



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL MORTERO DE REPARACIÓN ESTRUCTURAL PARA
CONCRETO EN UN MUELLE PORTUARIO DEL CANTÓN GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

Autores: Kevin Josue Intriago Magallan

Josue Lenin Pinto Lindao

Tutor: Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA.

Guayaquil-Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Kevin Josue Intriago Magallan con documento de identificación N°0940720220 y Josue Lenin Pinto Lindao con documento de identificación N°0951653948; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de enero del 2025

Atentamente,

Kevin Josue Intriago Magallan
C.I.: 0940720220

Josue Lenin Pinto Lindao
C.I.: 0951653948

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Josue Intriago Magallan con documento de identificación N°0940720220 y Josue Lenin Pinto Lindao con documento de identificación N°0951653948; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de titulación: “Análisis del mortero de reparación estructural para concreto en un muelle portuario del cantón Guayaquil”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del 2025

Atentamente,

Kevin Josue Intriago Magallan

C.I.: 0940720220

Josue Lenin Pinto Lindao

C.I.: 0951653948

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA. con documento de identificación N.º0902190883, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL MORTERO DE REPARACIÓN ESTRUCTURAL PARA CONCRETO EN UN MUELLE PORTUARIO DEL CANTÓN GUAYAQUIL, realizado por Kevin Josue Intriago Magallan con documento de identificación N.º0940720220 y Josue Lenin Pinto Lindao con documento de identificación N.º0951653948, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto técnico de titulación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025



Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA.

C.I.: 0902190883

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía en cada paso que he dado durante este proceso académico y por darme la inteligencia, sabiduría y entendimiento en este logro.

A mis padres Carmen Magallan y Wilinton Intriago, quienes han brindado el cariño y el apoyo necesario durante esta etapa de mi vida, siendo los pilares fundamentales para poder conseguir este título, son el orgullo y la inspiración más grande que pude tener para culminar estos mis estudios.

De forma particular a mi hermana Ariadna Intriago que al ser la menor siempre me ha estado alentando en cada paso que doy, me da el impulso para ser su inspiración y esperar que en un futuro sea mucho mejor de lo que yo pueda enseñarle.

Para finalizar dedico todo este trabajo a mis abuelos Aurora Cedeño (+) y Olivares Intriago, quienes desde lejos siempre me apoyaron y me brindaron sus más grandes deseos y ánimos durante esta etapa académica.

Kevin Intriago Magallan

DEDICATORIA

Dedico este trabajo y todo el tiempo cursado primeramente a Dios, que me ha dado la inteligencia, sabiduría y fortaleza para no decaer en el camino.

A mi abuelita Nelly Alvarado Campuzano, quien me crió y me guió con amor y dedicación, y ha sido una madre y parte fundamental para mí. Su influencia y apoyo han sido indispensables en mi vida y en la consecución de este título.

A mis padres, Martha Elizabeth Lindao Alvarado y Edison Lenin Pinto Mayorca, quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Su sacrificio y dedicación han sido fundamentales para que yo pueda alcanzar mis objetivos. A mi dulce amor Yamileth Suleika Gallegos Sabando por brindarme su apoyo con amor y paciencia en los momentos donde creí que no podría lograr nada.

Josue Lenin Pinto Lindao

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos más grandes sin duda alguna serán para mis padres y hermana los cuales siempre estuvieron para mí, los que siempre me apoyaron y me animaron en cada paso que di, gracias por todo y este título es de ustedes y para ustedes.

Agradezco a mis tíos y primos de parte de la Familia Magallan y también a mis tíos y primos de parte de la Familia Intriago quienes me brindaron ánimo y apoyo incondicional en cada paso que di durante toda mi etapa académica.

Agradezco a mis compañeros de estudio, Fernando, Milton y Mónica, que sin el apoyo y la paciencia de ellos no hubiese sido posible llegar hasta aquí. Agradezco a Dios por ponerlos en mi camino, esto no lo hubiera logrado sin su ayuda.

Mi agradecimiento más sincero a mi amiga y compañera Mónica Proaño por estar a mi lado desde el primer semestre de universidad. Tu apoyo, tu compañía y tu amistad han sido fundamentales para mí en este camino, hemos compartido momentos inolvidables, superado desafíos y crecido como personas.

Agradezco a mi compañero y jefe, Fernando Velásquez el cual me brindo la confianza y la oportunidad de trabajar en su empresa Servithunder S.A., delegándome tareas y obligaciones la cual formaron mi carácter para aprender, dirigir y supervisar un equipo de trabajo de la cual estoy muy orgulloso, puesto que me enseñaron diversas cosas que se viven en el día a día de las diferentes áreas de la ingeniería civil, se han convertido en una linda anécdota de mi vida.

Agradezco de forma particular al Ing. Daniel De La Pared de la empresa Construladelsa S.A. y al Ing. Nicolas Chong de la empresa Tecnoaplica S.A. los cuales me brindaron su ayuda en más de una ocasión de distintas maneras, sin su apoyo no hubiese podido culminar la tesis, gracias por todo.

A mi mascota Dixi (+) la cual me acompañaba en mis noches de estudios y la que me brindo un cariño especial e incondicional.

Agradezco a cada uno de los docentes, quienes me impartieron sus conocimientos en cada una de las etapas académicas a lo largo de mi vida, mi maestra de escuela la Lcda. Maritza Paucar, mi tutor de colegio el Téc. Larry Pozo, mi director de carrera el Ing. Fausto Cabrera y a mi Tutor de tesis el Ing. Leonardo Echeverria Fabre, DBA.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante.

Kevin Intriago Magallan

AGRADECIMIENTO

Doy mi más grato agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana que me ha permitido crecer y desarrollarme como profesional.

Agradezco a mi tutor, Ing. Leonardo Echeverría Fabre, DBA, por su orientación, confianza en mis capacidades y por su apoyo y guía durante mi trayectoria académica.

Agradezco especialmente al Ing. Fausto Cabrera, director de Carrera, por su liderazgo, orientación y apoyo constante durante mi trayectoria académica. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para mi crecimiento profesional y personal.

Quiero agradecer formalmente al Ing. Daniel De La Pared de la empresa Construladelsa S.A. y al Ing. Nicolas Chong de la empresa Tecnoaplica S.A. quienes brindaron cordialmente su ayuda para la elaboración de este proyecto de titulación permitiéndonos cumplir los objetivos planteados.

Finalmente, agradezco a todas las personas que han sido parte de mi vida y han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. A todos mis amigos y familiares que me han apoyado y alentado durante este camino. Su amor y apoyo han sido fundamentales para que yo pueda alcanzar mis objetivos.

Josue Lenin Pinto Lindao

Resumen

La degradación del concreto en los muelles portuarios, especialmente en ambientes marinos agresivos como el de Guayaquil, es un problema recurrente que afecta significativamente la durabilidad y funcionalidad de estas infraestructuras. Los factores que contribuyen a este deterioro incluyen la acción de agentes como el agua de mar, los ciclos de humedecimiento y secado, los cambios de temperatura, los esfuerzos mecánicos y la presencia de agentes químicos agresivos.

Las consecuencias de esta degradación son múltiples y graves, entre las que destacan la corrosión de las armaduras de acero, la fisuración del concreto, la pérdida de resistencia y la desintegración de la superficie. Estos daños no solo afectan la estética de la estructura, sino que también comprometen su seguridad y funcionalidad, reduciendo su vida útil y generando importantes costos de mantenimiento.

La presente investigación se centra en un desafío crítico que enfrenta la ingeniería civil a nivel mundial: el deterioro acelerado de las infraestructuras de concreto expuestas a ambientes marinos como se mencionó previamente. En particular, este estudio se enfoca en el muelle 2 de la Terminal Portuaria de Guayaquil, una estructura fundamental para el desarrollo económico de la región, la cual presenta un avanzado estado de degradación debido a la sinergia de factores como la salinidad, los diversos ciclos causados por agentes climáticos, los cambios bruscos de temperatura y la presencia de compuestos químicos que afectan el estado de la estructura.

El objetivo primordial de esta investigación es evaluar la viabilidad y eficacia del mortero estructural MAXRITE-F como una solución técnica y económicamente sostenible para reparar las estructuras dañadas y prolongar significativamente su vida útil. Mediante una combinación de ensayos de laboratorio y análisis in situ, se busca determinar las

propiedades mecánicas y la durabilidad del mortero en condiciones reales de servicio, así como evaluar el desempeño a largo plazo de las reparaciones realizadas.

La metodología empleada en esta investigación se inició con una exhaustiva inspección visual e instrumental del muelle, empleando técnicas y ensayo pertinentes al caso, con el fin de identificar los tipos de daño presentes, su extensión y gravedad. Posteriormente, se extrajeron muestras representativas de concreto deteriorado y sano para realizar una caracterización detallada en laboratorio, incluyendo análisis químicos, petrográficos y microestructurales. Estos análisis permitirán determinar la composición del concreto, el grado de carbonatación, la profundidad de penetración de iones cloruro y la presencia de otros agentes degradantes.

Con el objetivo de evaluar las propiedades del mortero MAXRITE-F, se prepararon probetas de acuerdo con las normas técnicas correspondientes y se sometieron a una variedad de ensayos, incluyendo ensayos de compresión, flexión, adherencia, permeabilidad y resistencia a los ciclos de hielo-deshielo. Además, se realizaron ensayos acelerados de envejecimiento para simular las condiciones ambientales a las que estará expuesto el mortero en la estructura reparada.

Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio permitieron establecer un perfil detallado de las propiedades mecánicas y reológicas del mortero MAXRITE-F, lo cual permitió compararlo con los requisitos establecidos en las normas técnicas y con otros materiales de reparación disponibles en el mercado. Asimismo, se realizaron análisis estadísticos para evaluar la variabilidad de los resultados y la confiabilidad de las propiedades del material.

A partir de los resultados experimentales y de la evaluación in situ, se elaboró un diagnóstico preciso del estado de conservación del muelle, identificando las zonas críticas

que requieren intervención prioritaria. Con base en este diagnóstico, se propuso un plan de reparación detallado, el cual incluye la selección del tipo de reparación más adecuado para cada tipo de daño, la preparación de la superficie a reparar, la aplicación del mortero MAXRITE-F y las medidas de control de calidad necesarias para garantizar la durabilidad de las reparaciones.

Para evaluar la viabilidad económica de la solución propuesta, se realizó un análisis de costo-beneficio, considerando los costos iniciales de la intervención, los costos de mantenimiento a largo plazo y los beneficios económicos asociados a la prolongación de la vida útil de la estructura. Este análisis permitió comparar la solución propuesta con otras alternativas de reparación y seleccionar la opción óptima desde el punto de vista técnico y económico.

Dentro del desarrollo de esta investigación se puede evaluar de manera implícita el impacto ambiental y social de las diferentes alternativas de reparación, considerando aspectos como el consumo de energía, la generación de residuos, la emisión de gases de efecto invernadero y el impacto en la comunidad local. A su vez, se implementará el uso de modelos numéricos para simular el comportamiento estructural de las reparaciones y evaluar su capacidad para restaurar la integridad de las estructuras a esto nos referimos a los cálculos e interpretaciones que se originarán a partir de los ensayos previamente realizados, con esto definiremos la importancia de las reparaciones estructuras bajo el estatus de prolongar la vida útil de la edificación considerando su gran importancia al pertenecer al sector portuario.

En conclusión, esta investigación ha demostrado la viabilidad y eficacia del mortero estructural MAXRITE-F como una solución para reparar las estructuras de concreto dañadas del muelle 2 de la Terminal Portuaria de Guayaquil. Los resultados

obtenidos contribuirán al conocimiento de las técnicas de reparación de estructuras de concreto en ambientes marinos agresivos y proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de las infraestructuras portuarias. Sin embargo, se recomienda realizar un seguimiento a largo plazo de las reparaciones ejecutadas para evaluar su desempeño en condiciones reales de servicio y validar los resultados obtenidos en esta investigación.

Abstract

Concrete degradation in port docks, especially in aggressive marine environments such as that of Guayaquil, is a recurring problem that significantly affects the durability and functionality of these infrastructures. Factors that contribute to this deterioration include the action of agents such as seawater, wetting and drying cycles, temperature changes, mechanical stresses and the presence of aggressive chemical agents.

The consequences of this degradation are multiple and serious, including corrosion of steel reinforcements, cracking of concrete, loss of strength and surface disintegration. These damages not only affect the aesthetics of the structure, but also compromise its safety and functionality, reducing its useful life and generating significant maintenance costs.

This research focuses on a critical challenge facing civil engineering worldwide: the accelerated deterioration of concrete infrastructures exposed to marine environments as previously mentioned. In particular, this study focuses on Dock 2 of the Guayaquil Port Terminal, a fundamental structure for the economic development of the region, which is in an advanced state of degradation due to the synergy of factors such as salinity, the various cycles caused by climatic agents, sudden changes in temperature and the presence of chemical compounds that affect the state of the structure.

The primary objective of this research is to evaluate the viability and effectiveness of the MAXRITE-F structural mortar as a technically and economically sustainable solution to repair damaged structures and significantly extend their useful life. Through a combination of laboratory tests and on-site analysis, the aim is to determine the mechanical properties and durability of the mortar under real service conditions, as well as to evaluate the long-term performance of the repairs carried out.

The methodology used in this research began with an exhaustive visual and instrumental inspection of the dock, using techniques and tests relevant to the case, in order to identify the types of damage present, its extent and severity. Representative samples of deteriorated and healthy concrete were then extracted for detailed laboratory characterization, including chemical, petrographic and microstructural analyses. These analyses will allow determining the composition of the concrete, the degree of carbonation, the depth of penetration of chloride ions and the presence of other degrading agents.

In order to evaluate the properties of the MAXRITE-F mortar, test specimens were prepared in accordance with the corresponding technical standards and subjected to a variety of tests, including compression, flexure, adhesion, permeability and resistance to freeze-thaw cycles. In addition, accelerated aging tests were performed to simulate the environmental conditions to which the mortar will be exposed in the repaired structure.

The results obtained from the laboratory tests allowed establishing a detailed profile of the mechanical and rheological properties of the MAXRITE-F mortar, which allowed it to be compared with the requirements established in the technical standards and with other repair materials available on the market. Statistical analyses were also performed to assess the variability of the results and the reliability of the material properties.

Based on the experimental results and the on-site assessment, a precise diagnosis of the state of conservation of the pier was made, identifying the critical areas that require priority intervention. Based on this diagnosis, a detailed repair plan was proposed, which includes the selection of the most appropriate type of repair for each type of damage, the

preparation of the surface to be repaired, the application of MAXRITE-F mortar and the quality control measures necessary to ensure the durability of the repairs.

To assess the economic viability of the proposed solution, a cost-benefit analysis was performed, considering the initial costs of the intervention, the long-term maintenance costs and the economic benefits associated with extending the useful life of the structure. This analysis made it possible to compare the proposed solution with other repair alternatives and to select the most optimal option from a technical and economic point of view. Within the development of this research, the environmental and social impact of the different repair alternatives can be implicitly evaluated, considering aspects such as energy consumption, waste generation, greenhouse gas emissions and the impact on the local community. In turn, the use of numerical models will be implemented to determine the impact of the different repair alternatives.

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema.....	27
2. Ubicación	28
3. Objetivos	29
3.1. Objetivo General.....	29
3.2. Objetivos Específicos.....	29
4. Justificación	29
5. Hipótesis	31
6. Marco Teórico.....	31
6.1. Conceptos generales.....	31
6.2. El Concreto en Entornos Marinos: Degradación del Concreto.....	32
6.2.1. Corrosión de las armaduras.....	32
6.2.2. Ataque por sulfatos	32
6.2.3. Abrasión.....	33
6.2.4. Carbonatación	33
6.2.5. Cloruros.....	34
6.3. Mecanismos de Deterioro	35
6.3.1. Difusión de iones	35
6.3.2. Absorción capilar	35
6.3.3. Fisuración.....	36
6.4. Consecuencias de la Degradación.....	36
6.4.1. Pérdida de resistencia y durabilidad.....	36

6.4.2.	Reducción de la vida útil de la estructura.	37
6.4.3.	Riesgo de colapso estructural.....	37
6.5.	Morteros Estructurales.....	38
6.5.1.	Definición y Composición.....	38
6.5.2.	Materiales compuestos de cemento, agregados finos, aditivos y agua ...	38
6.6.	Clasificación.....	39
6.6.1.	Composición orgánica.....	39
6.6.2.	Composición inorgánica.....	39
6.6.3.	Por resistencia.....	40
6.6.4.	Por tiempo de fraguado.....	40
6.6.5.	Por el tipo de aplicación.....	41
6.7.	Propiedades Requeridas.....	41
6.7.1.	Alta adherencia al concreto existente.....	41
6.7.2.	Resistencia a la compresión, flexión y tracción.....	42
6.7.3.	Baja permeabilidad.....	42
6.7.4.	Durabilidad en ambientes marinos.....	43
6.7.5.	Contracción controlada.....	43
6.8.	Tipos de Morteros.....	44
6.8.1.	Morteros estructurales convencionales.....	44
6.8.2.	Morteros reforzados con fibras.....	44
6.8.3.	Morteros poliméricos.....	45

6.8.4. Morteros autonivelantes.....	45
6.9. Reparación de Concreto en Muelles	46
6.9.1. Limpieza y eliminación de elementos sueltos.....	46
6.9.2. Tratamiento de las superficies (esmerilado, picado).....	47
6.9.3. Sellado de fisuras y grietas.....	47
6.9.4. Técnicas de aplicación de mortero (proyección, llana).....	48
6.9.5. Curado del mortero.	48
6.9.6. Control de calidad: Ensayos de adherencia, resistencia, permeabilidad.	49
6.9.7. Inspección visual.....	49
6.10. Modelos de Degradación y Reparación	50
6.10.1. Modelos Numéricos de elemento finito	50
6.10.2. Modelos numéricos de difusión	50
6.10.3. Modelos Empíricos	51
6.11. Ensayos y Caracterización	51
6.11.1. Ensayos no Destructivos	51
6.11.2. Ensayos Destructivos	52
6.11.3. Caracterización de Materiales.....	53
6.12. Diseño de Mezclas	54
6.12.1. Tipo de cemento, agregados, aditivos, relación agua/cemento.....	54
6.12.2. Condiciones ambientales.....	55
6.12.3. Tipo de daño a reparar.....	55

6.13.	Aspectos adicionales de la Investigación.....	56
6.13.1.	Influencia de la preparación de la superficie en la adherencia del mortero	56
6.13.2.	Comportamiento a largo plazo de las reparaciones en ambientes marinos agresivos.....	56
6.13.3.	Optimización de las mezclas de mortero para diferentes tipos de daños.	57
6.13.4.	Desarrollo de nuevos materiales y técnicas de reparación más sostenibles.	57
6.13.5.	Análisis de costo-beneficio de las diferentes opciones de reparación.	58
7.	Marco Legal.....	58
7.1.	Normas aplicadas a morteros estructurales.....	58
7.1.1.	ASTM C109.....	58
7.1.2.	Norma EN 1504 - 3.....	59
7.1.3.	Normas ASTM relacionadas.....	60
7.1.4.	INEN 488.....	61
8.	Marco metodológico.....	61
8.1.	Inspección del estado actual.....	61
8.2.	Aplicación del mortero de reparación MAXRITE-F.....	62
8.2.1.	Aplicaciones.....	62
8.2.2.	Ventajas.....	63
8.3.	Modo de empleo.....	64

8.3.1. Preparación del soporte.....	64
8.3.2. Preparación de la mezcla.....	64
8.3.3. Aplicación	65
8.4. Aplicación de ensayos.....	65
8.4.1. Ensayos de compresión	65
8.4.2. Ensayo no destructivo	66
9. Desarrollo del proyecto.....	66
9.1. Inspección técnica previa.....	66
9.2. Toma de muestras	75
9.2.1. Preparación de las Muestras para ensayos	75
9.3. Curado de las Muestras.....	76
9.4. Ensayo de Compresión de cubos de mortero estructural	77
9.5. Cálculo de la Resistencia a la Compresión	98
10. Análisis de Resultados	101
10.1. Reparaciones.....	101
10.1.1. Aplicación de mortero en juntas de muelle.....	102
10.1.2. Reparaciones en elementos estructurales de muelle	103
11. Conclusiones	110
12. Bibliografía	111

Índice de figuras

<i>Imagen 1: Ubicación de proyecto</i>	28
<i>Imagen 2: Deterioro de hormigón en ambientes marinos</i>	34
<i>Imagen 3: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	66
<i>Imagen 4: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	67
<i>Imagen 5: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	67
<i>Imagen 6: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	68
<i>Imagen 7: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	68
<i>Imagen 8: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	69
<i>Imagen 9: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	69
<i>Imagen 10: Revisión técnica</i>	70
<i>Imagen 11: Visita de tesistas en sitio</i>	70
<i>Imagen 12: Revisión de daños en pasarela de muelle portuario</i>	71
<i>Imagen 13: Inspección de tesistas en sitio</i>	71
<i>Imagen 14: Recorrido de tesistas en sitio</i>	72
<i>Imagen 15: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	72
<i>Imagen 16: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	73
<i>Imagen 17: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	73
<i>Imagen 18: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	74
<i>Imagen 19: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario</i>	74
<i>Imagen 20: Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo</i>	76
<i>Imagen 21: Máquina de ensayo de compresión</i>	78
<i>Imagen 22: Moldes para ensayo de compresión de cubos de mortero</i>	78
<i>Imagen 23: Envase para el mortero a ensayar</i>	79
<i>Imagen 24: Balanza</i>	79

Imagen 25: Espátula.....	80
Imagen 26: Envase para medir el agua	80
Imagen 27: Pisón.....	81
Imagen 28: Encerado de balanza y pesado del mortero MAXRITE – F	81
Imagen 29: <i>Medición del agua</i>	82
Imagen 30: <i>Aplicación de aceite en moldes de cubos</i>	82
Imagen 31: Productos antes de realizar la mezcla	82
Imagen 32: Mezclar el mortero hasta tener una consistencia homogénea.....	83
Imagen 33: Colocación de la primera capa en molde de los cubos previamente aceitados.....	84
Imagen 34: Realizado de las 16 varilladas en diferentes sentidos	84
Imagen 35: Colocación de segunda capa de mortero en los moldes.....	85
Imagen 36: Realizado de varillado en dos direcciones	85
Imagen 37: Retiro de exceso de mortero en los moldes	86
Imagen 38: Paleteado y acabado de los moldes	86
Imagen 39: Se tapan los moldes para evitar daños	87
Imagen 40: Se deja reposar por 24 horas para poder retirar del molde	87
Imagen 41: Tesista Josue Pinto y Kevin Intriago	88
Imagen 42: Tesista Josue Pinto, Kevin Intriago y de la empresa Construladelsa S.A. el Ing. Daniel De La Pared.....	88
Imagen 43: Llenado con los datos obtenidos de ficha para ensayos de morteros.....	89
Imagen 44: Desencofrado de cubos de morteros	89
Imagen 45: Enumeración de cubos con fecha y mortero utilizado	90
Imagen 46: Muestras de cubos enumerados	90

Imagen 47: Colocación de cubos del mortero MAXRITE – F en agua con cal para su curado.....	91
Imagen 48: Curado de cubos del mortero Max Rite -F.....	91
Imagen 49: Cubos en balanza para su toma de datos.....	92
Imagen 50: Calibración de la máquina de ensayos de compresión de cubos	92
Imagen 51: Posicionamiento del mortero en la máquina de ensayo	93
Imagen 52: Rotura de cubos a los 7 días.....	93
Imagen 53: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F	94
Imagen 54: Calibración de la máquina de ensayos de compresión de cubos	94
Imagen 55: Rotura de cubo de mortero Ma MAXRITE – F x Rite – F a los 14 días	95
Imagen 56: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F a los 21 días	95
Imagen 57: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F a los 28 días	96
Imagen 58: Curva de ensayo a la compresión.....	96
Imagen 59: Datos obtenidos en ficha para ensayos de morteros	97
Imagen 60: <i>Modelo de reparación</i>	102
Imagen 61: <i>Aplicación de mortero en junta de muelles</i>	102
Imagen 62: <i>Reparación de bases de muelle</i>	104
Imagen 63: <i>Aplicación de mortero</i>	104
Imagen 64: <i>Reparaciones en hormigón</i>	105
Imagen 65: <i>Resanes en bases</i>	105
Imagen 66: <i>Procedimiento de reparación</i>	106
Imagen 67: <i>Reparaciones terminadas</i>	106
Imagen 68: <i>Reparaciones</i>	107
Imagen 69: <i>Resanes en bases</i>	107
Imagen 70: <i>Resanes en bases</i>	108

<i>Imagen 71: Resanes con mortero</i>	108
<i>Imagen 72: Resanes con mortero</i>	109

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Clasificación de mortero</i>	46
<i>Tabla 2: Variaciones permisibles en toma de muestras</i>	59
<i>Tabla 3: Tabulación de ensayos de resistencia</i>	99

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Diagrama de resistencia</i>	100
---	-----

1. Planteamiento del problema

Las infraestructuras de concreto del muelle 2 de la Terminal Portuaria de Guayaquil se encuentran sometidas a un deterioro acelerado debido a la exposición continua a un ambiente marino altamente agresivo. La acción sinérgica de diversos factores, como la alta salinidad del agua de mar, los ciclos repetitivos de humedecimiento y secado, los cambios bruscos de temperatura, los esfuerzos mecánicos inducidos por las cargas dinámicas y estáticas, así como la presencia de agentes químicos agresivos, ha desencadenado una serie de procesos degradativos que comprometen la durabilidad y funcionalidad de la estructura. Entre las patologías más comunes se encuentran la corrosión activa de las armaduras de acero, que se manifiesta a través de la expansión del óxido y la fisuración del concreto circundante. Asimismo, se observa la carbonatación del concreto, que reduce su pH y favorece la iniciación y propagación de la corrosión. La penetración de iones cloruro, altamente agresivos para el acero, acelera significativamente los procesos corrosivos. La combinación de estos factores conduce a una pérdida progresiva de la sección efectiva de las armaduras, reduciendo drásticamente la capacidad portante de los elementos estructurales. Además, se produce una desintegración del concreto superficial, originando pérdidas de recubrimiento y exponiendo las armaduras a un ambiente aún más agresivo. Las consecuencias de esta degradación se manifiestan en forma de fisuras superficiales y profundas, desprendimientos de concreto, pérdida de adherencia entre el acero y el concreto, y deterioro de las juntas de construcción. Estos daños no solo afectan la estética y la durabilidad de la estructura, sino que también comprometen su seguridad y funcionalidad, reduciendo su vida útil de manera significativa. A largo plazo, la degradación progresiva de los elementos estructurales puede provocar el colapso local o generalizado de la estructura, con las consiguientes

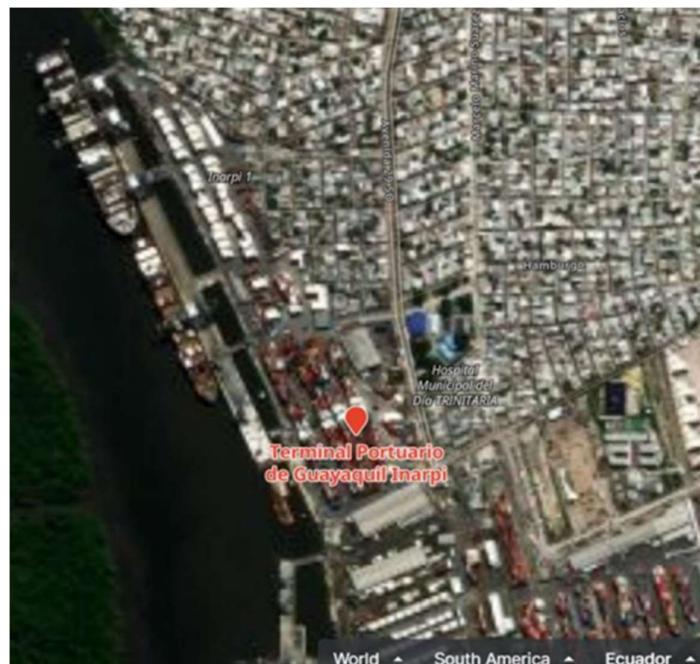
pérdidas económicas y operativas para la terminal portuaria, al interrumpir las operaciones de carga y descarga y requerir de costosas labores de reparación y rehabilitación.

2. Ubicación

El Terminal Portuario de Guayaquil (TPG) está ubicado en la Isla Trinitaria, en la Av. Los Ángeles, en el kilómetro 5 sobre la vía Perimetral, al sur de la ciudad de Guayaquil, tal como se puede observar en la Figura 1.

Imagen 1: Ubicación de proyecto

Fuente: Google Earth



3. Objetivos

3.1.Objetivo General

Evaluar el sistema del mortero de reparación estructural MAXRITE-F en muelle 2 del Terminal Portuario de Guayaquil (TPG) de tal forma que prolongue la vida útil de los elementos estructurales de hormigón armado.

3.2.Objetivos Especificos

Realizar una inspección el estado actual del muelle de la Terminal Portuaria de Guayaquil (TPG).

Elaborar ensayos de cubo de compresión con el mortero estructural MAXRITE-F de la marca DRIZORO para verificar la resistencia a la compresión.

Realizar análisis estadístico de las pruebas de compresión simple de cubos del mortero de reparación estructural.

4. Justificación

El mortero estructural se ha consolidado como una solución técnica y económicamente viable para restaurar la integridad estructural y prolongar la vida útil de los muelles de la Terminal Portuaria de Guayaquil, afectados por la acción de agentes agresivos. La aplicación de este sistema de reparación requiere de una rigurosa ejecución de cada una de las etapas del proceso constructivo, desde la preparación de la superficie hasta la aplicación de los recubrimientos protectores.

En primer lugar, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva del estado de deterioro de la estructura, identificando las zonas afectadas, la naturaleza de los daños y las causas subyacentes. Esta evaluación permitirá determinar el alcance de las

reparaciones necesarias y seleccionar el tipo de mortero estructural más adecuado para cada caso particular.

La preparación de la superficie es una etapa crítica que condiciona el éxito de la reparación. Se debe eliminar todo el concreto deteriorado, productos de corrosión y materiales sueltos mediante técnicas mecánicas o abrasivas, asegurando una superficie limpia, sólida y rugosa para favorecer la adherencia del mortero. En algunos casos, puede ser necesario realizar un tratamiento previo de la superficie, como el lavado a presión, el chorreado abrasivo o el uso de ácidos débiles, para eliminar contaminantes y garantizar una óptima adherencia.

La selección del mortero estructural adecuado es otro factor clave. Se deben considerar las características del daño a reparar, las condiciones ambientales y los requerimientos de servicio de la estructura. Existen en el mercado una amplia variedad de morteros estructurales, que se diferencian por su composición, resistencia mecánica, tiempo de fraguado y aplicabilidad.

La aplicación del mortero estructural se realiza siguiendo las recomendaciones del fabricante, asegurando un espesor uniforme y una correcta compactación para evitar la formación de vacíos y garantizar la adherencia al sustrato. Es importante controlar las condiciones ambientales durante la aplicación, evitando temperaturas extremas y alta humedad, que pueden afectar negativamente las propiedades del mortero.

El curado del mortero es una etapa fundamental para garantizar el desarrollo de sus propiedades mecánicas y durabilidad. Existen diferentes métodos de curado, como el curado por agua, el curado con membranas o el curado con compuestos curadores. La elección del método de curado dependerá del tipo de mortero, las condiciones ambientales y los requerimientos del proyecto.

Finalmente, la aplicación de un recubrimiento protector es altamente recomendable para prolongar la vida útil de la reparación y proteger el mortero estructural de la acción de los agentes agresivos. Los recubrimientos protectores más utilizados son los sistemas epoxi y poliuretánicos, que forman una barrera impermeable y resistente a la abrasión, previniendo la penetración de agua, cloruros y otros agentes dañinos.

La reparación con mortero estructural, cuando se ejecuta de forma adecuada, ofrece múltiples beneficios, como la restauración de la integridad estructural, la protección del acero de refuerzo, la prolongación de la vida útil de la estructura y la reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo. Sin embargo, es importante destacar que el éxito de este tipo de reparación depende de una correcta planificación, ejecución y control de calidad en todas las etapas del proceso.

5. Hipótesis

" ¿La aplicación del mortero de reparación estructural en los elementos de hormigón armado en muelles portuarios podrían solucionar los daños ocasionados por exposición a la salinidad, la humedad, cambios de temperatura y así restaurar las propiedades del hormigón prolongando su durabilidad y eficiencia como infraestructura?"

6. Marco Teórico

6.1. Conceptos generales

Los muelles portuarios, estructuras sometidas a condiciones ambientales altamente agresivas, requieren de un mantenimiento constante para garantizar su funcionalidad y seguridad. La degradación del concreto en estas estructuras, principalmente debido a la

acción de agentes como el agua de mar, los ciclos de humedecimiento y secado, y los esfuerzos cíclicos, es un problema recurrente. Las reparaciones con morteros estructurales se presentan como una solución viable para restaurar y prolongar la vida útil de estas infraestructuras.

6.2.El Concreto en Entornos Marinos: Degradación del Concreto

6.2.1. Corrosión de las armaduras

El concreto en entornos marinos se ve sometido a una serie de agresiones que aceleran su deterioro. La principal amenaza es la corrosión de las armaduras de acero, causada por la penetración de iones cloruro provenientes del agua de mar. Estos iones rompen la capa de óxido que protege al acero, iniciando un proceso electroquímico que debilita la armadura y, por consiguiente, la estructura de concreto. Adicionalmente, factores como los ciclos de humedecimiento y secado, los cambios de temperatura y la presencia de otros agentes químicos agresivos exacerban este problema, generando fisuración, desprendimiento del concreto y, en última instancia, la pérdida de la capacidad portante de la estructura.

6.2.2. Ataque por sulfatos

El concreto expuesto a ambientes marinos sufre un deterioro acelerado debido a la presencia de diversos agentes agresivos. Uno de los principales ataques que experimenta el concreto en estas condiciones es el producido por los sulfatos presentes en el agua de mar. Estos iones sulfato reaccionan con los compuestos del cemento, generando productos de reacción expansivos que provocan la fisuración y el deterioro del material. La expansión de estos productos de reacción ejerce presiones internas sobre el concreto, debilitándolo y

reduciendo su durabilidad. Adicionalmente, la presencia de sulfatos puede acelerar la corrosión de las armaduras de acero, comprometiendo aún más la integridad estructural.

6.2.3. *Abrasión*

Este fenómeno se caracteriza por el desgaste superficial del material debido a la acción mecánica de partículas sólidas transportadas por el agua, como arena, sedimentos y organismos marinos. La abrasión provoca la pérdida de material, la formación de rugosidades y la exposición de nuevos poros en la superficie del concreto, lo que reduce su resistencia y aumenta su permeabilidad. Los factores que influyen en la severidad de la abrasión incluyen la velocidad del agua, la concentración de partículas abrasivas, la dureza de los agregados del concreto y la calidad del curado. La abrasión, combinada con otros factores como la corrosión de las armaduras y el ataque por sulfatos, acelera el deterioro del concreto en estructuras marítimas, reduciendo su vida útil y requiriendo costosas labores de reparación y mantenimiento.

6.2.4. *Carbonatación*

La carbonatación es un proceso de degradación que afecta significativamente al concreto expuesto a ambientes marinos. Este fenómeno ocurre cuando el dióxido de carbono presente en el aire se disuelve en la humedad del concreto y reacciona con los hidróxidos de calcio, reduciendo el pH del material. Esta disminución del pH, conocido como pérdida de alcalinidad, tiene como consecuencia directa la pérdida de la protección pasiva que el concreto ofrece a las armaduras de acero. Al disminuir el pH, se rompe la capa de óxido protectora que se forma naturalmente en el acero en contacto con el álcali del concreto, iniciándose así el proceso de corrosión.

6.2.5. Cloruros

Uno de los principales agentes agresivos que aceleran la degradación del concreto en ambientes marinos son los cloruros. Estos iones, presentes en el agua de mar y en la atmósfera costera, penetran en el material poroso del concreto a través de los poros y grietas. Una vez dentro, los cloruros migran hacia la armadura de acero, donde destruyen la capa de óxido que protege al acero del ataque corrosivo. Al romper esta capa pasiva, los cloruros permiten que el oxígeno y la humedad reaccionen con el acero, iniciando un proceso electroquímico que debilita la armadura y, por consiguiente, la estructura de concreto. La velocidad de penetración de los cloruros depende de factores como la permeabilidad del concreto, la concentración de cloruros en el ambiente, la temperatura y la humedad.

Imagen 2: Deterioro de hormigón en ambientes marinos

Fuente: (OMINARQ, 2016)



6.3.Mecanismos de Deterioro

6.3.1. Difusión de iones

La difusión de iones es un mecanismo fundamental en el deterioro del concreto, especialmente en ambientes agresivos como el marino. Este proceso consiste en el movimiento de iones, como los cloruros, a través de los poros y capilares presentes en la microestructura del concreto. Los iones se desplazan desde zonas de mayor concentración, como el agua de mar, hacia el interior del material, siguiendo un gradiente de concentración. La velocidad de difusión depende de diversos factores, como la permeabilidad del concreto, la temperatura, la humedad y la concentración de iones en el medio ambiente. La penetración de iones cloruro en el concreto es particularmente perjudicial, debido a que estos iones aceleran significativamente la corrosión de las armaduras de acero, comprometiendo la durabilidad y la seguridad de las estructuras.

6.3.2. Absorción capilar

La absorción capilar es un mecanismo de deterioro crucial en el concreto, especialmente en ambientes húmedos como los entornos marinos. Este fenómeno se produce cuando el agua y las sales disueltas en ella penetran en el material a través de los poros capilares. Estos poros microscópicos actúan como pequeñas venas, permitiendo que el agua ascienda por capilaridad hacia el interior del concreto. La presencia de agua dentro del material facilita la difusión de iones agresivos, como los cloruros, que pueden atacar el acero de refuerzo y provocar su corrosión. Además, los ciclos de humedecimiento y secado causados por la absorción capilar pueden generar tensiones internas que debilitan el concreto y favorecen la aparición de fisuras.

6.3.3. Fisuración

La fisuración es uno de los principales mecanismos de deterioro del concreto, especialmente en ambientes agresivos como el marino. Las grietas que se forman en el material actúan como vías de acceso para el agua, los cloruros y otros agentes dañinos, facilitando su penetración hacia el interior del concreto. La presencia de fisuras aumenta significativamente la permeabilidad del material, acelerando procesos como la corrosión de las armaduras y el deterioro de la pasta de cemento. Las causas de la fisuración pueden ser diversas, incluyendo retracción del concreto, sobrecarga estructural, cambios de temperatura y ataques químicos. Para garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto, es fundamental prevenir y reparar las fisuras de manera oportuna, utilizando técnicas adecuadas y materiales de alta calidad.

6.4. Consecuencias de la Degradación

6.4.1. Pérdida de resistencia y durabilidad.

La pérdida de resistencia y durabilidad del concreto debido a los procesos de degradación, como la carbonatación, la penetración de cloruros y la fisuración, tiene consecuencias significativas en las estructuras. La disminución de la resistencia mecánica del material compromete su capacidad para soportar cargas, lo que puede llevar al colapso de elementos estructurales. Además, la pérdida de durabilidad se traduce en un acortamiento de la vida útil de las estructuras, requiriendo costosas reparaciones y reemplazos. Por otro lado, la corrosión de las armaduras de acero, inducida por la degradación del concreto, genera esfuerzos internos que pueden provocar el agrietamiento y el desprendimiento del recubrimiento de concreto, acelerando aún más el deterioro de la estructura

6.4.2. Reducción de la vida útil de la estructura.

La degradación del concreto, causada por factores como la carbonatación, la penetración de cloruros y la fisuración, conlleva una reducción significativa en la vida útil de las estructuras. Estos procesos deterioran la matriz de cemento, disminuyen la adherencia entre el acero y el concreto, y facilitan la iniciación y propagación de la corrosión en las armaduras. Como consecuencia, se produce una pérdida de sección efectiva en las barras de acero, lo que reduce la capacidad portante de los elementos estructurales. Además, el deterioro del concreto puede generar deformaciones y desplazamientos excesivos, comprometiendo la estabilidad y la seguridad de la estructura. En resumen, la degradación del concreto acelera el envejecimiento de las estructuras, disminuyendo su vida útil y requiriendo costosas intervenciones de reparación o refuerzo.

6.4.3. Riesgo de colapso estructural.

La degradación del concreto, causada por factores como la carbonatación, la penetración de cloruros y la fisuración, aumenta significativamente el riesgo de colapso estructural. Estos procesos deterioran la matriz de cemento, disminuyen la adherencia entre el acero y el concreto, y facilitan la iniciación y propagación de la corrosión en las armaduras. La pérdida de sección efectiva en las barras de acero, producto de la corrosión, reduce la capacidad portante de los elementos estructurales, haciéndolos más vulnerables a cargas. Además, la expansión de los productos de corrosión genera tensiones internas que pueden provocar el agrietamiento y el desprendimiento del recubrimiento de concreto, debilitando aún más la estructura. En casos extremos, la combinación de estos factores puede llevar al colapso de elementos estructurales o de la estructura completa, poniendo en riesgo la vida de las personas y generando pérdidas económicas significativas.

6.5. Morteros Estructurales

6.5.1. Definición y Composición

Los morteros estructurales son materiales compuestos, generalmente a base de cemento, que se utilizan en la construcción para unir elementos estructurales y garantizar la estabilidad de una edificación. Su composición varía dependiendo de la aplicación específica, pero típicamente incluyen cemento Portland, agregados finos (arena), agua y aditivos que mejoran sus propiedades. A diferencia de los morteros convencionales, los morteros estructurales poseen una mayor resistencia mecánica y durabilidad, lo que los hace ideales para soportar cargas y resistir condiciones ambientales adversas. Su diseño y fabricación se rigen por normas técnicas específicas que garantizan su calidad y desempeño.

6.5.2. Materiales compuestos de cemento, agregados finos, aditivos y agua

Los morteros estructurales son materiales compuestos específicamente formulados para reparar y restaurar secciones de concreto dañadas. Su composición, basada en una mezcla precisa de cemento, agregados finos y agua, se complementa con aditivos que optimizan sus propiedades. Estos morteros están diseñados para adherirse firmemente al concreto existente, rellenar huecos y fisuras, y recuperar las características mecánicas originales de la estructura, como la resistencia a la compresión y a la flexión. Gracias a su versatilidad y rendimiento, los morteros estructurales son ampliamente utilizados en la rehabilitación de estructuras de hormigón, permitiendo prolongar su vida útil y garantizar su seguridad.

6.6. Clasificación

6.6.1. Composición orgánica

La clasificación basada en la composición orgánica divide a los elementos en categorías según la presencia y disposición de átomos de carbono en sus moléculas. Los compuestos orgánicos, que forman la base de la vida en la Tierra, se caracterizan por contener enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno. Esta clasificación es fundamental en química orgánica, esto permite agrupar sustancias con propiedades y reactividades similares, facilitando su estudio y aplicación en diversos campos, como la medicina, la industria farmacéutica y la producción de materiales. Los compuestos inorgánicos, por otro lado, carecen de estos enlaces característicos y suelen estar compuestos por elementos como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y los metales.

6.6.2. Composición inorgánica

La clasificación de los morteros según su composición inorgánica se fundamenta en los materiales inertes y aglutinantes que conforman la mezcla. Los componentes inorgánicos más comunes en los morteros son los agregados finos (arena), el agua y un aglutinante, que suele ser un material hidráulico como el cemento Portland, la cal aérea o la cal hidráulica. Esta clasificación permite diferenciar los morteros según su resistencia, durabilidad y aplicaciones específicas. Por ejemplo, los morteros de cemento Portland son conocidos por su alta resistencia y se utilizan en construcciones que requieren gran durabilidad, mientras que los morteros de cal aérea se emplean en restauraciones de edificaciones históricas debido a su mayor permeabilidad al vapor de agua.

6.6.3. Por resistencia

La clasificación de los morteros por resistencia es una de las más comunes en la construcción, lo cual, determina su capacidad para soportar cargas y esfuerzos. Esta clasificación se basa en la resistencia a la compresión del mortero, que se mide en megapascuales (MPa). Según esta clasificación, los morteros se dividen en diferentes clases, desde los de baja resistencia, utilizados para trabajos de albañilería ligera, hasta los de alta resistencia, empleados en estructuras que soportan grandes cargas. La elección de la clase de mortero adecuada depende de las exigencias del proyecto, como el tipo de material a unir, las condiciones ambientales y las cargas a las que estará sometido.

6.6.4. Por tiempo de fraguado

La clasificación de los morteros por tiempo de fraguado se basa en el período que transcurre desde que el mortero se mezcla con agua hasta que alcanza una consistencia determinada, generalmente la pérdida de trabajabilidad. Este parámetro es crucial en la construcción, lo cual, determina el tiempo disponible para aplicar y conformar el mortero. Existen morteros de fraguado rápido, ideales para trabajos que requieren un secado inmediato, y morteros de fraguado lento, que permiten un mayor tiempo de trabajo y son adecuados para reparaciones y trabajos de mayor envergadura. El tiempo de fraguado puede verse afectado por factores como la temperatura ambiente, la humedad, la proporción agua-cemento y la presencia de aditivos.

6.6.5. Por el tipo de aplicación

La clasificación de los morteros por el tipo de aplicación se basa en las características específicas que se requieren para cada uso particular en la construcción. Esta clasificación considera factores como la resistencia necesaria, la adherencia, la impermeabilidad, la trabajabilidad y la estética. Los morteros se pueden clasificar en morteros para albañilería, utilizados para unir elementos como ladrillos y bloques; morteros para revestimientos, empleados para crear superficies lisas y decorativas; morteros para juntas, diseñados para rellenar las juntas entre baldosas o azulejos; y morteros especiales, formulados para aplicaciones específicas como reparaciones estructurales, impermeabilización o protección contra el fuego. Cada tipo de mortero tiene una composición y propiedades particulares que lo hacen adecuado para su uso específico.

6.7. Propiedades Requeridas

6.7.1. Alta adherencia al concreto existente.

La alta adherencia al concreto existente es una propiedad esencial en muchos morteros, especialmente en aquellos utilizados para reparaciones, revestimientos o uniones entre diferentes elementos constructivos. Esta característica garantiza una unión fuerte y duradera entre el mortero fresco y el sustrato de concreto existente, evitando desprendimientos, fisuras o delaminaciones a largo plazo. Para lograr una alta adherencia, los morteros suelen incorporar aditivos especiales que mejoran la capacidad de unión, así como una cuidadosa preparación de la superficie del concreto existente, que implica limpieza, eliminación de partes débiles y, en algunos casos, el uso de imprimaciones.

6.7.2. Resistencia a la compresión, flexión y tracción.

La resistencia a la compresión, flexión y tracción son propiedades mecánicas fundamentales en un mortero, debido a que determinan su capacidad para soportar cargas y esfuerzos sin deformarse o fracturarse. La resistencia a la compresión mide la capacidad del mortero de soportar fuerzas que lo aplastan, la resistencia a la flexión evalúa su habilidad para resistir la deformación al doblarse, y la resistencia a la tracción mide su capacidad para soportar fuerzas que lo estiran. Estas propiedades son cruciales para garantizar la durabilidad y el buen desempeño de las estructuras construidas con mortero, y varían según el tipo de mortero y su aplicación específica. Los factores que influyen en estas resistencias incluyen la proporción de los componentes, el tipo de cemento, los aditivos utilizados y las condiciones de curado.

6.7.3. Baja permeabilidad.

La baja permeabilidad es una propiedad esencial en muchos morteros, especialmente en aquellos utilizados en aplicaciones donde se requiere resistencia a la penetración de agua, humedad o sustancias químicas. Un mortero con baja permeabilidad evita la infiltración de agua, lo que previene problemas como la eflorescencia, la carbonatación del acero, el deterioro por congelamiento y descongelamiento, y la proliferación de hongos y bacterias. Esta propiedad se logra mediante una adecuada proporción de los componentes del mortero, el uso de aditivos impermeabilizantes y una correcta compactación durante la aplicación. Los morteros impermeables son especialmente utilizados en estructuras expuestas a condiciones climáticas adversas, en zonas húmedas, en tanques y depósitos de agua, y en cualquier aplicación donde se requiera una barrera efectiva contra la humedad.

6.7.4. *Durabilidad en ambientes marinos.*

La durabilidad en ambientes marinos es una propiedad esencial en morteros expuestos a condiciones climáticas extremas y a la acción corrosiva del agua salada. Para garantizar esta durabilidad, los morteros deben presentar una alta resistencia a la penetración de cloruros, sulfatos y otras sales presentes en el agua de mar, así como una buena resistencia a los ciclos de humedecimiento y secado. Además, deben ser capaces de resistir los efectos abrasivos del oleaje y la acción de organismos marinos. Los morteros para ambientes marinos suelen incluir aditivos especiales que mejoran su impermeabilidad, resistencia a los sulfatos y durabilidad a largo plazo. Estas propiedades son fundamentales para asegurar la vida útil de las estructuras construidas en zonas costeras, como muelles, rompeolas y edificaciones cercanas al mar.

6.7.5. *Contracción controlada.*

La contracción controlada es una propiedad esencial en muchos morteros, especialmente en aquellos utilizados en aplicaciones donde se requiere minimizar la formación de fisuras y grietas. La contracción, o encogimiento, es un fenómeno natural que ocurre en los morteros a medida que se secan y endurecen. Un mortero con contracción controlada contiene aditivos que reducen la velocidad y magnitud de este fenómeno, disminuyendo así el riesgo de fisuración. Esta propiedad es crucial para garantizar la durabilidad y la estética de las estructuras, especialmente en revestimientos, pisos y elementos expuestos a cambios de temperatura y humedad. La contracción controlada también ayuda a mejorar la adherencia del mortero al sustrato y reduce la posibilidad de desprendimientos.

6.8. Tipos de Morteros

6.8.1. Morteros estructurales convencionales.

Los morteros estructurales convencionales son aquellos compuestos principalmente por cemento, agua y agregados (generalmente arena), que se utilizan para unir elementos estructurales de la construcción, como bloques, ladrillos y piedras, transmitiendo cargas y contribuyendo a la estabilidad de la estructura. Estos morteros se caracterizan por su alta resistencia a la compresión, lo que les permite soportar las cargas que se transmiten a través de la mampostería. Su composición y propiedades pueden variar dependiendo de la aplicación específica, pero en general, los morteros estructurales convencionales son la base de muchas construcciones y ofrecen una solución económica y eficaz para unir elementos de mampostería.

6.8.2. Morteros reforzados con fibras.

Los morteros reforzados con fibras son materiales compuestos que incorporan fibras sintéticas o naturales a la matriz del mortero tradicional, mejorando significativamente sus propiedades mecánicas. Estas fibras, distribuidas aleatoriamente en la mezcla, actúan como una armadura interna, aumentando la resistencia a la tracción, flexión e impacto, y controlando la formación de fisuras. Gracias a estas características, los morteros reforzados con fibras encuentran aplicación en diversas áreas de la construcción, como reparaciones estructurales, pavimentos, revestimientos y elementos prefabricados. Su versatilidad y alto desempeño los convierten en una alternativa innovadora y cada vez más utilizada en la industria de la construcción.

6.8.3. Morteros poliméricos.

Los morteros poliméricos son materiales compuestos que incorporan polímeros en su formulación, lo que les confiere propiedades superiores a los morteros tradicionales. Estos polímeros actúan como un aglomerante más fuerte y flexible, mejorando significativamente la adherencia, resistencia a la tracción, impermeabilidad y durabilidad del mortero. Gracias a estas características, los morteros poliméricos encuentran aplicaciones en una amplia gama de proyectos, desde reparaciones estructurales y revestimientos hasta la construcción de piscinas y pavimentos industriales. Además, su rápido fraguado y fácil aplicación los hacen muy populares en la construcción moderna.

6.8.4. Morteros autonivelantes.

Los morteros autonivelantes son materiales fluidos, generalmente a base de cemento o resinas, diseñados para nivelar y alisar superficies de manera rápida y eficiente. Una vez aplicados, estos morteros se distribuyen por gravedad, llenando irregularidades y creando un acabado plano y uniforme. Gracias a sus propiedades autonivelantes, se utilizan ampliamente en la preparación de suelos antes de la instalación de revestimientos como cerámicas, porcelanatos o vinílicos. Además, su rápido secado y fácil aplicación los hacen ideales para renovar y mejorar el aspecto de pisos en viviendas, locales comerciales e industriales.

Tabla 1: Clasificación de mortero

Fuente: (Métodos y materiales, UCR, 2018)

TIPOS DE MORTERO : CLASIFICACIÓN - UNE EN 998 - 2			
Por Composición			Por Uso o Aplicación
Conglomerante	Composición (ejemplos)	Resistencia	
Morteros de cemento	cemento:arena (1:3)	P.e.:	Obras de fábrica
Morteros de cal hidráulica	cal:arena (1:3)	M-5 (5N/mm ² a 28 días)	Revestimiento
Morteros de cal aérea	cal:arena (1:3)	M-20 (20N/mm ² a 28 días)	Para solados
Morteros mixtos de cemento y cal hidráulica	cemento:cal:arena (1:1:3)		Morteros cola
Morteros mixtos de cemento y cal aérea	cemento:cal:arena (1:1:3)		Para reparaciones
			Impermeabilizantes
Según Método de fabricación			S/.Forma Suministro
Hecho en obra			Mortero seco, sacos o silos
Hecho en fábrica semiterminado			Mortero húmedo
Hecho en fábrica terminado o industrial			

© diccionarioilustradoic

6.9.Reparación de Concreto en Muelles

6.9.1. Limpieza y eliminación de elementos sueltos.

La reparación de concreto en muelles inicia con una minuciosa limpieza de la superficie a tratar. Se eliminan todos los elementos sueltos, como restos de pintura, recubrimientos deteriorados, concretos descascarados y óxidos, estos pueden comprometer la adherencia de los materiales de reparación. Para garantizar una unión adecuada entre el concreto existente y el nuevo, se utilizan herramientas como martillos neumáticos, cepillos de alambre y chorreado de arena, con el objetivo de exponer el agregado sano y crear una superficie rugosa que favorezca la adherencia del mortero de reparación. Esta etapa es fundamental para asegurar la durabilidad y eficacia de la reparación.

6.9.2. *Tratamiento de las superficies (esmerilado, picado).*

Una vez limpia la superficie, se procede al tratamiento de la misma mediante esmerilado o picado. El esmerilado consiste en utilizar herramientas abrasivas para crear una textura uniforme y eliminar pequeñas irregularidades, mientras que el picado emplea martillos neumáticos o equipos de percusión para generar una superficie rugosa con mayor profundidad. La elección del método dependerá del estado del concreto existente y de las especificaciones del proyecto. Ambos tratamientos tienen como objetivo aumentar la superficie de contacto y mejorar la adherencia mecánica entre el concreto viejo y el nuevo, garantizando así una unión sólida y duradera.

6.9.3. *Sellado de fisuras y grietas.*

El sellado de fisuras y grietas es una etapa crucial en la reparación de muelles de concreto. Una vez eliminados los elementos sueltos y preparada la superficie, se procede a identificar y evaluar la profundidad y extensión de cada fisura. Las grietas superficiales pueden sellarse con productos epóxicos o poliuretánicos, mientras que las fisuras más profundas requieren de técnicas de inyección. Es fundamental seleccionar el material de sellado adecuado en función del tipo de fisura y las condiciones ambientales. Además, se deben realizar pruebas de adherencia para garantizar la compatibilidad entre el material de sellado y el concreto existente. Un sellado correcto previene la infiltración de agua, cloruros y otros agentes agresivos, prolongando la vida útil de la estructura.

6.9.4. Técnicas de aplicación de mortero (proyección, llana).

Las técnicas de aplicación de mortero son fundamentales para garantizar la calidad y durabilidad de una reparación. La proyección, por ejemplo, permite una aplicación rápida y uniforme del mortero, cubriendo grandes superficies de manera eficiente. Esta técnica es ideal para rellenar huecos, reparar secciones dañadas y crear recubrimientos protectores. Por otro lado, la aplicación con llana ofrece un mayor control sobre el espesor y la textura del mortero, permitiendo realizar acabados más finos y detallados. La elección de la técnica dependerá de las características del proyecto, el tipo de mortero y el acabado deseado. En general, la proyección se utiliza para trabajos de mayor envergadura, mientras que la llana es más adecuada para reparaciones localizadas y acabados estéticos.

6.9.5. Curado del mortero.

El curado del mortero es un proceso fundamental para garantizar su resistencia y durabilidad. Consiste en mantener el mortero húmedo durante un período determinado después de su aplicación, lo que permite que el cemento continúe hidratándose y desarrollando su máxima resistencia. Los métodos de curado pueden variar, desde la aplicación de agua mediante rociado o empapado, hasta el uso de productos curadores comerciales que forman una película impermeable sobre la superficie. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante del mortero en cuanto al tiempo de curado y las condiciones ambientales ideales, estos factores como la temperatura y la humedad relativa influyen directamente en el proceso de hidratación del cemento.

6.9.6. Control de calidad: Ensayos de adherencia, resistencia, permeabilidad.

El control de calidad en las reparaciones de concreto es esencial para garantizar la durabilidad y funcionalidad de la estructura. Los ensayos de adherencia evalúan la unión entre el mortero de reparación y el concreto existente, asegurando que no se produzcan desprendimientos. Los ensayos de resistencia determinan la capacidad del material reparado para soportar cargas, mientras que los ensayos de permeabilidad miden la resistencia del material a la penetración de agua, cloruros y otros agentes agresivos. Estos ensayos se realizan en diferentes etapas del proceso constructivo, desde la recepción de los materiales hasta la finalización de la obra, y permiten verificar el cumplimiento de los requisitos de diseño y las especificaciones técnicas.

6.9.7. Inspección visual.

La inspección visual es el primer y su vez el último paso más importante en cualquier proceso de reparación de concreto. A través de una observación detallada y sistemática de la estructura, se identifican las patologías existentes, como grietas, descascaramientos, manchas, corrosión de armaduras y otros signos de deterioro. La inspección visual permite evaluar la gravedad de los daños, determinar las causas subyacentes y definir el alcance de las reparaciones necesarias. Es fundamental que la inspección sea realizada por personal capacitado y experimentado, utilizando herramientas como lupas, cámaras y escalas para facilitar la detección de detalles. La información obtenida en la inspección visual sirve como base para la elaboración de un plan de reparación detallado y eficaz. Y a su vez, al ser realizado el trabajado

6.10. Modelos de Degradación y Reparación

6.10.1. Modelos Numéricos de elemento finito

Los modelos numéricos de elementos finitos constituyen una herramienta invaluable en el estudio de la degradación y reparación del concreto. Estos modelos permiten simular de manera precisa el comportamiento del concreto y del mortero a lo largo del tiempo, considerando factores como la fisuración, la corrosión de las armaduras y la degradación por exposición a agentes ambientales. Al discretizar la estructura en elementos finitos, es posible analizar en detalle la distribución de tensiones, deformaciones y desplazamientos, lo que permite evaluar la efectividad de diferentes estrategias de reparación y predecir la vida útil residual de las estructuras de concreto. Estos modelos son especialmente útiles para analizar estructuras complejas y evaluar el impacto de diferentes variables en el comportamiento estructural, brindando así una base científica sólida para la toma de decisiones en la rehabilitación de estructuras de concreto.

6.10.2. Modelos numéricos de difusión

Los modelos numéricos de difusión son herramientas esenciales en el estudio de la degradación del concreto. Estos modelos permiten simular la penetración de iones, como los cloruros, en la matriz del concreto a lo largo del tiempo. Al resolver las ecuaciones de difusión, es posible predecir la distribución de concentraciones de iones en función de variables como la porosidad del concreto, la temperatura y la humedad relativa. Esta información es fundamental para evaluar la vida útil de las estructuras de concreto expuestas a ambientes agresivos y para diseñar estrategias de protección y reparación efectivas. Los modelos de difusión también permiten analizar la influencia de factores como la presencia de fisuras y la aplicación de recubrimientos protectores en la velocidad

de penetración de los iones, proporcionando así una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la ingeniería civil.

6.10.3. Modelos Empíricos

Los modelos empíricos en el contexto de la degradación y reparación del concreto se basan en correlaciones estadísticas entre variables medibles para predecir la vida útil de las reparaciones. Estos modelos utilizan datos históricos de proyectos similares y variables como el tipo de mortero, las condiciones ambientales, el espesor de la reparación y la técnica de aplicación para establecer relaciones cuantitativas. A través de estas correlaciones, es posible estimar el tiempo que tardará una reparación en deteriorarse nuevamente y, por lo tanto, programar intervenciones de mantenimiento de manera más eficiente. Sin embargo, es importante destacar que los modelos empíricos están limitados por la calidad y cantidad de datos disponibles, y sus predicciones pueden no ser tan precisas como las obtenidas a través de modelos numéricos más sofisticados.

6.11. Ensayos y Caracterización

6.11.1. Ensayos no Destructivos

Ensayo de Rebote de Esclerómetro: Este ensayo consiste en medir la resistencia a la compresión del concreto mediante la energía de rebote de un martillo especial. Al golpear la superficie del concreto, el martillo rebota una cierta distancia, la cual está relacionada con la dureza del material. Esta técnica es rápida y sencilla, pero su precisión puede verse afectada por factores como la humedad del concreto, la profundidad de carbonatación y la presencia de armaduras. Se utiliza principalmente para obtener una

evaluación rápida y relativa de la resistencia del concreto en diferentes puntos de una estructura.

Ensayo por Ultrasonidos: Este método se basa en la medición de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas a través del concreto. La velocidad de estas ondas está relacionada con las propiedades mecánicas del material, como su densidad y módulo de elasticidad. Al comparar la velocidad de las ondas en diferentes puntos de la estructura, es posible detectar zonas con heterogeneidades, fisuras o delaminaciones. Además, el ensayo por ultrasonidos permite estimar la profundidad de recubrimiento de las armaduras.

Ensayo con Cubierta de Carbono: Este ensayo, también conocido como prueba de emisión acústica, utiliza sensores adheridos a la superficie del concreto para detectar las señales acústicas emitidas por el material cuando se somete a una carga. Estas señales pueden estar asociadas a la propagación de micro fisuras o a otros procesos de deterioro. Al analizar las señales acústicas, es posible evaluar la integridad estructural del concreto y detectar posibles daños en etapas iniciales.

6.11.2. Ensayos Destructivos

Extracción de Testigos: Este ensayo consiste en extraer una muestra cilíndrica del concreto, llamada testigo, para realizar una serie de pruebas en laboratorio. Estas pruebas pueden incluir la determinación de la resistencia a la compresión, la densidad, la absorción de agua, la profundidad de carbonatación y el contenido de cloruros. La extracción de testigos permite obtener información detallada sobre las propiedades del concreto en un punto específico de la estructura, lo que es fundamental para evaluar su estado y tomar decisiones sobre las reparaciones necesarias. Sin embargo, este método es invasivo y puede dañar la estructura, por lo que se utiliza de manera limitada.

Ensayo de Flexotracción: Este ensayo se realiza en vigas de concreto para determinar su resistencia a la flexión. Consiste en aplicar una carga creciente en los extremos de la viga hasta que se produce la rotura. La resistencia a la flexión es una propiedad importante para evaluar la capacidad de las estructuras de concreto a resistir cargas que producen flexión, como las vigas y losas. Este ensayo permite identificar posibles debilidades en el concreto y evaluar la efectividad de las reparaciones.

Ensayo de Compresión: Este es el ensayo más común para determinar la resistencia del concreto. Consiste en someter un cubo o cilindro de concreto a una carga de compresión creciente hasta que se produce la rotura. La resistencia a la compresión es una propiedad fundamental del concreto y se utiliza para verificar el cumplimiento de los requisitos de diseño y para evaluar la calidad del concreto. Este ensayo se realiza tanto en el laboratorio como en el campo, utilizando equipos de ensayo de compresión.

6.11.3. Caracterización de Materiales

Análisis Granulométrico: Este ensayo consiste en determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen un material granular, como el agregado utilizado en la fabricación del concreto. El análisis granulométrico se realiza mediante tamices de diferentes aberturas, lo que permite clasificar las partículas según su tamaño. Esta información es fundamental para diseñar mezclas de concreto con las propiedades adecuadas, debido a que la distribución de tamaños de las partículas influye en la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del concreto.

Determinación de la Resistencia: Este ensayo, como ya hemos visto, se realiza para medir la capacidad de un material para resistir esfuerzos. La resistencia puede ser a la compresión, a la tracción, a la flexión, entre otras. La resistencia a la compresión es la más

común en el concreto y se determina mediante la aplicación de una carga axial hasta la rotura de una muestra. La resistencia es un parámetro fundamental para evaluar la calidad del concreto y verificar el cumplimiento de los requisitos de diseño.

Determinación de la Permeabilidad: La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir el paso de fluidos a través de sus poros. En el caso del concreto, la permeabilidad es importante porque influye en la durabilidad del material, debido a que una alta permeabilidad facilita la penetración de agentes agresivos como el agua y los iones cloruro. La permeabilidad se puede determinar mediante diferentes métodos, como el ensayo de absorción de agua bajo presión o el ensayo de permeabilidad al cloruro.

6.12. Diseño de Mezclas

6.12.1. Tipo de cemento, agregados, aditivos, relación agua/cemento

El diseño de mezclas de concreto es un proceso crucial que involucra la selección y dosificación precisa de varios componentes para obtener un material con las propiedades deseadas. El tipo de cemento utilizado influye en la resistencia, el tiempo de fraguado y la durabilidad del concreto. Los agregados, que pueden ser finos o gruesos, aportan volumen y resistencia al material. Los aditivos se incorporan para modificar las propiedades del concreto, como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado o la resistencia a condiciones ambientales adversas. La relación agua/cemento es uno de los factores más importantes, esta relación afecta directamente a la resistencia y durabilidad del concreto. Un diseño de mezcla adecuado garantiza que el concreto cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad especificados para una obra en particular.

6.12.2. Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales juegan un papel fundamental en el diseño de mezclas de concreto, lo cual influyen directamente en el desempeño y durabilidad de la estructura. Factores como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la exposición a agentes químicos pueden acelerar o retardar el fraguado y endurecimiento del concreto, afectar su resistencia y promover la aparición de fisuras y otros deterioros. Por lo tanto, es esencial considerar estas variables al diseñar una mezcla, ajustando la dosificación de los componentes y seleccionando aditivos adecuados para garantizar que el concreto pueda resistir las condiciones ambientales a las que estará expuesto durante su vida útil.

6.12.3. Tipo de daño a reparar

El tipo de daño a reparar es un factor determinante en el diseño de una mezcla de concreto. Cada tipo de daño requiere propiedades específicas en el mortero de reparación para garantizar una unión adecuada con el sustrato y una durabilidad a largo plazo. Por ejemplo, para reparar fisuras superficiales se necesitará un mortero con alta adherencia y buena trabajabilidad, mientras que para reparar daños estructurales se requerirá un mortero con alta resistencia mecánica. Además, el tipo de daño influirá en la selección de aditivos y en la técnica de aplicación del mortero. Un diseño de mezcla adecuado, considerando el tipo de daño, asegura una reparación eficaz y prolonga la vida útil de la estructura.

6.13. Aspectos adicionales de la Investigación

6.13.1. Influencia de la preparación de la superficie en la adherencia del mortero

La preparación adecuada de la superficie es un factor crítico para garantizar una adherencia óptima del mortero y, por ende, la durabilidad de la reparación. Una superficie limpia, sana, rugosa y libre de contaminantes como polvo, grasa o restos de recubrimientos antiguos, proporciona una base ideal para la unión mecánica y química entre el mortero y el sustrato. La elección del método de preparación dependerá del tipo de superficie y del daño a reparar, pero en general implica procesos como limpieza, escurificación, picado o el uso de productos específicos para mejorar la adherencia. Una preparación superficial deficiente puede resultar en una adhesión débil, desprendimientos prematuros del mortero y, en última instancia, un fallo de la reparación.

6.13.2. Comportamiento a largo plazo de las reparaciones en ambientes marinos agresivos.

El comportamiento a largo plazo de las reparaciones con mortero en ambientes marinos agresivos es un tema de gran relevancia debido a la exposición constante a factores como la humedad, los ciclos de humedecimiento y secado, la salinidad, los cambios de temperatura y la acción de organismos marinos. Estos factores pueden provocar la degradación del mortero, reduciendo su adherencia, resistencia y durabilidad. La carbonatación, la corrosión de las armaduras, la formación de eflorescencias y la acción de los sulfatos son algunos de los mecanismos de deterioro más comunes. Para garantizar la durabilidad de las reparaciones en este tipo de entornos, es fundamental seleccionar materiales resistentes a los agentes agresivos, diseñar mezclas adecuadas y ejecutar una correcta preparación de la superficie y aplicación del mortero.

6.13.3. Optimización de las mezclas de mortero para diferentes tipos de daños.

La optimización de las mezclas de mortero es fundamental para garantizar una reparación eficaz y duradera de los diferentes tipos de daños en el concreto. Esta optimización implica la selección cuidadosa de los componentes del mortero, como el cemento, los agregados, los aditivos y la relación agua/cemento, considerando las propiedades requeridas para cada tipo de daño. Por ejemplo, para reparar fisuras superficiales se buscará un mortero con alta adherencia y buena trabajabilidad, mientras que para reparar daños estructurales se necesitará un mortero con alta resistencia mecánica. Además, es importante considerar las condiciones ambientales y el tipo de exposición a las que estará sometida la reparación para seleccionar los materiales y aditivos más adecuados que garanticen una durabilidad a largo plazo.

6.13.4. Desarrollo de nuevos materiales y técnicas de reparación más sostenibles.

El desarrollo de nuevos materiales y técnicas de reparación más sostenibles es un campo en constante evolución, impulsado por la necesidad de reducir el impacto ambiental de la construcción y prolongar la vida útil de las infraestructuras. Estos nuevos materiales suelen estar compuestos por elementos naturales o reciclados, y presentan propiedades mejoradas en términos de resistencia, durabilidad y compatibilidad con el medio ambiente. Las técnicas de reparación, por su parte, se enfocan en minimizar la generación de residuos, reducir el consumo de energía y agua, y emplear métodos de aplicación menos invasivos. La combinación de estos avances permite desarrollar soluciones de reparación

más eficientes, económicas y respetuosas con el planeta, contribuyendo a la construcción de un futuro más sostenible.

6.13.5. Análisis de costo-beneficio de las diferentes opciones de reparación.

El análisis de costo-beneficio es una herramienta fundamental en la selección de la opción de reparación más adecuada para una estructura dañada. Este análisis implica evaluar los costos asociados a cada alternativa, incluyendo materiales, mano de obra, equipos, tiempo de ejecución y posibles interrupciones en el servicio. Además, se deben considerar los beneficios a largo plazo de cada opción, como la durabilidad de la reparación, la mejora en el desempeño estructural, la reducción de costos de mantenimiento futuros y el impacto ambiental. Al comparar los costos y beneficios de las diferentes opciones, se puede tomar una decisión informada que maximice el valor a largo plazo de la inversión.

7. Marco Legal

7.1. Normas aplicadas a morteros estructurales

7.1.1. ASTM C109

La ASTM C109 se centra en determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico utilizando muestras cúbicas de 2 pulgadas (50 mm) de lado. Este ensayo consiste en someter las muestras a una carga de compresión creciente hasta que se fracturan. La máxima carga aplicada dividida por el área de la sección transversal de la muestra proporciona el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla 2: Variaciones permisibles en toma de muestras

Fuente: ASTM International

TABLE 1 Permissible Variations of Specimen Molds

Parameter	2-in. Cube Molds		[50 mm] Cube Molds	
	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter
	New	In Use	New	In Use
Planeness of sides	<0.001 in.	<0.002 in.	[<0.025 mm]	[<0.05 mm]
Planeness of sides	<0.001 in.	<0.002 in.	[<0.025 mm]	[<0.05 mm]
Distance between opposite sides	2 in. ± 0.005	2 in. ± 0.02	[50 mm ± 0.13 mm]	[50 mm ± 0.50 mm]
Height of each compartment	2 in. + 0.01 in.	2 in. + 0.01 in.	[50 mm + 0.25 mm]	[50 mm + 0.25 mm]
Height of each compartment	2 in. + 0.01 in. to - 0.005 in. — to - 0.005 in.	2 in. + 0.01 in. to - 0.015 in. — to - 0.015 in.	[50 mm + 0.25 mm to - 0.13 mm] — to - 0.13 mm]	[50 mm + 0.25 mm to - 0.38 mm] — to - 0.38 mm]
Angle between adjacent faces ^A	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°

^A Measured at points slightly removed from the intersection. Measured separately for each compartment between all the interior faces and the adjacent face and between interior faces and top and bottom planes of the mold.

Los ensayos que se realizarán para la parte procedimental de este proyecto serán ejecutados bajo esta normativa que indica los parámetros para la resistencia de los morteros estructurales.

7.1.2. Norma EN 1504 - 3

La norma EN 1504-3 forma parte de una serie de normas europeas (EN 1504) que establecen los requisitos para la protección y reparación del hormigón. Específicamente, la parte 3 se centra en la reparación estructural y no estructural del hormigón.

Esta norma proporciona una guía detallada sobre:

Definición de términos: Establece una terminología común para facilitar la comunicación entre los profesionales del sector.

Requisitos de los materiales: Especifica las propiedades que deben cumplir los materiales utilizados en las reparaciones, como morteros, adhesivos y otros productos.

Control de calidad: Define los procedimientos para garantizar la calidad de los productos y sistemas de reparación.

Evaluación de la conformidad: Establece los criterios para evaluar si un producto o sistema cumple con los requisitos de la norma.

La EN 1504-3 se aplica a una amplia variedad de situaciones, entre ellas se considera la reparación de daños estructurales que comprende las Grietas, agujeros, desprendimientos de hormigón, entre otras. En otro tipo de circunstancias la rehabilitación de estructuras deterioradas causadas por la acción del agua, los agentes químicos, los ciclos de hielo-deshielo y diversos cambios climáticos.

Se considera una clasificación para el uso de los morteros de reparación según EN 1504-3. Los morteros de reparación se clasifican según sus propiedades y aplicaciones en diferentes clases, como R2, R3 y R4. Cada clase tiene requisitos específicos en cuanto a resistencia, adherencia, durabilidad, etc.

7.1.3. Normas ASTM relacionadas

La **norma ASTM C882** es una norma que cubre los requisitos para los morteros de reparación estructural para hormigón. Si bien no es tan exhaustiva como la EN 1504-3, proporciona especificaciones importantes para la selección y uso de estos materiales.

La norma **ASTM C1107** se enfoca en los requisitos para los adhesivos estructurales de reparación para hormigón. Al igual que la ASTM C882, ofrece información valiosa sobre la selección y aplicación de estos productos.

La norma **ASTM C1581** describe los métodos de ensayo para evaluar la adherencia de los revestimientos y morteros al hormigón. Aunque no se centra

específicamente en la reparación, proporciona información relevante para determinar la compatibilidad de los materiales utilizados en las reparaciones.

7.1.4. INEN 488

La norma INEN 488 establece un método estandarizado para determinar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico. Esta norma nos indica cómo medir qué tan fuerte es un mortero.

Nos detalla aspectos muy importantes como el material de moldes para los especímenes, la preparación de las muestras, los equipos que se utilizan para realizar los ensayos y los cálculos de los resultados.

La norma INEN 488 es una herramienta esencial para evaluar la calidad de los morteros y asegurar la calidad de las construcciones. Al seguir los procedimientos establecidos en esta norma, se puede garantizar que los morteros utilizados cumplan con los requisitos de resistencia necesarios para cada aplicación.

8. Marco metodológico

8.1. Inspección del estado actual.

El siguiente apartado se centra en obtener datos y realizar un registro fotográfico de los elementos estructurales del muelle tales como vigas, pilotes y losas. Se especificará la localización exacta de los daños identificados y para las áreas inferiores del muelle se tendrá en cuenta el bajo nivel del agua a su vez el uso de una embarcación para facilitar el acceso y garantizar la seguridad durante la inspección. Esto permitirá una evaluación

exhaustiva de la integridad estructural de los elementos mencionados, garantizando que las condiciones observadas queden debidamente registradas.

8.2. Aplicación del mortero de reparación MAXRITE-F

MAXRITE® -F es un mortero tixotrópico monocomponente, de fraguado normal y retracción compensada, compuesto por cementos especiales, áridos de granulometría seleccionada, humo de sílice, polímeros y reforzado con fibras de polipropileno. Está especialmente indicado para la reparación estructural del hormigón aplicado manualmente y sin necesidad de emplear encofrados. Cumple con los requisitos de la clase R4 según norma europea EN-1504-3.

8.2.1. Aplicaciones

Restauración de elementos estructurales de hormigón recuperando su forma y función original. Norma EN-1504-9 Principio 3 (CR) – Método 3.1 Aplicación de mortero a mano y Método 3.3 Proyección de mortero en:

Reparación general de hormigón estructural, tanto en superficies horizontales como verticales y techos, sin necesidad de emplear encofrados.

Reparación de estructuras y elementos prefabricados de hormigón dañados por impactos, corrosión de sus armaduras, acción de los ciclos hielo/deshielo, etc.

Reparación de pilares, jambas, dinteles, cornisas, voladizos de balcones y recrecidos especiales en la restauración de obras arquitectónicas expuestas permanentemente a las inclemencias del tiempo.

Reparación de hormigones debilitados por cargas cíclicas.

Restauración del pasivado de las armaduras. Norma EN-1504-9 Principio 7 (RP) –
Método 7.1 Incremento del recubrimiento de la armadura con mortero y Método 7.2

Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado en:

Estructuras de hormigón con recubrimientos menores a los indicados en normativa.

Reparación de estructuras por sustitución del hormigón carbonatado o
contaminado, para devolver el estado de pasivación a la armadura.

8.2.2. *Ventajas*

Excelente tixotropía. Admite aplicaciones de hasta 4 cm de espesor por capa sin
descuelgue.

Gran adherencia al hormigón y a las armaduras, no precisa imprimaciones
especiales. Los esfuerzos se transmiten a la zona reparada.

Elevadas resistencias mecánicas y a los impactos.

Buena impermeabilidad y compacidad.

Fácil uso y aplicación. Únicamente precisa agua para su amasado y presenta una
excelente trabajabilidad.

Retracción compensada y sin fisuración.

No contiene cloruros u otros elementos corrosivos frente a las armaduras.

Exento de olores y no es tóxico, adecuado para reparaciones con poca ventilación
en galerías, depósitos de agua, etc.

8.3. Modo de empleo

8.3.1. Preparación del soporte

El hormigón débil, dañado o deteriorado debe eliminarse hasta llegar al soporte estructuralmente resistente mediante picado con medios mecánicos, abrasivos o a percusión, chorro de arena o agua a alta presión, cajeando los bordes de la reparación perpendicularmente a la superficie con profundidad mínima de 1 cm.

Descubrir las armaduras afectadas por la corrosión, eliminando el hormigón hasta que la armadura expuesta no esté afectada. Sanear bajo la armadura para limpiarla eficazmente en todo el perímetro y poder cubrirla con 1 cm de espesor de **MAXRITE®-F** como mínimo.

Eliminar el óxido de las armaduras mediante cepillo de púas de acero, chorro de arena o granalla, pistola de agujas, etc. Aplicar convertidor de óxido y protector **MAXREST® PASSIVE** (Boletín Técnico nº12).

Posteriormente, lave la superficie con agua presión. La superficie debe estar limpia y libre de polvo, grasas, partículas sueltas o cualquier otra sustancia que pueda afectar negativamente a la adherencia.

8.3.2. Preparación de la mezcla

Un saco de 25 kg de MAXRITE-F® se amasa con 3,5 a 4,0 litros de agua limpia según las condiciones ambientales y la consistencia deseada, pudiéndose emplear medios manuales o medios mecánicos, como disco mezclador a bajas revoluciones (400-600 rpm). Una vez amasado, el fraguado se inicia transcurridos entre 15 y 20 minutos dependiendo de la temperatura ambiente, por lo que sólo debe prepararse la cantidad de material que pueda colocar en 8 a 10 minutos.

8.3.3. Aplicación

Para obtener una adherencia óptima, se debe preparar una lechada de adherencia consistente en 5 partes de **MAXRITE®-F** y 1 parte de agua, removiendo esta mezcla con la paleta hasta obtener una pasta cremosa y sin grumos. Extender la lechada utilizando una brocha tipo **MAXBRUSH** sobre el soporte a reparar y las armaduras, rellenando huecos y poros. Mientras la lechada se encuentre todavía fresca, comenzar la colocación de **MAXRITE®-F** con su consistencia de mortero de reparación.

Aplicar manualmente mediante llana o paleta en capas de 5 a 40 mm de espesor. Presione y compacte adecuadamente el mortero contra el soporte, evitando que pueda quedar aire ocluido. Una vez finalizada la colocación de una capa, rayar la superficie de la misma con objeto de mejorar la adherencia con la siguiente, que podrá extenderse cuando haya endurecido la anterior y aplicando previamente la lechada de adherencia. Finalizar convenientemente la última capa con esponja o fratás antes de que se inicie el endurecimiento de **MAXRITE®-F**.

(BOLETÍN TÉCNICO N.º: 02.06-MAXRITE-F-DRIZORO 2019)

8.4. Aplicación de ensayos

8.4.1. Ensayos de compresión

El siguiente punto trata de realizar ensayos de compresión a los núcleos obtenidos de los miembros estructurales del muelle con el fin de obtener datos específicos como su capacidad para soportar cargas a compresión. Para este ensayo se toma de referencia la norma ASTM C39 permite medir la capacidad del mortero para soportar cargas de compresión, para esto se tomará la norma ASTM C39 como referencia para llevar a cabo dicho ensayo.

8.4.2. *Ensayo no destructivo*

Se utilizará un esclerómetro o martillo de rebote para lograr estimar la resistencia en la capa superficial del hormigón donde la extracción del núcleo se vea comprometida por diferentes factores, cabe recalcar que este ensayo no pretende obtener la resistencia exacta sino más bien brindarnos información con respecto al estado actual del hormigón. Para este ensayo se usará la norma ASTM C805 como referencia.

9. Desarrollo del proyecto

9.1. Inspección técnica previa

La ubicación y desarrollo de este proyecto se ejecutó en TPG 2 (terminal portuario de Guayaquil), con equipo y personal especializado se realizó la inspección para definir los daños y cuál sería el proceso adecuado de reparación. En las siguientes imágenes se visualizará los tipos de daños existentes.

Imagen 3: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores

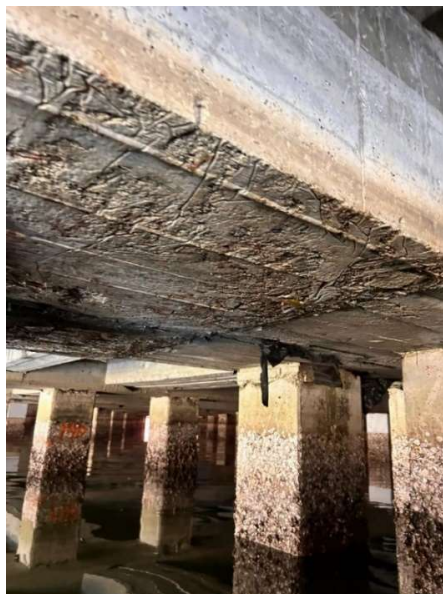


Imagen 4: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 5: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 6: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 7: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 8: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores

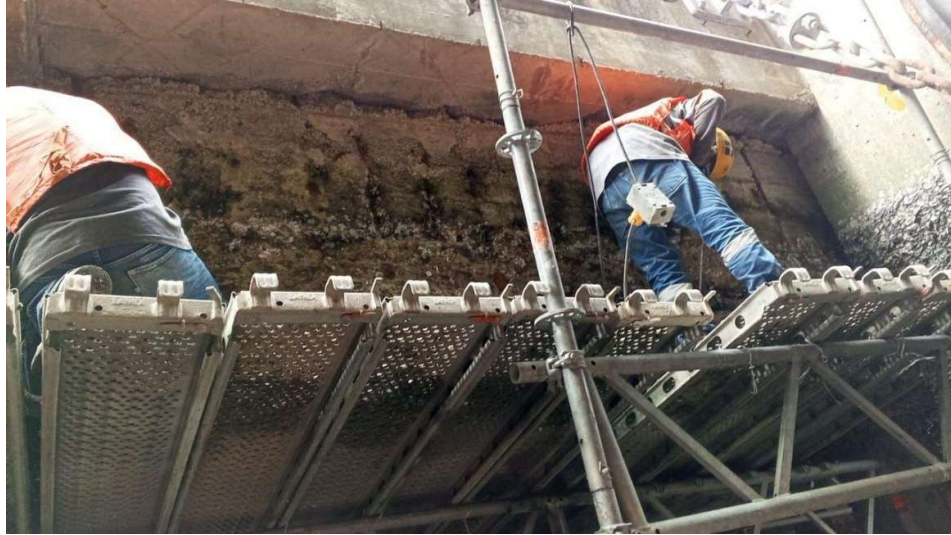


Imagen 9: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 10: Revisión técnica

Fuente: Autores



Imagen 11: Visita de tesisistas en sitio

Fuente: Autores

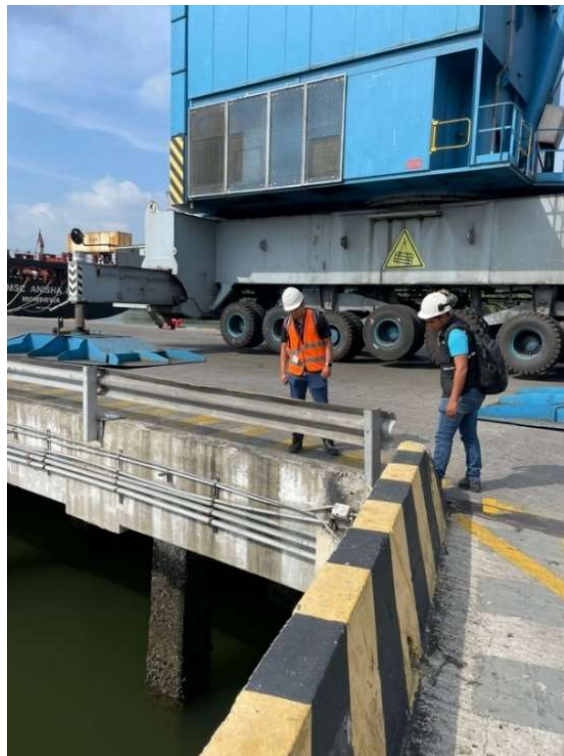


Imagen 12: *Revisión de daños en pasarela de muelle portuario*

Fuente: Autores

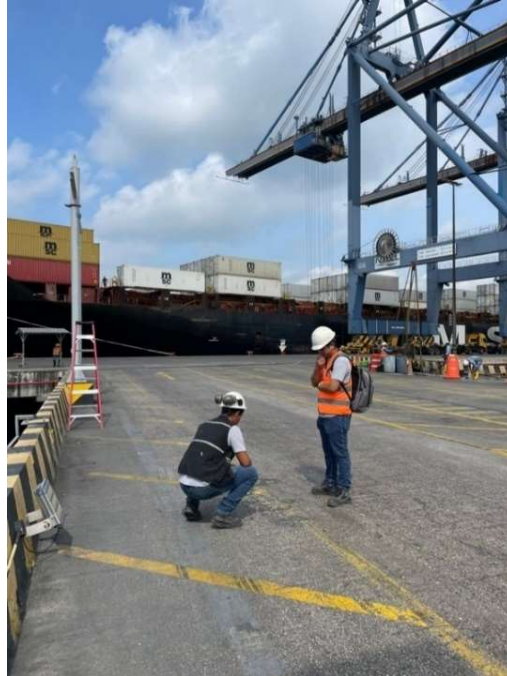


Imagen 13: *Inspección de testistas en sitio*

Fuente: Autores



Imagen 14: Recorrido de testistas en sitio

Fuente: Autores



Imagen 15: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores

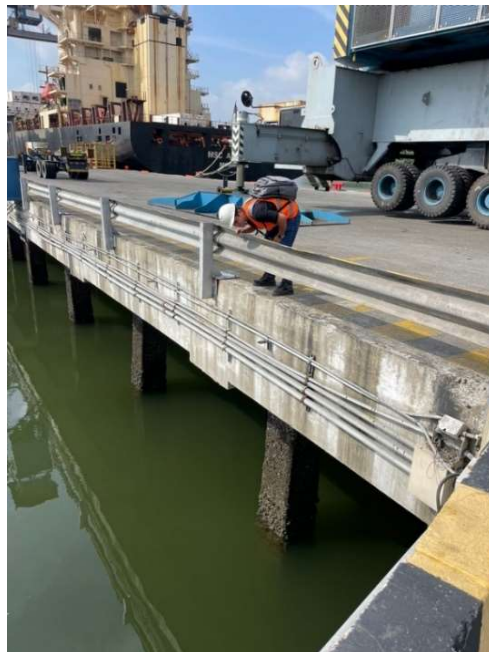


Imagen 16: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 17: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



Imagen 18: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores

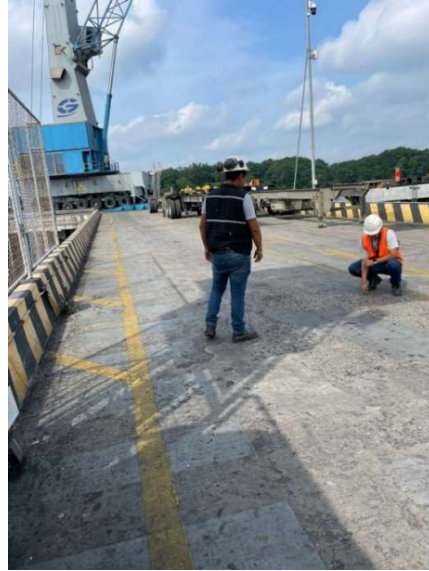


Imagen 19: Estado actual del hormigón bajo muelle portuario

Fuente: Autores



9.2.Toma de muestras

9.2.1. Preparación de las Muestras para ensayos

Realizada la inspección en sitio y notificar los daños en el concreto, se concluyó que la aplicación de mortero MAXRITE – F por sus niveles de resistencia es la propuesta de reparación más acertada.

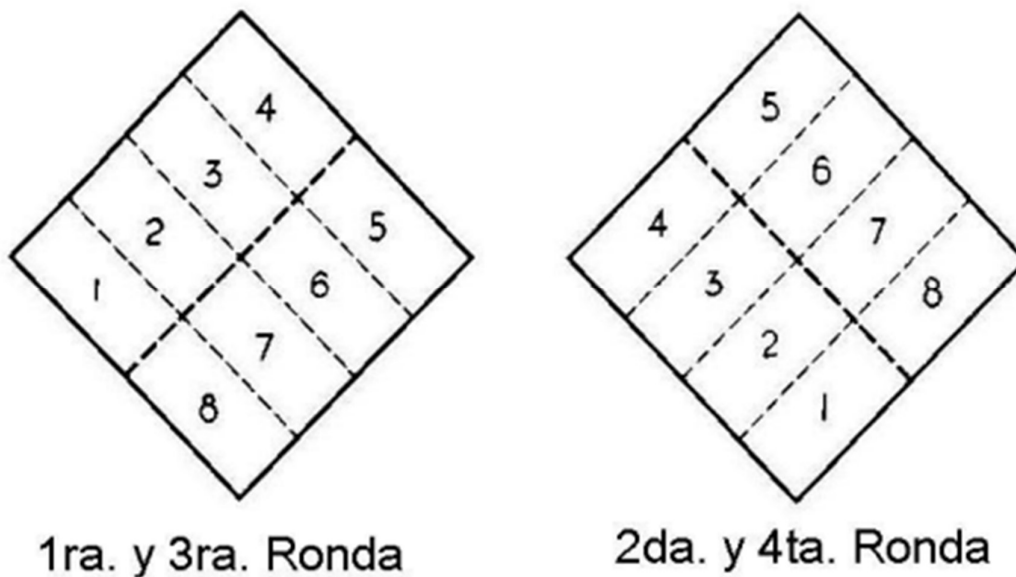
Como primer punto se deben preparar los especímenes con dimensiones de 50x50x50mm interior, se aplica aceite de forma manual o en aerosol, posterior a eso se retira el exceso.

Para la realización de un mortero, se realiza como indica la ficha técnica del MAXRITE-F, la mezcla se realiza con agua limpia y libre de contaminantes, entre 3,5 y 4 litros por saco de 25 kg (15 ± 1 % en peso). La mezcla se debe realizar en un recipiente completamente limpio, a medida que se va añadiendo el producto se agrega de forma proporcional la cantidad de agua ya antes señalada, este mezclado se hará de forma mecánica como indica la Norma INEN 488.

Realizada la preparación de la mezcla que se procede al llenado de los moldes en dos capas de 25mm de espesor cada una (aproximadamente la mitad del molde) en todos los compartimentos cúbicos y apisonar el mortero de cada compartimento 16 veces seguidas en 4 rondas, en dirección perpendicular a la anterior como indica la norma INEN 488, la presión del apisonamiento debe ser para llenar los moldes, una vez compactado todos los compartimentos se procede a llenar con la segunda capa y se repite el apisonamiento con 16 golpes. Finalizada la compactación se procede a retirar el exceso sobresaliente del molde y alisar los cubos.

Imagen 20: Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo

Fuente: NTE INEN 488



Luego de terminar el moldeo de los cubos se procede a tapar los moldes y colocarlos en la cámara de humedad para poder desencofrar después de 20 a 72 horas como indica la norma INEN 488 y se mantienen en el laboratorio hasta el proceso de rotura.

9.3. Curado de las Muestras

Las muestras se curan en condiciones controladas de temperatura y humedad, generalmente a 23 ± 2 °C y $95 \pm 5\%$ de humedad relativa.

Como se especificó anteriormente el tiempo del curado es en base al tiempo que se realizará la rotura respectivamente, en el desarrollo de este proyecto las roturas consisten en el período de 7, 14, 21 y 28 días.

9.4. Ensayo de Compresión de cubos de mortero estructural

Los instrumentos utilizados para este ensayo son los siguientes:

- Máquina de ensayo de compresión
- Moldes para cubos
- Mezcladora
- Balanza
- Espátula
- Tazón
- Cámara de curado
- Pisón
- Materiales (mortero, agua)

El uso de todos estos instrumentos fue bajo la supervisión del personal técnico competente encargado del área de laboratorio, considerando también el uso completo de los equipos personales de protección y recibiendo una breve charla de seguridad industrial y cómo actuar en caso de emergencia dentro del laboratorio y durante el proceso de los ensayos.

Imagen 21: Máquina de ensayo de compresión

Fuente: Autores



Imagen 22: Moldes para ensayo de compresión de cubos de mortero

Fuente: Autores



Imagen 23: Envase para el mortero a ensayar

Fuente: Autores



Imagen 24: Balanza

Fuente: Autores



Imagen 25: Espátula

Fuente: Autores



Imagen 26: Envase para medir el agua

Fuente: Autores



Imagen 27: Pisón

Fuente: Autores



Imagen 28: Encerado de balanza y pesado del mortero MAXRITE – F

Fuente: Autores



Imagen 29: *Medición del agua*

Fuente: Autores



Imagen 30: *Aplicación de aceite en moldes de cubos*

Fuente: Autores



Imagen 31: *Productos antes de realizar la mezcla*

Fuente: Autores



Imagen 32: Mezclar el mortero hasta tener una consistencia homogénea

Fuente: Autores



Imagen 33: Colocación de la primera capa en molde de los cubos previamente aceitados

Fuente: Autores



Imagen 34: Realizado de las 16 varilladas en diferentes sentidos

Fuente: Autores



Imagen 35: Colocación de segunda capa de mortero en los moldes

Fuente: Autores



Imagen 36: Realizado de varillado en dos direcciones

Fuente: Autores

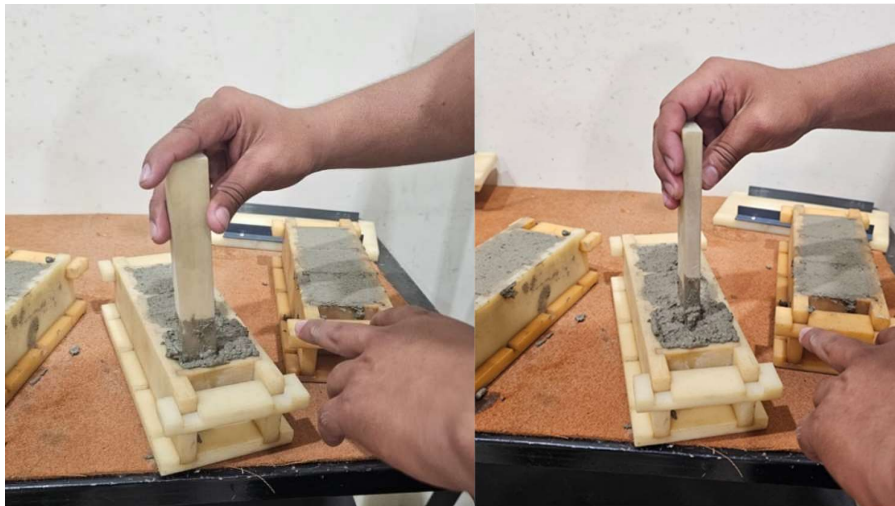


Imagen 37: Retiro de exceso de mortero en los moldes

Fuente: Autores



Imagen 38: Paleteado y acabado de los moldes

Fuente: Autores



Imagen 39: Se tapan los moldes para evitar daños

Fuente: Autores



Imagen 40: Se deja reposar por 24 horas para poder retirar del molde

Fuente: Autores



Imagen 41: Tesista Josue Pinto y Kevin Intriago

Fuente: Autores



Imagen 42: Tesista Josue Pinto, Kevin Intriago y de la empresa Construladelsa S.A. el Ing. Daniel De La Pared.

Fuente: Autores



Imagen 43: Llenado con los datos obtenidos de ficha para ensayos de morteros

Fuente: Autores



Imagen 44: Desencofrado de cubos de morteros

Fuente: Autores



Imagen 45: Enumeración de cubos con fecha y mortero utilizado

Fuente: Autores



Imagen 46: Muestras de cubos enumerados

Fuente: Autores



Imagen 47: Colocación de cubos del mortero MAXRITE – F en agua con cal para su curado

Fuente: Autores



Imagen 48: Curado de cubos del mortero Max Rite -F

Fuente: Autores



Imagen 49: Cubos en balanza para su toma de datos

Fuente: Autores

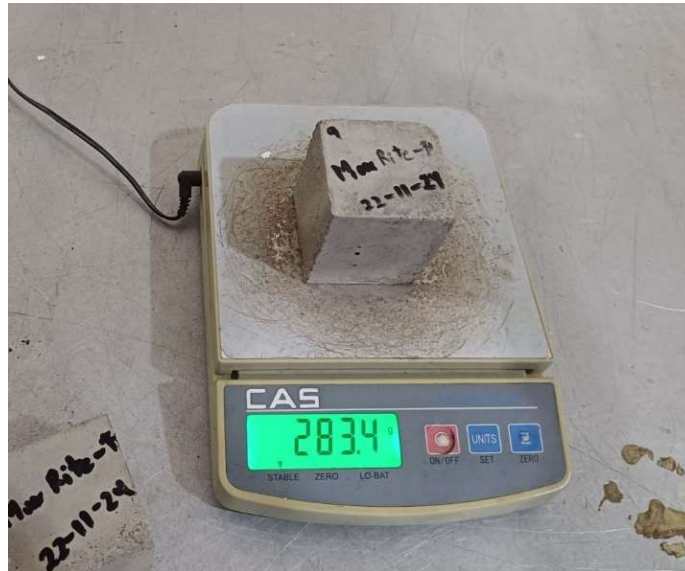


Imagen 50: Calibración de la máquina de ensayos de compresión de cubos

Fuente: Autores



Imagen 51: Posicionamiento del mortero en la máquina de ensayo

Fuente: Autores



Imagen 52: Rotura de cubos a los 7 días.

Fuente: Autores



Imagen 53: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F

Fuente: Autores



Imagen 54: Calibración de la máquina de ensayos de compresión de cubos

Fuente: Autores



Imagen 55: Rotura de cubo de mortero Ma MAXRITE – F x Rite – F a los 14 días

Fuente: Autores



Imagen 56: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F a los 21 días

Fuente: Autores



Imagen 57: Rotura de cubo de mortero MAXRITE – F a los 28 días

Fuente: Autores



Imagen 58: Curva de ensayo a la compresión

Fuente: Autores

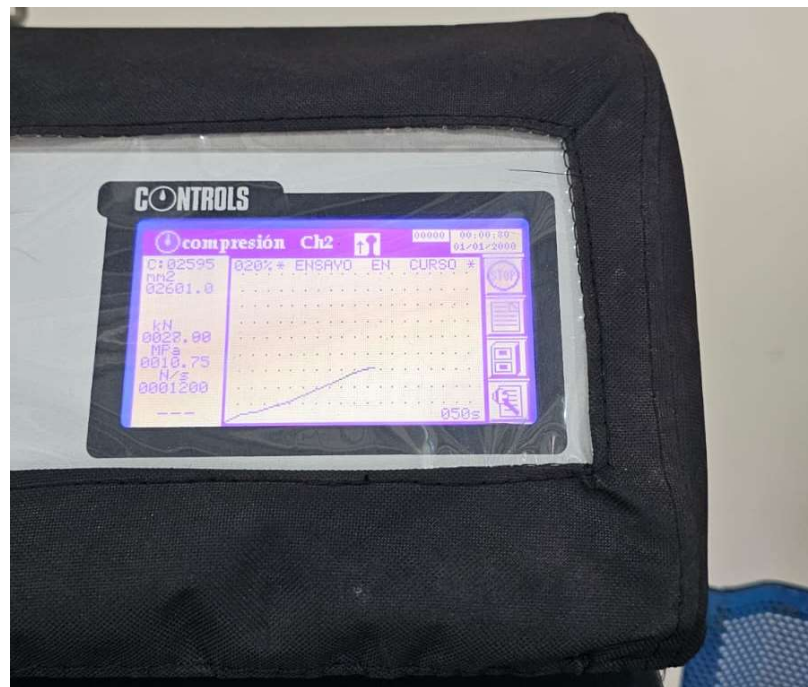
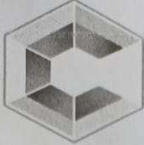


Imagen 59: Datos obtenidos en ficha para ensayos de morteros

Fuente: Autores




CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

PRUEBA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS

Solicita Consorcio Sinergia CIA. LTDA.
 Obra Muelle TPG - Muelle 402
 Fiscaliza Ing. Wong
 Fecha 22/11/2024 Contrato _____ Norma : ASTM C109 / C109M

Morteros	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga (KN)	Resist. (Mpa.)	Resist. (Kg/cm ²)	Masa (gr.)	Dimensión	Área de contacto (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso Unitario (gr./cm ³)	OBSERVACIONES
1	22/11/2024	29/11/2024	7	84,42	26,74	273,29	289,4	S,1	26,01	132,65	2,18	Mortero Max kite-H
2	22/11/2024	29/11/2024	7	75,98	24,20	247,88	291,8	S,1	26,01	132,65	2,2	Distribución:
3	22/11/2024	29/11/2024	7	69,71	34,37	350,57	293,7	S,1	26,01	132,65	2,21	3.500 Kg
4	22/11/2024	6/12/2024	14	100,26	38,54	393,08	294,7	S,1	26,01	132,65	2,22	Agra = 551 ml
5	22/11/2024	6/12/2024	14	99,44	38,22	399,85	290,3	S,1	26,01	132,65	2,19	
6	22/11/2024	6/12/2024	14	106,02	40,75	418,65	293,4	S,1	26,01	132,65	2,21	
7	22/11/2024	13/12/2024	21	111,36	43,80	436,58	293,4	S,1	26,01	132,65	2,23	
8	22/11/2024	13/12/2024	21	110,45	42,45	433,01	294,3	S,1	26,01	132,65	2,22	
9	22/11/2024	13/12/2024	21	114,48	47,00	448,81	290,8	S,1	26,01	132,65	2,19	
10	22/11/2024	20/12/2024	28	107,01	41,13	419,33	289,6	S,1	26,01	132,65	2,18	
11	22/11/2024	20/12/2024	28	114,41	43,97	448,34	294,4	S,1	26,01	132,65	2,22	
12	22/11/2024	20/12/2024	28	117,52	45,17	460,73	290,1	S,1	26,01	132,65	2,19	



M.I. Ing. Daniel De la Parra
GERENTE TÉCNICO

Revisión de formato: 01
Fecha: 08/01/18

Para las pruebas de compresión de cubos de mortero se realizaron los siguientes pasos en laboratorio:

- Se verifica que la máquina de compresión esté calibrada y en buenas condiciones.
- Se colocan las muestras cúbicas en las placas de la máquina de compresión, asegurándose de que las caras de los cubos estén en contacto completo con las placas.
- Se aplica una carga de compresión axial a las muestras de manera gradual y controlada hasta que se produce la fractura.
- Se registra la carga máxima que soporta cada muestra antes de la falla.

9.5.Cálculo de la Resistencia a la Compresión

Realizados los ensayos, las roturas dieron los siguientes resultados donde se tomará en cuenta y se proyectará una curva con los datos de carga aplicada y su resistencia.

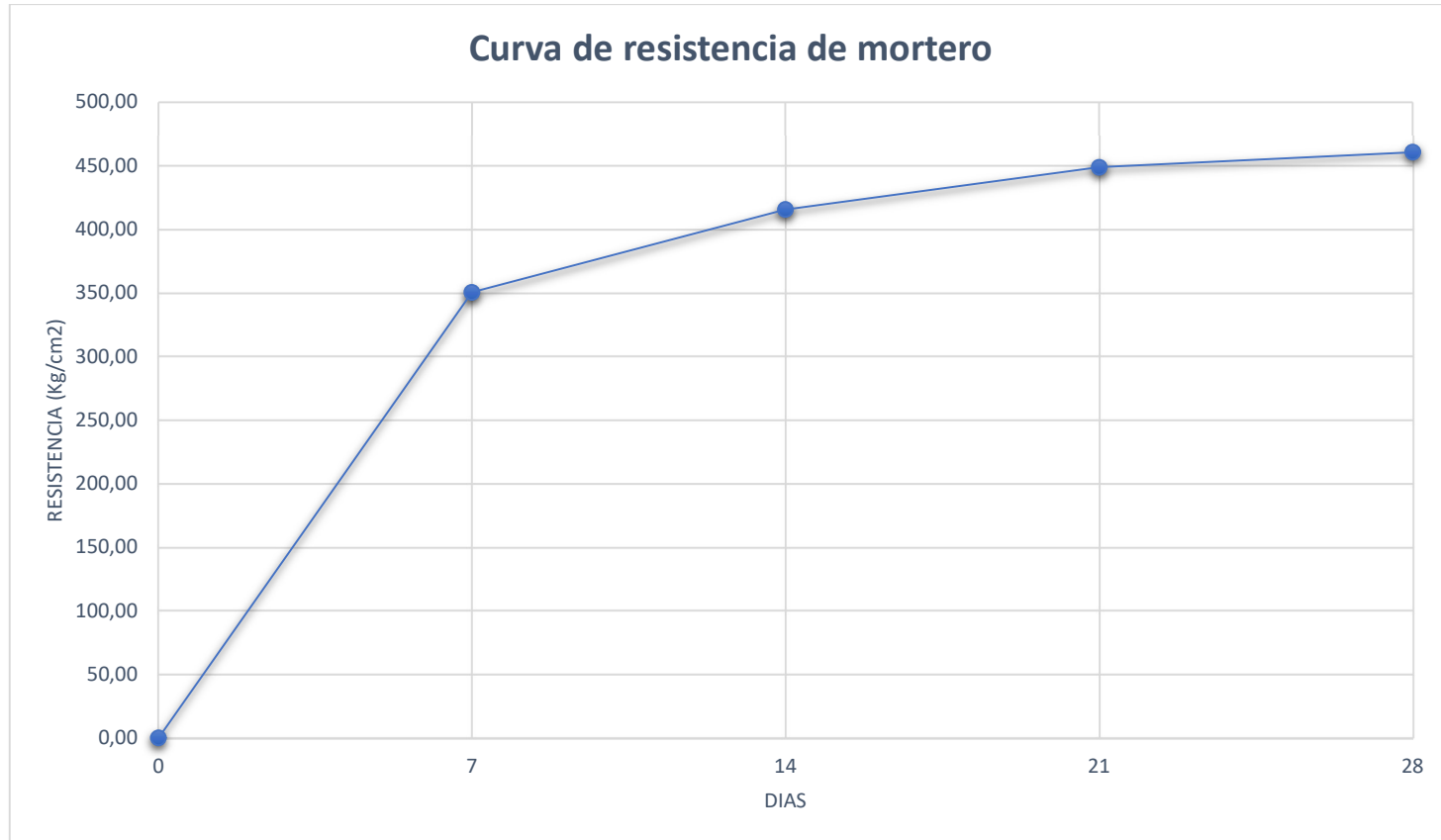
Tabla 3: Tabulación de ensayos de resistencia

Fuente: Autores propio

N° de mortero	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (Kg/cm2)	Masa (gr)	Dimensión	Área de contacto (cm2)	Volumen (cm3)	Peso unitario (gr/cm3)
1	22-nov-24	29-nov-24	7	89,42	34,37	350,57	289,4	5,1	26,01	132,65	2,18
2	22-nov-24	29-nov-24	7	75,98	29,20	297,88	291,8	5,1	26,01	132,65	2,2
3	22-nov-24	29-nov-24	7	69,71	26,79	273,29	293,7	5,1	26,01	132,65	2,21
4	22-nov-24	6-dic-24	14	100,26	38,54	393,06	294,7	5,1	26,01	132,65	2,22
5	22-nov-24	6-dic-24	14	99,44	38,22	389,85	290,3	5,1	26,01	132,65	2,19
6	22-nov-24	6-dic-24	14	106,02	40,75	415,65	293,4	5,1	26,01	132,65	2,21
7	22-nov-24	13-dic-24	21	111,36	42,80	436,58	295,4	5,1	26,01	132,65	2,23
8	22-nov-24	13-dic-24	21	110,45	42,45	433,01	294,3	5,1	26,01	132,65	2,22
9	22-nov-24	13-dic-24	21	114,48	44,00	448,81	290,8	5,1	26,01	132,65	2,19
10	22-nov-24	20-dic-24	28	107,01	41,13	419,53	289,6	5,1	26,01	132,65	2,18
11	22-nov-24	20-dic-24	28	114,41	43,97	448,54	294,4	5,1	26,01	132,65	2,22
12	22-nov-24	20-dic-24	28	117,52	45,17	460,73	290,1	5,1	26,01	132,65	2,19

Ilustración 1: Diagrama de resistencia

Fuente: Autores



10. Análisis de Resultados

La gráfica de resistencia a compresión del mortero presenta un perfil típico de este tipo de materiales, caracterizado por un aumento inicial pronunciado seguido de una estabilización. Este comportamiento es consecuencia de los procesos de hidratación del cemento y formación de la estructura cristalina del mortero. Al comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos en las normas técnicas correspondientes, se observa una excelente correlación, lo que indica que el mortero ensayado cumple con los requisitos de calidad establecidos para su aplicación. La representación gráfica, generada a partir de los datos experimentales tabulados, permite visualizar de manera clara la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo, facilitando la interpretación y comparación con los valores teóricos. Es importante destacar que el cumplimiento de las normas técnicas garantiza la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas.

10.1. Reparaciones

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran de manera concluyente que el mortero MAXRITE-F, gracias a su formulación específica que lo hace altamente resistente a los sulfatos, es un material idóneo para la reparación de estructuras portuarias expuestas a ambientes marinos agresivos. Al prolongar significativamente la vida útil de los elementos estructurales, este producto contribuye a optimizar la gestión de la infraestructura portuaria y a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo. La capacidad del MAXRITE-F para resistir los efectos adversos de la salinidad y los cambios climáticos, corroborada por los datos experimentales, lo posiciona como una solución confiable y duradera para la rehabilitación de estructuras de hormigón en zonas costeras.

10.1.1. Aplicación de mortero en juntas de muelle

La versatilidad del sistema MAXRITE-F se evidencia en su aplicación en la reparación de juntas de muelle, elementos estructurales sometidos a condiciones de servicio extremadamente exigentes. Este tipo de reparación requiere de un material con alta adherencia, resistencia a la fatiga y durabilidad, características que el sistema MAXRITE-F cumple en su totalidad. Además de restaurar la impermeabilidad y la estanqueidad de las juntas, MAXRITE-F contribuye a mejorar la resistencia a la abrasión y a la corrosión, prolongando así la vida útil de las estructuras.

El modelo explicativo de esta reparación se puede visualizar en la siguiente imagen

Imagen 60: Modelo de reparación

Fuente: Modelo de reparación de muelle, TPG, 2024

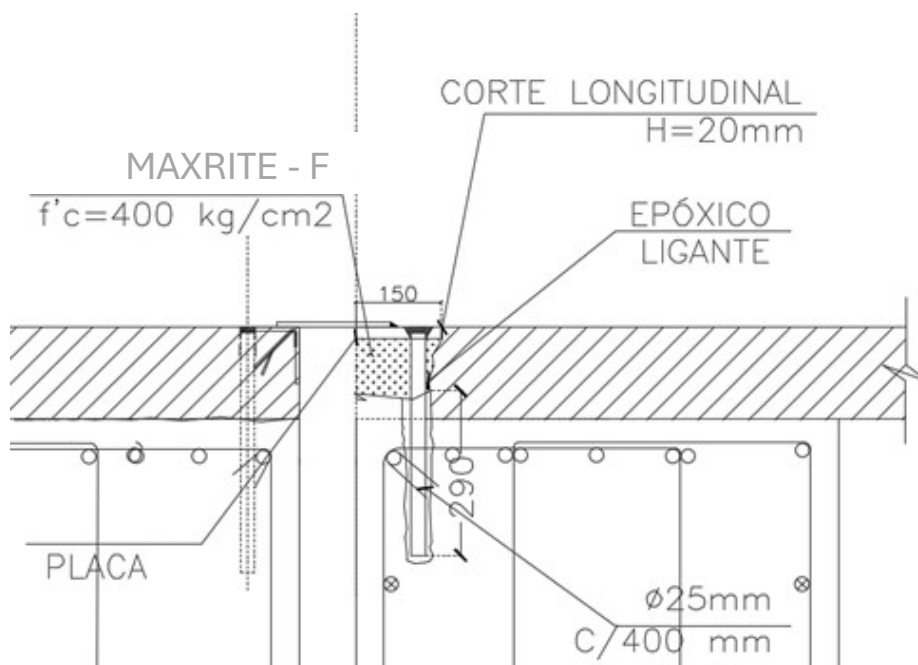
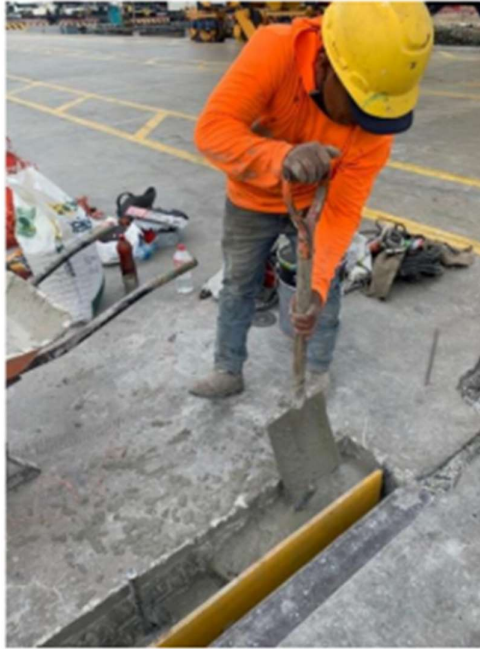


Imagen 61: Aplicación de mortero en junta de muelles

Fuente: Autores



10.1.2. Reparaciones en elementos estructurales de muelle

Los elementos estructurales del muelle portuario, sometidos a las inclemencias del ambiente marino, experimentan un deterioro acelerado debido a la corrosión de las armaduras y la degradación del hormigón. La reparación de estos elementos es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de la infraestructura. El sistema MAXRITE-F, gracias a su formulación específica y a su fácil aplicación, se ha mostrado como una solución efectiva para restaurar las zonas dañadas. Las imágenes adjuntas ilustran de manera detallada las diferentes etapas del proceso de reparación, desde la preparación de la superficie hasta el acabado final, demostrando la versatilidad y eficacia de este sistema en condiciones reales de trabajo.

Imagen 62: Reparación de bases de muelle

Fuente: Autores



Imagen 63: Aplicación de mortero

Fuente: Autores



Imagen 64: Reparaciones en hormigón

Fuente: Autores



Imagen 65: Resanes en bases

Fuente: Autores



Imagen 66: Procedimiento de reparación

Fuente: Autores



Imagen 67: Reparaciones terminadas

Fuente: Autores



Imagen 68: Reparaciones

Fuente: Autores



Imagen 69: Resanes en bases

Fuente: Autores



Imagen 70: Resanes en bases

Fuente: Autores



Imagen 71: Resanes con mortero

Fuente: Autores



Imagen 72: Resanes con mortero

Fuente: Autores



11. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficacia del sistema de reparación estructural MAXRITE-F en el muelle 2 del Terminal Portuario de Guayaquil (TPG), con el fin de prolongar la vida útil de los elementos de hormigón armado. A través de una minuciosa inspección del estado actual del muelle y la realización de ensayos de compresión en cubos de mortero MAXRITE-F, se logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos específicos planteados. Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión, respaldados por un riguroso análisis estadístico, permitieron corroborar la resistencia y durabilidad del mortero empleado en la reparación, demostrando su idoneidad para restaurar y proteger las estructuras de hormigón dañadas. En conclusión, esta investigación aporta evidencia empírica sobre la efectividad del sistema MAXRITE-F en la reparación de estructuras de hormigón marino, lo cual contribuye al fortalecimiento de la infraestructura portuaria y garantiza la continuidad de las operaciones en el Terminal Portuario de Guayaquil.

12. Bibliografía

- ASTM C805 - normas astm (2024, 16 octubre) - *Designación: C 805- Método de prueba estándar para Rebote Número de - Studocu. (n.d.). Studocu., from*
<https://studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-juan-misael-saracho/eg-ingenieria-civil-carreteras-3/astm-c805-normas-astm/70272319>.
- M. Rendón y M. Martínez (2020, enero-febrero). *Instituto Mexicano del Transporte*
Publicación bimestral de divulgación externa. Mortero de reparación con criterios de durabilidad para superficies horizontales y verticales con cimbra.
<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=499&IdBoletin=182>
- UNE-EN 1504-10 – Norma Española – (octubre 2019). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad Parte 10: Aplicación "in situ" de los productos y sistemas y control de calidad de los trabajos.*
[file:///C:/Users/Administrador/Downloads/\(EX\)UNE-EN_1504-10=2019.pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/(EX)UNE-EN_1504-10=2019.pdf)
- Baixens - España 2022 — *Química aplicada a la construcción.*
<https://www.baixens.com/espacio-tecnico/morteros-de-reparacion>
- J. Revenga (2021, Octubre). MAXRITE-F *DRIZORO CONSTRUCTION PRODUCTS.*
file:///C:/Users/Administrador/Downloads/ft_maxrite-f_esp.pdf
- Am. Torres (2022, 9 febrero). *Sistema simplificado de reparación de grietas y fisuras.* Teais.
<https://www.teais.es/materialesdeconstruccion/wpcontent/uploads/2022/01/69.pdf>
- Instituto Mexicano de transporte (2021, 10 agosto). *Determinación del estado de corrosión y capacidad de carga de los muelles del puerto de Guaymas.*
<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt336.pdf>

G. Mera (2021, 22 Julio) *Sistema de aislamiento térmico y revestimiento por el exterior.*

<https://www.teais.es/materiales-de-construccion/wp-content/uploads/2022/01/278.pdf>

A. Torres (2023, 2 marzo) *Anclajes y refuerzos.*

<https://www.teais.es/materiales-de-construccion/wp-content/uploads/2022/01/257.pdf>

P. Castillo (2022, 16 noviembre) *Preparación de soporte: reparación de estructuras*

<https://www.teais.es/materiales-de-construccion/wp-content/uploads/2022/01/268.pdf>

Ponguillo A., Cristhian J., Quinancela C. (2020, febrero) *Reparación y Reforzamiento de Los Muros de Mampostería Aplicado a la Unidad de Flagrancia en la av. de Las Américas de la Ciudad de Guayaquil.* <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37058>

Castillo Edison (2022, 2 junio) *Investigación de las causas de fallas y daños a la estructura de una edificación de 4 plantas, aplicando los respectivos ensayos y soluciones para su rehabilitación.*

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54240/1/T-70643%20CASTILLO%20EDISSON.pdf>

Cóndor Defaz (2023, agosto) *Estudio de morteros para reparación arqueológica y*

patrimonial: metacaolín. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25217>

Río Bueno Alfonso (2021, 2 noviembre). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación.*

https://oa.upm.es/1159/1/LIBRO_RIO_BUENO_01.pdf

American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM C109/C109M -

M16a. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube Specimens) Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. (2006). ASTM C207. Standard Specificaion
for Hydrated Lime for Masonry Purposes. Anual Book of ASTM Standards.
Philadelphia: ASTM International.