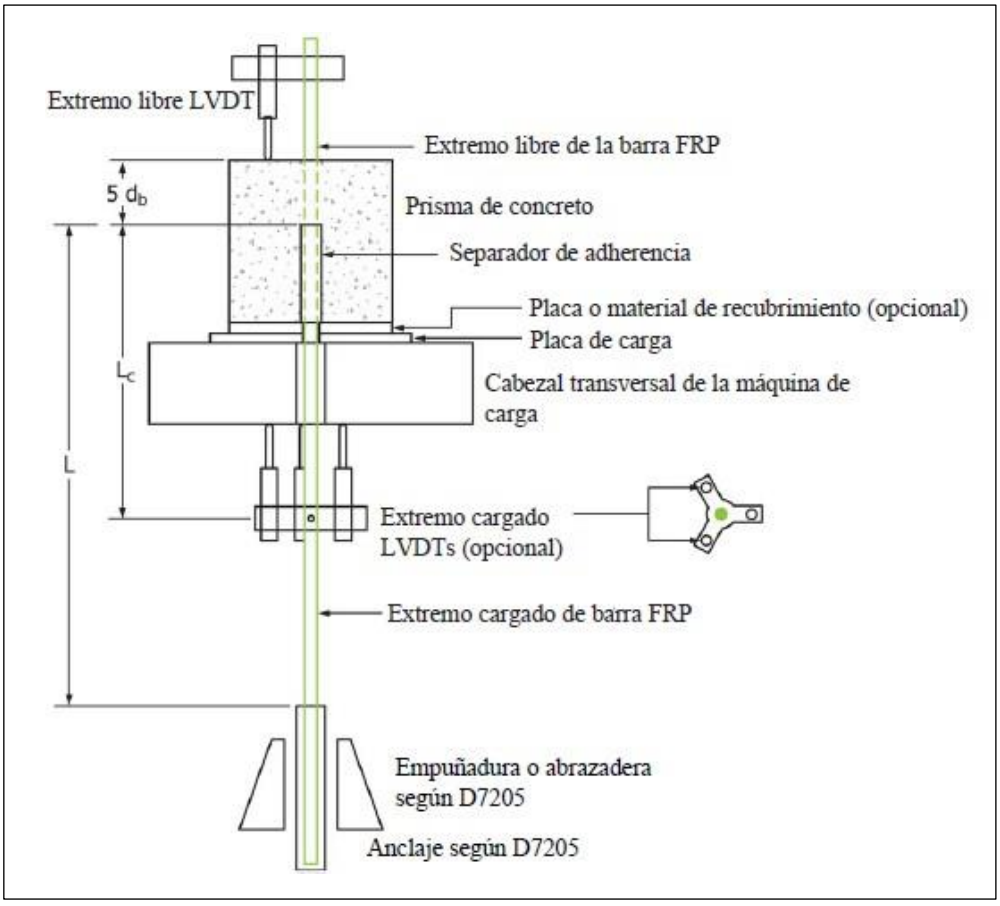


Figura N°13: Ejemplo de preparación de la muestra para el ensayo de adherencia. Fuente: ASTM D7913 (2020)

Para realizar el ensayo de adherencia en esta investigación, se tomaron en cuenta la mayor parte de recomendaciones.

Según las recomendaciones de la ASTM D7913 la longitud (L) debería ser 1200 mm ± 5 mm, la longitud adherida o en contacto con el concreto será de 5 veces el diámetro efectivo de la varilla ($5d_b$) y el tamaño del bloque (prisma) de concreto de 200 mm ± 2.5 mm.

Si el bloque de concreto sufre fisuras o se parte, entonces se pueden modificar sus dimensiones. Fuera de la longitud adherida, la varilla deberá estar revestida por algún material que evite la adherencia con el concreto. La parte del bloque

apoyada en la máquina debe ser completamente plana, para evitar rupturas o fallas por causa de las imperfecciones.

En la Figura N°14 se aprecia dos ejemplos de preparación de la muestra para realizar la prueba de adherencia, para esta investigación se eligió referencia la muestra vertical (A), tomando en cuenta parámetros similares para realizar dicho ensayo.

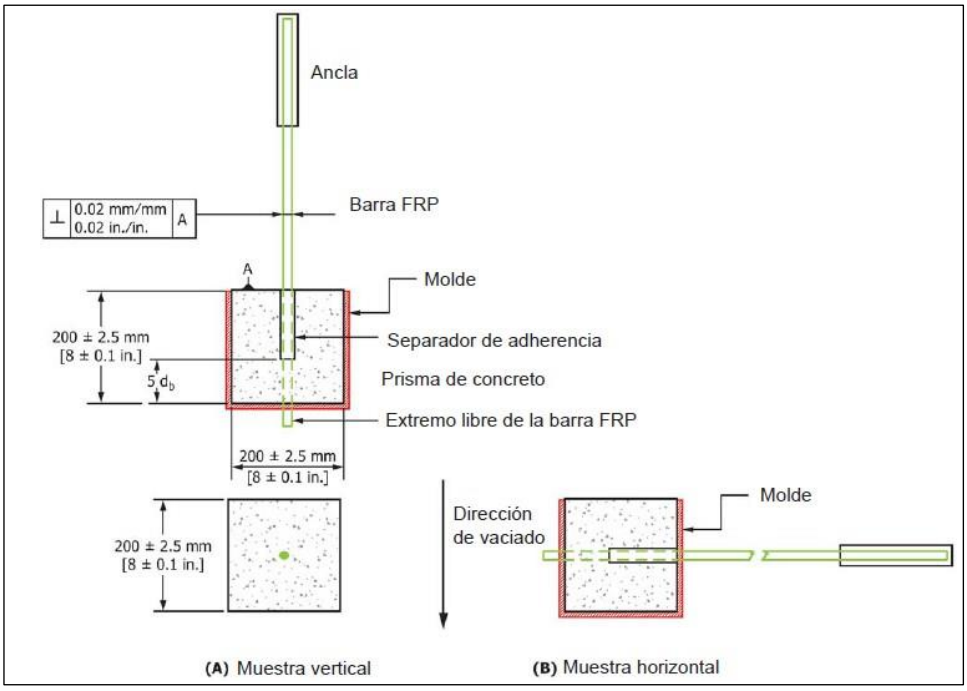


Figura N°14: Ejemplo de preparación de la muestra para el ensayo de adherencia. Fuente: ASTM D7913 (2020)

Finalmente, los resultados se expresan en términos de esfuerzo, siendo la fuerza máxima observada durante el ensayo dividida por la superficie de la barra adherida al bloque de concreto como se aprecia en la ecuación (7).

$$\tau = \frac{F}{C_b l} \quad (7)$$

Donde:

τ: Esfuerzo promedio de adherencia.
F: Fuerza de tracción (adherencia).

C_b: Circunferencia efectiva de la barra de GFRP, calculada como 3.1416d_b, donde d_b es el diámetro efectivo de la barra. *

l: Longitud de adherencia.

*El diámetro efectivo se calcula mediante: $d_b = 2\sqrt{A/3.1416}$

6.3.2.2. Muestras del ensayo

Para esta investigación se utilizaron un total de 60 muestras de 1000 mm de longitud total, 30 muestras se utilizaron para la adherencia el acero, mostrándose la forma tridimensional en la Figura N°15.

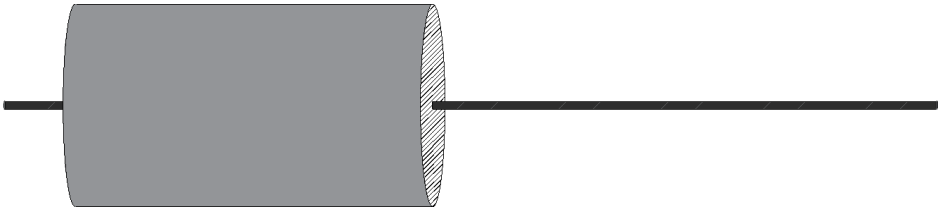


Figura N°15: Modelo tridimensional de la muestra para el ensayo de adherencia del acero. Fuente: Elaboración propia.

La longitud adherida (48 mm), la resistencia del concreto (300 kg/cm2) y las dimensiones del bloque de concreto (150mmx200mm) se utilizaron para la muestra de acero, mostrándose detalles en la Figura N°16.

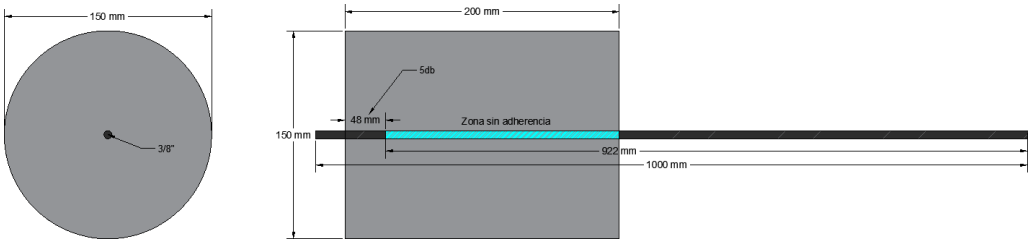


Figura N°16: Detalle de la muestra para el ensayo de adherencia del acero. Fuente: Elaboración propia.

.

Así mismo se utilizaron 30 muestras para determinar la adherencia del GFRP, mostrándose en la Figura N°17 su detalle tridimensional.

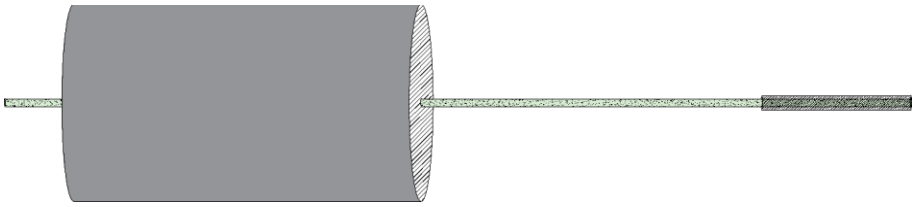


Figura N°17: Modelo tridimensional de la muestra para el ensayo de adherencia del GFRP. Fuente: Elaboración propia.

De igual manera la longitud adherida (48 mm), la resistencia del concreto (300 kg/cm2) y las dimensiones del bloque de concreto (150mmx200mm) se utilizaron para la muestra de GFRP, mostrándose detalles en la Figura N°18.

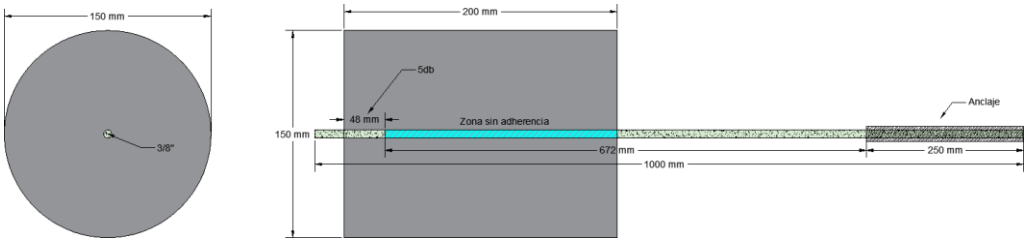


Figura N°18: Detalle de la muestra para el ensayo de adherencia del GFRP. Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. Codificación de las muestras

Se detalla la nomenclatura utilizada para el ensayo de adherencia en la Tabla N°36.

Tabla N°36: Nomenclatura de muestras para el ensayo de adherencia.

Nomenclatura	
Codificación	Descripción
AA	Muestra de acero para adherencia
AF	Muestra de GFRP para adherencia

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo la codificación de las muestras de acero y GFRP para el ensayo de adherencia por tiempo de exposición al agua de mar se describen en la Tabla N°37.

Tabla N°37: Codificación de las muestras de GFRP y acero para el ensayo de adherencia.

Codificación			
Periodo	Exposición	Acero	GFRP
7 días	Agua potable	AA7-1	AF7-1
		AA7-2	AF7-2
		AA7-3	AF7-3
		AA7-4	AF7-4
		AA7-5	AF7-5
14 días	Agua potable	AA14-1	AF14-1
		AA14-2	AF14-2
		AA14-3	AF14-3
		AA14-4	AF14-4
		AA14-5	AF14-5
28 días	Agua potable	AA28-1	AF28-1
		AA28-2	AF28-2
		AA28-3	AF28-3
		AA28-4	AF28-4
		AA28-5	AF28-5
Exposición: agua de mar			
30 días	Agua de mar	AA30-1	AF30-1
		AA30-2	AF30-2
		AA30-3	AF30-3
		AA30-4	AF30-4
		AA30-5	AF30-5
60 días	Agua de mar	AA60-1	AF60-1
		AA60-2	AF60-2
		AA60-3	AF60-3
		AA60-4	AF60-4
		AA60-5	AF60-5
90 días	Agua de mar	AA90-1	AF90-1
		AA90-2	AF90-2
		AA90-3	AF90-3
		AA90-4	AF90-4
		AA90-5	AF90-5

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El número que continúa en la codificación hace referencia al periodo de exposición de la muestra.

Tener en cuenta que la exposición al agua de mar comienza a contarse luego de los 28 días de curado normal.

CAPÍTULO VII: FLEXIÓN DE VIGAS REFORZADAS CON ACERO Y GFRP

7.1. GENERALIDADES

Al realizar el análisis de una viga que se está flexionando, es necesario tener en cuenta el hecho de que la viga está operando bajo dos esfuerzos al mismo tiempo. En concreto, una parte de la viga está expuesta a esfuerzos de compresión y deformaciones, mientras que la otra parte está sometida a esfuerzos de tracción. Cabe destacar que la resistencia a la tracción del concreto se considera cercana a cero, y que se pondrán barras de refuerzo para sostener las fuerzas que se ejercerán sobre el concreto (Lalvay, 2017).

En este capítulo se desarrolla los puntos importantes que sirvieron para realizar la comparación de resistencia a la flexión de vigas reforzadas con acero y GFRP, en condiciones normales hasta someterse a condiciones de exposición en agua de mar.

Se describe la preparación de las muestras (vigas), así como la distribución del refuerzo, dimensiones, tipo de mezcla, etc.

7.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

7.2.1. Módulo de rotura para concreto simple

En este subcapítulo se evaluó la resistencia a la flexión a través de indicadores como el módulo de rotura, momento de agrietamiento o fuerza de rotura, siendo estos una misma representación, pero expresado en diferentes términos. Véase en la Figura N°19.

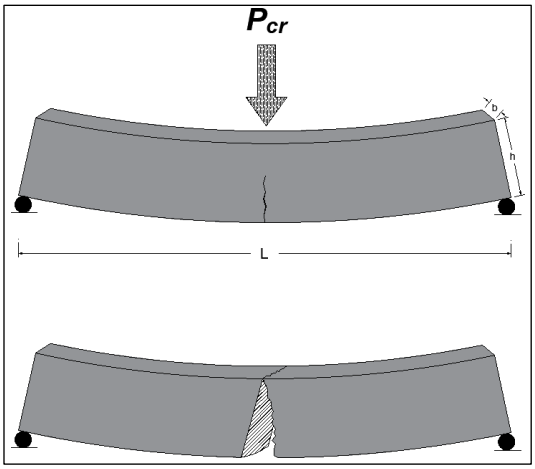


Figura N°19: Comportamiento de una viga de concreto al aplicarse una carga. Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, se tiene una representación de una viga simplemente apoyada, sin refuerzo alguno, sobre el cual actúa una carga Pcr, que será justamente la que produzca la primera grieta y colapso de la viga. A esta carga se le conoce como la fuerza de agrietamiento o fuerza de rotura. En términos simples viene a ser la fuerza o carga que lleva al límite la resistencia a la tracción que tiene el concreto.

Es por ello la importancia del uso de algún tipo de reforzamiento que trabaje a tracción luego de pasar por esta etapa. Como se mencionó inicialmente la rotura del concreto a tracción también se puede expresar en términos de momento y esfuerzo.

Veamos los ejemplos de la Figura N°20 y Figura N°21, donde se tienen vigas simplemente apoyadas, conociendo la fuerza que genera agrietamiento en el concreto expresarlo en términos de momento será dependiendo de la distribución de cargas y la luz de la viga.

Si la fuerza actúa en el centro de la viga sería según la ecuación (8):

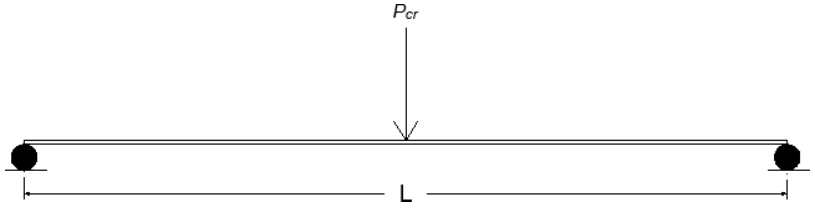


Figura N°20: Ejemplo de una viga simplemente apoyada con carga puntual al centro. Fuente: Elaboración propia.

$$Mcr = \frac{Pcr.L}{4} (8)$$

Si hubiese fuerzas a los tercios de la viga sería según la ecuación (9):

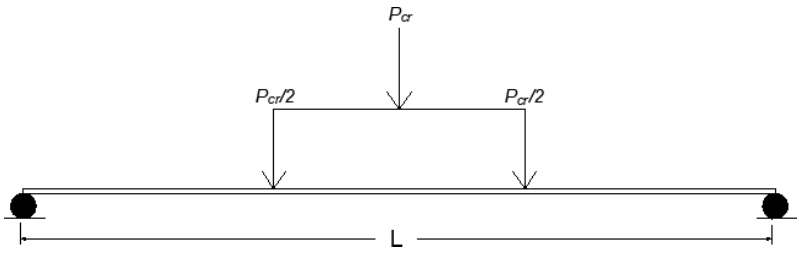


Figura N°21: Ejemplo de una viga simplemente apoyada con carga a los tercios. Fuente: Elaboración propia.

$$Mcr = \frac{Pcr.L}{6} (9)$$

Ahora si se requiere expresar en términos de esfuerzos se utilizará la siguiente ecuación (10), que determinará los esfuerzos a flexión a una distancia "y" del eje neutro.

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{M.y}{I} (10)$$

Donde:

σ **:** Esfuerzo de flexión

M: Momento flector externo en la sección

I: Momento de inercia en la sección transversal, respecto al eje neutro.

y: Distancia del eje neutro a la fibra exterior.

Para nuestro caso en específico se trabajarán con los esfuerzos máximos a flexión, por tratarse de un caso crítico. A este valor también se le conoce como módulo de rotura y se expresa mediante la ecuación (11).

$$fr = \boldsymbol{\sigma}_{máx} = \frac{M * y_{máx}}{I} (11)$$

Tanto las normas ASTM C78 y ASTM C293 nos mencionan expresiones para el cálculo de módulo de rotura, esas expresiones derivan de las ecuaciones (8) y (9), ya que simplemente se reemplazan los valores según el caso.

Teniendo en cuenta también:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (12)$$

$$y = \frac{h}{2} \quad (13)$$

Según la ASTM C78

Reemplazando los valores de las ecuaciones (8) (12) y (13) en la ecuación (11) se obtendrán las expresiones de la norma que resultan en la ecuación (15).

$$fr = \frac{M * y_{máx}}{I} = \frac{P.L}{4} * \frac{\frac{h}{2}}{\frac{b * h^3}{12}} \quad (14)$$

$$fr = \frac{3}{2}\frac{P * L}{b * h^2} \quad (15)$$

Según la ASTM C293

Reemplazando los valores de las ecuaciones (9) (12) y (13) en la ecuación (11) se obtendrán las expresiones de la norma que resultan en la ecuación (17).

$$fr = \frac{M * y_{máx}}{I} = \frac{P.L}{6} * \frac{\frac{h}{2}}{\frac{b * h^3}{12}} \quad (16)$$

$$fr = \frac{P * L}{b * h^2} \quad (17)$$

Las expresiones anteriores aplican a vigas de concreto simple (sin refuerzo), para esta investigación las vigas son reforzadas, por ello las expresiones deberían ser diferentes.

7.2.2. Módulo de agrietamiento para concreto reforzado.

¿Qué diferencia existe en el módulo de rotura cuando se trabaja con refuerzo? Explicando de manera sencilla el cambio que habrá en una viga con refuerzo será que ya no se generará un colapsó repentino en la viga, sino se observará un agrietamiento al superar los esfuerzos a tracción que soporta el concreto, por ello que en vigas reforzadas usaremos “agrietamiento” en vez de “rotura”.

Otro de los cambios se da principalmente en la distancia del eje neutro a la fibra exterior, habrá una variación en el centroide; y por último el momento de inercia se verá afectado también.

Estos cambios se dan principalmente porque la sección ya no se comportará homogéneamente, ya que tendrá refuerzos en la parte inferior, entonces se debe homogenizar inicialmente para calcular los valores antes mencionados a través de secciones transformadas. Figura N°22.

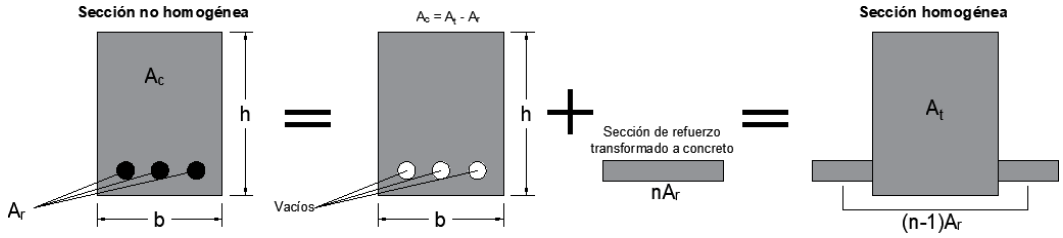


Figura N°22: Representación de la sección transformada de concreto reforzado. Fuente: Elaboración propia.

Visualizando la Figura N°22 se pueden obtener los siguientes datos y plantear la ecuación (18).

A_t: Área total

A_c: Área del concreto

A_r: Área del refuerzo

$$At = Ac + Ar \ (18)$$

Homogenizando se tendría la suma de la sección de concreto sin refuerzo más una sección rectangular de refuerzo multiplicado por una razón modular "n", como indica la ecuación (19).

$$Área\ homogénea = Ac + nAr \ (19)$$

Reemplazando la ecuación (18) en (19) se obtiene la ecuación (20) que expresa el área homogénea (sección transformada).

$$Área\ homogénea = At + Ar(n-1)\ (sección\ trans.)\ (20)$$

Así mismo también se expresa la razón modular a través de la ecuación (21).

$$n = \frac{Er}{Ec}\ (razón\ modular)\ (21)$$

E_c: Módulo de elasticidad del concreto
E_r: Módulo de elasticidad del refuerzo

Teniendo en cuenta que esta demostración se realiza de manera práctica, se obviaron algunos pasos, pero todo parte de la ley de Hooke y la igualdad de deformaciones; también mencionar que este este proceso sirve para el rango elástico lineal.

Ahora se procederá a determinar el centroide y el momento de inercia de la sección transformada con ayuda de la Figura N°23.

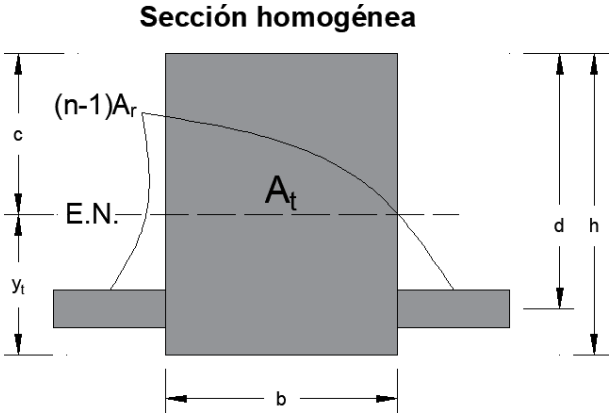


Figura N°23: Sección transformada de una sección de concreto reforzado. Fuente: Elaboración propia.

Tomando como concepto el primer momento de área y tomando como referencia la cara superior en compresión se tendrá la expresión mediante las ecuaciones (22) y (23).

$$c = \frac{bh * \frac{h}{2} + (n-1)A_r * d}{bh + (n-1)A_r}\ (22)$$

$$y_t = h - c\ (23)$$

Ahora para calcular el momento de inercia se utilizará el concepto de segundo momento de área, también el uso del teorema de los ejes paralelos (Steinner), que expresan en la ecuación (24) (25) y (26).

$$I_{gg} = \sum(I + Ad^2) \quad (24)$$

$$I_{gg} = \left[\frac{bc^3}{12} + bc\left(\frac{c}{2}\right)^2\right] + \left[\frac{by_t^3}{12} + by_t\left(\frac{y_t}{2}\right)^2\right] + [(n-1)A_r(d-c)^2] \quad (25)$$

$$I_{gg} = \left[\frac{bc^3}{3}\right] + \left[\frac{by_t^3}{3}\right] + [(n-1)A_r(d-c)^2] \quad (26)$$

Finalmente, reemplazando las ecuaciones (23) y (26) en la ecuación (27), se obtendrá la expresión que calcula el agrietamiento mediante la ecuación (28).

$$Módulo\ de\ Agrietamiento = \boldsymbol{\sigma}_a = \frac{M * y_t}{I_{gg}} \quad (27)$$

$$\boldsymbol{\sigma}_a = \frac{M * \left(h - \dfrac{bh * \frac{h}{2} + (n-1)A_r * d}{bh + (n-1)A_r}\right)}{\left[\dfrac{bc^3}{3} + \dfrac{by_t^3}{3} + [(n-1)A_r(d-c)^2]\right]} \quad (28)$$

Esta ecuación nos servirá para reemplazar los valores de momento de agrietamiento que registre la máquina de ensayo, donde previamente se hizo la conversión carga-momento, según la luz y distribución de cargas. Se tendrá entonces una ecuación que exprese el agrietamiento en términos de esfuerzo.

7.2.3. Carga Máxima

También se evaluó en este capítulo la obtención de carga máxima que soportan las vigas reforzadas con GFRP y acero, que será una etapa posterior de la etapa de agrietamiento del concreto. El resultado será la carga que registre la máquina de ensayo hasta que la viga sufra una abrupta disminución en su capacidad de soporte de carga.

7.3. MUESTRAS DEL ENSAYO

Para este ensayo se mezclaron un total de 60 vigas de concreto reforzado con GFRP y acero, entre ellas también algunas muestras con agua potable y agua de

mar. Se utilizaron barras de 3/8", una por viga, las dimensiones de la sección fueron de 150mm x 150mm y una luz de 500 mm. Se colocaron tacos de concreto simple para el soporte de la varilla de aproximadamente 15 mm. En la Figura N°24 se detallan las muestras de vigas reforzadas con GFRP.

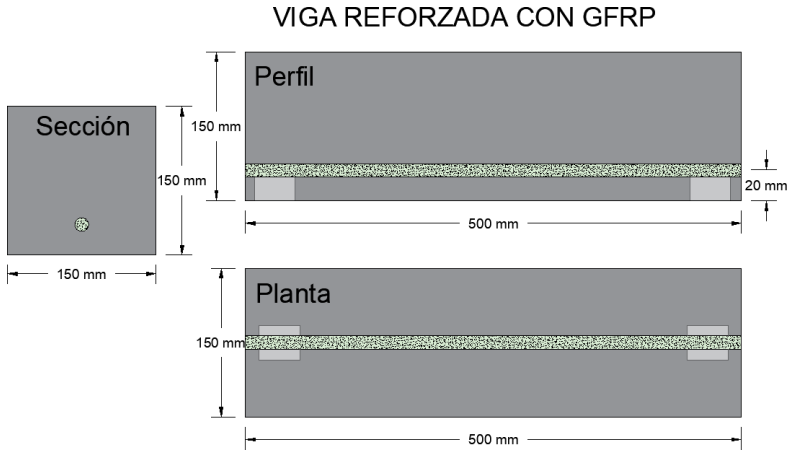


Figura N°24: Dimensiones de las muestras de viga reforzada con GFRP. Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la Figura N°25 se detallan las características de las vigas reforzadas con acero.

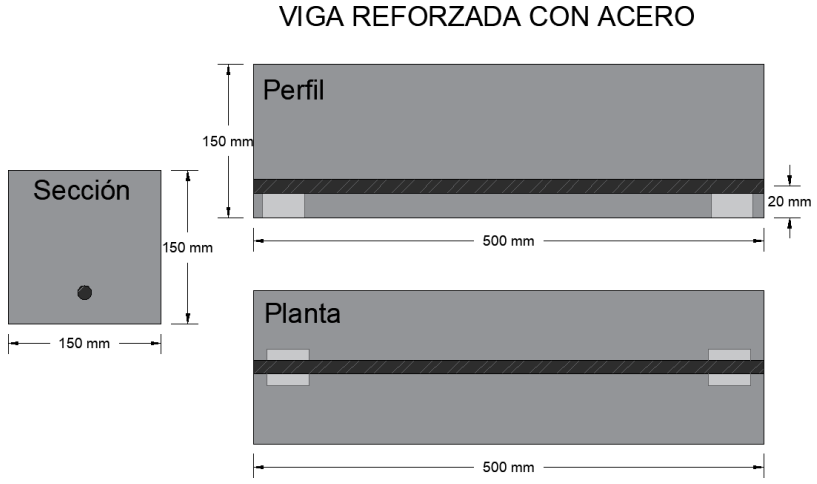


Figura N°25: Dimensiones de las muestras de viga reforzada con acero. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de refuerzo de GFRP y acero son las mismas, se detallarán las nomenclaturas utilizadas para las vigas en la Tabla N°38.

Tabla N°38: Nomenclatura de muestras de vigas para el ensayo de flexión.

Nomenclatura	
Codificación	Descripción
VAP	Viga de concreto reforzada con acero usando agua potable
VFP	Viga de concreto reforzada con GFRP usando agua potable
VFM	Viga de concreto reforzada con GFRP usando agua de mar

Fuente: Elaboración propia.

También, la codificación, la cantidad por tipo de mezcla y tiempo de exposición en agua de mar se describen en la Tabla N°39.

Tabla N°39: Codificación de muestras de vigas para el ensayo de flexión.

Codificación				
Periodo	Exposición	V. Acero	V. GFRP	
		A. Potable	A. Potable	A. de mar
28 días	Agua potable	VAP28-1	VFP28-1	VFM28-1
		VAP28-2	VFP28-2	VFM28-2
		VAP28-3	VFP28-3	VFM28-3
		VAP28-4	VFP28-4	VFM28-4
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	VAP30-1	VFP30-1	VFM30-1
		VAP30-2	VFP30-2	VFM30-2
		VAP30-3	VFP30-3	VFM30-3
		VAP30-4	VFP30-4	VFM30-4
60 días	Agua de mar	VAP60-1	VFP60-1	VFM60-1
		VAP60-2	VFP60-2	VFM60-2
		VAP60-3	VFP60-3	VFM60-3
		VAP60-4	VFP60-4	VFM60-4
90 días	Agua de mar	VAP90-1	VFP90-1	VFM90-1
		VAP90-2	VFP90-2	VFM90-2
		VAP90-3	VFP90-3	VFM90-3
		VAP90-4	VFP90-4	VFM90-4
120 días	Agua de mar	VAP90-1	VFP120-1	VFM120-1
		VAP90-2	VFP120-2	VFM120-2
		VAP90-3	VFP120-3	VFM120-3
		VAP90-4	VFP120-4	VFM120-4

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El número que continúa en la codificación hace referencia al periodo de exposición de la muestra.

CAPÍTULO VIII: RESULTADOS Y ANÁLISIS RESULTADOS

8.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

El análisis de las propiedades del concreto fresco se realizó acorde con las recomendaciones y cumplimientos de los requerimientos técnicos. Teniendo en cuenta las comparaciones de las mezclas de concreto patrón y concreto con agua de mar.

8.1.1. Temperatura (NTP 339.184; ASTM C1064)

Los resultados del ensayo de temperatura de los diseños de mezcla se presentan en la Tabla N°40.

Tabla N°40: Resultados y variación porcentual en el ensayo de temperatura.

Descripción	Temperatura (°C)	Rango recomendado E.060	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	20.2	10°C – 30°C	100%
Concreto c/ agua de mar	20.4	10°C – 30°C	101%

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura de los diseños de mezcla elaborados fue de 20.2 °C para el concreto patrón y 20.4 °C para el concreto con agua de mar.

Teniendo como base la temperatura del concreto patrón (100%), se observa que la temperatura del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón es de 101 %, habiendo un aumento del 1%, como muestra la Figura N°26. Se podría indicar que la variación de temperatura no fue significativa y estos valores se encuentran dentro del rango de temperatura máxima recomendada por norma E.060 de concreto armado, la cual es mínimo 10°C y máximo 30°C

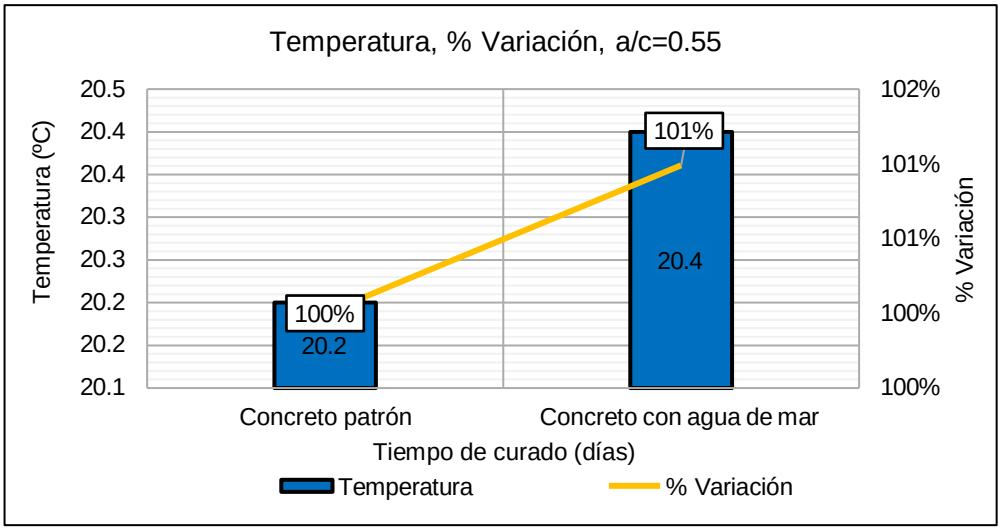


Figura N°26: Comparación de valores y variación porcentual de temperatura. Fuente: elaboración propia.

8.1.2. Asentamiento (NTP 339.035; ASTM C143)

Los resultados del ensayo de asentamiento de los diseños de mezcla se presentan en la Tabla N°41, el asentamiento de los diseños de mezcla fue de 4 1/2" para el concreto patrón y 4" para el concreto con agua de mar.

Tabla N°41: Resultados y variación porcentual en el ensayo de asentamiento.

Descripción	Asentamiento (pulg)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	4 1/2	100%
Concreto con agua de mar	4	89%

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base el asentamiento del concreto patrón (100%), se observa que el asentamiento del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón es de 89%, mostrándose una disminución del 11%, como indica la Figura N°27. El asentamiento del concreto se define de acuerdo con las especificaciones técnicas de la obra, es decir, el requerimiento según la aplicación del concreto.

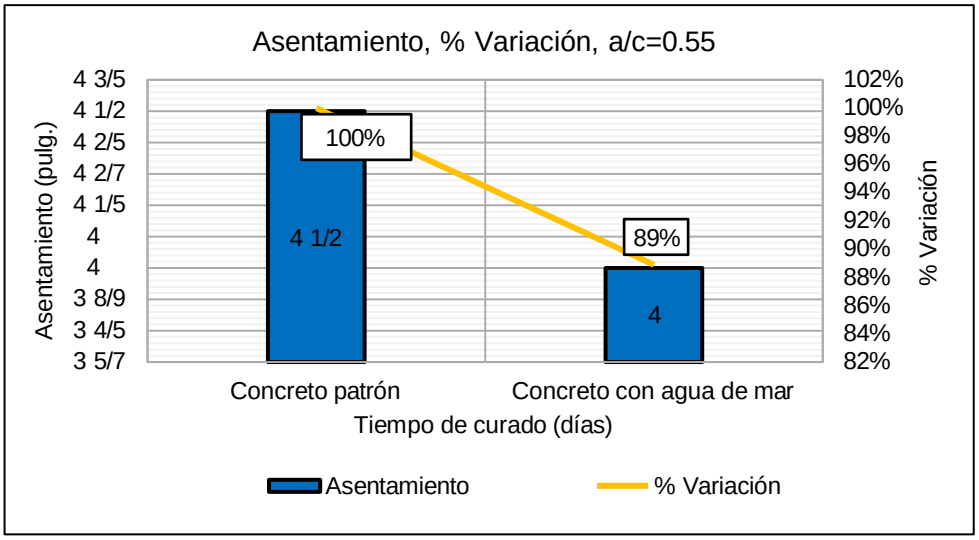


Figura N°27: Comparación de valores y variación porcentual de asentamiento. Fuente: elaboración propia.

Las tolerancias del asentamiento indicadas por la norma ASTMC94, que para nuestro caso de análisis al ser diseñado para un asentamiento de 3" – 4" la tolerancia es de ±1" (15 mm), se encuentra dentro del rango aceptable y además, se podría indicar que uno de los factores de la variación de asentamiento debió ser la composición del agua de mar, ya que todos los parámetros y proporciones se mantuvieron constantes, a excepción del agua.

8.1.3. Peso Unitario (NTP 339.046; ASTM C138)

Los resultados del ensayo de peso unitario de los diseños de mezcla se presentan en la Tabla N°42. El peso unitario de los dos diseños de mezcla fue 2339.00 Kg/m3 para el concreto patrón y 2343.00 Kg/m3 para el concreto con agua de mar.

Tabla N°42: Resultados del ensayo de peso unitario.

Datos del ensayo de Peso Unitario		Concreto patrón	Concreto c/ agua de mar
M_c	Masa neta del concreto + recipiente (kg)	20.1	20.13
M_m	Masa del recipiente de medida (kg)	3.54	3.54
V_m	Volumen de la medida (m^3)	0.007	0.007
D	Densidad - Peso unitario (kg/m^3)	2339.00	2343.00

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados reflejan una variación que no es significativa, debido a que los parámetros y proporciones para los dos diseños de mezcla se mantuvieron constantes y siendo la densidad del agua prácticamente similar para ambos casos, ver la Tabla N°43.

Tabla N°43: Variación porcentual en el ensayo de peso unitario.

Descripción	Peso unitario (Kg/cm2)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	2339	100%
Concreto c/ agua de mar	2343	100.18%

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se puede notar que tomando como base al concreto patrón (100%) se observa que el concreto con agua de mar respecto al concreto patrón es de 100.18%, siendo una variación porcentual de 0.18%, como indica la Figura N°28.

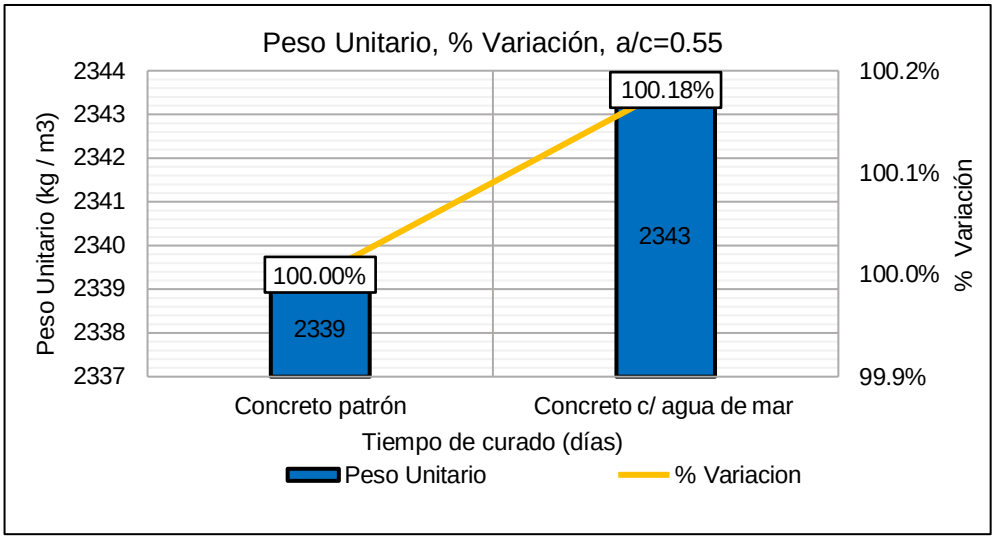


Figura N°28: Comparación de valores y variación porcentual de peso unitario. Fuente: elaboración propia.

El peso unitario del concreto convencional es de 2240 kg/m3 a 2400 kg/m3, según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), por lo cual los diseños evaluados se encuentran dentro de esta clasificación. La variación del peso del 0.18% se debe a que la densidad del agua potable es de unos 1000 kg/m3 mientras que la densidad del agua de mar es aproximadamente 1027 kg/m3, dicha

variación no es significantes puesto que el reemplazo del agua potable por agua de mar no implica una reclasificación en el tipo de concreto según su peso unitario.

8.1.4. Contenido de Aire (NTP 339.080; ASTM C231)

El contenido de aire de los dos diseños de mezcla fue 0.9% para el concreto patrón y 1.0% para el concreto con agua de mar, como se muestra en la Tabla N°44.

Tabla N°44: Resultados y variación porcentual en el ensayo de contenido de aire.

Descripción	Contenido de aire (%)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	0.90%	100%
Concreto con agua de mar	1.00%	111%

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base el contenido de aire del concreto patrón (100%), se observa que el contenido de aire del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón es de 111 %, siendo una variación porcentual del 11%, como se muestra en la Figura N°29. Se podría afirmar que el agua de mar en la mezcla de concreto ocasiona un incremento leve en el contenido de aire.

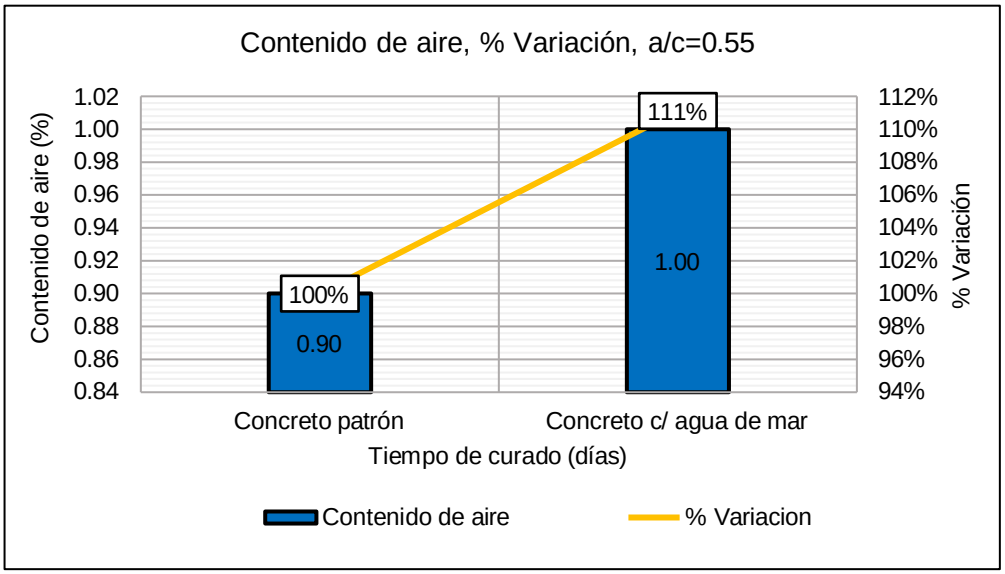


Figura N°29: Comparación de valores y variación porcentual de contenido de aire. Fuente: elaboración propia.

8.1.5. Tiempo de Fraguado (NTP 339.082; ASTM C403)

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° 45 y N.°46, respectivamente.

Tabla N°45: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto patrón.

Ensayo de tiempo de fragua					Tipo:	Agua potable
Lectura	Tiempo (Hora)	Tiempo (Minutos)	Área de contacto de la aguja		Fuerza	Resistencia a la penetración
Nro.	H. Inicio: 11:15 a.m.		N.º	in^2	Libras	Lb/in^2
1	15:24	249	1	1.000	106	106
2	16:00	285	2	0.500	116	232
3	16:40	325	3	0.250	140	560
4	17:00	345	4	0.100	80	800
5	17:35	380	4	0.100	126	1260
6	17:54	399	5	0.050	86	1720
7	18:30	435	5	0.050	120	2400
8	18:53	458	6	0.025	90	3600

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°46: Resultados del ensayo de tiempo de fragua para la muestra de concreto con agua de mar

Ensayo de 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: 12:00 p.m.		N.º	in^2	Libras	Lb/in^2
1	15:25	205	1	1.000	130	130
2	15:54	234	2	0.500	120	240
3	16:20	260	3	0.250	110	440
4	16:43	283	4	0.100	90	900
5	17:00	300	4	0.100	120	1200
6	17:19	319	5	0.050	100	2000
7	17:40	340	5	0.050	140	2800
8	18:27	387	6	0.025	114	4560

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°30 se muestra el gráfico obtenido del ensayo de tiempo de fraguado tanto del concreto patrón y el concreto con agua de mar, la cual se realizó de acuerdo con la norma NTP 229.082.

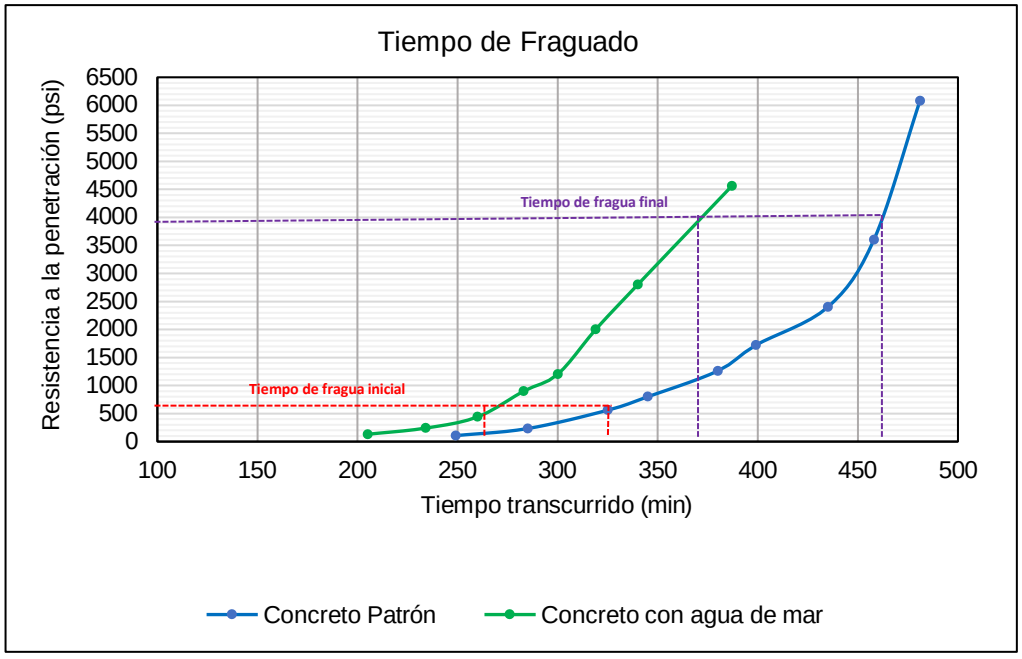


Figura N°30: Gráfica de resultados del ensayo de tiempo de fragua. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de fraguado inicial de los dos diseños de mezcla expresado en minutos fue de 315 min para el concreto patrón y 260 min para el concreto con agua de mar, como se muestra en la Tabla N°47.

Tabla N°47: Variación porcentual en el ensayo de tiempo de fraguado (inicial).

Descripción	Tiempo de fraguado inicial (min)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	315	100%
Concreto con agua de mar	260	83%

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base el tiempo de fraguado inicial del concreto patrón (100%), se observa que el tiempo de fraguado inicial del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón es de 83 %, siendo una variación porcentual del 17%, como se muestra en la Figura N°31.

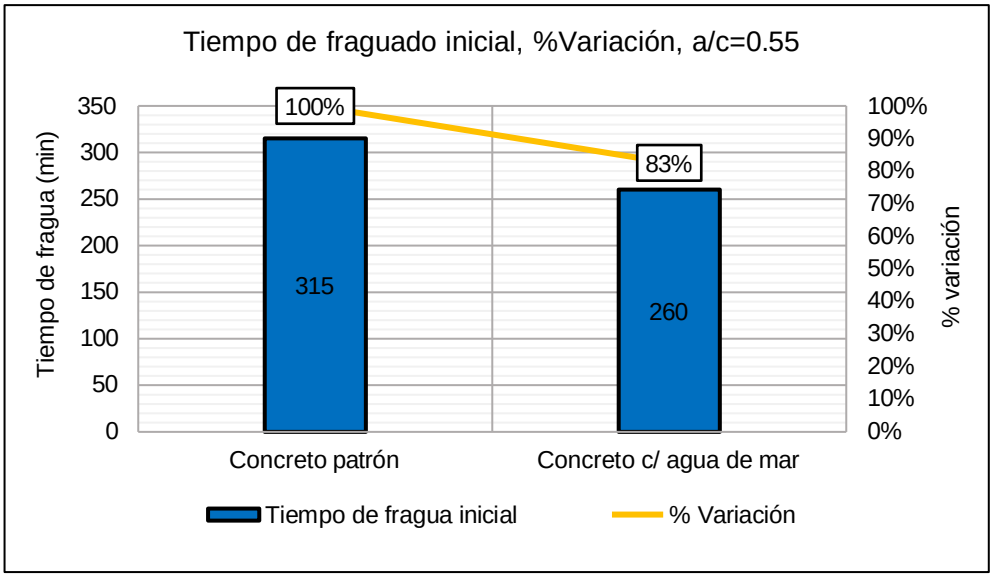


Figura N°31: Comparación de valores y variación porcentual de tiempo de fraguado (inicial).
Fuente: elaboración propia.

Se podría afirmar que el agua de mar en la mezcla de concreto ocasiona una disminución en el tiempo de fraguado inicial.

El tiempo de fraguado final de los diseños de mezcla expresado en minutos fue de 462 min para el concreto patrón y 368 min para el concreto con agua de mar, como se muestra en la Tabla N°48.

Tabla N°48: Variación porcentual en el ensayo de tiempo de fraguado (final).

Descripción	Tiempo de fraguado final (min)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	462	100%
Concreto con agua de mar	368	80%

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base el tiempo de fraguado final del concreto patrón (100%), se observa que el tiempo de fraguado final del concreto con agua de mar con respecto al concreto patrón es de 80 %, siendo una variación porcentual del 20%, como se muestra en la Figura N°32.

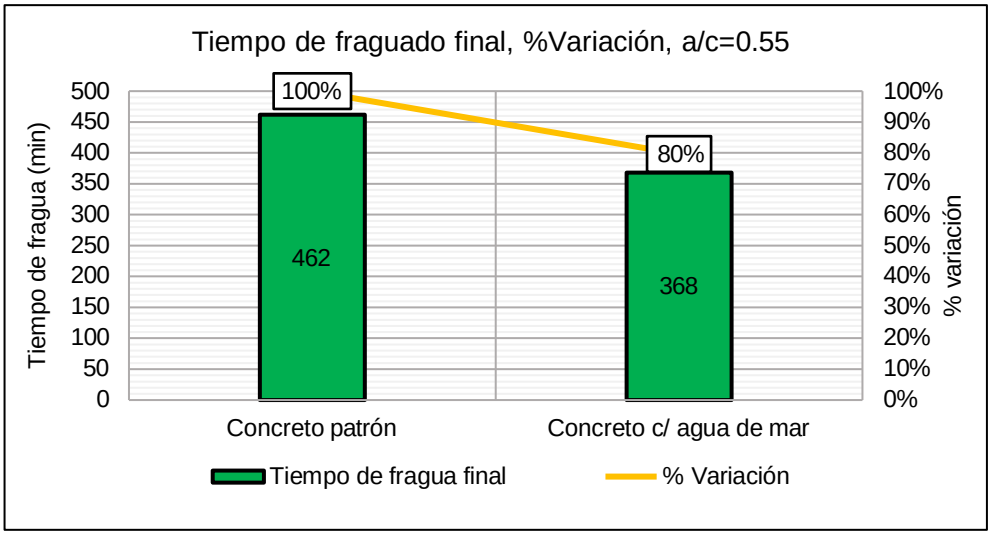


Figura N°32: Comparación de valores y variación porcentual de tiempo de fraguado (final). Fuente: elaboración propia.

.

Se podría afirmar que el agua de mar en la mezcla de concreto ocasiona una disminución en el tiempo de fraguado final, al igual que en el tiempo de fraguado inicial.

8.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

El análisis de la propiedad de resistencia a la compresión del concreto endurecido desarrollados en el capítulo V, se realizará acorde con las recomendaciones y cumplimientos de los requerimientos técnicos. Teniendo en cuenta las comparaciones que se realizan en los dos tipos de mezcla: concreto patrón y mezclado con agua de mar.

8.2.1. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034; ASTM C39)

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de concreto patrón y concreto con agua de mar se muestran a continuación.

8.2.1.1. Resistencia a la compresión del concreto patrón

Se mostrarán los resultados de resistencia a la compresión del concreto patrón en la Tabla N°49.

Tabla N°49: Resultados de resistencia a la compresión del concreto patrón.

Tiempo de curado	Concreto patrón				
	Codificación	Diám.	Carga	f'c	f'c_prom
(días)		D_{prom}	(Kg)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
7 días	CP7-1	10.1	22067.4	278	281
	CP7-2	10.1	22194.3	277	
	CP7-3	10.2	23348.5	289	
	CP7-4	10.1	22321.7	279	
21 días	CP21-1	10.1	25945.0	326	325
	~~CP21-2~~	10.1	~~24743.0~~	-	
	CP21-3	10.1	25841.0	324	
	CP21-4	10.0	25628.0	326	
28 días	CP28-1	10.0	26170.0	333	327
	~~CP28-2~~	10.1	~~22814.0~~	-	
	CP28-3	10.2	25980.0	321	
	CP28-4	10.1	25815.0	325	
Exposición: agua de mar					
30 días	~~CP30-1~~	~~10.0~~	~~27241.0~~	-	334
	CP30-2	10.1	26837.0	337	
	CP30-3	10.1	26831.0	335	
	CP30-4	10.2	26921.0	331	
60 días	CP60-1	10.2	30486.6	377	380
	CP60-2	10.1	30212.6	381	
	CP60-3	10.1	30146.9	378	
	CP60-4	10.1	30582.6	384	
90 días	CP90-1	10.0	26916.0	344	357
	CP90-2	10.0	27261.0	349	
	CP90-3	10.2	29772.0	368	
	CP90-4	10.2	29729.0	366	
120 días	~~CP120-1~~	~~10.1~~	~~28804.0~~	-	394
	~~CP120-2~~	~~9.9~~	~~26368.0~~	-	
	CP120-3	10.1	31170.0	387	
	CP120-4	9.9	30536.0	401	
	CP120-5	9.8	28112.0	373	

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se muestran los resultados de resistencia a compresión del concreto patrón de manera gráfica en la Figura N°33.

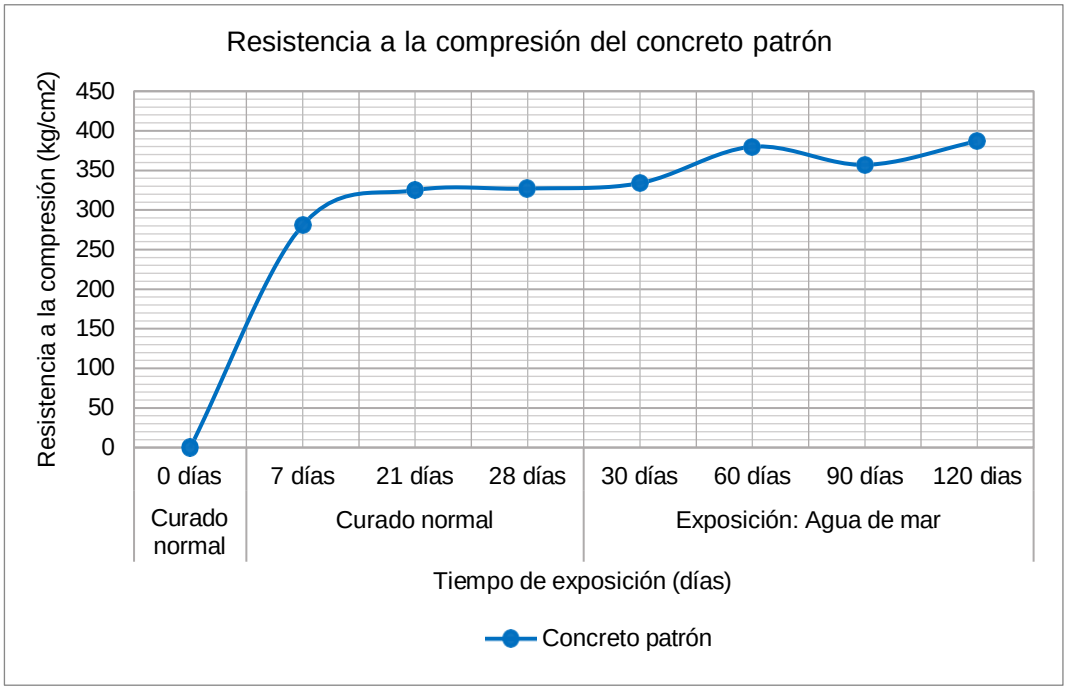


Figura N°33: Resistencia a la compresión del concreto patrón a través del tiempo (exposición).
Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.2. Resistencia a la compresión del concreto con agua de mar

Se muestran los resultados de resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar en la Tabla N°50.

Tabla N°50: Resistencia a la compresión del concreto con agua de mar.

Tiempo de curado (Días)	Concreto con agua de mar				
	Codificación	Diámetro $D_{_prom}$	Carga (kg)	f´c (kg/cm^2)	f´c_prom (kg/cm^2)
7 días	CM7-1	10.2	23374.2	285	286
	CM7-2	10.1	22433.0	280	
	CM7-3	10.1	23226.8	290	
	CM7-4	10.2	23753.9	289	
21 días	~~CM21-1~~	10.0	24623.0		330
	CM21-2	10.0	26237.0	333	
	CM21-3	10.0	26007.0	330	
	CM21-4	10.1	26085.0	329	
28 días	CM28-1	10.2	27234.0	337	337

	CM28-2	10.1	26818.0	338	
	CM28-3	10.1	26895.0	336	
	CM28-4	10.1	26820.0	336	
Exposición: agua de mar					
30 días	CM30-1	10.1	32595.0	409	393
	CM30-2	10.0	30008.0	384	
	~~CM30-3~~	~~10.0~~	~~33647.0~~	~~--~~	
	CM30-4	10.0	30367.0	385	
60 días	CM60-1	10.1	34830.4	432	436
	CM60-2	10.2	34387.2	425	
	CM60-3	10.2	35187.0	435	
	CM60-4	10.0	35606.2	451	
90 días	~~CM90-1~~	~~10.1~~	~~30022.0~~	~~--~~	418
	CM90-2	10.0	32443.0	411	
	CM90-3	10.0	34846.0	441	
	CM90-4	10.1	32106.0	402	
120 días	CM120-1	10.0	33902.0	436	420
	CM120-2	9.9	32255.0	417	
	CM120-3	10.0	31793.0	407	
	~~CM120-4~~	~~10.2~~	~~31936.0~~	-	
	CM120-5	9.9	31124.0	408	

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la Figura N°34 se aprecia la resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar de manera gráfica.

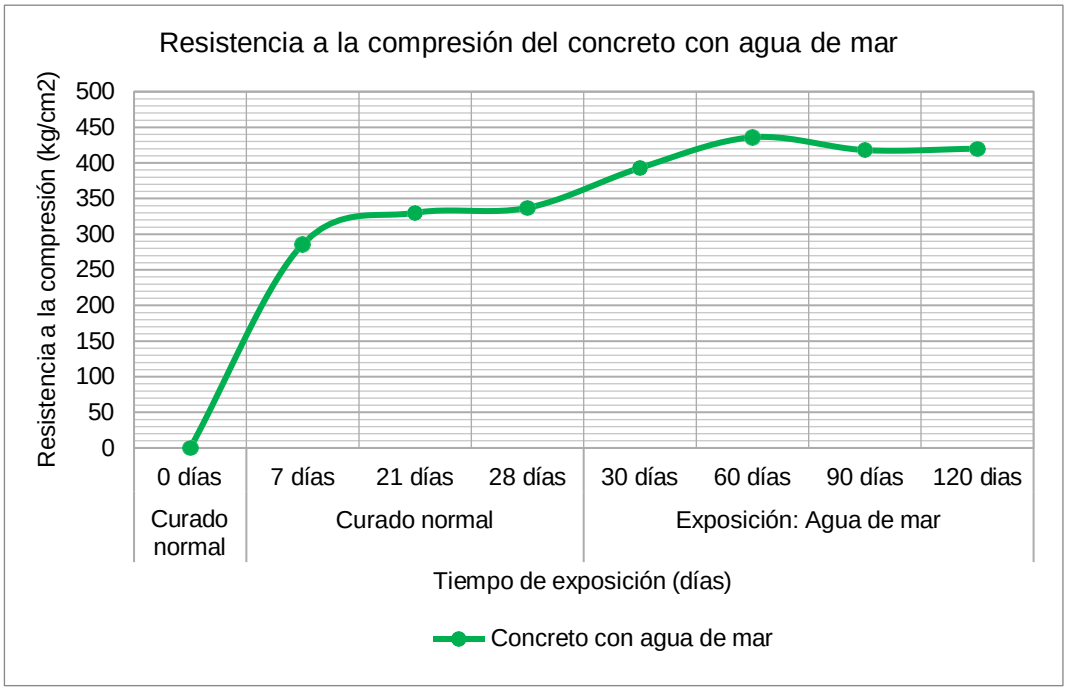


Figura N°34: Resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar a través del tiempo (exposición). Fuente: Elaboración propia

8.2.2. Análisis de resultados

El análisis de resultados para la resistencia a la compresión se realizó en dos etapas o periodos: la primera etapa fue donde se mantuvieron condiciones normales para el curado de las probetas de concreto dentro de los 28 días y la segunda etapa fue cuando se sumergen las probetas de concreto en agua de mar.

8.2.2.1. Condiciones normales

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días como muestra la Tabla N°51, muestran que la resistencia a la compresión es de 281 Kg/cm2 para el concreto patrón y de 286 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar, obteniendo una variación porcentual de 1.78%, como se muestra en la Figura N°35.

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 21 días como muestra la Tabla N°51, se observa que la resistencia a la compresión fue de 325 Kg/cm2 para el concreto patrón y fue de 330 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar, obteniendo una variación porcentual de 1.54%, como indica la Figura N°35.

Por último, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días como muestra la Figura N°35, se observa que la resistencia a la compresión fue de 327 Kg/cm2 para el concreto patrón y fue de 337 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar, obteniendo una variación porcentual de 3.06%, como muestra la Figura N°35.

Con los resultados de resistencia a la compresión a condiciones normales se puede afirmar que el concreto con agua de mar presenta mayor resistencia a la compresión desde edades tempranas, esto es probable que se deba al agua de mar ya que acelera el desarrollo de la resistencia del concreto debido a su alto contenido en cloruros. Varios estudios han demostrado que el concreto fabricado con agua de mar tiene una resistencia a la compresión a los 7 días significativamente mayor, una resistencia a la compresión a los 28 días

comparable y una resistencia a la compresión a largo plazo similar a la del concreto convencional. (Xiao, Qiang, Nanni, Zhang, 2017)

8.2.2.2. Condiciones de exposición: Agua de mar

Según la Tabla N°51 los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 30 días de exposición en agua de mar, contados a partir de la finalización de la etapa en condiciones normales (28 días) se observa que la resistencia a la compresión es de 334 Kg/cm2 para el concreto patrón y de 393 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar, obteniéndose una variación porcentual de 17.66%, como muestra la Figura N°35.

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 60 días de exposición al agua de mar como muestra la Tabla N°51, muestran que la resistencia a la compresión fue de 380 Kg/cm2 para el concreto patrón y fue de 436 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar obteniéndose una variación porcentual de 14.74%, como muestra la Figura N°35.

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 90 días de exposición al agua de mar, como muestra la Tabla N°51, detalla que la resistencia a la compresión fue de 357 Kg/cm2 para el concreto patrón y fue de 418 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar, obteniéndose una variación porcentual de 17.09%, como indica la Figura N°35.

Por último, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 120 días de exposición en agua de mar, como muestra la Tabla N°51, detallan que la resistencia a la compresión fue de 387 Kg/cm2 para el concreto patrón y fue de 420 Kg/cm2 para el concreto mezclado con agua de mar obteniéndose una variación porcentual de 8.53%, como se muestra en la Figura N°35.

Con los resultados de resistencia a la compresión durante los periodos de análisis en su etapa de exposición al agua de mar se puede afirmar que el concreto con agua de mar presenta notoriamente una mayor resistencia a la compresión, esto es probable que se deba al agua de mar presente en la composición de la mezcla del concreto y por la exposición al agua de mar ya que esto acelera el desarrollo

de la resistencia del concreto debido a su alto contenido en cloruros, como se mencionó previamente.

Tabla N°51: Variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar respecto al concreto patrón.

Exposición	Edad	Resistencia promedio a la compresión (kg/cm2)				% variación
	(días)	C. Agua Potable		C. Agua de mar		
Condición normal	7 días	281	100%	286	101.78%	1.78%
	21 días	325	100%	330	101.54%	1.54%
	28 días	327	100%	337	103.06%	3.06%
Exposición: agua de mar	30 días	334	100%	393	117.66%	17.66%
	60 días	380	100%	436	114.74%	14.74%
	90 días	357	100%	418	117.09%	17.09%
	120 días	387	100%	420	108.53%	8.53%

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°35 muestra, de forma gráfica, la variación porcentual que existe entre las resistencias a la compresión del concreto patrón y del concreto mezclado con agua de mar.

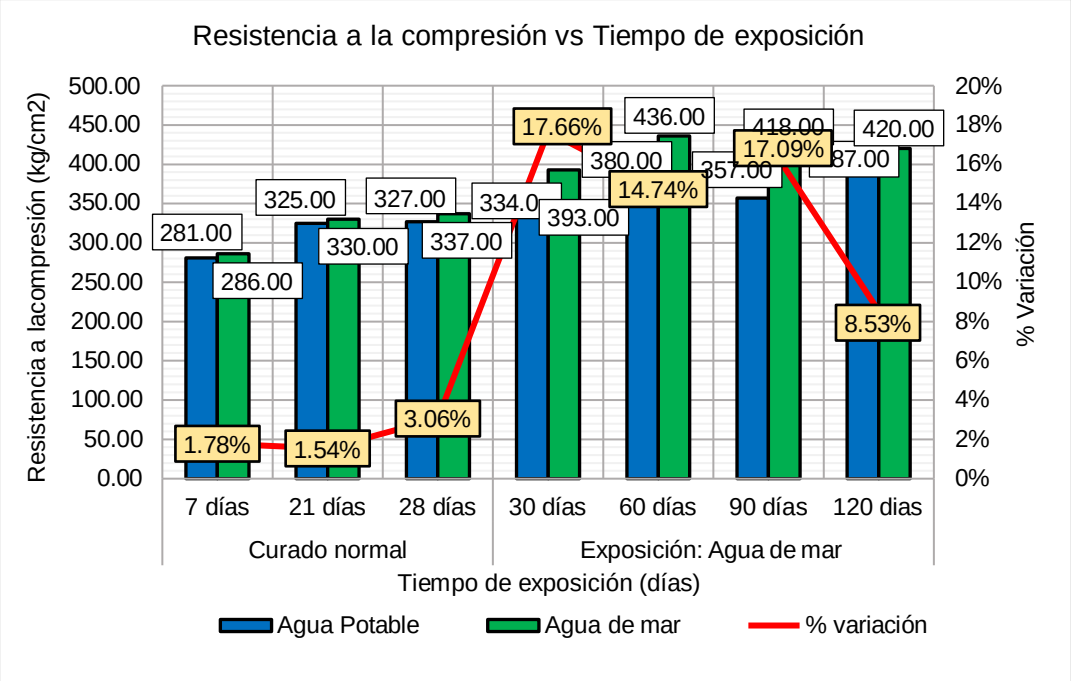


Figura N°35: Evolución de la resistencia a la compresión de los dos tipos de concreto. Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°36 muestra un panorama donde se puede apreciar mejor el aumento de resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar respecto al concreto patrón, tanto en condiciones normales como en condiciones de exposición.

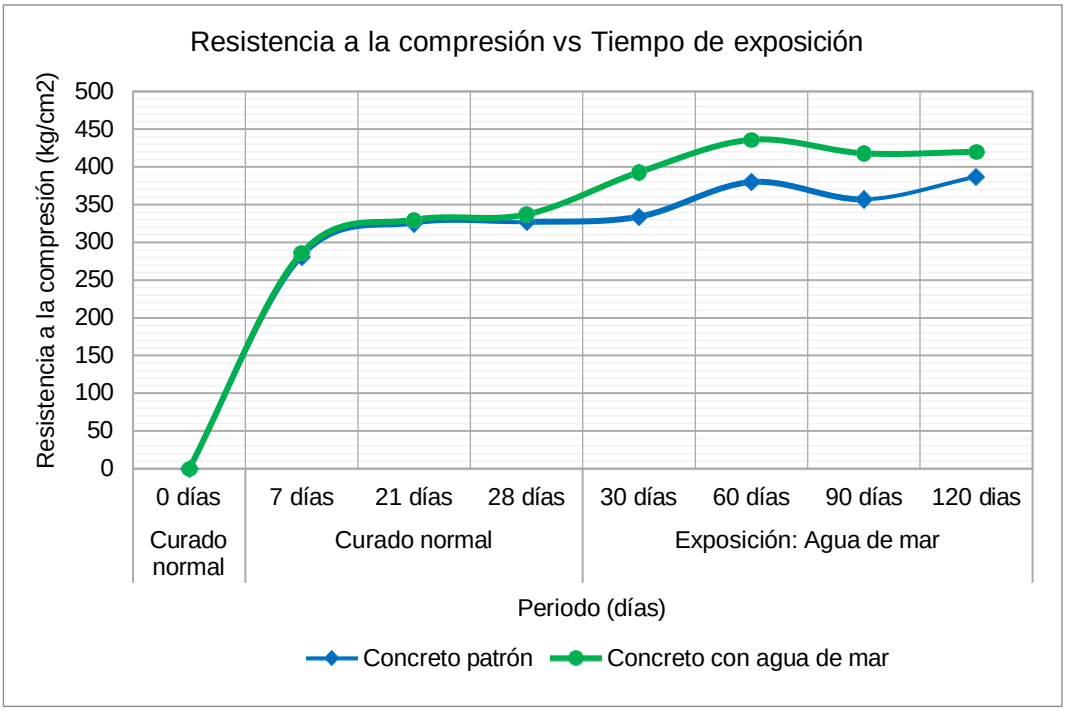


Figura N°36: Evolución gráfica a través del tiempo del concreto mezclado con agua de mar y el concreto patrón. Fuente: Elaboración propia.

8.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE ACERO Y GFRP.

El análisis de las propiedades de las barras de acero y GFRP se realizará acorde con las recomendaciones y cumplimientos de los requerimientos técnicos.

8.3.1. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción.

8.3.1.1. Ensayo de Tracción del acero (ASTM A615)

Los resultados del ensayo de tracción de las barras de acero se muestran en la Tabla N°52.

Tabla N°52: Resultados del ensayo a la tracción del acero.

Acero				
Periodo	Exposición	Codificación	Resistencia a la tracción (kg/cm2)	Resistencia a la tracción promedio (kg/cm2)
	Cond. Normales	TA-1	7436.972	7438.081
		TA-2	7441.549	
		TA-3	7443.662	
		TA-4	7430.141	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	TA30-1	7437.324	7437.852
		TA30-2	7440.493	
		TA30-3	7438.380	
		TA30-4	7435.211	
60 días	Agua de mar	TA60-1	7434.859	7436.532
		TA60-2	7436.972	
		TA60-3	7436.268	
		TA60-4	7438.028	
90 días	Agua de mar	TA90-1	7434.085	7434.894
		TA90-2	7429.930	
		TA90-3	7437.042	
		TA90-4	7438.521	
120 días	Agua de mar	TA120-1	7428.522	7433.081
		TA120-2	7432.042	
		TA120-3	7437.254	
		TA120-4	7434.507	

Fuente: Elaboración propia.

También se muestra en la Figura N°37 la evolución a través del tiempo de la resistencia a la tracción del acero.

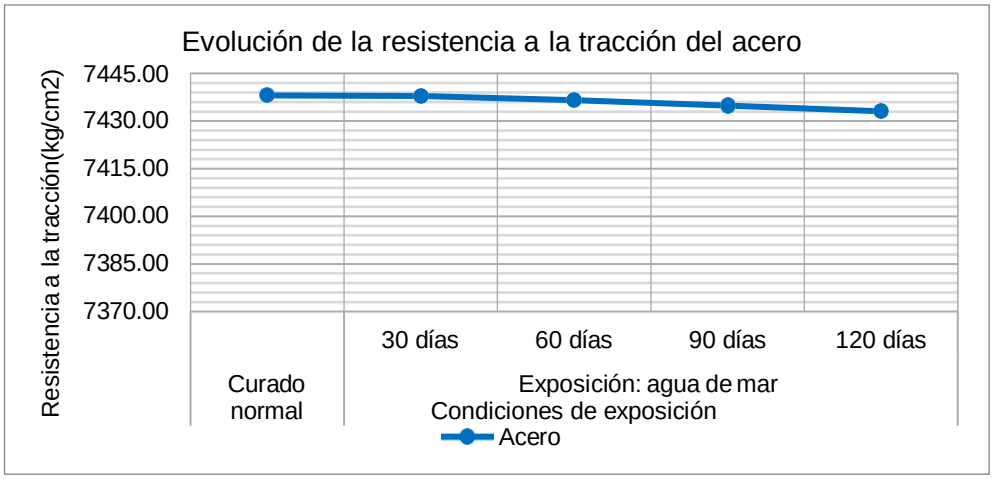


Figura N°37: Evolución de la resistencia a la tracción del acero. Fuente: Elaboración propia.

8.3.1.2. Ensayo de Tracción de GFRP (ASTM D7205)

Los resultados del ensayo de tracción de las barras de GFRP se muestran en la Tabla N°53.

Tabla N°53: Resultados de resistencia a la tracción del GFRP.

GFRP				
Periodo	Exposición	Codificación	Resistencia a la tracción (kg/cm2)	Resistencia a la tracción promedio (kg/cm2)
	Cond. Normales	TF-1	10974.775	10965.937
		TF-2	10964.789	
		TF-3	10977.972	
		TF-4	10946.211	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	TF30-1	10952.465	10949.12
		TF30-2	10946.901	
		TF30-3	10949.577	
		TF30-4	10947.535	
60 días	Agua de mar	TF60-1	10943.310	10948.644
		TF60-2	10949.789	
		TF60-3	10951.056	
		TF60-4	10950.423	
90 días	Agua de mar	TF90-1	10947.394	10947.113
		TF90-2	10944.789	
		TF90-3	10949.507	
		TF90-4	10946.761	
120 días	Agua de mar	TF120-1	10950.352	10947.57
		TF120-2	10944.437	
		TF120-3	10947.113	
		TF120-4	10948.380	

Fuente: Elaboración propia.

También se muestra en la Figura N°38 la evolución a través del tiempo de la resistencia a la tracción del GFRP:

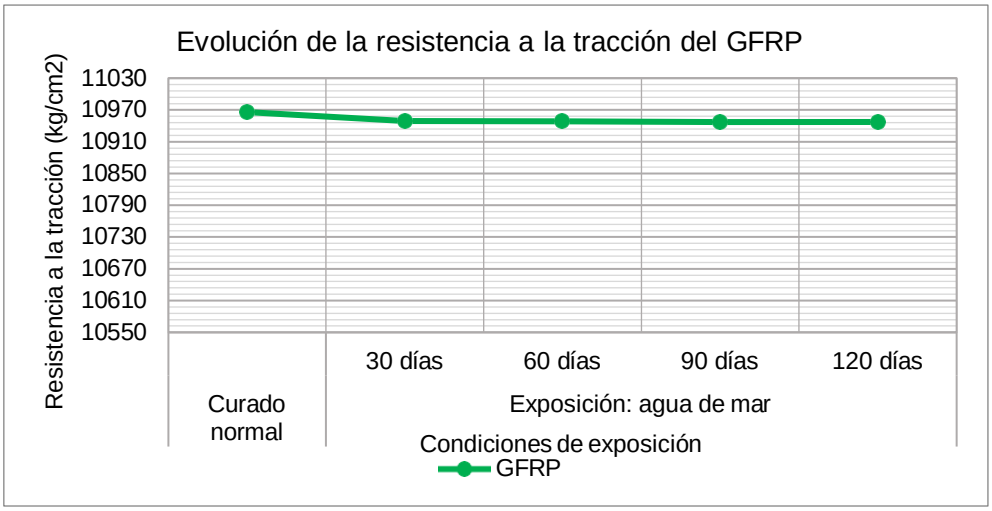


Figura N°38: Evolución de la resistencia a la tracción del GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.3.2. Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la tracción

El análisis de resultados para la resistencia a la tracción de barras de refuerzo se realizó en dos etapas o periodos: la primera etapa fue donde se mantuvo condiciones normales para el ensayo de las barras y la segunda etapa fue cuando se sumergieron las muestras en condiciones de exposición en agua de mar.

8.3.2.1. Condiciones Normales

Los resultados del ensayo de resistencia a la tracción en condiciones normales se muestran en la Tabla N°54, la resistencia a la tracción fue de 7438.08 Kg/cm2 para el acero y fue de 10965.94 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base la resistencia a la tracción del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 47.43%, como indica la Figura N°39.

Estos resultados representan los valores medidos en condiciones normales, se tomarán como referencia o base dichos valores, a su vez se observa que el valor del GFRP es superior por aproximadamente 50% del valor de tracción del acero. Analizando la obtención de estos resultados, se podría afirmar que se debe a principalmente por la naturaleza y la composición de estos.

8.3.2.2. Condiciones de exposición: Agua de mar

Según la Tabla N°54 los resultados del ensayo de tracción a los 30 días de exposición en agua de mar muestran que la resistencia a la tracción es de 7437.85Kg/cm2 para el acero y de 10949.12 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base la resistencia a la tracción del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 47.21%, como indica la Figura N°39.

Según la Tabla N°54 los resultados del ensayo de tracción a los 60 días de exposición en agua de mar muestran que la resistencia a la tracción es de 7436.53 Kg/cm2 para el acero y de 10948.64 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base la resistencia a la tracción del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 47.23%, como indica la Figura N°39.

Según la Tabla N°54 los resultados del ensayo de tracción a los 90 días de exposición en agua de mar muestran que la resistencia a la tracción es de 7434.89 Kg/cm2 para el acero y de 10947.11 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base la resistencia a la tracción del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 47.24%, como indica la Figura N°39.

Según la Tabla N°54 los resultados del ensayo de tracción a los 120 días de exposición en agua de mar. Se observa que la resistencia a la tracción es de 7433.08Kg/cm2 para el acero y de 10947.57 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base la resistencia a la tracción del acero (100%) se obtuvo una variación porcentual del 47.28%, como indica la Figura N°39.

Tabla N°54: Resultados porcentuales de resistencia a la tracción de las barras de GFRP respecto a las barras de acero.

Condición	Edad	Acero		GFRP	
		Resistencia a la tracción (kg/cm2)	% patrón	Resistencia a la tracción (kg/cm2)	% Variación respecto al patrón
Normal		7438.08	100.00%	10965.94	147.43%
Exposición: agua de mar	30 días	7437.85	100.00%	10949.12	147.21%
	60 días	7436.53	100.00%	10948.64	147.23%
	90 días	7434.89	100.00%	10947.11	147.24%
	120 días	7433.08	100.00%	10947.57	147.28%

Fuente: Elaboración propia.

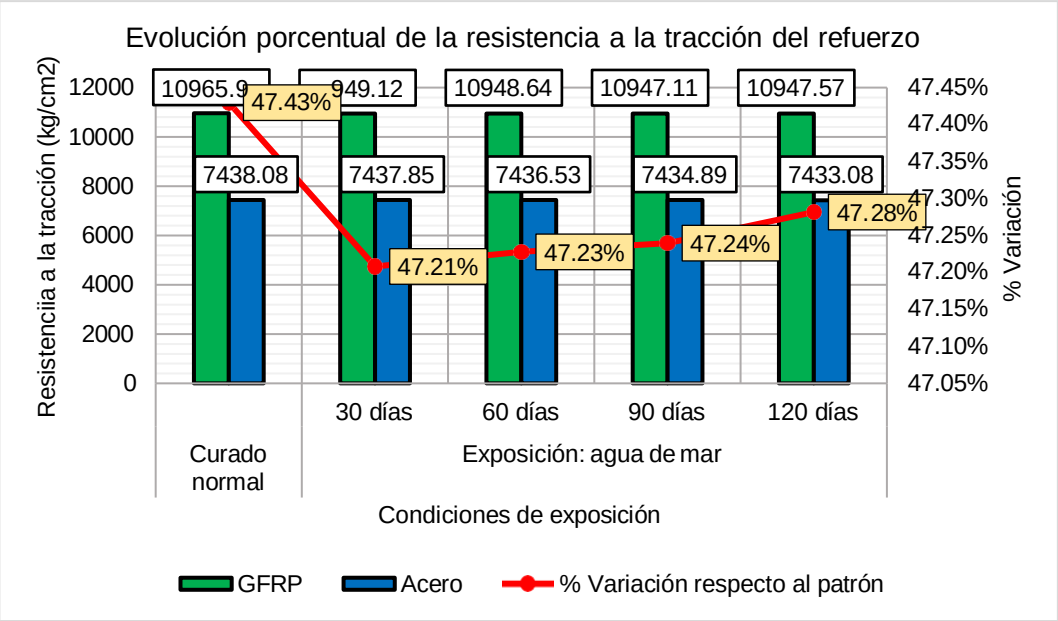


Figura N°39 Evolución y variación porcentual de la resistencia a la tracción de barras de GFRP y acero. Fuente: Elaboración propia.

En estas condiciones de exposición se puede analizar una tendencia de disminución mínima en ambos casos, tanto la barra de acero y GFRP sufren una variación insignificante en su resistencia a la tracción. Esto puede ser debido al ataque de cloruros en el acero y por la capacidad de absorción de humedad de la resina que compone al GFRP. En la Figura N°40 se puede apreciar que la resistencia prácticamente se mantiene constante con pequeños márgenes de cambio.

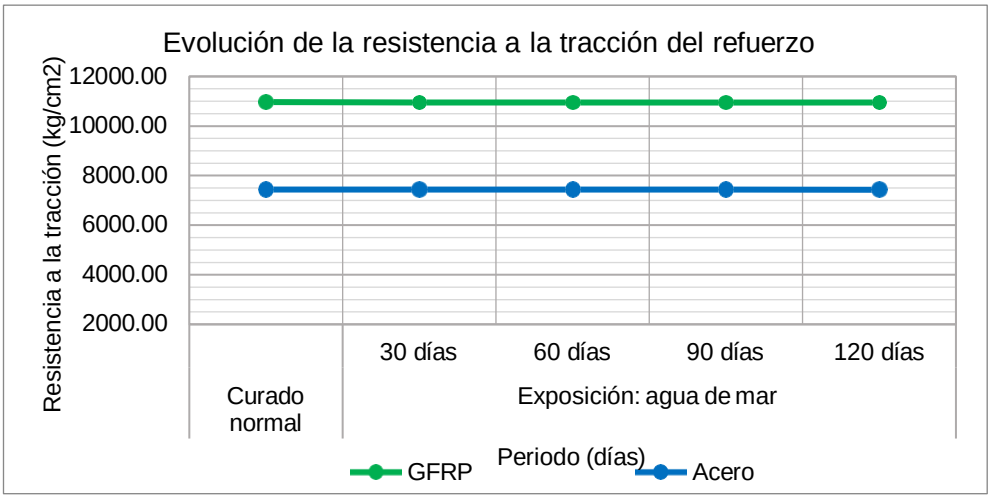


Figura N°40: Evolución de la resistencia a la tracción de las barras de acero y GFRP. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como referencia la resistencia a la tracción del acero en condiciones normales (100%), se tendría para los días 30, 60, 90 y 120 valores de 100%, 99.98%, 99.96% y 99.93% respectivamente. Como se muestra en la Tabla N°55.

Tabla N°55: Variación porcentual de resistencia a la tracción del acero respecto a condiciones iniciales.

Condición	Edad	Acero	
		Resistencia a la tracción (kg/cm2)	% Variación respecto al patrón
Normal		7438.1	100.00%
Exposición: agua de mar	30 días	7437.9	100.00%
	60 días	7436.5	99.98%
	90 días	7434.9	99.96%
	120 días	7433.1	99.93%

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados se aprecia que hay una disminución porcentual mínima en la resistencia a la tracción del acero, este descenso se da a partir del día 60 de exposición, posiblemente sea causa de un inminente inicio de ataque corrosivo debido al agua de mar, como se muestra en la Figura N°41.

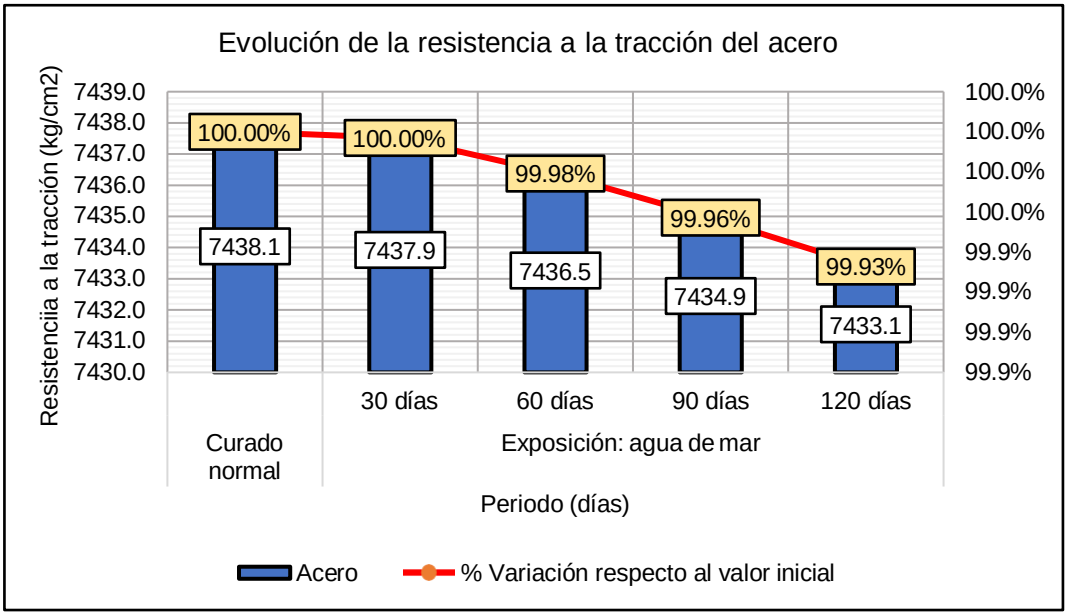


Figura N°41: Evolución de la resistencia a la tracción del acero respecto a las condiciones iniciales.
Fuente: Elaboración propia.

Tomando como base la resistencia a la tracción del GFRP en condiciones normales (100%), se tendría para los días 30, 60, 90 y 120 valores de 99.85%, 99.84%, 99.83% y 99.83% respectivamente, como se muestra en la Tabla N°56.

Tabla N°56: Variación porcentual de resistencia a la tracción del GFRP respecto a condiciones iniciales.

Condición	Edad	GFRP	
		Resistencia a la tracción (kg/cm2)	% Variación respecto al patrón
Normal		10965.9	100.00%
Exposición: agua de mar	30 días	10949.1	99.85%
	60 días	10948.6	99.84%
	90 días	10947.1	99.83%
	120 días	10947.6	99.83%

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados se aprecia que hay una tendencia de disminución porcentual mínima en la resistencia a la tracción del GFRP, de acuerdo con Morales-Mangual (2020) esto puede ser debido a la propiedad de absorción que posee la resina de la barra, así mismo la exposición en agua de mar y las altas temperaturas, puede haber sido también una causa de la variación. Estos resultados se pueden apreciar en la Figura N°42.

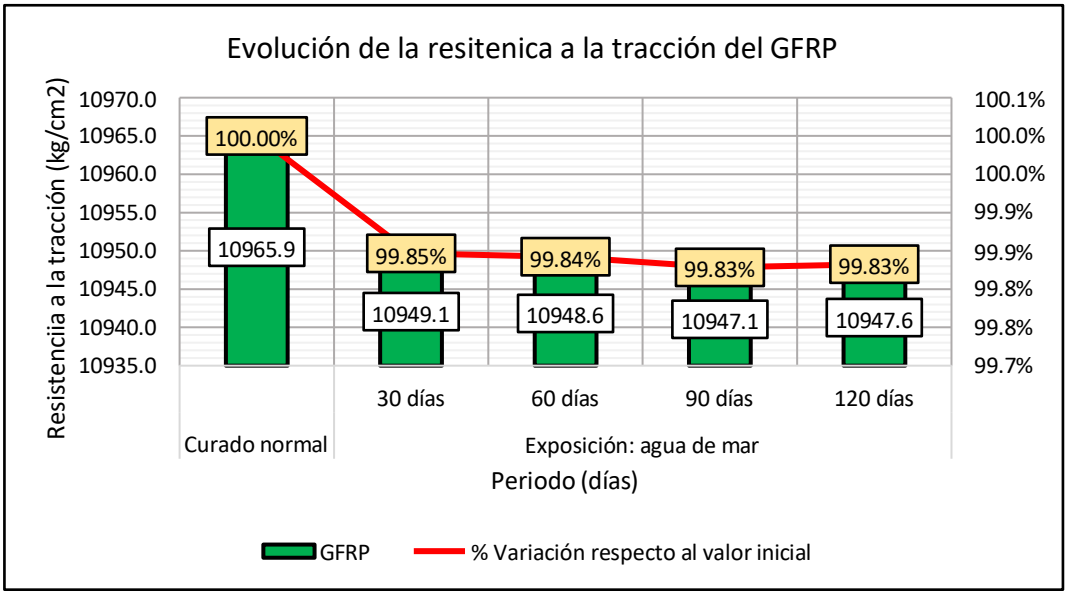


Figura N°42: Evolución de la resistencia a la tracción del GFRP respecto a las condiciones iniciales. Fuente: Elaboración propia.

8.3.3. Resultados del ensayo de adherencia

8.3.3.1. Ensayo de adherencia del acero (ASTM D7913)

Los resultados del ensayo de adherencia de las barras de acero se muestran en la Tabla N°57.

Tabla N°57: Resultados del esfuerzo de adherencia del acero.

Adherencia del acero				
Periodo	Exposición	Codificación	τ. adherencia	τ. adherencia promedio
7 días	Agua potable	AA7-1	1.640	1.604
		AA7-2	1.571	
		AA7-3	1.612	
		AA7-4	1.606	
		AA7-5	1.592	
14 días	Agua potable	AA14-1	1.626	1.855
		AA14-2	1.975	
		AA14-3	1.633	
		AA14-4	2.380	
		AA14-5	1.661	
28 días	Agua potable	AA28-1	1.927	1.925
		AA28-2	1.899	
		AA28-3	1.913	
		AA28-4	1.916	
		AA28-5	1.968	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	AA30-1	2.178	2.049
		AA30-2	2.234	
		AA30-3	2.174	
		AA30-4	2.136	
		AA30-5	1.522	
60 días	Agua de mar	AA60-1	2.318	2.341
		AA60-2	2.380	
		AA60-3	2.328	
		AA60-4	2.314	
		AA60-5	2.366	
90 días	Agua de mar	AA90-1	2.464	2.417
		AA90-2	2.338	
		AA90-3	2.541	
		AA90-4	2.359	
		AA90-5	2.380	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°43 se muestra de igual forma la evolución a través del tiempo del esfuerzo de adherencia del acero.

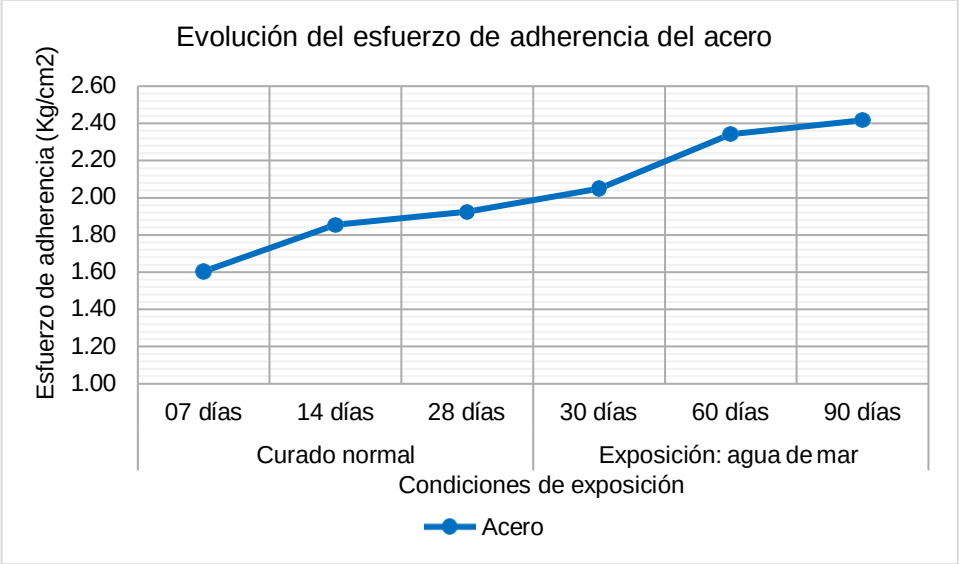


Figura N°43: Evolución del esfuerzo de adherencia del acero. Fuente: Elaboración propia.

8.3.3.2. Ensayo de adherencia de GFRP

Los resultados del ensayo de adherencia de las barras de GFRP se muestran en la Tabla N°58.

Tabla N°58: Resultados del esfuerzo de adherencia del GFRP.

Adherencia del GFRP				
Periodo	Exposición	Codificación	ᵀ. adherencia	ᵀ. adherencia promedio
7 días	Agua potable	AF7-1	1.571	1.560
		AF7-2	1.550	
		AF7-3	1.560	
		AF7-4	1.564	
		AF7-5	1.557	
14 días	Agua potable	AF14-1	1.654	1.664
		AF14-2	1.675	
		AF14-3	1.661	
		AF14-4	1.673	
		AF14-5	1.658	
28 días	Agua potable	AF28-1	1.689	1.670
		AF28-2	1.647	
		AF28-3	1.672	
		AF28-4	1.663	
		AF28-5	1.679	

Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	AF30-1	1.703	1.717
		AF30-2	1.717	
		AF30-3	1.709	
		AF30-4	1.735	
		AF30-5	1.720	
60 días	Agua de mar	AF60-1	1.731	1.761
		AF60-2	1.787	
		AF60-3	1.770	
		AF60-4	1.779	
		AF60-5	1.738	
90 días	Agua de mar	AF90-1	1.913	1.872
		AF90-2	1.850	
		AF90-3	1.860	
		AF90-4	1.892	
		AF90-5	1.846	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°44 se muestra de igual forma la evolución a través del tiempo del esfuerzo de adherencia del GFRP.

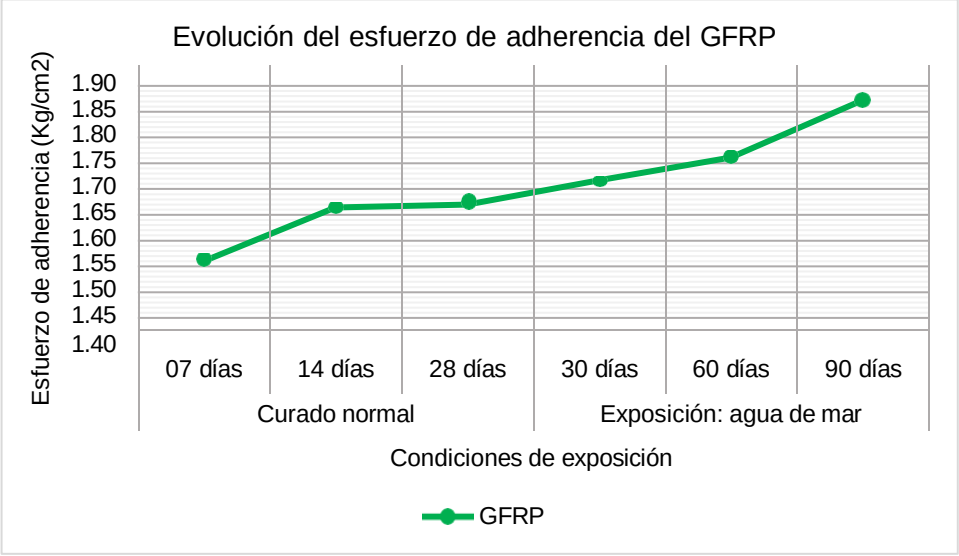


Figura N°44: Evolución del esfuerzo de adherencia del GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.3.4. Análisis de resultados del ensayo de adherencia

El análisis de resultados para la adherencia entre el concreto y los refuerzos se realizó en dos etapas o periodos: la primera etapa fue donde se mantuvieron condiciones normales para el curado de las muestras dentro de los 28 días y la

segunda etapa fue cuando se sumergieron las muestras en condiciones de exposición en agua de mar.

8.3.4.1. Condiciones normales

Los resultados del ensayo de adherencia a los 7 días se muestran en la Tabla N°59, el esfuerzo de adherencia fue de 1.60 Kg/cm2 para el acero y fue de 1.56 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base el esfuerzo de adherencia del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 2.74%, como indica la Figura N°45.

Los resultados del ensayo de adherencia a los 14 días se muestran en la Tabla N°59, el esfuerzo de adherencia fue de 1.86 Kgf/cm2 para el acero y fue de 1.66 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base el esfuerzo de adherencia del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 10.30%, como muestra la Figura N°45.

Los resultados del ensayo de adherencia a los 28 días se muestran en la Tabla N°59, el esfuerzo de adherencia fue de 1.92 Kg/cm2 para el acero y fue de 1.67 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base el esfuerzo de adherencia del acero (100%) se obtuvo una variación porcentual del 13.22%, como indica la Figura N°45.

Analizando los resultados de adherencia de los refuerzos con el concreto en condiciones normales, se podría afirmar que hay una clara tendencia de crecimiento en la adherencia del través del tiempo, sin embargo, se da un aumento mayor en el acero en comparación al GFRP, esto posiblemente sea a causa del patrón superficial de cada tipo de refuerzo.

8.3.4.2. Condiciones de exposición: Agua de mar

En la Tabla N°59 se muestran los resultados del ensayo de adherencia a los 30 días de exposición en agua de mar, contados a partir de la finalización de la etapa en condiciones normales (28 días), se observa que el esfuerzo de adherencia fue de 2.05 Kg/cm2 para el acero y de 1.72 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como

base el esfuerzo de adherencia del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 16.20%, como indica la Figura N°45.

En la Tabla N°59 se muestran los resultados del ensayo de adherencia a los 60 días de exposición en agua de mar, contados a partir de la finalización de la etapa en condiciones normales (28 días), se observa que el esfuerzo de adherencia fue de 2.34 Kg/cm2 para el acero y fue de 1.76 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base el esfuerzo de adherencia del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 24.78%, como muestra la Figura N°45.

En la Tabla N°59 se muestran los resultados del ensayo de adherencia a los 90 días de exposición en agua de mar, contados a partir de la finalización de la etapa en condiciones normales (28 días), se observa que el esfuerzo de adherencia fue de 2.42 Kg/cm2 para el acero y fue de 1.87 Kg/cm2 para el GFRP. Teniendo como base el esfuerzo de adherencia del acero (100%), se obtuvo una variación porcentual del 22.53%, como muestra la Figura N°45.

Tabla N°59: Variación porcentual del esfuerzo de adherencia de las barras de acero y GFRP.

Exposición	Edad	Esfuerzo de Adherencia promedio (kg/cm2)				% variación
	(días)	ACERO		GFRP		
Condiciones normales	7 días	1.604	100%	1.560	97.26%	-2.74%
	14 días	1.855	100%	1.664	89.70%	-10.30%
	28 días	1.925	100%	1.670	86.78%	-13.22%
Exposición: agua de mar	30 días	2.049	100%	1.717	83.80%	-16.20%
	60 días	2.341	100%	1.761	75.22%	-24.78%
	90 días	2.417	100%	1.872	77.47%	-22.53%

Fuente: Elaboración propia.

Con la ayuda de la Figura N°45, analizando los resultados de adherencia de los refuerzos con el concreto en condiciones de exposición en agua de mar, comparado con el caso anterior se observa que también hay una tendencia de crecimiento en la adherencia a través del tiempo, así mismo la variación porcentual entre ambos también crece considerablemente, este incremento podría ser debido a la madurez del concreto y efectos del patrón superficial del acero y el GFRP.

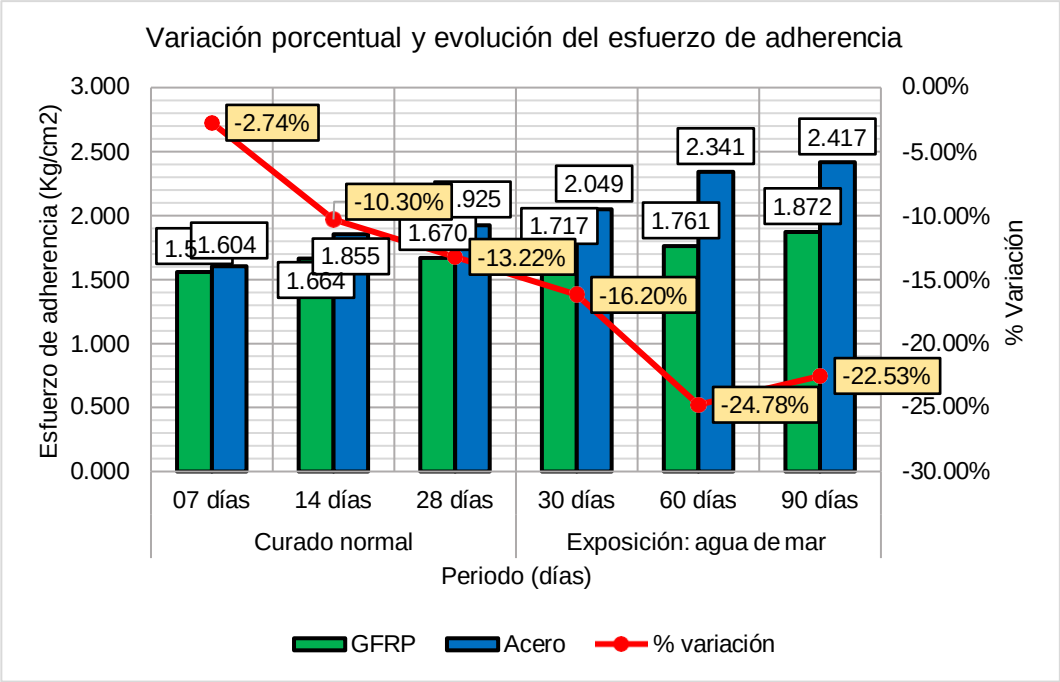


Figura N°45: Evolución y variación porcentual de la fuerza de adherencia de las barras de acero y GFRP. Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°46 muestra la evolución del esfuerzo de adherencia a través del tiempo, inicialmente en condiciones normales hasta estar en condiciones de exposición en agua de mar.

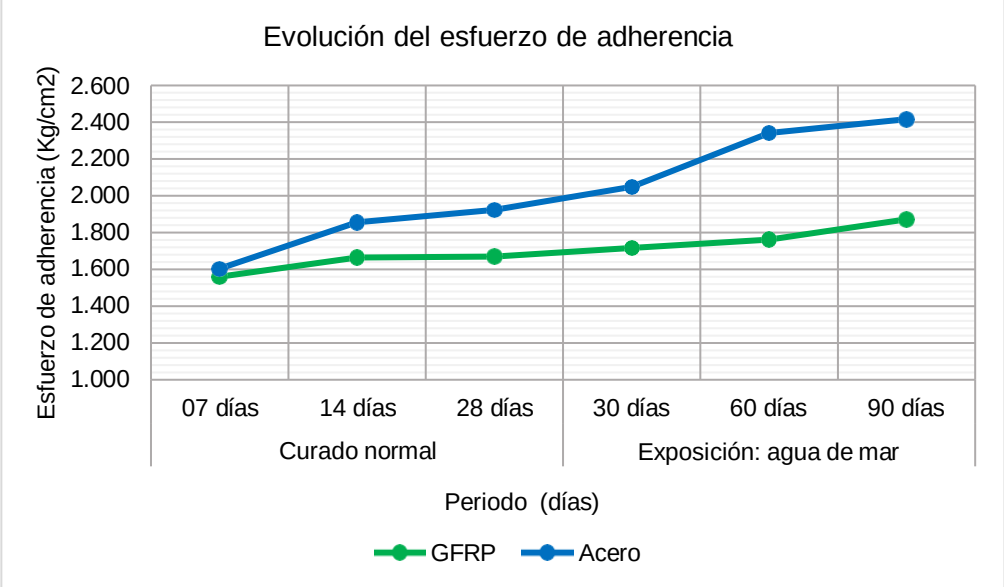


Figura N°46: Evolución de la fuerza de adherencia de las barras de acero y GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS REFORZADAS CON ACERO Y GFRP.

El análisis del comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado desarrollados en el capítulo VII se realizará acorde con las recomendaciones y cumplimientos de los requerimientos técnicos. Teniendo en cuenta las comparaciones que se realizan en los tres tipos de vigas: Vigas de concreto reforzadas con acero, vigas de concreto reforzadas con GFRP y vigas de concreto mezclado con agua de mar reforzado con GFRP.

8.4.1. Resultados de agrietamiento.

Los resultados de agrietamiento se darán para los tres tipos de muestras: VAP, VFP y VFM.

8.4.1.1. Agrietamiento de vigas reforzadas con acero

8.4.1.1.1. Viga mezclada con concreto con agua potable reforzada con acero (VAP)

Los resultados de agrietamiento de las vigas reforzadas con acero se mostrarán en la Tabla N°60.

Tabla N°60: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas reforzadas con acero

Agrietamiento de Vigas reforzadas con acero					
Periodo	Exposición	V. Acero	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. Potable	(Kg)	(Kg.cm)	(Kg/cm^2)
28 días	Agua potable	VAP28-1	3250	24375	41.06
		VAP28-2	3175	23812.5	40.12
		VAP28-3	3190	23925	40.31
		VAP28-4	3190	23925	40.31
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	VAP30-1	3240	24300	40.94
		VAP30-2	3280	24600	41.44
		VAP30-3	3220	24150	40.68

		VAP30-4	3200	24000	40.43
60 días	Agua de mar	VAP60-1	3300	24750	41.70
		VAP60-2	3380	25350	42.71
		VAP60-3	3310	24825	41.82
		VAP60-4	3290	24675	41.57
90 días	Agua de mar	VAP90-1	3340	25050	42.20
		VAP90-2	3400	25500	42.96
		VAP90-3	3590	26925	45.36
		VAP90-4	3420	25650	43.21
120 días	Agua de mar	VAP90-1	3540	26550	44.73
		VAP90-2	3560	26700	44.98
		VAP90-3	3535	26512.5	44.66
		VAP90-4	3620	27150	45.74

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en la Tabla N°61 se muestran los promedios de los resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con acero.

Tabla N°61: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con acero.

Promedio de resultados de Vigas reforzadas con acero					
Periodo	Exposición	V. Acero	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. Potable	(Kg)	(Kg.cm)	(Kg/cm^2)
28 días	Agua potable	$VAP28_{prom}$	3201.25	24009.38	40.45
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	$VAP30_{prom}$	3235	24262.50	40.87
60 días		$VAP60_{prom}$	3320	24900.00	41.95
90 días		$VAP90_{prom}$	3437.5	25781.25	43.43
120 días		$VAP120_{prom}$	3563.75	26728.13	45.03

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera en la Figura N°47 se aprecia la evolución a través del tiempo del agrietamiento de las vigas reforzadas con acero.

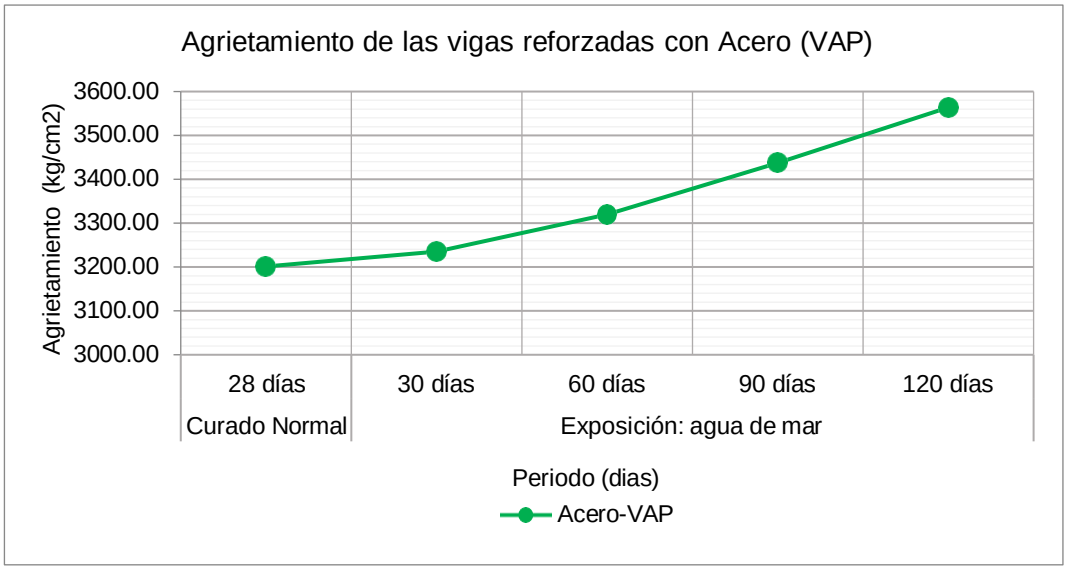


Figura N°47: Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con acero. Fuente: Elaboración propia.

8.4.1.2. Agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP

8.4.1.2.1. Viga mezclada con concreto con agua potable reforzada con GFRP (VFP)

Los resultados de resistencia de agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP se mostrarán en la Tabla N°62.

Tabla N°62: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP.

Resultados de Vigas reforzadas con GFRP					
Periodo	Exposición	V. GFRP	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. Potable	(Kg)	(Kg.cm)	(Kg/cm^2)
28 días	Agua potable	VFP28-1	3150	23625	41.67
		VFP28-2	3270	24525	43.26
		VFP28-3	3130	23475	41.41
		VFP28-4	3050	22875	40.35
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	VFP30-1	3320.00	24900	43.92
		VFP30-2	3305.00	24787.5	43.72
		VFP30-3	3290.00	24675	43.53
		VFP30-4	3310.00	24825	43.79

60 días	Agua de mar	VFP60-1	3420.00	25650	45.25
		VFP60-2	3400.00	25500	44.98
		VFP60-3	3390.00	25425	44.85
		VFP60-4	3430.00	25725	45.38
90 días	Agua de mar	VFP90-1	3500.00	26250	46.30
		VFP90-2	3400.00	25500	44.98
		VFP90-3	3510.00	26325	46.44
		VFP90-4	3420.00	25650	45.25
120 días	Agua de mar	VFP120-1	3550.00	26625	46.96
		VFP120-2	3520.00	26400	46.57
		VFP120-3	3570.00	26775	47.23
		VFP120-4	3500.00	26250	46.30

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en la Tabla N°63 se muestran los promedios de los resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP.

Tabla N°63: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP.

Promedio de resultados de Vigas reforzadas con GFRP (Agua potable)					
Periodo	Exposición	V. Acero	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. Potable	(Kg)	(Kg.cm)	(Kg/cm2)
28 días	Agua potable	$VFP28_{prom}$	3150.00	23625	41.67
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	$VFP30_{prom}$	3306.25	24796.88	43.74
60 días		$VFP60_{prom}$	3410.00	25575	45.11
90 días		$VFP90_{prom}$	3457.50	25931.25	45.74
120 días		$VFP120_{prom}$	3535.00	26512.5	46.77

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera en la Figura N°48 se aprecia la evolución a través del tiempo del agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP.

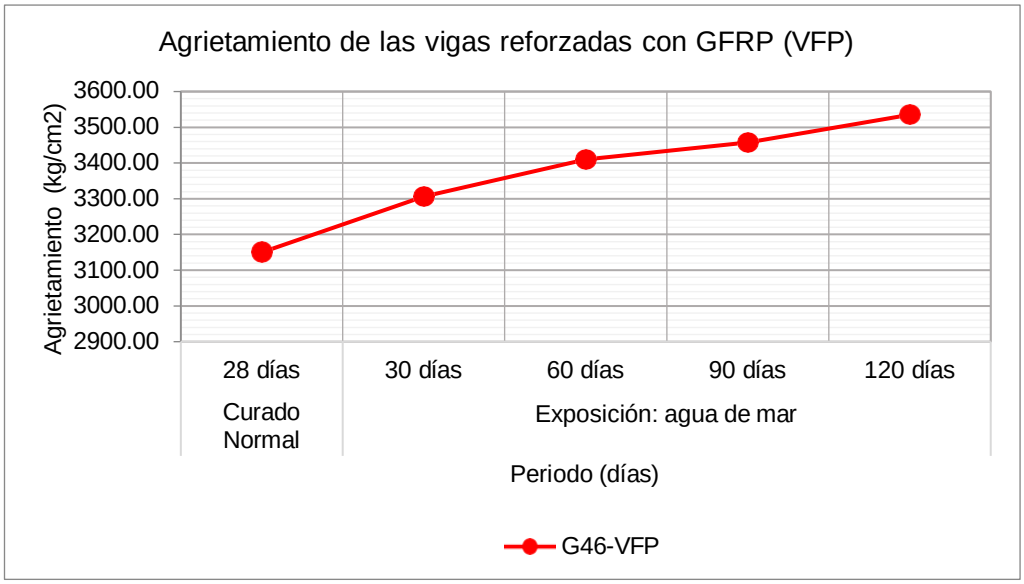


Figura N°48: Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.4.1.2.2. Viga mezclada con concreto con agua de mar reforzada con GFRP (VFM)

Los resultados de agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP y usando agua de mar para la mezcla se mostrarán en la Tabla N°64.

Tabla N°64: Resultados de resistencia de agrietamiento de vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP.

Resultados de Vigas reforzadas con GFRP (Agua de mar)					
Periodo	Exposición	V. GFRP	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. de mar	(Kg)	(Kg)	(Kg)
28 días	Agua potable	VFM28-1	3180.00	23850	42.07
		VFM28-2	3113.00	23347.5	41.18
		VFM28-3	3160.00	23700	41.81
		VFM28-4	3189.00	23917.5	42.19
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	VFM30-1	3350.00	25125	44.32
		VFM30-2	3325.00	24937.	43.99
		VFM30-3	3365.00	25237.5	44.52
		VFM30-4	3385.00	25387.5	44.78

60 días	Agua de mar	VFM60-1	3435.00	25762.5	45.44
		VFM60-2	3420.00	25650	45.25
		VFM60-3	3460.00	25950	45.77
		VFM60-4	3450.00	25875	45.64
90 días	Agua de mar	VFM90-1	3450.00	25875	45.64
		VFM90-2	3440.00	25800	45.51
		VFM90-3	3480.00	26100	46.04
		VFM90-4	3500.00	26250	46.30
120 días	Agua de mar	VFM120-1	3580.00	26850	47.36
		VFM120-2	3560.00	26700	47.10
		VFM120-3	3615.00	27112.5	47.82
		VFM120-4	3620.00	27150	47.89

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en la Tabla N°65 se muestran los promedios de los resultados de agrietamiento de vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP.

Tabla N°65: Promedio de resultados de agrietamiento de vigas mezcladas con agua de mar reforzada con GFRP.

Promedio de resultados de Vigas reforzadas con GFRP (Agua de mar)					
Periodo	Exposición	V. Acero	Carga de Agriet.	Momento de Agriet.	Módulo de Agriet.
		A. Potable	(Kg)	(Kg.cm)	(Kg/cm2)
28 días	Agua potable	$VFM28_{prom}$	3160.50	23703.75	41.81
Exposición: agua de mar					
30 días	Agua de mar	$VFM30_{prom}$	3356.25	25171.88	44.40
60 días		$VFM60_{prom}$	3441.25	25809.38	45.53
90 días		$VFM90_{prom}$	3467.50	26006.25	45.87
120 días		$VFM120_{prom}$	3593.75	26953.13	47.54

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera en la Figura N°49 se aprecia la evolución a través del tiempo del agrietamiento de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP.

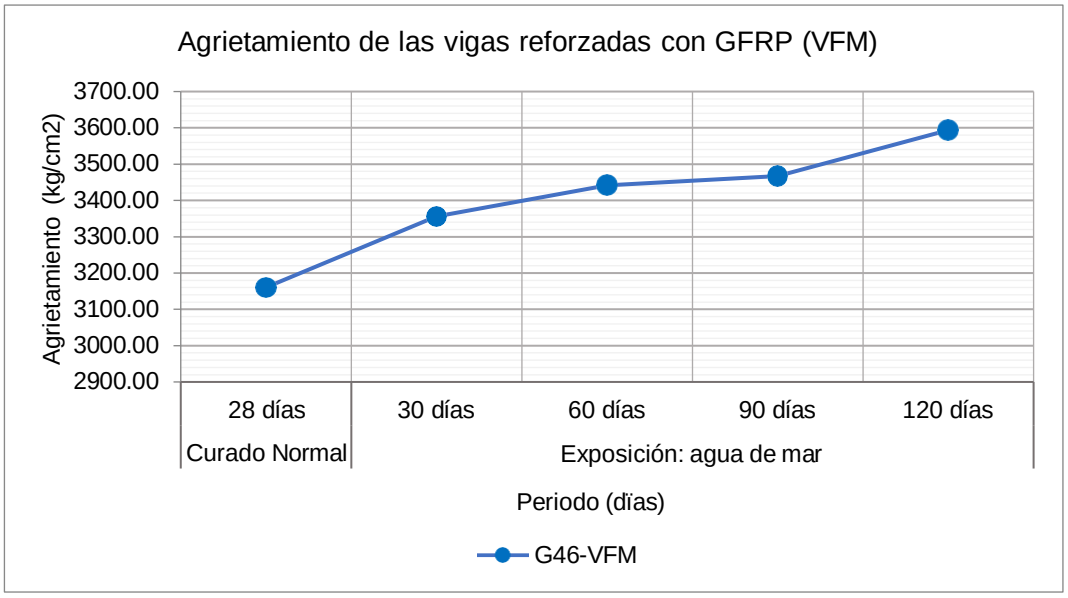


Figura N°49: Evolución del agrietamiento de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.4.2. Análisis de resultados de agrietamiento

Al igual que los casos anteriores el agrietamiento expresado en términos de esfuerzo se analizará en dos etapas (condiciones normales y condiciones de exposición en agua de mar), este análisis se realizará en los tres tipos de vigas antes mencionadas: VAP, VFP y VFM.

8.4.2.1. Condiciones Normales

En los resultados del esfuerzo de agrietamiento a los 28 días, detallados en la Tabla N°66, se observa que el esfuerzo de agrietamiento fue de 40.45 Kg/cm2 para la viga reforzada con acero (VAP), 41.67 Kg/cm^2 para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 41.81 Kg/cm2 para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base el esfuerzo de agrietamiento de VAP (100%), el esfuerzo de agrietamiento de VFP representa el 103.03% del esfuerzo de agrietamiento de VAP, mientras que VFM representa el 103.37% del esfuerzo de agrietamiento de VAP.

Acorde a los resultados analizados a los 28 días, se puede apreciar que el esfuerzo de agrietamiento tiene un valor similar en los tres tipos de vigas, arrojando variaciones porcentuales mínimas respecto a la viga reforzada con

acero, se podría indicar que no hubo una diferencia sustancial de valores de esfuerzo de agrietamiento, así mismo la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM) tiene un valor superior a los otros.

8.4.2.2. Condiciones de exposición: Agua de mar

En los resultados del esfuerzo de agrietamiento a los 30 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°66, el esfuerzo de agrietamiento fue de 40.87 Kg/cm2 para la viga reforzada con acero (VAP), 43.74 Kg/cm2 para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 44.40 Kg/cm2 para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base el esfuerzo de agrietamiento de VAP (100%), el esfuerzo de agrietamiento de VFP representa el 107.01% del esfuerzo de agrietamiento de VAP, mientras que VFM representa el 108.63% del esfuerzo de agrietamiento de VAP.

En los resultados del esfuerzo de agrietamiento a los 60 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°66, el esfuerzo de agrietamiento fue de 41.95 Kg/cm2 para la viga reforzada con acero (VAP), 45.11 Kg/cm2 para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 45.53 Kg/cm2 para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base el esfuerzo de agrietamiento de VAP (100%), el esfuerzo de agrietamiento de VFP representa el 107.54% del esfuerzo de agrietamiento de VAP, mientras que VFM representa el 108.53% del esfuerzo de agrietamiento de VAP.

En los resultados del esfuerzo de agrietamiento a los 90 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°66, el esfuerzo de agrietamiento fue de 43.43 Kg/cm2 para la viga reforzada con acero (VAP), 45.74 Kg/cm2 para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 45.87 Kg/cm2 para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base el esfuerzo de agrietamiento de VAP (100%), el esfuerzo de agrietamiento de VFP representa el 105.31% del esfuerzo de agrietamiento de VAP, mientras que VFM representa el 105.62% del esfuerzo de agrietamiento de VAP.

En los resultados del esfuerzo de agrietamiento a los 120 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°66, el esfuerzo de agrietamiento fue de

45.03 Kg/cm2 para la viga reforzada con acero (VAP), 46.77 Kg/cm2 para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 47.54 Kg/cm2 para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base el esfuerzo de agrietamiento de VAP (100%), el esfuerzo de agrietamiento de VFP representa el 103.86% del esfuerzo de agrietamiento de VAP, mientras que VFM representa el 105.59% del esfuerzo de agrietamiento de VAP.

Acorde a las variaciones y comparaciones de los resultados analizados como se muestra en la Figura N°50, Figura N°51 y Figura N°52, se puede apreciar que el esfuerzo de agrietamiento para la viga reforzada con acero (VAP) tiene una tendencia de crecimiento, arrojando valores inferiores en comparación con las vigas reforzadas con GFRP (VFP y VFM). La viga reforzada con GFRP (VFP) tiene una tendencia creciente al igual que la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM), siendo esta última con valores ligeramente superiores, esto podría ser efecto del aumento de resistencia a compresión del concreto debido al uso de agua de mar, ya que hay una relación directa entre el esfuerzo de agrietamiento y la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla N°66: Variación porcentual del agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP respecto a las vigas reforzadas con acero.

Exposición	Edad	Agrietamiento promedio (kg/cm2)					
	(días)	VAP		VFP		VFM	
Condiciones normales	28 días	40.45	100%	41.67	103.03%	41.81	103.37%
Exposición: agua de mar	30 días	40.87	100%	43.74	107.01%	44.40	108.63%
	60 días	41.95	100%	45.11	107.54%	45.53	108.53%
	90 días	43.43	100%	45.74	105.31%	45.87	105.62%
	120 días	45.03	100%	46.77	103.86%	47.54	105.59%

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°50 muestra la representación gráfica de agrietamiento de las tres muestras a través del tiempo.

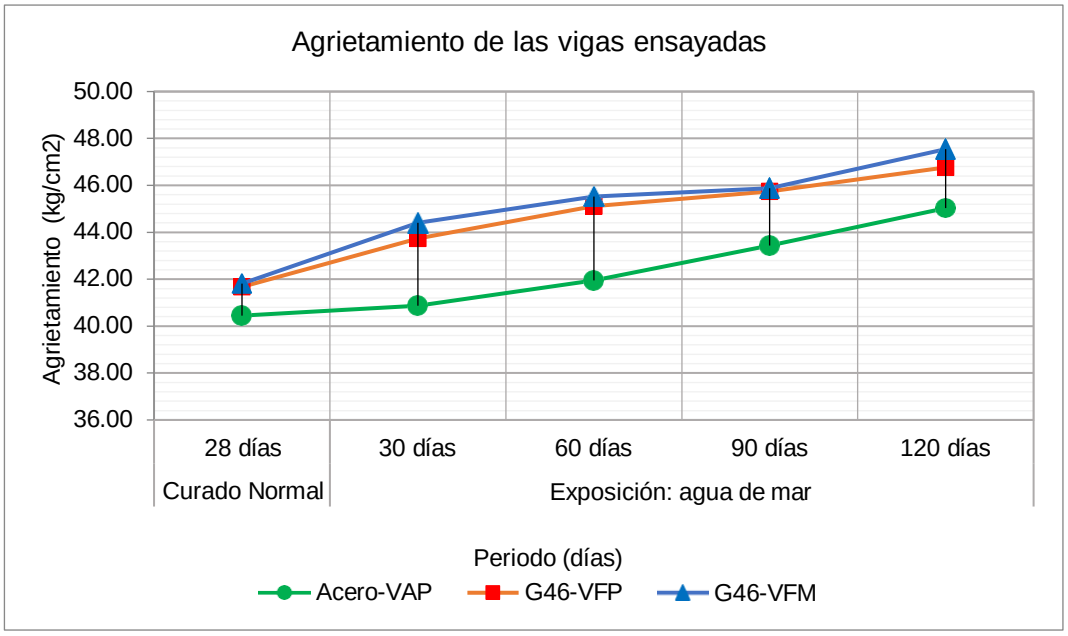


Figura N° 50 Evolución del agrietamiento de las vigas reforzadas con acero y GFRP. Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones de agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a vigas reforzadas con acero (VAP) se muestran en la Figura N°51.

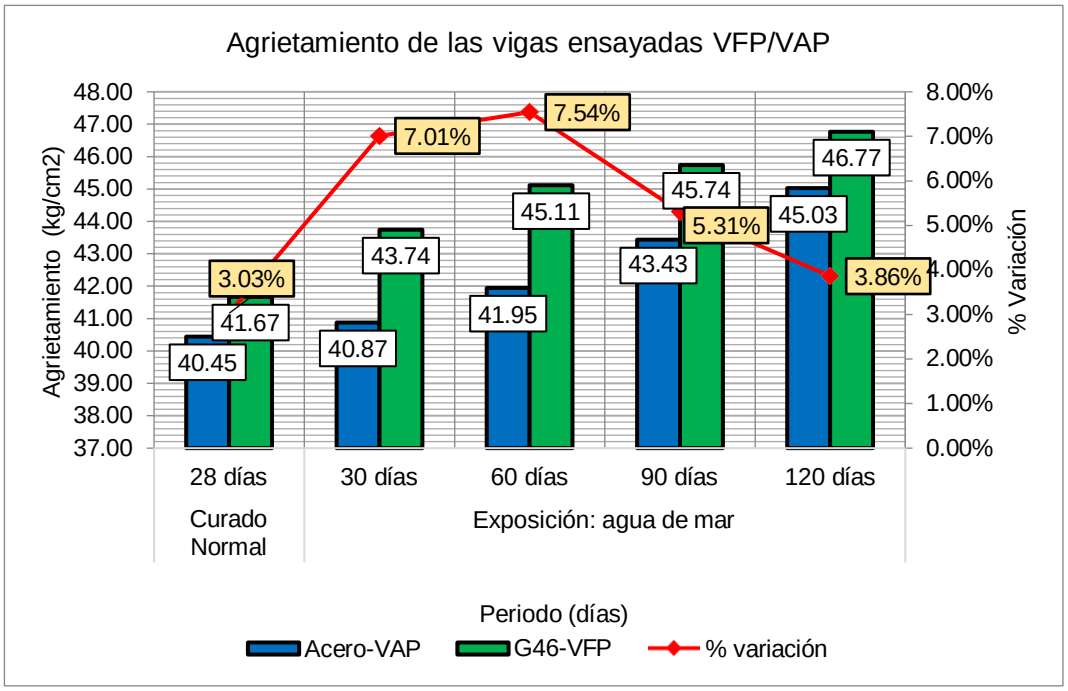


Figura N°51: Variación porcentual de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP). Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones de agrietamiento de las vigas reforzadas con GFRP mezclados con agua de mar (VFM) respecto a vigas reforzadas con acero (VAP) se muestran en la Figura N°52.

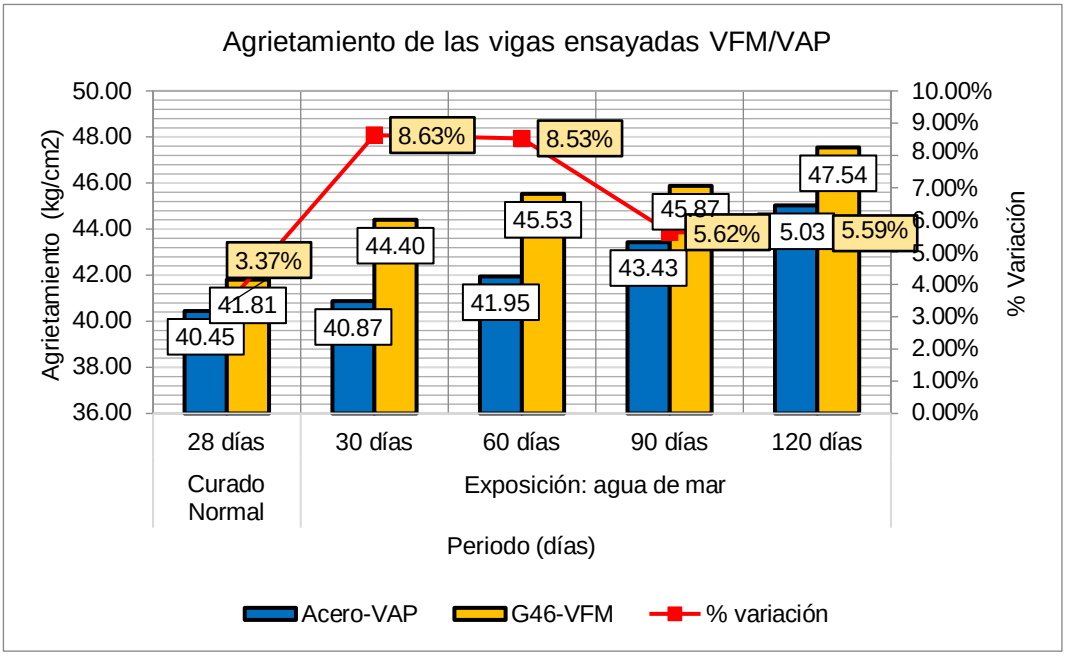


Figura N°52: Variación porcentual de agrietamiento de vigas reforzadas con GFRP (VFM) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP). Fuente: Elaboración propia.

.

8.4.3. Resultados de carga máxima soportada

8.4.3.1. Carga máxima de vigas reforzadas con acero

8.4.3.1.1. Viga mezclada con concreto con agua potable reforzada con acero (VAP)

Los resultados de carga máxima de las vigas reforzadas con acero se mostrarán en la Tabla N°67.

Tabla N°67: Resultados de carga máxima de vigas reforzada con acero.

Resultados de Vigas reforzadas con acero				
Periodo	Exposición	V. Acero	Carga Máxima	Carga Máxima Promedio
		A. Potable	(Kg)	(Kg)
28 días	Agua potable	VAP28-1	7695.7	7696.68
		VAP28-2	7684	

		VAP28-3	7697	
		VAP28-4	7710.	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	VAP30-1	7675	7681.75
		VAP30-2	7686	
		VAP30-3	7690	
		VAP30-4	7676	
60 días	Agua de mar	VAP60-1	7665	7688.0
		VAP60-2	7709	
		VAP60-3	7713	
		VAP60-4	7665	
90 días	Agua de mar	VAP90-1	7710	7665.5
		VAP90-2	7665	
		VAP90-3	7635	
		VAP90-4	7652	
120 días	Agua de mar	VAP90-1	7660	7661.25
		VAP90-2	7671	
		VAP90-3	7662	
		VAP90-4	7652	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°53 se muestra de manera gráfica la capacidad de carga máxima de las vigas de concreto con agua potable reforzadas con acero.

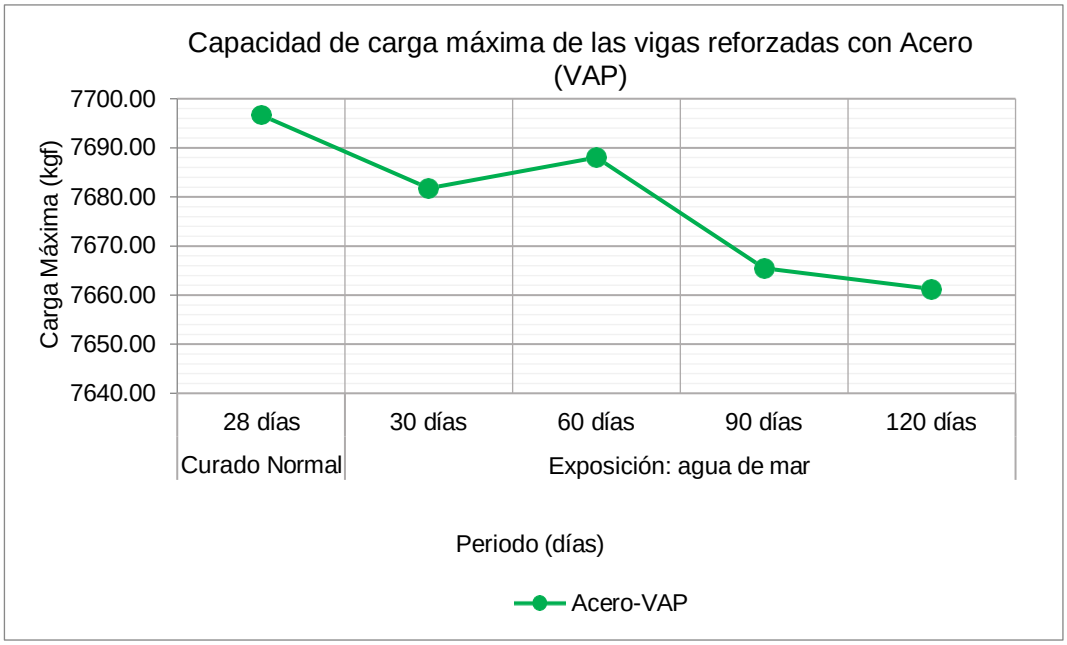


Figura N° 53 Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con acero. Fuente: Elaboración propia.

8.4.3.2. Carga máxima de vigas reforzadas con GFRP

8.4.3.2.1. Viga mezclada con concreto con agua potable reforzada con GFRP (VFP)

Los resultados de carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP se mostrarán en la Tabla N°68.

Tabla N°68: Resultados de carga máxima de vigas reforzada con GFRP.

Resultados de Vigas reforzadas con GFRP (Agua potable)				
Periodo	Exposición	V. GFRP	Carga Máxima	Carga Máxima Promedio
		A. Potable	(Kg)	(Kg)
28 días	Agua potable	VFP28-1	7635.7	7651.43
		VFP28-2	7690	
		VFP28-3	7680	
		VFP28-4	7600	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	VFP30-1	7665	7654.25
		VFP30-2	7652	
		VFP30-3	7668	
		VFP30-4	7635	
60 días	Agua de mar	VFP60-1	7656	7659.25
		VFP60-2	7659	
		VFP60-3	7664	
		VFP60-4	7658	
90 días	Agua de mar	VFP90-1	7656.5	7658.00
		VFP90-2	7661	
		VFP90-3	7658	
		VFP90-4	7657	
120 días	Agua de mar	VFP120-1	7662	7660.25
		VFP120-2	7664.2	
		VFP120-3	7660	
		VFP120-4	7655	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°54 se muestra de manera gráfica la capacidad de carga máxima de las vigas de concreto con agua potable reforzadas con GFRP.

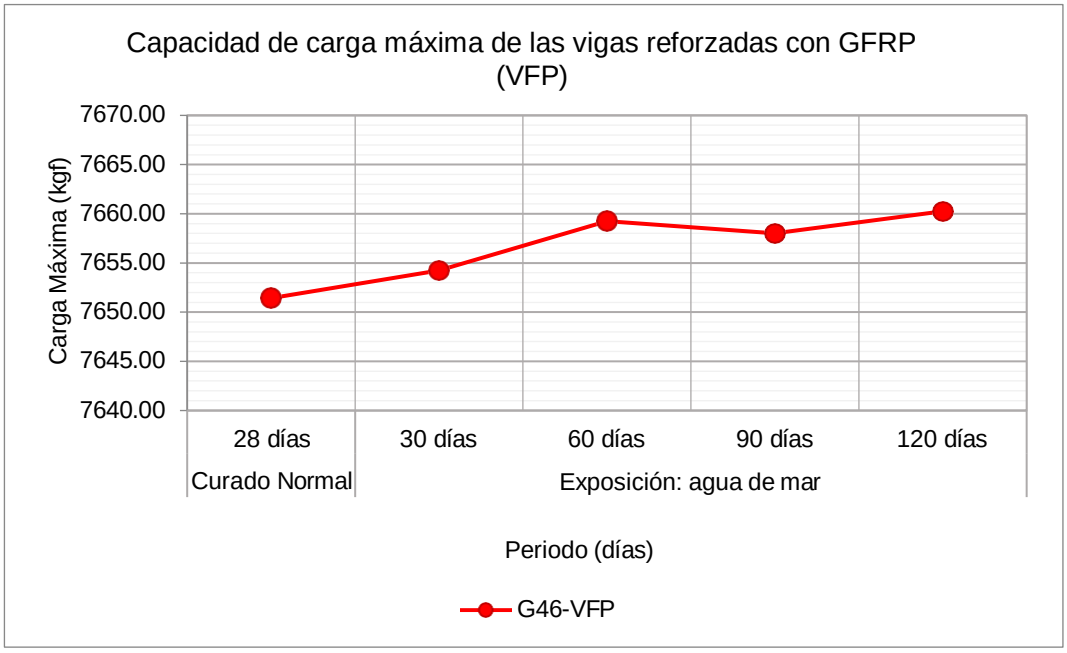


Figura N°54: Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.4.3.2.2. Viga mezclada con concreto con agua de mar reforzada con GFRP (VFM)

Los resultados de carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP se mostrarán en la Tabla N°69.

Tabla N°69: Resultados de carga máxima de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP.

Resultados de Vigas reforzadas con GFRP (Agua de mar)				
Periodo	Exposición	V. GFRP A. de mar	Carga Máxima (Kg)	Carga Máxima Promedio (Kg)
28 días	Agua potable	VFM28-1	7678	7677.50
		VFM28-2	7694	
		VFM28-3	7658	
		VFM28-4	7680	
Exposición: agua de mar				
30 días	Agua de mar	VFM30-1	7668	7677.69
		VFM30-2	7684	
		VFM30-3	7678.25	

		VFM30-4	7680.5	
60 días	Agua de mar	VFM60-1	7685	7685.63
		VFM60-2	7692	
		VFM60-3	7695.5	
		VFM60-4	7670	
90 días	Agua de mar	VFM90-1	7690	7682
		VFM90-2	7663	
		VFM90-3	7700	
		VFM90-4	7675	
120 días	Agua de mar	VFM120-1	7692.5	7684.29
		VFM120-2	7678.25	
		VFM120-3	7688.4	
		VFM120-4	7678	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°55 se muestra de manera gráfica la capacidad de carga máxima de las vigas de concreto con agua de mar reforzadas con GFRP

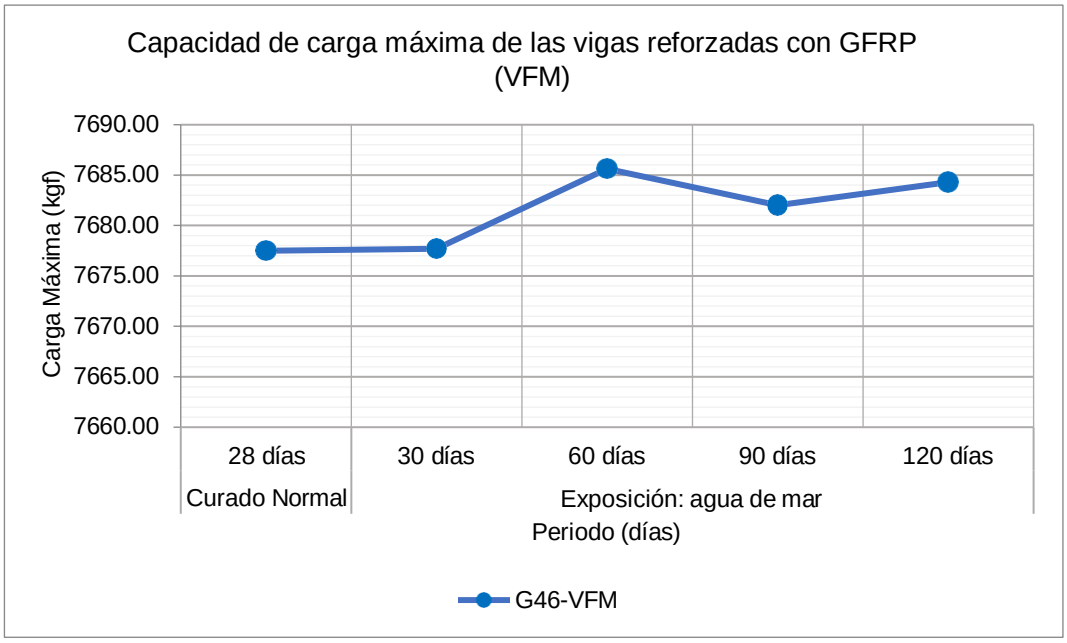


Figura N°55: Evolución de carga máxima de las vigas mezcladas con agua de mar reforzadas con GFRP. Fuente: Elaboración propia.

8.4.4. Análisis de resultados de carga máxima soportada

Por último, se evaluará la carga máxima soportada, siendo la continuación de la evaluación del agrietamiento al aplicar más carga, se utilizaron las mismas vigas y también las condiciones ya antes mencionadas.

8.4.4.1. Condiciones Normales

En los resultados de la carga máxima a los 28 días, detallados en la Tabla N°70, se observa que la carga máxima fue de 7696.68 Kgf para la viga reforzada con acero (VAP), 7651.43 Kgf para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 7677.50 Kgf para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base la carga máxima de VAP (100%), la carga máxima de VFP representa el 99.41% de la carga máxima de VAP, mientras que VFM representa el 99.75% de la carga máxima de VAP.

Según los resultados observados a los 28 días, se podría indicar que los valores de carga máxima de la viga reforzada con acero (VAP) superan ligeramente a las vigas reforzadas con GFRP (VFP y VFM), esto podría ser debido al efecto de la adherencia con el concreto y la misma característica del refuerzo utilizado.

8.4.4.2. Condiciones de exposición: Agua de mar

En los resultados de la carga máxima a los 30 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°70, se observa que la carga máxima fue de 7681.75 Kgf para la viga reforzada con acero (VAP), 7654.25.00 Kgf para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 7677.69 Kgf para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base la carga máxima de VAP (100%), la carga máxima de VFP representa el 99.64% de la carga máxima de VAP, mientras que VFM representa el 99.95% de la carga máxima de VAP.

En los resultados de la carga máxima a los 60 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°70, se observa que la carga máxima fue de 7688.0 Kgf para la viga reforzada con acero (VAP), 7659.25 Kgf para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 7685.63 Kgf para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base la carga máxima de VAP (100%), la carga máxima de VFP representa el 99.63% de la carga máxima de VAP, mientras que VFM representa el 99.97% de la carga máxima de VAP.

En los resultados de la carga máxima a los 90 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°70, se observa que la carga máxima fue de 7665.50 Kgf para la viga reforzada con acero (VAP), 7658.00 Kgf para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 7682.00 Kgf para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base la carga máxima de VAP (100%), la carga máxima de VFP representa el 99.90% de la carga máxima de VAP, mientras que VFM representa el 100.22% de la carga máxima de VAP.

Por último, en los resultados de la carga máxima a los 120 días de exposición en agua de mar, detallados en la Tabla N°70, se observa que la carga máxima fue de 7661.25 Kgf para la viga reforzada con acero (VAP), 7660.25 Kgf para la viga reforzada GFRP (VFP) y fue de 7684.00 Kgf para la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM). Teniendo como base la carga máxima de VAP (100%), la carga máxima de VFP representa el 99.99% de la carga máxima de VAP, mientras que VFM representa el 100.30% de la carga máxima de VAP.

Por otra parte, la viga mezclada con agua de mar reforzada con GFRP (VFM) al final del periodo de exposición presentó la mayor carga máxima, que podría ser debido al aumento de la resistencia a la compresión del concreto y la leve variación resistencia la tracción de los refuerzos al estar expuestos al agua de mar. En la Figura N°56, Figura N°57 y Figura N°58 se muestran de manera gráfica las comparaciones y variaciones.

Tabla N°70: Variación porcentual de la carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP respecto a las vigas reforzadas con acero.

Exposición	Edad	Carga máxima promedio (kgf)					
	(días)	VAP		VFP		VFM	
Condiciones normales	28 días	7696.68	100%	7651.43	99.41%	7677.50	99.75%
Exposición: agua de mar	30 días	7681.75	100%	7654.25	99.64%	7677.69	99.95%
	60 días	7688.00	100%	7659.25	99.63%	7685.63	99.97%
	90 días	7665.50	100%	7658.00	99.90%	7682.00	100.22%
	120 días	7661.25	100%	7660.25	99.99%	7684.29	100.30%

Fuente: Elaboración propia.

Para ambas condiciones de análisis se puede apreciar en la Figura N°56 el comportamiento a través del tiempo de los tres tipos de muestras ensayados.

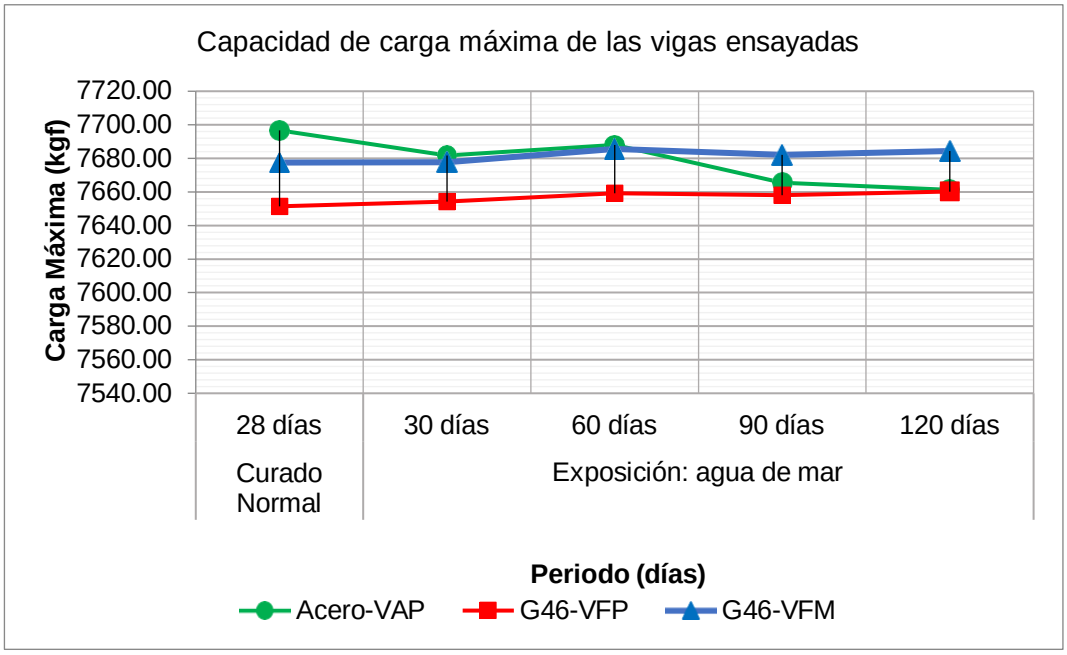


Figura N°56: Evolución de la carga máxima de las vigas reforzadas con acero y GFRP. Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones de carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a vigas reforzadas con acero (VAP) se muestran en la Figura N°57.

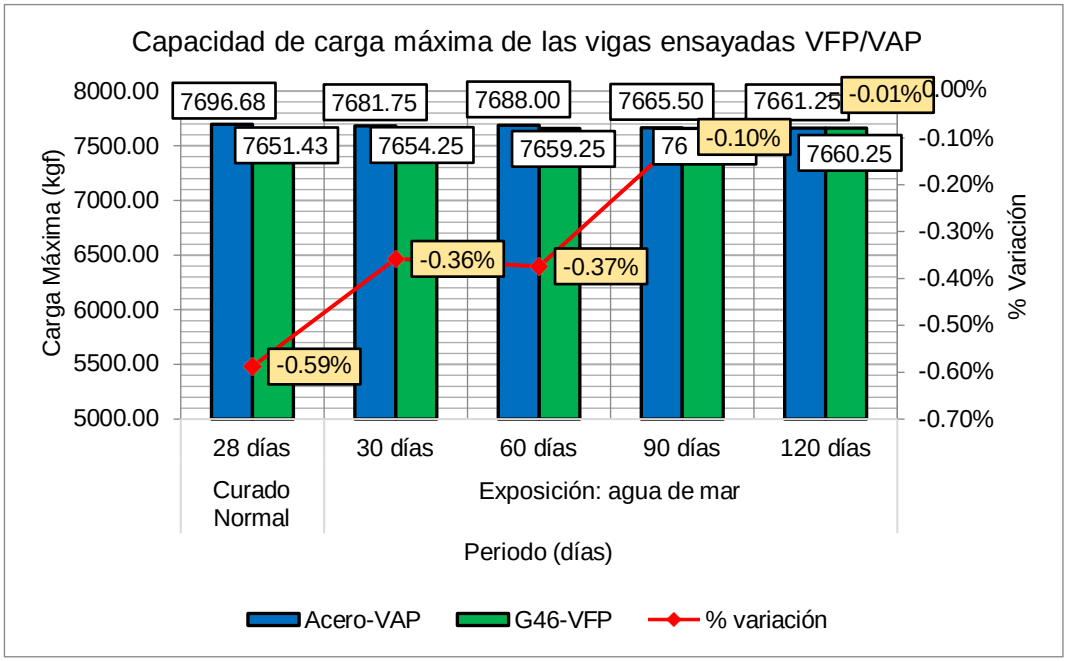


Figura N°57: Variación porcentual de carga máxima de vigas reforzadas con GFRP (VFP) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP). Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones de carga máxima de las vigas reforzadas con GFRP mezclados con agua de mar (VFM) respecto a vigas reforzadas con acero (VAP) se muestran en la Figura N°58.

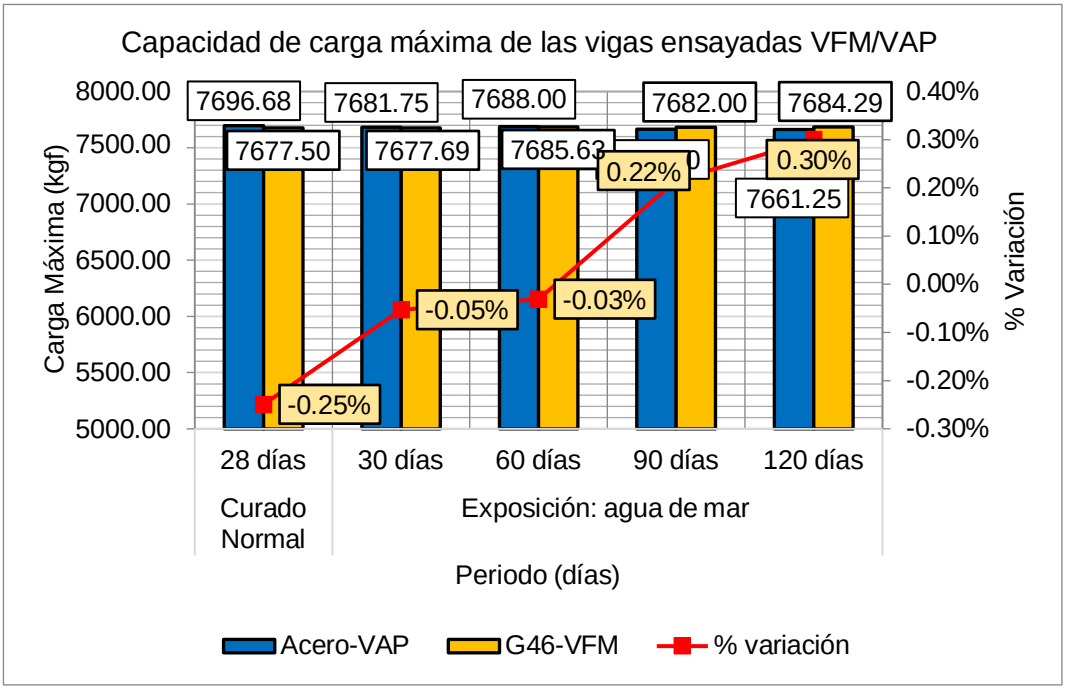


Figura N°58: Variación porcentual de carga máxima de vigas reforzadas con GFRP (VFM) respecto a las vigas reforzadas con acero (VAP). Fuente: Elaboración propia

Con los resultados descritos, se observa que el GFRP se ve poco afectado por el alto contenido de cloruros del agua de mar, por lo cual en varios estudios indican que las estructuras reforzadas con GFRP resultan especialmente atractivas para el desarrollo de infraestructura en lugares con acceso limitado al agua dulce, pero con fácil acceso al agua de mar, como por ejemplo islas. (Xiao et al, 2017)

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la sustitución de agua potable por agua de mar en la mezcla de concreto, en conjunto con el refuerzo de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP), no provocó cambios significativos en las propiedades físico-mecánicas del material en comparación con el concreto patrón reforzado con acero. Las propiedades mecánicas de las barras de GFRP y acero se mantuvieron estables durante la exposición en agua de mar. Aunque las propiedades en estado fresco del concreto no experimentaron cambios considerables, se observó un aumento notable en la resistencia a la compresión del concreto mezclado con agua de mar en la etapa de exposición al agua de mar. Además, el comportamiento a flexión de las vigas reforzadas no mostró variaciones significativas, independientemente del tipo de agua utilizado en la mezcla del concreto, incluso después de la exposición prolongada en agua de mar.

De acuerdo con el objetivo específico 1, se determinaron las propiedades mecánicas de las barras de GFRP y acero, antes y después de su exposición al agua de mar, concluyéndose lo siguiente:

Los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción revelaron que el GFRP posee una resistencia a la tracción notablemente mayor que el acero, con un incremento del 47.43% en su resistencia con respecto al del acero. Esta diferencia significativa en la resistencia demuestra la superioridad del GFRP como material de refuerzo en comparación con el acero en condiciones normales (sin exposición).

Los ensayos de tracción en condiciones de exposición al agua de mar mostraron una variación mínima en la resistencia a la tracción tanto para el acero como para el GFRP en los períodos de 30, 60, 90 y 120 días. A pesar de la exposición en agua de mar y otros factores, tanto el acero como el GFRP mostraron una resistencia a la tracción estable con cambios mínimos a lo largo del tiempo desde 0.01% a 0.07% en el caso del acero y de 0.15% a 0.17% en el caso del GFRP; sin embargo, según la ASTM D570-22, el contenido de humedad está relacionado con las propiedades mecánicas. De acuerdo con Morales-Mangual (2020) esta variación mínima de resistencia a la tracción en

el GFRP puede atribuirse a las propiedades de absorción de la resina de la barra y a las condiciones de exposición.

Al analizar los ensayos de adherencia entre el acero y el GFRP con el concreto a diferentes periodos de tiempo, se observa que el GFRP presenta una adherencia menor que el acero. A los 7, 14 y 28 días, el GFRP muestra una disminución de esfuerzo de adherencia del 2.74%, 10.30% y 13.22% respectivamente, en comparación con el acero. Estos resultados indican que el acero tiene una mejor adherencia que el GFRP, aunque ambos materiales muestran un aumento en la adherencia con el tiempo. De acuerdo con Chulia (2010), esto puede ser atribuido a las diferencias en los patrones superficiales y naturaleza de las barras de refuerzo.

Al analizar los ensayos de adherencia entre el acero y el GFRP con el concreto en condiciones de exposición en agua de mar, los resultados indican que el esfuerzo de adherencia del GFRP y acero mostraron una tendencia de crecimiento a lo largo del tiempo, siendo el acero el que mostró un crecimiento mayor de su adherencia, tal que a los 90 días de exposición el esfuerzo de adherencia del GFRP era el 77.47% del esfuerzo de adherencia del acero.

De acuerdo con el objetivo específico 2, se determinó las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, y se realizó la comparación de resultados del concreto mezclado con agua de mar respecto del concreto patrón y se concluye lo siguiente:

Los resultados muestran que la incorporación de agua de mar en el concreto provoca variación en sus propiedades en estado fresco en comparación con el concreto patrón. La temperatura del concreto con agua de mar se incrementó ligeramente en un 1% respecto al concreto patrón, mientras que su asentamiento disminuyó en un 11% en comparación con el concreto patrón. Se observó una variación del 0.18% en el peso unitario y un aumento del 11% en el contenido de aire del concreto con agua de mar en comparación con el concreto patrón. Además, se registró una aceleración significativa en los tiempos de fraguado inicial y final del concreto con agua de mar, siendo un

17% y 20 % más rápido (menor tiempo) respectivamente en comparación con el concreto patrón.

El concreto mezclado con agua de mar inicialmente muestra una resistencia a la compresión mayor que la del concreto elaborado con agua potable (concreto patrón). El concreto mezclado con agua de mar registra un aumento en resistencia a la compresión del 1.78%, 1.54% y 3.06% a los 7, 21 y 28 días de curado húmedo (condiciones normales) respectivamente en comparación con la resistencia a la compresión del concreto de patrón. Estos resultados indican que la utilización del agua de mar aumenta ligeramente la resistencia a la compresión del concreto; sin embargo, no es significativa.

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión durante la etapa de exposición en agua de mar muestran un aumento significativo en la resistencia del concreto mezclado con agua de mar en comparación con el concreto patrón. A los 30 días, se observó un incremento del 17.66% en la resistencia a la compresión del concreto con agua de mar en comparación con el concreto patrón. A los 60 días, el aumento fue del 14.74% en comparación con el concreto patrón. A los 90 días, se registró un incremento del 17.09% en comparación con el concreto patrón, y a los 120 días, el aumento fue del 8.53% en comparación con el concreto patrón. Estos resultados indican que el concreto no experimenta una disminución en su resistencia a la compresión cuando está expuesto y contiene agua de mar como componente de mezcla, así mismo se podría indicar que no se presentó deterioro, ya que se presentó un incremento porcentual a lo largo del periodo de estudio.

De acuerdo con el objetivo específico 3, se determinó la resistencia a la flexión de las vigas reforzadas con acero y GFRP, antes y después de su exposición en agua de mar, concluyéndose lo siguiente:

No se encontraron diferencias significativas en el esfuerzo de agrietamiento entre las vigas reforzadas con acero y las reforzadas con GFRP a los 28 días. Al analizar los resultados del esfuerzo de agrietamiento en vigas reforzadas con acero (VAP) y GFRP (VFP y VFM) a diferentes períodos de exposición en

agua de mar, se observa que a los 30, 60, 90 y 120 días de exposición, las vigas de concreto patrón reforzadas con GFRP, VFP, presentan un esfuerzo de agrietamiento entre un 3.81% a 7.54% mayor que las vigas reforzadas con acero, mientras que las VFM muestra un esfuerzo de agrietamiento entre un 5.59% a 8.63% mayor que las VAP en cada periodo respectivamente. Estos resultados indican que la exposición al agua de mar no ha provocado efectos negativos en las muestras (vigas) mediante la medición del parámetro de agrietamiento.

Al analizar los resultados de la carga máxima en vigas reforzadas con acero (VAP) y GFRP (VFP y VFM) a los 28 días, se observa que las vigas reforzadas con acero presentan ligeramente una mayor capacidad de carga máxima en comparación con las vigas reforzadas con GFRP, lo cual puede ser atribuido a la adherencia con el concreto y las propiedades del refuerzo utilizado. Al analizar los resultados de la carga máxima en vigas reforzadas con acero (VAP) y GFRP (VFP y VFM) a diferentes períodos de exposición al agua de mar, se observa que las diferencias en la carga máxima son mínimas. Estos resultados indican que el GFRP y el agua de mar tienen un impacto mínimo en la carga máxima de las vigas en condiciones de exposición en agua de mar, caso contrario en las vigas reforzadas con acero (VAP), donde si presentan signos de vulnerabilidad al agua de mar, ya que se presentó una disminución porcentual durante su exposición.

RECOMENDACIONES

Es fundamental llevar a cabo estudios que evalúen el comportamiento del concreto mezclado con agua de mar y reforzado con GFRP en condiciones reales de servicio a lo largo del tiempo. Esto permitirá comprender mejor su desempeño a largo plazo y su resistencia a factores como la corrosión y la degradación.

Además de los estudios realizados en la presente investigación, se sugiere realizar pruebas de resistencia al fuego y ensayos de fatiga en estructuras de concreto reforzadas con GFRP y expuestas al agua de mar. Estos ensayos proporcionarán información valiosa sobre el comportamiento del material en situaciones de incendio y bajo cargas repetitivas, ampliando la comprensión de sus ventajas y limitaciones.

Además de la exposición al agua de mar, se puede investigar el impacto de otros factores ambientales en el desempeño del concreto reforzado con GFRP. Estos factores pueden incluir la temperatura, la humedad y la presencia de agentes químicos agresivos. Comprender cómo estos elementos afectan la durabilidad y las propiedades mecánicas del material brindará una visión más completa de su comportamiento en diferentes entornos.

Además de los aspectos técnicos y de desempeño, es importante evaluar el costo y la viabilidad económica del uso de agua de mar y GFRP en la producción de concreto. Esto incluye considerar los costos de los materiales, la disponibilidad de recursos y los posibles ahorros o beneficios a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelkarim, O., Ahmed, E., Mohamed, H., & Benmokrane, B. (2019). Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. *Engineering Structures*, 282-296.

Abdel-Magid, T., Osman, O., Ibrahim, O., Mohammed, R., Hassan, S., & Bakkab, A. (2016). Influence of Seawater in Strengths of Concrete Mix Design when Used in Mixing and Curing. *Key Engineering Materials, 711*, 382-389. doi:https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.711.382

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 Concrete Institute (2009) *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete* (ACI Committee 211.1-2019). ACI.

American Concrete Institute (2019) *Building code requirements for structural concrete and commentary (*ACI Committee 318 - 2019). ACI.

Aite, L. A. (2017). *Estudio de las propiedades del concreto con aditivo reductor de permeabilidad y cemento portland tipo V.* Lima: Universidad Nacional de Ingneiería.

Akinsola, O., Fatokun, A., & Ogunsanmi, O. (2012). Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of. *Journal of Sustainable Development*. doi:http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v5n6p74

Alaejos, P., & Bermúdez, M. (2011). Influence of seawater curing in standard and high-strength submerged concrete. *Journal of materials in civil engineering., 23*(6), 915-920. doi:http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000231

Alsayed, S. (1998). Flexural behaviour of concrete beams reinforced with GFRP bars. *Cement y concrete composites, 20*(1), 1-11. doi:http://dx.doi.org/10.1016/s0958-9465(97)00061-9

Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2017). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Séptima ed.). México: S.A. de C.V.

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.

Baena, M., Torres, L., Turon, A., y Barris, C. (2008). Estudio de la adherencia entre armaduras de materiales compuestos de matriz polimérica (FRP) y hormigón. *Hormigón y Acero, 59* (250), 67-75 . *https://www.hormigonyacero.com/ index.php/ache/article/view/63*

Barreto, A. B. (2021). E*studio de las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia con cemento tipo MS(MH) y adición de sílice nacional.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Cachay, R. (1995). *Diseño de mezclas-metodo de agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana a alta resistencia.* Lima. Universidad Nacional de Ingniería.

Caneiro, J., Rivas, H., & Pérez, I. (2017). Empleo de barras y telas de mallas de prf como refuerzo del hormigón y el ferrocemento. *Diseño Estructural*, 222.

Castillo-Barahona, R. (2010). Uso de polímeros reforzados con fibras (FRP) como refuerzo externo de elementos de concreto de puentes en Costa Rica. Retrieved from https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/374

Challco, A. (2002) *Corrosión del concreto de mediana a alta resistencia con cemento portland tipo 1 y aditivo plastificante por acción del cloruro de sodio.* Lima. Universidad nacional de Ingeniería.

Chuen, D. T. (2009). *Investigation of glass fibre reinforced polymer reinforcing bars as internal reinforcement for concrete structures.* Canadá: University of Toronto .

Chulia, A. I. (2010). *Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio GFRP.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

De Rincon, O., Perez, O., García, O., Sanchez, M., Vezga, C., & Arrieta de Bustillos. (2002). Evaluation, Diagnosis and Rehabilitation of Buildings in Rural Environments. *Journal Of Architecture & Environment, 2*(1).

De Weerdt, K., Justnes, H., & Geiker, M. (2014). Changes in the phase assemblage of concrete exposed to sea water. *Cement and Concrete Composites, 47*, 53-63. doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.015

Dhondy, T., Remennikov, A., & Shiekh, M. N. (2019). Benefits of using sea sand and seawater in concrete: a comprehensive review. Australian Journal Of Structural Engineering, 20(4), 280-289. https://doi.org/10.1080/13287982.2019. 1659213

Diaz, S. A. (2012). Estimación del impacto del tiempo de corrosión en la evolución del riesgo de estructuras de concreto reforzado. *Universidad Autonoma del Estado de México*.

Escamilla , L. A., y Loza, J. Ó. (2004). Estado del arte en varillas corrugadas de fibra de vidrio “GFRP” para refuerzo en elementos de concreto*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.* Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_13/te_02/ar_16.pdf

Faria, L. J., Díaz, I., & Rivas, H. (2017). *Estructuras de hormigón armado con barras de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFV). Estado del arte.* Revista de Arquitectura e Ingeniería.

Fernandez, M. (1994). Patología y Terapeutica del Hormigon Armado.

FIB. (2007). *FRP reinforcemeent in RC structures, bulletin 40.* Suiza: The international Federation for Structural Concrete.

Gonzales, M. (1998). La corrosión del concreto en ambiente marino. *Corrosión en Estructuras de Concreto: I Congreso Nacional de Ingeniería* (pp. 15 -17). ACI. web.asocem.org.pe/asocem/bib_img/67826-8-1.pdf

Harmsen, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado.

Hernandez, O., & Mendoza, C. J. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 14.

Kaushik, K., & Islam, S. (1995). Suitability of sea water for mixing structural concrete exposed to a marine environment. *Cement and Concrete Composites, 17*, 177-185. doi:https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00015-5

Khatibmasjedi, M., y Nanni, A. (2018). Durability of GFRP reinforcement in seawater concrete, *327*, 42.1-42.12. American Concrete Institute.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto.* Portland Cement Association.

Lalvay, B. (2017). *Análisis, Comportamiento y Comparación de Varillas Corrugadas en Fibra de Vidrio, con Relación a las Varillas Convencionales; conjuntamente en elementos estructurales de hormigón.* Ecuador: Universidad de Azuay.

Liu, Y. (1996). Modeling the Time-to-Corrosion Cracking of the Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures. *Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*.

Mangi, S., Makhija, A., Raza, M., Khahro, S., & Jhatial, A. (2020). A Comprehensive Review on Effects of Seawater on Engineering Properties of Concrete. *Engineering Properties of Concrete.* doi:https://doi.org/10.1007/s12633-020-00724-7

Martínez, J. J., Correa, J., & Díaz, I. (2019). *Reforzamiento de vigas de hormigón armado empleando barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV).* Cuba: Revista de Arquitectura e Ingeniería.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de concreto reforzado.* Alfaomega Grupo Editor.

Meza, F. G. (2019). *Estudio de las caracteristicas del concreto reciclado fresco y endurecido, con sustitución parcial y total del agregado grueso.* Lima: Universidad Nacional de Ingniería.

Nanni, A., De Luca, A., & Zadeh, H. J. (2014). *Reinforced Concrete with FRP Bars.* N.W.: CRC Press.

Nieto, R. C. (2007). *Análisis comparativo de concretos con aditivos reductores de agua: complementación utilizando el aditivo glenium 3030 ns en concretos autonivelantes.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Nishida, T., Otsuki, N., Ohara, H., Garba-Say, Z., & Nagata, T. (2015). *Some considerations for applicability of seawater as mixing water in concrete.*

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 determinarla 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.

Park, Y., Kim, Y., & Lee, S. (n.d.). Long-term flexural behaviors of GFRP reinforced concrete beams exposed to accelerated aging exposure conditions. *Polymers*(6), 1773-1793. doi:http://dx.doi.org/10.3390/polym6061773

Ponce, C. P. (2014). *Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I.* Lima: Universidad nacional de Ingeniería.

Qingyong, G., Chen, L., Zhao, H., Admilson, J., & Zhang, W. (2018). The Effect of Mixing and Curing Sea Water on Concrete Strength at Differen Ages. *Building Materials and Properties, 142*. doi:https://doi.org/10.1051/matecconf/201814202004

Rivadeneira, G. (2016). *Correlación entre vigas de hormigón armadas con varillas de acero y con varillas de fibra reforzada con polímero FRP sometidas a esfuerzos de flexión en los tercios del claro.* Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

Rodríguez, F., Salazar, H., Escobar, J., & Ovalle, L. (1984). Efectos de la calidad del agua en la resistencia del concreto. Retrieved from https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40044

Saenz, R. N. (2019). *Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para a/c:0.60.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Sánchez, J. A. (2019). Estructuras de concreto en zonas costeras usando barras de polímero reforzado con fibra de vidrio. *Pakbal*.

Siderperú. (2019). *Barras de construcción.* Obtenido de https://www.siderperu.com.pe/sites/pe_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERPERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf

Tanaz, A., & Neaz , S. (2019). Benefits of using sea sand and seawater in concrete: a comprehensive review. *Australian journal of structural engineering, 20*(4), 280-289. doi:http://dx.doi.org/10.1080/13287982.2019.1659213

Thoft-Christensen, P. (1998). Assessment of the reliability profiles for concrete bridges. Engineering Structures. doi:https://doi.org/10.1016/S0141 0296(97)00196-X

Torres, A. A., & Martinez, M. (2001). Diseño de Estructuras de Concreto con Criterios de Durabilidad.

UNACEM. (n.d.). *Fciha técnica "Cemento Sol".* Lima: UNACEM.

Val, D. (2005). Effect of Different Limit States on Life-Cycle Cost of RC Structures in Corrosive Environment. *Journal of Infrastructure Systems, 11*(4). doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:4(231)

Xiao, J., Qiang, C., Nanni, A., & Zhang, K. (2017). Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. *Construction And Building Materials*, *155*, 1101-1111. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.130

Yataco, J. M. (2022). *Diseño de concretos autoconsolidantes de alta resistencia inicial para pavimentos rígidos con M.R. ≥ 40 kg/cm2 dentro las 24 horas.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Yin, S., Hu, C., & Liang., X. (2020). Bonding properties of different kinds of FRP bars and steel bars with all-coral aggregate seawater concrete. *Journal of materials in civil engineering, 32*(10). doi:http://dx.doi.org/10.1061/ (asce)mt.1943-5533.0003378

Younis, A., Ebead, U., & Nanni, A. (2017). Applicability of using seawater accompanied by FRP reinforcement in concrete structures: a perspective. *The Ninth International Structural Engineering and Construction Conference.* ISEC.

Younis, A., Ebead, U., Suraneni, P., & Nanni, A. (2018). Fresh and hardened properties of seawater-mixed concrete. *Construction and building materials,, 190*, 276-286. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018. 09.126

Zavala, J. J. (2019). *Concreto de mediana a baja resistencia producido: en terreno natural, con equipo y con equipo y aditivo plastificante.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Zhou, J., He, X., & Shen, W. (2020). Compression behavior of seawater and sea-sand concrete reinforced with fiber and glass fiber-reinforced polymer bars. *ACI structural journal,, 117*(4).

ANEXOS

Anexo A: Cemento Sol Tipo I 143

Anexo B: Acero Siderperú 145

Anexo C: GFRP VROD G-46 147

Anexo D: Matriz de consistencia 148

Anexo E: Panel Fotográfico 149

ANEXO A: CEMENTO SOL TIPO I

A continuación, se presenta la ficha técnica del Cemento SOL Tipo I, Cemento hidráulico de uso general, utilizado para la realización de la presente investigación.

FICHA TÉCNICA
CEMENTO SOL

DESCRIPCIÓN:

Tipo I, Cemento Portland de uso general.

BENEFICIOS:

- Acelerado desarrollo de resistencias iniciales.
- Óptima trabajabilidad.
- Permite menor tiempo de desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en shotcrete.
- Excelente permanencia del slump.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

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

APLICACIONES:

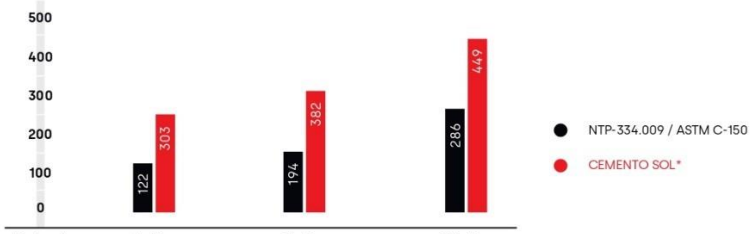
- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- Bolsas de 25 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y *big bags*.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO SOL



* Valores referenciales

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m^2/kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm^3	3.13	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm^2	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm^2	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm^2	449	Mínimo 285 (*)
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C2S	%	12	No especifica
C3S	%	55	No especifica
C3A	%	10	No especifica
C4AF	%	10	No especifica

(*) Requisito opcional

RECOMENDACIONES GENERALES

DOSIFICACIÓN:

- 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. Posterioremente cubrirlas con mantas de plástico.
- Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

www.unacem.pe

UNACEM

ANEXO B: ACERO SIDERPERÚ

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

GERDAU SIDERPERU

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

GERDAU SIDERPERU

PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro nominal (d)	Requisitos de Tracción				Doblado a 180° Diámetro de mandril de doblado
	Límite de fluencia MPa (kgf/mm2)	Resistencia de tracción MPa (kgf/mm2) mínimo	Relación RT/LF mínimo	% de alargamiento Lo=200 mm mínimo	
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"					5 d
1"				12	
1 3/8"					7 d

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 SIDERÚRGICA DEL PERÚ 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: GFRP VROD G-46

A continuación, se presenta la ficha técnica de la varilla de polímero reforzado con fibra de vidrio Grado 46 de la marca VROD, utilizado para la realización de la presente investigación.

Product Data Sheet - V•ROD 46

REVISION: APRIL 2017

		#2 (6M)	#3 (10M)	#4 (12M)	#5 (15M)	#6 (20M)	#7 (22M)	#8 (25M)
Guaranteed tensile strength* *(ASTM D7205)*	MPa	1000	1000	1000	1000	1000	950	850
	ksi	145,0	145,0	145,0	145,0	145,0	137,8	123,3
Minimum tensile modulus *(ASTM D7205)*	GPa	46						
	ksi	6671,7						
Guaranteed transverse shear capacity *(ASTM D7617)*	MPa	160						
	ksi	23,2						
Resin		vinylester						
Weight	g/m	73,4	150,8	264,5	403,7	567,4	760,5	1012,6
	lb/ft	0,049	0,101	0,178	0,271	0,381	0,511	0,680
Effective cross-sectional area (including sand coating)** *(CSA S806 Annex A)*	mm^2	36,5	71,12	123,9	195,8	277,1	377,2	477,8
	in^2	0,057	0,110	0,192	0,303	0,430	0,585	0,741
Effective diameter	mm	6,65	9,49	12,56	15,61	18,52	21,71	24,66
	in	0,262	0,374	0,494	0,615	0,729	0,855	0,971
Nominal cross-sectional area *(CSA S807 Table 1)*	mm^2	32	71	129	199	284	387	510
	in^2	0,050	0,110	0,199	0,308	0,440	0,599	0,790

COMPLIES WITH THE FOLLOWING STANDARDS

- GRADE I CSA
- GRADE I MTO
- NORME ASTM D30.10

* 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 litterature, please contact **Pultrall**.

PULTRALL

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

ANEXO D: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	**Objetivos**	**Hipótesis**	**Variables e Indicadores**			**Metodología**
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Variables**	**Dimensiones**	**Indicadores**	MÉTODO: Inductivo TIPO DE INVESTIGACIÓN: Experimental ENFOQUE Cuantitativo NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo - comparativo MUESTREO No probabilístico TÉCNICA Empírico-experimental INSTRUMENTO Normas Técnicas Peruanas ASTM Normas ACI
¿Cómo afecta la utilización de agua de mar en lugar de agua potable, en combinación con el refuerzo de acero y GFRP, a las propiedades físico-mecánicas del concreto cuando se expone a condiciones de agua de mar?	Evaluar la influencia en las propiedades físico-mecánicas del concreto con agua de mar en reemplazo del agua potable, reforzado con acero y Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP) en condiciones de exposición al agua de mar.	El uso del agua de mar en reemplazo del agua potable en el concreto junto con el uso del GFRP en lugar del acero en estructuras de concreto armado y su exposición al agua de mar no influye significativamente en sus propiedades físico-mecánicas.	**Variable Independiente V1** • Barras de GFRP • Barras de acero. • Diseño de mezcla con agua potable y agua de mar	• Agua potable y agua de mar • relación a/c = 0.55 • barras de GFRP-Grado 46 de 3/8" • barras de acero de 3/8"	• Dosificación • Tipo de varilla	
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Específicas**	**Variables Dependientes**	**Dimensiones específicas**	**Indicadores específicos**	
¿Cómo cambian las propiedades mecánicas de las barras de GFRP y acero antes y después de estar expuestas a corrosión por el agua de mar?	Determinar las propiedades mecánicas de las barras GFRP y acero, antes y después de su exposición al agua de mar.	La exposición al agua de mar no influye significativamente en las propiedades mecánicas de las barras de GFRP en comparación con las propiedades mecánicas del acero.	Las propiedades físicas y mecánicas de las barras de GFRP y acero.	• Resistencia a la tracción • Adherencia	• kg/cm2 • kg/cm2	
¿Cuáles con los cambios en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido cuando se utiliza agua de mar en la mezcla en lugar de agua potable?	Determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido tanto del concreto patrón como del concreto mezclado con agua de mar.	La incorporación de agua de mar en la mezcla de concreto no generará cambios significativos en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido en comparación con el concreto con agua potable.	Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.	• Tiempo de fragua • Asentamiento • Peso Unitario • Temperatura • Contenido de aire • Resistencia a la compresión	• min • pulg • Kg/m3 • °C • % • kg/cm2	
¿Cómo se comportan las vigas reforzadas con GFRP y acero a la flexión en condiciones normales y después de la exposición a corrosión al agua de mar?	Determinar la resistencia a la flexión las vigas reforzadas con GFRP y acero, tanto bajo condiciones normales como después de su exposición a corrosión por el agua de mar.	La exposición a la corrosión por el agua de mar no afecta de manera significativa en la capacidad de flexión de las vigas reforzadas con GFRP, en comparación con las reforzadas con acero.	La capacidad de flexión de las vigas reforzadas con GFRP y acero.	• Resistencia a la flexión	• Módulo de agrietamiento (kg/cm2) • Carga Máxima (kgf)	

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N° 1 Realización de los ensayos de las propiedades de los agregados

Fotografía N° 2 Muestras de acero de 3/8" luego de un periodo de 30 días bajo acondicionamiento de corrosión

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

Fotografía N° 4 Preparación de las muestras de las barras de GFRP para el ensayo a tracción

Fotografía N° 5 Ensayo a la tracción de las barras de polímero reforzadas con fibra de vidrio (GFRP)

Fotografía N° 6 Muestra ensayada a tracción de la varilla de polímero reforzada con fibra de vidrio (GFRP)

Fotografía N° 7 Probetas y vigas durante el periodo de curado húmedo

Fotografía N° 8 Muestras de las probetas, vigas, y de barras en acondicionamiento en solución salina (agua de mar)

Fotografía N° 9 Muestras de probetas de adherencia y tracción previo a su respectivo ensayo

Fotografía N° 10 Muestras de adherencia de las barras de GFRP durante el curado húmedo

Fotografía N° 11 Colocación de la probeta con acero para el ensayo de adherencia

Fotografía N° 12 Colocación de la probeta con GFRP para el ensayo de adherencia

Fotografía N° 13 Muestras de las barras de acero ensayadas por adherencia al concreto

Fotografía N° 14 Muestras de las barras de GFRP ensayadas por adherencia al concreto

Fotografía N° 15 Ensayo a flexión de las vigas

Fotografía N° 16 Muestras de vigas ensayadas