



FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES FRENTE AL ATAQUE DE CLORUROS EN AMBIENTES MARINOS, TRUJILLO 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

CARMEN ROSA GOMEZ ECHEVARRIA

JAMESON HANMER FERNANDO MEDINA NOVOA

Asesor:

Mg. Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

<https://orcid.org/0000-0001-9018-5763>

Trujillo – Perú

2023

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|---------------------------|----------|
| Jurado 1 Presidente(a) | German Sagastegui Vásquez | 45373822 |
| | Nombre y Apellidos | DNI |

| | | |
|----------|---------------------------------|----------|
| Jurado 2 | Roxana Milagros Aguilar Villena | 44465453 |
| | Nombre y Apellidos | DNI |

| | | |
|----------|-------------------------|----------|
| Jurado 3 | Luis Alberto Alva Reyes | 42013371 |
| | Nombre y Apellidos | DNI |

INFORME DE SIMILITUD

Revision Tesis Gomez&Medina

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 18% | 18% | 2% | 1% |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 4% |
| 2 | eprints.uanl.mx Fuente de Internet | 3% |
| 3 | repository.ucatolica.edu.co Fuente de Internet | 2% |
| 4 | dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet | 2% |
| 5 | www.scielo.cl Fuente de Internet | 2% |
| 6 | repository.usta.edu.co Fuente de Internet | 2% |
| 7 | revistaalconpat.org Fuente de Internet | 1% |
| 8 | esp.sika.com Fuente de Internet | 1% |
| 10 | repository.uladech.edu.pe docplayer.es Fuente de Internet | 1% |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de investigación a mi madre, Gladys Novoa Marquina que con su apoyo, consejos y comprensión me brindó enseñanzas, valores y principios que me ayudaron a formarme como una persona perseverante para conseguir mis objetivos y metas trazadas además de enseñarme a ver en cada obstáculo la oportunidad para superarme y dar lo mejor de mí. A mi hermano Joseph Medina Novoa quien han sido de gran ayuda en mi vida ya que siempre he contado con su apoyo. A mis abuelos Oswaldo Novoa Gutiérrez y Elisa Marquina Vidal por su apoyo, sabios consejos y su amor incondicional hasta el día de su partida. A mi padre Jose Fernando Medina Zavaleta, que a su manera me dio su apoyo y cariño para lograr este objetivo, hoy en el cielo siempre lo tendré presente. A mi mentor y asesor: Ing. Alberto Ruben Vásquez Días que con paciencia, tiempo y asesoría me apoyó en el camino de elaboración de esta tesis.

Jameson Hanmer Fernando Medina Novoa.

Dedico mi proyecto de investigación a toda mi familia, principalmente a mi madre, Olga Echevarría García que me brindó su apoyo y confianza; Gracias por tu paciencia, comprensión y por enseñarme afrontar las dificultades con tus consejos, sobre todo por creer en mí, cada una de tus palabras las llevo siempre presente. A mi padre Fausto Gómez Culque, que estuvo en los momentos buenos y malos; Gracias por enseñarme a ser perseverante, has sido mi guía durante estos años, siempre me alentaste a no rendirme para lograr mis objetivos. A mi abuela Juana Culque Acuña que siempre estuvo conmigo, hoy en el cielo, siempre la llevare en mi corazón. A mis hermanos Jessica y Jhon que de una manera u otra me brindaron su apoyo y cariño. A mi asesor: Ing. Alberto Rubén Vásquez Días por su paciencia y el tiempo brindado para lograr la culminación de esta tesis.

Carmen Rosa Gómez Echevarría.

AGRADECIMIENTO

Padres:

Agradecer a mi familia por formar parte de mis logros, ya que estuvieron conmigo durante el proceso de mi educación y superación, como también un agradecimiento a mi hermano y abuelos.

Docentes:

A nuestros docentes que con sus enseñanzas y conocimiento aportaron al desarrollo de mi formación profesional y personal.

Amigos:

Agradecer a mis amigos quienes presenciaron este momento de crecimiento y éxito profesional apoyándome en diferentes momentos de la vida, siendo los siguientes: Anderson, Walter, Claudia y Esmeralda, mis mejores amigos.

Jameson Hanmer Fernando Medina Novoa.

Padres:

Agradecer a mi familia por formar parte de mis logros, tuvieron palabras de aliento para cada dificultad que se presentó.

Docentes:

A nuestros docentes que con sus enseñanzas y conocimiento aportaron al desarrollo de mi formación profesional y personal.

Carmen Rosa Gómez Echevarría.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| JURADO EVALUADOR | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| RESUMEN | 11 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 12 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 29 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 43 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 60 |
| REFERENCIAS | 73 |
| ANEXOS | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Diseño de investigación. | 32 |
| Tabla 2. Matriz de clasificación de variables. | 33 |
| Tabla 3. Matriz de operacionalización de la variable recubrimientos superficiales. | 34 |
| Tabla 4. Tamaño de muestra de la investigación. | 35 |
| Tabla 5. Matriz de categorización. | 38 |
| Tabla 6. Búsqueda de información. | 42 |
| Tabla 7. Nacionalidad de estudios. | 43 |
| Tabla 8. Recubrimientos superficiales utilizados por cada estudio. | 45 |
| Tabla 9. Permeabilidad al ion cloruro según el recubrimiento superficial empleado. | 46 |
| Tabla 10. Ficha resumen de la investigación 01. | 82 |
| Tabla 11. Ficha resumen de la investigación 02. | 83 |
| Tabla 12. Ficha resumen de la investigación 03. | 84 |
| Tabla 13. Ficha resumen de la investigación 04. | 85 |
| Tabla 14. Ficha resumen de la investigación 05. | 86 |
| Tabla 15. Ficha resumen de la investigación 06. | 87 |
| Tabla 16. Ficha resumen de la investigación 07. | 88 |
| Tabla 17. Ficha resumen de la investigación 08. | 89 |
| Tabla 18. Ficha resumen de la investigación 09. | 90 |
| Tabla 19. Ficha resumen de la investigación 10. | 91 |
| Tabla 20. Ficha resumen de la investigación 11. | 92 |
| Tabla 21. Ficha resumen de la investigación 12. | 93 |
| Tabla 22. Ficha resumen de la investigación 13. | 94 |
| Tabla 23. Ficha resumen de la investigación 14. | 95 |
| Tabla 24. Ficha resumen de la investigación 15. | 96 |
| Tabla 25. Ficha resumen de la investigación 16. | 97 |
| Tabla 26. Ficha resumen de la investigación 17. | 98 |
| Tabla 27. Ficha resumen de la investigación 18. | 99 |
| Tabla 28. Ficha resumen de la investigación 19. | 100 |
| Tabla 29. Ficha resumen de la investigación 20. | 101 |
| Tabla 30. Matriz de categorización de la investigación 01. | 102 |
| Tabla 31. Matriz de categorización de la investigación 02. | 103 |
| Tabla 32. Matriz de categorización de la investigación 03. | 104 |
| Tabla 33. Matriz de categorización de la investigación 04. | 105 |
| Tabla 34. Matriz de categorización de la investigación 05. | 106 |
| Tabla 35. Matriz de categorización de la investigación 06. | 107 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 36. Matriz de categorización de la investigación 07. | 108 |
| Tabla 37. Matriz de categorización de la investigación 08. | 109 |
| Tabla 38. Matriz de categorización de la investigación 09. | 110 |
| Tabla 39. Matriz de categorización de la investigación 10. | 111 |
| Tabla 40. Matriz de categorización de la investigación 11. | 112 |
| Tabla 41. Matriz de categorización de la investigación 12. | 113 |
| Tabla 42. Matriz de categorización de la investigación 13. | 114 |
| Tabla 43. Matriz de categorización de la investigación 14. | 115 |
| Tabla 44. Matriz de categorización de la investigación 15. | 116 |
| Tabla 45. Matriz de categorización de la investigación 16. | 117 |
| Tabla 46. Matriz de categorización de la investigación 17. | 118 |
| Tabla 47. Matriz de categorización de la investigación 18. | 119 |
| Tabla 48. Matriz de categorización de la investigación 19. | 120 |
| Tabla 49. Matriz de categorización de la investigación 20. | 121 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ejemplo de gráfico de barras y gráfico de líneas. | 39 |
| Figura 2. Procedimiento de la investigación. | 39 |
| Figura 3. Búsqueda de información. | 42 |
| Figura 4. Nacionalidad de estudios. | 43 |
| Figura 5. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-01. | 48 |
| Figura 6. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-02. | 48 |
| Figura 7. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-03. | 49 |
| Figura 8. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-04. | 49 |
| Figura 9. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-05. | 50 |
| Figura 10. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-06. | 50 |
| Figura 11. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-07. | 51 |
| Figura 12. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-08. | 52 |
| Figura 13. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-09. | 52 |
| Figura 14. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-10. | 53 |
| Figura 15. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-11. | 54 |
| Figura 16. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-12. | 55 |
| Figura 17. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-13. | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-14. | 56 |
| Figura 19. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-15. | 57 |
| Figura 20. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-16. | 57 |
| Figura 21. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-17. | 58 |
| Figura 22. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-18. | 58 |
| Figura 23. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-19. | 59 |
| Figura 24. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-20. | 59 |
| Figura 25. Recubrimiento superficial que presenta mejor comportamiento según el porcentaje de reducción de permeabilidad al ion cloruro, obtenido del análisis de todos los estudios considerados. | 60 |
| Figura 26. Material complementario utilizado que presenta mejor comportamiento según el porcentaje de reducción de permeabilidad al ion cloruro, obtenido del análisis de todos los estudios considerados. | 61 |
| Figura 27. Matriz para evaluación de experto del instrumento de recolección de datos. | 79 |
| Figura 28. Formato de la ficha resumen. | 81 |
| Figura 29. Formato de la matriz de categorización. | 81 |

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en Trujillo, mediante un análisis de la importancia de los diferentes tipos de recubrimientos superficiales en la protección frente al ataque de cloruros en ambientes marinos; haciendo hincapié en el problema de que el concreto que se encuentra expuesto a ambientes marinos, sufrirá patologías que generarán su deterioro prematuro, por lo que se intenta tomar medidas preventivas ante esta problemática, siendo una de ellas la aplicación de recubrimientos superficiales para ayudar a reducir el impacto del ataque de cloruros presentes en dichos lugares, para ello se tomaron 20 estudios como muestra los cuales fueron analizados en base a los valores obtenidos por el ensayo de permeabilidad al ion cloruro; llegando a concluir que los recubrimientos utilizados muestran resultados aceptables pues logran reducir la permeabilidad al ion cloruro en más del 50% en su mayoría, siendo el revestimiento a base de cemento, mortero cementoso modificado con polímero y el epoxico comercial los recubrimientos que presentan mejores comportamientos, ya que alcanzaron reducir en un 99%, 98% y 97% respecto a una muestra de concreto patrón o sin recubrir.

Palabras clave: recubrimientos superficiales, ataque de cloruros, ambientes marinos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El concreto es un material de gran demanda en la construcción, ya que gracias a él se realizan diversas estructuras capaces de solucionar problemas, atender necesidades y mejorar la calidad de vida de las personas. Dichas estructuras están compuestas de elementos de concreto simple y concreto reforzado, según los requerimientos propios de cada obra, ya que los agentes que las afecten varían según la ubicación donde se desempeñen; pudiendo encontrarse en zonas de temperaturas extremas, zonas cercanas a ambientes marinos, zonas tropicales, zonas sísmicas, etc. En el caso específico de estructuras expuestas a ambientes marinos, se deben tener en cuenta ciertas patologías que pueden comprometer su correcto desempeño durante el tiempo de vida para las que fueron diseñadas. Dentro de las patologías se puede mencionar el ataque de los cloruros, los mismos que se muestran en mayor cantidad en este tipo de entornos. Dichos agentes causan que el concreto se deteriore y desintegre con el tiempo; ya que, al ser un material poroso, las sales ingresan y se cristalizan en su interior, generando desprendimiento del recubrimiento y corrosión del acero si se tratase de concreto reforzado. Frente a este problema, existen diversas soluciones estudiadas por muchos autores a nivel mundial, siendo algunas de ellas la reducción de la relación agua/cemento, la adición de aditivos plastificantes a la mezcla, el aumento del espesor en el recubrimiento del acero y la aplicación de diferentes tipos de recubrimientos superficiales.

Medeiros et. al (2015), en Brasil, comentan que, el uso de protección de superficie en el concreto es una posibilidad de aumentar la vida útil de estructuras expuestas a ambientes marinos. Este tipo de protección inhibe la penetración de agentes agresivos por difusión, migración y absorción por capilaridad. Los materiales de protección de superficie para concreto pueden ser clasificados en tres grupos: hidrofugantes (repele el agua), bloqueadores de poros (reaccionan con algunos componentes solubles del concreto y forman productos insolubles) y formadores de película (forman una película continua en la superficie del concreto).

Carvajal y Jorquera (2010), en Chile, señalan que, actualmente las estructuras de hormigón están expuestas a ambientes física y químicamente adversos desde la etapa de construcción y los daños causados por estos agentes agresivos afectan la calidad final del hormigón y de la estructura. También, dos de los factores más importantes que pueden afectar el comportamiento del hormigón armado son: la corrosión de las barras de acero debido a los iones cloruro y la carbonatación; la resistencia que el hormigón pueda ofrecer ante estos agentes agresivos dependerá, entre otros, de su composición química, de la microestructura de la matriz de cemento y de las condiciones ambientales a las cuales la estructura vaya a estar sometida.

Vera et. al (2005), en Chile, indican que, la vida de servicio de una estructura de hormigón se ve reducida por su interacción con el medio, sufriendo deterioro prematuro por reacciones con sustancias agresivas presentes en el ambiente. En general, la durabilidad del hormigón está relacionada con su naturaleza, su resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión y a causas mecánicas.

Rodríguez (2017), en Cuba, señala que, por la situación geográfica de su país, las construcciones cerca de las costas se encuentran expuestas a ambientes agresivos por la

influencia del mar y por lo tanto son afectados por los iones cloruros los cuales penetran en el hormigón mediante poros y fisuras, son responsables por la corrosión del acero de refuerzo. Al llegar a la superficie del metal, los cloruros provocan que la corrosión se desencadene y se manifieste de diversas formas: una sobre el acero, con una disminución de su diámetro inicial y por tanto en su capacidad mecánica; otra sobre el concreto, debido que al generarse la acumulación de óxidos expansivos en la interface de acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos.

Cruz y Cisneros (2019), en Colombia, señalan que, las estructuras en concreto reforzado en Colombia están sometidas a diferentes tipos de climas y microclimas, que generarán distintos medios agresores en menor o mayor grado al material. Al ser un País con más de 3000 km de costas marítimas, y contar con grandes concentraciones urbanas en esta zona (Cartagena, Santa Marta, Buenaventura etc.) el principal agente agresor del concreto en estas zonas son los iones cloruros.

En nuestro país, el desarrollo de las estructuras de concreto armado es controlado mediante el cumplimiento de los diferentes parámetros estipulados en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Por otro lado, a nivel internacional, el material mencionado es controlado por el Instituto Americano del Concreto cuyas siglas en inglés son A.C.I. a través de su última norma, el ACI 318-19.

Medeiros et al. (2015), luego de observar que los resultados indican que el sistema de protección más eficiente puede reducir el coeficiente de difusión de cloruros en el concreto armado en 71%., llegaron a concluir que, la protección de superficie del concreto puede ser un medio eficiente de inhibición de la penetración de cloruros en concreto. Consecuentemente, los sistemas de protección deben ser usados para aumentar la vida útil del concreto armado en ambientes influenciados por el mar.

Carvajal y Jorquera (2010), llegaron a concluir que entre los morteros con 10%, 15% y 20% de acrílico no se aprecia un comportamiento más favorable para el de mayor porcentaje de acrílico, salvo en la primera exposición a cloruros, en que al término de esta etapa las probetas con 20% de acrílico tienen un valor de potencial de corrosión menos negativo que el resto. Esto es interesante, ya que el acrílico en mayor porcentaje es solo más costoso, pero no más protector.

Vera et. al (2005), luego de observar que los resultados preliminares mostraban al acero de refuerzo del hormigón, en todas las muestras, en estado pasivo; concluyen que la protección de los recubrimientos epóxicos resulta de mayor beneficio en comparación con los recubrimientos acrílicos.

Rodríguez (2017), luego de realizar sus ensayos aplicando diferentes recubrimientos superficiales, pudo concluir que el transporte de iones cloruros en hormigones con recubrimiento de pintura esmalte resulta inferior a otros recubrimientos ensayados, producto que esta pintura se adhiere de mejor forma a la superficie de la muestra, dejándola prácticamente impermeable al paso de líquidos.

Cruz y Cisneros (2019), luego de realizar sus ensayos y en base a sus resultados concluyen que, la muestra evaluada con aditivo inhibidor de corrosión presenta un valor en el ensayo de 5150 Coulomb, indicando un valor alto de permeabilidad de ion cloruro, típicamente se esperaría que este valor fuera menor, sin embargo, en la literatura se encuentra que algunos materiales cementantes suplementarios y los aditivos inhibidores de corrosión cambian la composición química del agua que se encuentra en los poros proporcionando no representativos en el ensayo. Por otro lado, sostiene que el diseño del concreto por durabilidad debe ser prioridad para garantizar obras más resistentes y

seguras al paso del tiempo y de los agentes externos que día a día están interactuando de forma dinámica en las estructuras de concreto reforzado.

Teniendo en cuenta la información señalada por los diferentes autores mencionados, se puede rescatar que el concreto que se encuentra expuesto a ambientes marinos, sufrirá patologías que generarán su deterioro prematuro, por lo que se debe tomar medidas preventivas ante esta problemática, siendo una de ellas la aplicación de recubrimientos superficiales para ayudar a reducir el impacto del ataque de cloruros presentes en dichos lugares. Por tal motivo, se realizará un análisis de los tipos de recubrimiento utilizado en diferentes estudios internacionales con la finalidad de verificar su efectividad.

Sika (s.f.) comenta que las dos causas más universales de corrosión del refuerzo y daño al concreto son la carbonatación y el ataque de cloruro. Cuanto más rápido el dióxido de carbono o los cloruros penetren en el concreto, antes se destruirá la capa pasiva alrededor de las barras de refuerzo y se iniciará el proceso de corrosión. Comprender la causa raíz de la corrosión del acero determina la estrategia de reparación y protección más efectiva. Para garantizar una durabilidad duradera, los propietarios y su gerencia de construcción deben seguir una estrategia de mantenimiento adecuada. Para proporcionar una protección específica, como la resistencia a la carbonatación o a la resistencia química, se puede aplicar una capa protectora formadora de película sobre la superficie. Tales recubrimientos protectores están disponibles como sistemas rígidos, plastoelásticos o elásticos.

Uno de los ambientes agresivos que presenta mayores desafíos a una estructura es el marino, debido a la presencia de agentes desencadenantes como los cloruros, sulfatos, dióxido de carbono y oxígeno, que bajo condiciones propicias pueden generar problemas de corrosión del acero de refuerzo, carbonatación y expansiones por ataque de sulfatos.

El daño en las estructuras de concreto reforzadas ocurre por tres factores principales: la presencia de agua, la exposición a los agentes agresivos del medio y la porosidad o permeabilidad del concreto ocasionada por una relación alta de agua/material cementante, un curado deficiente, presencia de microfisuras o una colocación inadecuada. Esta porosidad permite que al concreto ingrese agua que transporta los agentes agresivos, con lo cual comienza el proceso de deterioro debido a los efectos de la corrosión del acero de refuerzo o a reacciones adversas en la matriz de cemento, lo que lleva finalmente a disminuir la durabilidad de la estructura. (Torres, 2016).

La penetración de iones cloruros en el hormigón armado depende de las condiciones de exposición a la cuales pudieran estar sometidas las estructuras, las más comunes son: el aerosol marino y el contacto directo con el agua de mar. Los efectos de la penetración de estos iones constituyen una de las causas fundamentales en el deterioro de las estructuras, debido a que al llegar a la barra de refuerzo aceleran de manera considerable el proceso de corrosión. (Castañeda et. al, 2005).

La corrosión del acero de refuerzo genera agrietamientos en la matriz de concreto, lo que hace que el conjunto estructural vaya perdiendo gradualmente su resistencia, y sea más vulnerable ante los efectos de cargas dinámicas y estáticas. (Santamaría, 2006).

Es de gran importancia llevar a cabo esta investigación relacionada a la protección de los elementos de concreto armado, que se encuentran expuestos a ambientes marinos, mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros; quienes afectan sus propiedades y desempeño, menguando así su periodo de vida útil. Considerando esto, Carvajal y Lambert (2006), comentan que, si la composición del hormigón no es la adecuada para resistir las influencias exteriores y preocupa un deterioro posterior debido a condiciones ambientales ya existentes, es necesario tomar medidas para minimizar o

detener este proceso, una de ellas es proteger la superficie con recubrimientos que permitan una vida útil similar a la proyectada.

1.2. Antecedentes de la investigación

Medeiros et al. (2015), tuvieron como objetivo analizar las contribuciones con respecto a los tres sistemas típicos de protección superficial del hormigón (capas protectoras, revestimientos y bloqueadores de poros) para poder discutir los resultados arrojados, el diseño de la investigación es de tipo experimental, la metodología de desarrollo consistió en la utilización de tres pruebas; la primera de mecanismo de permeabilidad (absorción por inmersión a baja presión); la segunda de absorción de agua por capilaridad; y la tercera de migración para estimar el coeficiente efectivo de difusión de cloruros en estado saturado. Los resultados muestran que el tratamiento de la superficie del concreto con silicato de sodio redujo el coeficiente de difusión de cloruro pudiendo extender significativamente su vida útil, cuando el concreto es expuesto a dichas soluciones. Por otra parte, se observó la reducción de absorción de agua de inmersión; sin embargo, este tipo de producto no impermeabiliza el concreto y no es adecuado para ser aplicado en condiciones de encharcamiento de agua, como albercas y tanques. La conclusión fue que el tratamiento con silicato de sodio puede aumentar la vida útil de la misma manera que un revestimiento de poros de silano/siloxano y un revestimiento acrílico; sin embargo, la protección con recubrimiento de poliuretano fue la que resultó más eficiente. (p.9695).

Esta investigación nos deja como aporte que existen diversos tipos de recubrimientos para la superficie del concreto con la finalidad de protegerlo, sin embargo, se deben tener en cuenta las características del ambiente donde se utilice. Asimismo, de los tres tipos de recubrimientos utilizados, demuestran que el de poliuretano fue el de mejor comportamiento en base a las pruebas realizadas; y el

recubrimiento de silicato de sodio no es adecuado para ser aplicado en ambientes de encharcamiento de agua.

Carvajal y Jorquera (2010), se plantearon como objetivo determinar el efecto del ambiente marino-industrial en estructuras de hormigón armado que poseen protección superficial de mortero con acrílico incorporado. La metodología se ajustó a procedimientos experimentales apoyándose de probetas cilíndricas sometidas en ambientes marinos e industriales para medir la profundidad de carbonatación y el potencial de corrosión según la norma ASTM C876, el diseño de la investigación fue experimental, luego de medir el potencial de corrosión durante el proceso de inmersión a edades de 0, 1, 4 y 8 días; así como el proceso de carbonatación a edades de 0, 5, 7 y 14 días; los resultados muestran que, durante la primera etapa de exposición a cloruros, las probetas patrón evidencian potenciales menores a -400mV después del segundo ciclo de inmersión y secado. Por el contrario, las probetas con mortero acrílico mantienen valores superiores a -300mV , lo que significa la pasividad del acero interior del concreto. Luego del tercer ciclo las probetas que contienen 20% de mortero acrílico poseen menos riesgo de presentar corrosión por tener un potencial mayor a -250mV . En la segunda etapa de penetración de cloruros, los resultados evidencian el estado activo de los aceros interiores del concreto armado con valores menores a -450mV . Para el caso de la profundidad de carbonatación, los valores indican que entre las probetas no existe diferencia significativa. La conclusión a la que llegaron los autores fue que, el ambiente acelerado marino industrial es más adverso para el hormigón armado que un ambiente marino o industrial por separado; además, entre los recubrimientos de mortero con 10%,

15% y 20% de acrílico, no se aprecia un comportamiento más ventajoso para el de mayor porcentaje. (p.114)

El aporte que nos deja este estudio está referido a que no siempre un mayor porcentaje de recubrimiento empleado supondrá mejores resultados, como en este caso, el recubrimiento acrílico incluso frente al concreto patrón.

Vera et al. (2005), tuvieron como objetivo estudiar el efecto protector en ambientes industriales de recubrimientos aplicados sobre hormigón armado, el diseño de la investigación fue experimental, la metodología consistió en preparar un concreto de relación agua/cemento de 0,55 el mismo que fue caracterizado mediante ensayos físicos y mecánicos, como resistividad eléctrica, absorción capilar, porosidad efectiva, permeabilidad a cloruros y resistencia a la tracción y compresión. Las probetas que no se pintaron y otras en las que se aplicaron recubrimientos del tipo epóxico y acrílico se expusieron a una solución ácida artificial, simulando las que se utilizan en plantas mineras, durante 56 días. La corrosión de la armadura fue evaluada por medidas de potencial de corrosión y resistencia de polarización. Por otra parte, el deterioro propio del concreto y su contaminación se determinó midiendo el perfil de profundidad de cloruro, de acidez y de sulfato. Los resultados muestran que, a 56 días de exposición al medio ácido industrial, la apariencia de las probetas sin recubrimiento presenta pérdida de masa y formación de poros; pero en menor grado para las que fueron pintadas con acrílico. En cambio, las que fueron protegidas con epóxico, simplemente muestran variación en la tonalidad de color del recubrimiento. Por otro lado, el recubrimiento que presenta mejor comportamiento como barrera al medio ácido, según el ensayo de la fenolftaleína, fue el recubrimiento epóxico; siendo reforzado por los valores de pH arrojados en función de la profundidad en el hormigón. Para el caso del contenido de

cloruro en el concreto, en base los resultados mínimos alcanzados, se logra confirmar el estado pasivo del acero a los 56 días de ensayo en las probetas sin y con recubrimientos. Las conclusiones que dejan esta investigación son, en primer lugar, que el acero de refuerzo se encuentra en estado pasivo en todos los hormigones analizados (con y sin recubrimiento); y, el mejor comportamiento entre los recubrimientos utilizados va en el orden epóxico 2 > epóxico 1 > acrílico. (p.17)

El aporte que nos deja este estudio concuerda con lo concluido en las investigaciones anteriores, donde el recubrimiento acrílico resulta menos eficiente en comparación de otros tipos de recubrimiento empleados. Además, evidencia también la pasividad del acero interno del concreto armado.

Rodríguez (2017), tuvo como objetivo determinar la influencia de protecciones secundarias mediante recubrimientos superficiales en la penetración de los iones cloruros. La metodología de su investigación fue de tipo experimental ya que consistió en el desarrollo de diversos análisis para la evaluación de la durabilidad de los concretos hidráulicos antes de la penetración de iones cloruros empleando diversos materiales como protección secundaria del acero de refuerzo. Para cumplir lo que se quiere, se realizaron probetas de concreto, las mismas que fueron curadas durante 28 días para someterlas al ensayo de migración de iones cloruros según la ASTM C 1020. Los resultados muestran que el transporte de iones cloruros en concretos donde se aplicó recubrimiento de pintura esmalte, resulta inferior frente a otros recubrimientos empleados; esto debido a que la pintura en mención se adhiere a la superficie, dejándola prácticamente impermeable. Las conclusiones a las que llega el autor indican que, la durabilidad del concreto hidráulico en ambientes agresivos se ve afectada por la corrosión de la armadura de refuerzo

provocado por los mecanismos de transporte del ion cloruro como la permeabilidad, disfunción y/o absorción.

Por otra parte, la carbonatación lleva a la disminución del pH, eliminando así la pasivación del acero. Ésta es sensible a la humedad relativa del ambiente donde se encuentra el concreto y se ve influenciada por su curado inicial. (p.38)

El aporte que nos brinda este estudio se basa en el uso de otro tipo de recubrimiento aún no mencionado por las investigaciones anteriores, como la pintura esmalte, la misma que según el autor es muy eficiente ya que impermeabiliza la superficie de concreto.

Cruz y Cisneros (2019), se plantearon como objetivo evaluar la efectividad de la mitigación a la permeabilidad del ion cloruro con las modificaciones al diseño de mezcla.

La metodología desarrollada en la presente investigación fue experimental y consistió en la realización de ensayos RCPT (Rapid Chloride Permeability Test), así como la documentación del nivel de ingreso de cloruros por medio de la aspersion de nitrato de plata sobre especímenes que se sumergieron en una solución de cloruros por 28 días.

Como resultados arrojados por el ensayo RCPT se tiene en primer lugar el valor de 3789 Coulomb, para concretos de relación a/c de 0.65, lo cual indica que éstos no resisten la agresión de iones cloruro, relacionándolos con una permeabilidad moderada. En segundo lugar, se observa que para concretos de relación a/c de 0.45, la permeabilidad al ion cloruro reduce en un 35%; mientras que para concretos de relación a/c de 0.30, la reducción de permeabilidad se da en un 67% respecto al patrón (a/c 0.65). La conclusión a la que llegan los autores es que, al densificar la pasta se logrará una disminución de la permeabilidad del ion cloruro, siendo ése uno de los métodos más efectivos; ya disminuirán los espacios entre los granos de cemento por efecto de la disminución de la relación a/c. Otra de las formas para disminuir el ataque de iones cloruros, es la utilización

de cementantes puzolánicos como la ceniza volante, la misma que logró demostrar mayor efectividad que la disminución de la relación a/c.

Finalmente, para el aditivo inhibidor de corrosión se concluyó que su uso no resulta efectivo, pues los resultados arrojaron valores altos de permeabilidad de ion cloruro, debido a que dicho aditivo cambia la composición química del agua que se encuentra en los poros del concreto según asegura la literatura revisada por los autores. (p.68)

El aporte que nos deja esta investigación es que existen diferentes métodos para lograr la reducción de permeabilidad de ion cloruro, siendo el más efectivo la utilización de ceniza volante en el concreto respecto al recubrimiento superficial considerado por los autores.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Concreto

Es una mezcla de dos componentes: pasta y agregados. El primero, conformado por el cemento Pórtland, agua y aire; y el segundo, conformado por el agregado fino (arena) y agregado grueso (grava o piedra triturada). La calidad del concreto tiene una relación directa con la calidad de la pasta de cemento, la cual a la vez está directamente relacionada con la calidad de agua utilizada y el tipo de curado. Además, la resistencia de la pasta se eleva al disminuir la cantidad de agua, resultando así un concreto más duradero. (Díaz, 2012).

a) Componentes del concreto

- **Cemento**

El cemento es el ingrediente más importante, ya que debido al contacto que tiene con el agua, genera una reacción química la cual es responsable del endurecimiento del concreto. Los componentes principales del cemento son: caliza, arcilla, yeso, arena y mineral de hierro, los mismos que pueden ser obtenidos de canteras y minas. En el

proceso de producción intervienen cuatro etapas, siendo éstas la extracción, homogeneización, producción del Clinker y molienda. (Blandino, 2016).

- Agua

El agua es el elemento que cumple dos funciones importantes en la mezcla de concreto. En primer lugar, debido a la reacción química con el cemento generan la parte sólida de la pasta, que es lo que le da resistencia al concreto; en segundo lugar, permite la manejabilidad de la mezcla, la cual viene a ser una propiedad importante para obtener un concreto homogéneo y compacto. La cantidad de agua a utilizar tiene un rango o un valor óptimo, ya que al usar poca agua se tendrá un concreto denso y seco difícil de compactar y homogeneizar; de igual manera, al usar mucha agua dará lugar a la formación de poros cuando ésta se evapore y favorecerá la segregación; es así que, de las dos formas se obtendrá como resultado un concreto débil. (Hurtado, 2020).

Agua de amasado: El agua de amasado, tiene una doble función en el concreto, por un lado, interviene en la reacción de hidratación del cemento, y por otro brinda al concreto cierto grado de trabajabilidad adecuada para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua para obtener una trabajabilidad requerida sin afectar las condiciones finales del concreto, siempre es mayor a la necesaria para la hidratación completa del cemento (22-25%). (Hurtado, 2020).

Agua de curado: El agua de curado viene a ser muy importante en la etapa de fraguado y el primer endurecimiento del concreto, ya que evita la desecación, mejora la hidratación del cemento y evita la retracción prematura. La acción del agua de curado es más duradera que el agua de amasado; por este motivo, se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales. (Hurtado, 2020).

- **Agregados**

Los agregados que se utilizan en el concreto se dividen en dos grupos: Agregados gruesos y finos. Los agregados gruesos constituyen las gravas y los finos las arenas naturales o manufacturadas. Los agregados representan alrededor del 60-75% del volumen del concreto, de ahí radica la importancia de su calidad, ya que impacta de forma significativa en el comportamiento final del concreto. (Ramírez, 2010).

Agregado fino: Las arenas o agregados finos son las partículas de un agregado cuyo tamaño supera a 0.075mm (malla N°200) y menor a 4.75 mm (malla N°4). En ellas es frecuente encontrar ciertos contaminantes como material fino que pasa la malla N°200, el cual puede tratarse de arcilla, limos y/o polvo de trituración de roca. (Ramírez, 2010).

Agregado grueso: los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas son superiores a 5mm y se encuentran entre 9.5mm y 38 mm generalmente. Además, deben cumplir con ciertos requisitos para poder ser utilizados en el campo ingenieril; algunos de ellos son, consistir en partículas durables, duras, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos que pudieran afectar las condiciones finales. (Sitecal, 2015).

b) Clases de concreto

Debido a los diversos usos que se le da al concreto en la construcción, como columnas, cimientos, vigas, losas, muros de contención, etc.; se hace necesario agregar otra clase de elementos que ayuden a mejorar y complementar su comportamiento de acuerdo a las exigencias de trabajo, lo cual da lugar a diferentes tipos de concreto. (Díaz, 2012).

Concreto simple: El concreto simple es una mezcla en la que intervienen el cemento Portland, agregado grueso, agregado fino y agua. En la mezcla, el agregado grueso y el agregado fino deberán estar envueltos por la pasta de cemento, y a la vez el agregado fino tendrá que ocupar los espacios originados por el agregado grueso. (Abanto, 2009).

Concreto armado: El concreto armado o conocido también como concreto reforzado y resulta de incluir barras, armaduras, canastillas de varillas de acero de construcción en los diferentes elementos estructurales, para luego vaciar el concreto y una vez que éste alcance sus condiciones finales de solidez, actúen de forma conjunta. (Díaz, 2012).

1.3.2. Recubrimientos superficiales para estructuras de concreto

Las estructuras de concreto en su gran mayoría, se encuentran expuestas a diferentes agentes externos que afectan su durabilidad, independientemente del ámbito en donde se desarrollen las obras. La carbonatación, la exposición a un ambiente agresivo, una mala ejecución que presente acabados superficiales defectuosos u otros factores, pueden acelerar el deterioro de la estructura. (Sika, 2014).

a) Métodos para la protección del concreto

La UNE EN 1504-02 detalla los requisitos y sistemas que se deben usar para la protección superficial y durabilidad de las estructuras de concreto armado, tanto para concreto nuevo como para trabajos de mantenimiento y reparación. Además, dicha norma cubre tres métodos de protección superficial que son, la impregnación hidrófoba, la impregnación y el revestimiento. (Anfapa, 2019).

Impregnación hidrófoba: las impregnaciones hidrófobas además de proteger el concreto contra la penetración del agua y la acción de cloruros, no cambian el aspecto

de la superficie y previenen que se ensucie fácilmente. Además, para una impregnación hidrófoba, el concreto debe tener como mínimo una edad de 28 días o de preferencia mayor; incluso, la aplicación no debe realizarse a temperaturas muy bajas o elevadas, ni cuando haya presencia elevada de humedad en el aire o en los elementos estructurales. (Imcyc, 1998).

Impregnación: con la impregnación se reduce la porosidad superficial y se refuerza la superficie. Los poros capilares están parcial o totalmente repletos. Este tratamiento genera una fina capa en la superficie del concreto. Los principios activos suelen ser polímeros orgánicos. (Anfapa, 2019).

Revestimiento: con el revestimiento se crea una capa protectora continua en la superficie del concreto. El espesor está comprendido entre valores de 0.1 mm y 5.0 mm y los lo conglomerantes suelen ser polímeros orgánicos, ya sea solos o combinados con cemento hidráulico. (Anfapa, 2019).

b) Tipos de productos según los métodos de protección superficial

Pinturas anti carbonatación: Son productos de alta permeabilidad al vapor de agua y muy baja al CO₂, permiten impermeabilizar el concreto y evitan la progresiva disminución de alcalinidad, reduciendo de esta manera las patologías causadas por la carbonatación del concreto y la corrosión de las armaduras. (Anfapa, 2019).

Membranas cementosas: Son consideradas como revestimientos, ya que se necesita de un espesor mayor a 1 mm para su correcto funcionamiento, se utilizan cuando se requiere de una protección e impermeabilización del concreto muy duradera y cuando el soporte a revestir presenta imperfecciones o se busque mejorar la planimetría. (Anfapa, 2019).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es la importancia de la protección de los elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, en 2021?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la importancia de la protección de los elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, en 2021.

1.5.2. Objetivos específicos

O.E.1. Identificar los recubrimientos superficiales considerados en cada estudio.

O.E.2. Identificar los principales comportamientos de permeabilidad de los elementos de concreto armado frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, según el recubrimiento superficial empleado.

O.E.3. Comparar los principales comportamientos de permeabilidad de los elementos de concreto armado frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, según el recubrimiento superficial empleado; respecto a los no protegidos.

O.E.4. Analizar los resultados de las investigaciones e identificar el recubrimiento superficial como protección frente al ataque de cloruros en ambientes marinos que presenta mejores comportamientos en elementos de concreto armado

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El análisis de la importancia de la protección de los elementos de concreto armado frente al ataque de cloruros nos permitirá encontrar agentes como recubrimientos

superficiales para ser usados en ambientes marinos según los resultados de sus principales comportamientos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

1.7. Tipo de investigación

1.7.1. Según el propósito

La presente investigación, según el propósito, será aplicada; ya que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que adquieren otros, después de implementar y sistematizar la practica basada en investigación, el uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. Murillo, (2008)

1.7.2. Según el diseño

La presente investigación será no experimental debido a que no se manipulará una variable independiente para analizar el efecto sobre una o más variables dependientes, sino que, solo se observarán las situaciones ya existentes.

1.8. Diseño de investigación

El presente estudio, según el diseño de investigación, será descriptivo y a la vez transversal; debido a que se recogerá información de los antecedentes que conforman la muestra, para, en un mismo tiempo, analizar y describir el comportamiento de las variables.

Tabla 1.

Diseño de investigación.

| Estudio | T1 |
|--|---|
| <p>M: Estudios sobre protección de elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos.</p> | <p>O: Comportamiento de elementos de concreto armado.</p> |

Nota. Datos tomados de la tesis 1.

Fuente: Propia.

Dónde: M = Muestra, O = Observación.

1.9. Variables

1.9.1. Recubrimientos superficiales

La protección superficial de los elementos de concreto, mediante el uso de recubrimientos como pinturas, barnices, etc; ofrece resistencia química y física ante las condiciones ambientales u otros agentes externos agresivos a la que estará sometida una obra. La utilización de estos productos se puede dar tanto en la obra terminada o como parte de un mantenimiento con la finalidad de aumentar la vida útil de las edificaciones de concreto; además de tener como objetivos principales la reducción de absorción de agua, penetración de gases agresivos, sales y en algunos casos como barrera protectora frente al ataque de elementos agresivos. (Broto, 2005).

Tabla 2.*Matriz de clasificación de variables.*

| CLASIFICACIÓN | | | | |
|------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| Variables | Relación | Naturaleza | Dimensión | Forma de medición |
| Recubrimientos superficiales | - | Mixto | Unidimensional | Indirecta |

Nota. clasificación según investigación realizada.

Fuente: Propia.

| | | | | |
|---|--|--|---|---|
| <p>La protección superficial de los elementos de concreto, mediante el uso de recubrimientos como pinturas, barnices, etc; ofrecerán resistencia química y física ante las condiciones ambientales u otros agentes externos agresivos a la que estará sometida una obra. (Broto, 2005).</p> | <p>La utilización de estos productos se puede dar tanto en la obra terminada o como parte de un mantenimiento con la finalidad de aumentar la vida útil de las edificaciones de concreto; además de tener como objetivos principales la reducción de absorción de agua, penetración de gases agresivos, sales y en algunos casos como barrera protectora frente al ataque de elementos agresivos. (Broto, 2005).</p> | <p>Criterios normativos ASTM C1202</p> | <p>Permeabilidad Ion Cloruro</p> | <p>Tabla de penetrabilidad del Ion cloruro dada por la norma ASTM C1202</p> |
| | | <p>Evaluación del paso de Ion cloruro en el concreto</p> | | |
| | | <p>Tipos de recubrimiento superficiales para el control de permeabilidad del concreto.</p> | <p>Comportamiento de los elementos de concreto armado</p> | |

Tabla 3.

Matriz de operacionalización de la variable recubrimientos superficiales. Población y muestra

1.9.2. Población

Todos los estudios relacionados al concreto armado protegido mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros presentes en ambientes marinos, que se han venido dando hasta la actualidad en diferentes partes del mundo.

1.9.3. Muestra

1.9.3.1. Técnica de muestreo.

Se empleó la técnica de muestreo no probabilístico, a través de juicio por experto, donde, el ingeniero Alberto Rubén Vásquez Díaz asumirá este rol gracias a su especialidad en temas relacionados al concreto.

1.9.3.2. Tamaño de muestra.

El especialista en mención recomendó considerar una muestra de por lo menos 20 estudios, los mismos que deben guardar relación directa con nuestras variables.

Tabla 4.

Tamaño de muestra de la investigación.

| Código | Título de investigación | Autor | País | Año |
|--------|---|---|----------|------|
| I – 01 | Influence of different surface treatment on water penetration resistance of concrete. | Tianlun, L. & Yonggen, W. | China | 2021 |
| I – 02 | Alkali-activated protective coatings for reinforced concrete exposed to chlorides | Aguirre, A. & Mejía, R. | Colombia | 2021 |
| I – 03 | Estudio de caso para evaluar la patología presente en el concreto al ataque químico del cloruro. | Cruz, R. & Cisneros, D. | Colombia | 2019 |
| I – 04 | Evaluación del efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros. | Rodríguez, Y. | Cuba | 2017 |
| I – 05 | Mechanical strength and durability of alkali-activated fly ash/slag concrete | Chi, M. | Taiwán | 2016 |
| I – 06 | Concreto con protección de superficie y expuesto a solución de cloruros: Espesor de recubrimiento equivalente. | Medeiros, M.; Real, L.; Quarcioni, V. & Helene, P. | Brasil | 2015 |
| I – 07 | Measure of the Chloride Permeability of the Pozzolana Concrete in Sulphate Midd | Merida, A.; Kharchi, F. & Chaid, R. | Argelia | 2015 |
| I – 08 | Quantitative estimation on delaying of onset of corrosion of rebar in surface treated concrete using sealers. | Sivasankar, A.; Xavier, S. & Vedalakshmi, R. | India | 2013 |
| I – 09 | Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. | Diamanti, M.; Brenna, A.; | Italia | 2013 |

| | | | | |
|--------|---|---|----------------|------|
| | | Bolzoni, F.; Berra, M.; Pastore, T. & Ormellese, M. | | |
| I – 10 | Obtención y evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado. | Rojas, E. | México | 2013 |
| I – 11 | Corrosion resistance of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume and fly ash | Dehwah, H. | Arabia Saudita | 2012 |
| I – 12 | Reducing water and chloride penetration through silicate treatments for concrete as a mean to control corrosion kinetics. | Medeiros, M.; Castro, P.; Aleixo, D., Quarcioni, V.; Marcondes, C. & Helene, P. | Brasil | 2012 |
| I – 13 | Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. | Medeiros, M. & Helene, P. | Brasil | 2009 |
| I – 14 | Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes | Ramezani pour, A.; Ghiasvand, E.; Nickseresht, I.; Mahdikhani, M. & Moodi, F. | Irán | 2009 |
| I – 15 | Coatings for concrete protection against aggressive environments. | Aguiar, J.; Camoes, A. & Moreira, P. | Portugal | 2007 |
| I – 16 | Systems for superficial protection of concretes | Moreira, P.; Aguiar, J.; & Camoes, A. | Portugal | 2006 |
| I – 17 | Evaluación de recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales. | Vera, R.; Apablaza, J. & Carvajal, A. | Chile | 2005 |
| I – 18 | Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. | Allmusallam, A.; Khan, F.; Dulaijan, S. & Al-Amoudi, O. | Arabia Saudita | 2003 |
| I – 19 | Effect of waterproofing coatings on steel reinforcement corrosion and physical properties of concrete. | Al-Zahrani, M.; Al-Dulaijan, S.; Ibrahim, M.; | Arabia Saudita | 2002 |

| | | | | |
|--------|---|--|--------|------|
| I – 20 | Concrete incorporating supplementary cementing materials: Effect on compressive strength and resistance to chloride-ion penetration | Saricimen, H. & Sharif, F. Zhang, M.; Bilodeau, A.; Malhotra, V.; Kim, K. & Kim, J. | Canadá | 2000 |
|--------|---|--|--------|------|

Nota: resumen de investigaciones empleadas para el análisis de los tipos de recubrimientos superficiales.

1.10. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

1.10.1. Técnica de recolección de datos

1.10.1.1. Análisis documental.

Se empleará como técnica para la recolección de datos el análisis documental, el mismo que ayudará en el hallazgo de estudios relacionados a la protección del concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros presentes en ambientes marinos.

1.10.2. Instrumentos de recolección de datos

1.10.2.1. Ficha resumen.

Como primer instrumento se usará la ficha resumen, la cual servirá como extractor de la información más relevante de cada investigación.

1.10.2.2. Matriz de categorización.

El segundo instrumento a utilizar será la matriz de categorización, la cual, permitirá estructurar el contenido de cada estudio, de tal forma que se facilite su entendimiento para su posterior comparación.

Tabla 5.

Matriz de categorización.

RECOLECCIÓN DE DATOS

| Fuente | Técnica | Herramienta | Instrumento |
|------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Google Académico | | | Ficha resumen |
| Scielo | Análisis documental | Microsoft Excel | Matriz de categorización |
| Concytec | | | |

Nota: Se realizó la recolección de datos mediante las fuentes indicadas en la Tabla 5.

1.10.3. Validación de instrumentos de recolección de datos

El esquema tanto de la ficha resumen como de la matriz de categorización, será validado a través de la firma del asesor de la presente investigación, luego de analizarlos y aprobarlos.

1.10.4. Análisis de datos

- **Estadística descriptiva**

Se empleará, para el análisis de datos, la estadística descriptiva; ya que se hará uso de gráficos estadísticos y tablas para representar los valores de los resultados encontrados y facilitar su comparación.

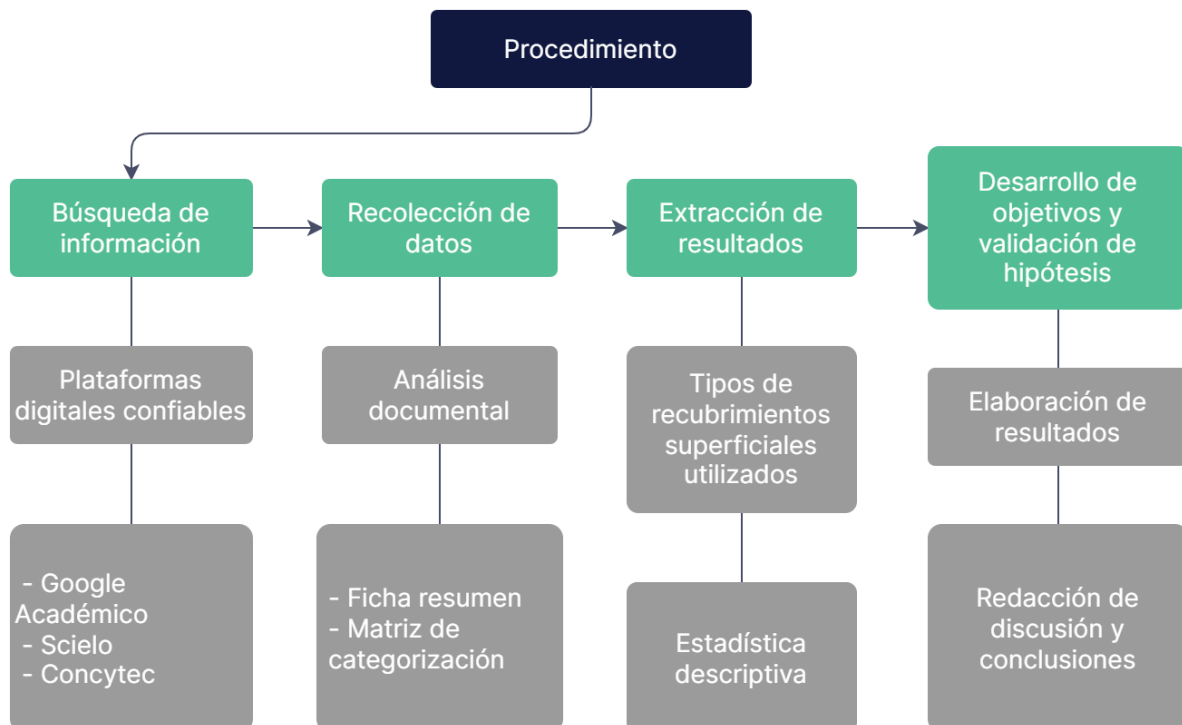
Figura 1.

Ejemplo de gráfico de barras y gráfico de líneas.

1.11. Procedimiento

Figura 2.

Procedimiento de la investigación.



Nota: Flujo de procedimiento de la Investigación

1.11.1. Búsqueda de información

La presente investigación iniciará con la búsqueda de información en las diferentes plataformas digitales confiables más utilizadas como Google Académico, Scielo y Concytec; mediante la utilización de palabras clave en español e inglés; tratando de recopilar la mayor cantidad de estudios posibles a nivel nacional e internacional. Posteriormente y teniendo en cuenta agentes como la estructura, la antigüedad y el vínculo con la variable de estudio, se omitirán algunas investigaciones, llegando finalmente y de esa manera a contar con un tamaño de muestra de 20 estudios.

1.11.2. Recolección de datos

Contando con un tamaño de muestra igual a 20 investigaciones, se procederá a la recolección de datos mediante el análisis documental, el cual permitirá recolectar información y datos relacionados al uso de diferentes recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, así como su influencia en los elementos de concreto armado. Dicha información y datos encontrados, se agruparán en dos instrumentos de recolección, siendo la ficha resumen y la matriz de categorización. En la primera se estructurará según el título, autor y resumen; describiendo en tablas la síntesis de todo lo realizado por cada investigación. Por su parte, el segundo instrumento organizará en tablas la información requerida, estructurándose en título, objetivos y conclusiones.

1.11.3. Extracción de resultados

Luego de describir y organizar las investigaciones en sus respectivos instrumentos de recolección de datos, se extraerán sus resultados para poder representarlos posteriormente haciendo uso de la estadística descriptiva, mediante gráficos

estadísticos como barras, líneas, etc; de esa manera, se facilitará la interpretación y comparación entre ellos.

1.11.4. Desarrollo de objetivos y validación de hipótesis

Una vez realizados todos los pasos anteriormente descritos, se buscará el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, para de esa forma, validar o rechazar la hipótesis. Posterior a ello, se plasmarán los resultados en base al uso de recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos y su influencia en los elementos de concreto armado; finalizando con la interpretación de cada uno de ellos, y dar lugar a las conclusiones respectivas.

1.12. Desarrollo de tesis

1.12.1. Búsqueda de información

Se inició con la búsqueda de información en las diferentes plataformas digitales confiables más utilizadas como Google Académico, Scielo y Concytec; mediante la utilización de palabras clave en español e inglés, llegando de esa manera a contar con un tamaño de muestra de 20 estudios.

Tabla 6.

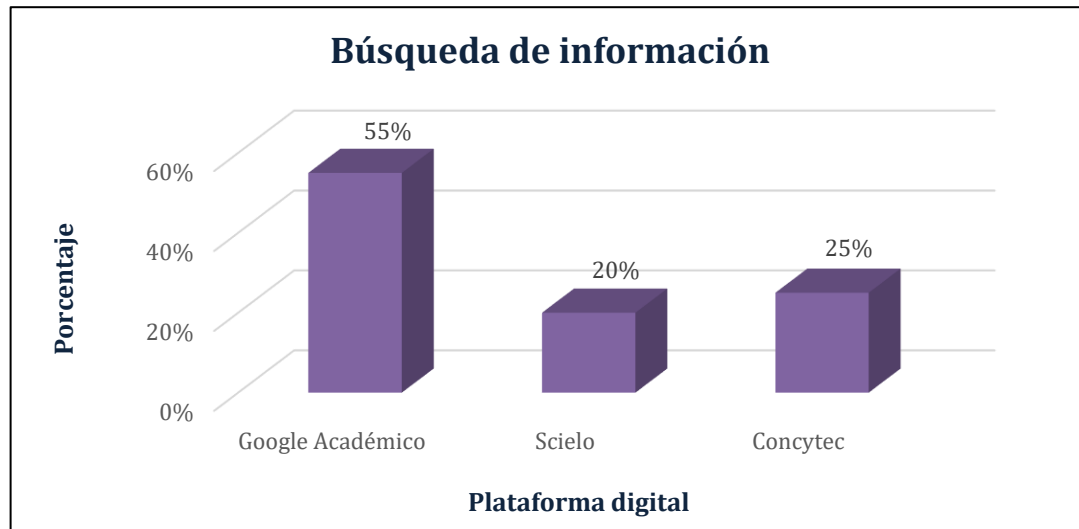
Búsqueda de información.

| Investigación | Plataforma | N° | % |
|---|-------------------|-----------|----------|
| I – 02, I – 04, I – 05, I – 08, I – 10, I – 11, I – 13, I – 14, I – 17, I – 18, I – 19. | Google Académico | 11 | 55 |
| I – 06, I – 12, I – 15, I – 20. | Scielo | 4 | 20 |
| I – 01, I – 03, I – 07, I – 09, I – 16. | Concytec | 5 | 25 |

Nota: Se clasifico las investigaciones según las plataformas indicadas en la Tabla 6.

Figura 3.

Búsqueda de información.



Nota: Grafica del porcentaje obtenido de las investigaciones en las plataformas digitales.

Tabla 7.

Nacionalidad de estudios.

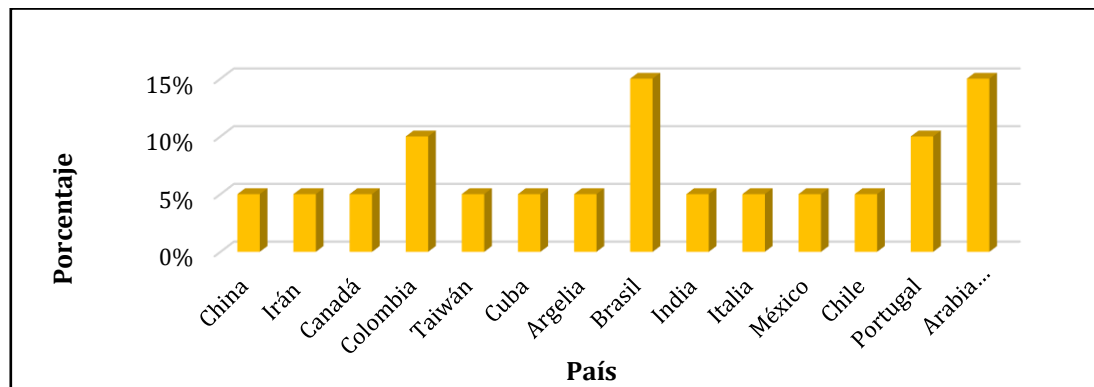
| Investigación | Nacionalidad | N° | % |
|------------------------|--------------|----|----|
| I – 01 | China | 1 | 5 |
| I – 14 | Irán | 1 | 5 |
| I – 20 | Canadá | 1 | 5 |
| I – 02, I – 03 | Colombia | 2 | 10 |
| I – 05 | Taiwán | 1 | 5 |
| I – 04 | Cuba | 1 | 5 |
| I – 07 | Argelia | 1 | 5 |
| I – 06, I – 12, I – 13 | Brasil | 3 | 15 |
| I – 08 | India | 1 | 5 |
| I – 09 | Italia | 1 | 5 |
| I – 10 | México | 1 | 5 |

| | | | |
|------------------------|----------------|---|----|
| I – 17 | Chile | 1 | 5 |
| I – 15, I – 16 | Portugal | 2 | 10 |
| I – 11, I – 18, I – 19 | Arabia Saudita | 3 | 15 |

Nota: Tabla de país de procedencia de las investigaciones.

Figura 4.

Nacionalidad de estudios.



Nota: Grafica de Barras del porcentaje de investigaciones de cada País.

1.12.2. Recolección de datos

Se realizó la recolección de datos mediante el análisis documental, pudiendo recolectar información y datos relacionados al uso de diferentes recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, así como su influencia en los elementos de concreto armado; haciendo uso de fichas resumen y matrices de categorización, las mismas que se muestran en las tablas N° 10 a la N° 49.

1.12.3. Extracción de resultados

Luego de extraer los resultados de cada estudio, se los representó haciendo uso de la estadística descriptiva mediante gráficos de barras; facilitándonos su comprensión, interpretación y comparación entre ellos.

1.12.4. Desarrollo de objetivos y validación de hipótesis

Se cumplió con cada uno de los objetivos planteados para de esa manera poder validar o rechazar la hipótesis de la investigación, posteriormente se plasmaron los resultados en base al uso de recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos y su influencia en los elementos de concreto armado para finalmente, interpretar cada uno de ellos y dar lugar a las respectivas conclusiones.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1.13. Recubrimientos superficiales considerados por las investigaciones

Tabla 8.

Recubrimientos superficiales utilizados por cada estudio.

| Estudio | Ensayo | Recubrimiento utilizado |
|---------|---|---|
| I – 01 | Permeabilidad ion cloruro | Nanopartículas de SiO ₂ , infiltración de silicato y silicato de etilo |
| I – 02 | Resistencia a la compresión y Permeabilidad ion cloruro | Aditivo inhibidor de corrosión |
| I – 03 | Permeabilidad ion cloruro | Epóxico comercial |
| I – 04 | Permeabilidad ion cloruro | Pintura esmalte |
| I – 05 | Permeabilidad ion cloruro | Humo de sílice y ceniza volante |
| I – 06 | Permeabilidad ion cloruro | Silano, acrílico, poliuretano y silicato de sodio |
| I – 07 | Permeabilidad ion cloruro | Aditivo impermeabilizante, emulsión acuosa de silano y crema repelente de silano |
| I – 08 | Permeabilidad ion cloruro | Mortero cementoso modificado con polímero |
| I – 09 | Permeabilidad ion cloruro | Humo de sílice |
| I – 10 | Permeabilidad ion cloruro | Silicato de sodio, silicato comercial y silicato de sodio líquido |
| I – 11 | Permeabilidad ion cloruro | Látex estireno butadieno |
| I – 12 | Permeabilidad ion cloruro | Ceniza volante |
| I – 13 | Permeabilidad ion cloruro | Silano disperso en agua, silano disperso en disolvente, acrílico disperso en disolvente y poliuretano |

| | | |
|--------|---------------------------|--|
| I – 14 | Permeabilidad ion cloruro | Resina acrílica en base acuosa y resina epóxica |
| I – 15 | Permeabilidad ion cloruro | Piedra caliza |
| I – 16 | Permeabilidad ion cloruro | Silano y resina acrílica |
| I – 17 | Permeabilidad ion cloruro | Acrílico y resina epóxica |
| I – 18 | Permeabilidad ion cloruro | Acrílico, emulsión de polímero, epóxico, poliuretano y caucho clorado. |
| I – 19 | Permeabilidad ion cloruro | Mortero cementoso modificado con polímero, revestimiento a base de cemento, poliuretano y epóxico. |
| I – 20 | Permeabilidad ion cloruro | Puzolana |

Nota: Se muestra la tabla en la cual se detallan los diferentes recubrimientos utilizados por cada estudio; observando que todos fueron evaluados mediante el ensayo de permeabilidad al ion cloruro debido a que la presente investigación se enfoca en concretos empleados en ambientes marinos los cuales se encuentran expuestos a este problema que afecta el comportamiento y la durabilidad de las estructuras.

1.14. Permeabilidad al ion cloruro de los elementos de concreto armado según el recubrimiento superficial empleado

Tabla 9.

Permeabilidad al ion cloruro según el recubrimiento superficial empleado.

| Estudio | Recubrimiento superficial utilizado | Permeabilidad ion - cloruro (ASTM C1202) | | |
|---------|-------------------------------------|--|---|---------------|
| | | Carga promedio que pasa (Coulomb) | Reducción respecto a la muestra control | Permeabilidad |
| I-01 | Nanopartículas de SiO ₂ | 2074 | 52% | Moderada |
| | Infiltración de silicato | 2221 | 49% | Moderada |
| | Silicato de etilo | 3135 | 28% | Moderada |
| I-02 | Aditivo inhibidor de corrosión | 3789 | 26% | Moderada |
| I-03 | Epóxico comercial | 400 | 91% | Muy baja |
| I-04 | Pintura esmalte | 1040 | 71% | Baja |
| I-05 | Humo de sílice | 180 | 84% | Muy baja |

| | | | | |
|------|--|------|------|--------------|
| | Ceniza volante | 800 | 28% | Muy baja |
| I-06 | Silano | 4023 | 13% | Alta |
| | Acrílico | 3616 | 22% | Moderada |
| | Poliuretano | 1341 | 71% | Baja |
| | Silicato de sodio | 2616 | 43% | Moderada |
| I-07 | Aditivo impermeabilizante | 2250 | 31% | Moderada |
| | Emulsión acuosa de silano | 1125 | 65% | Baja |
| | Crema repelente de silano | 760 | 77% | Muy baja |
| I-08 | Mortero cementoso modificado con polímero | 169 | 96% | Muy baja |
| I-09 | Humo de sílice | 969 | 50% | Muy baja |
| I-10 | Silicato de sodio | 1592 | 64% | Baja |
| | Silicato comercial | 543 | 88% | Muy baja |
| | Silicato de sodio líquido | 768 | 83% | Muy baja |
| I-11 | Látex estireno butadieno | 3915 | 5% | Moderada |
| I-12 | Ceniza volante | 2200 | 48% | Moderada |
| I-13 | Silano disperso en agua | 3521 | 9% | Moderada |
| | Silano disperso en disolvente | 3185 | 17% | Moderada |
| | Acrílico disperso en disolvente | 3074 | 20% | Moderada |
| | Poliuretano | 559 | 86% | Muy baja |
| I-14 | Resina acrílica en base acuosa | 1477 | 55% | Baja |
| | Resina epóxica | 0 | 100% | Despreciable |
| I-15 | Piedra caliza | 3329 | 10% | Moderada |
| I-16 | Silano | 1385 | 70% | Baja |
| | Resina acrílica | 297 | 93% | Muy baja |
| I-17 | Acrílico | 3041 | 27% | Moderada |
| | Resina epóxica | 1659 | 60% | Baja |
| I-18 | Acrílico | 164 | 83% | Muy baja |
| | Emulsión de polímero | 703 | 28% | Muy baja |
| | Epóxico | 7 | 99% | Despreciable |
| | Poliuretano | 39 | 96% | Despreciable |
| | Caucho clorado | 50 | 95% | Despreciable |
| I-19 | Mortero cementoso modificado con polímero | 9 | 99% | Despreciable |
| | Revestimiento a base de cemento | 25 | 99% | Despreciable |
| | Poliuretano | 3 | 100% | Despreciable |
| | Epóxico | 5 | 100% | Despreciable |
| I-20 | Puzolana | 800 | 73% | Muy baja |

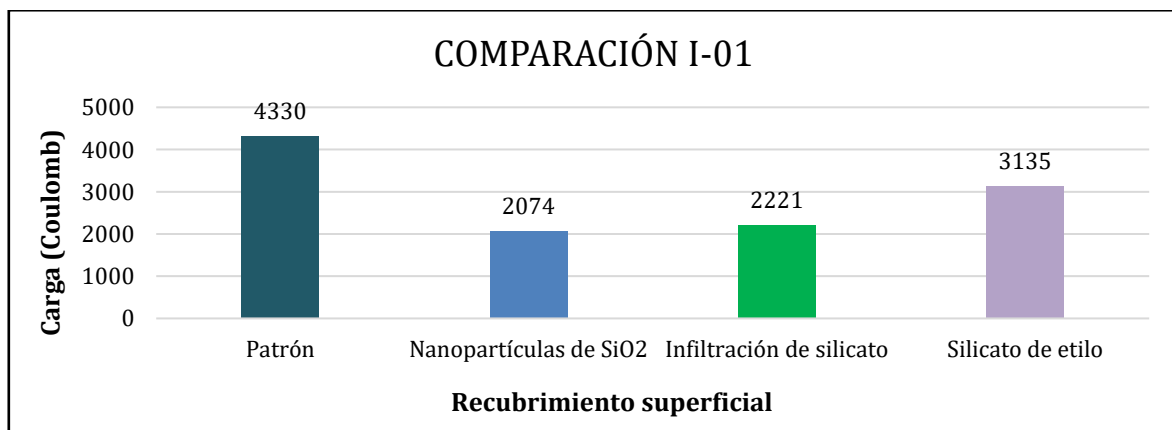
Nota: Se muestra la tabla en la cual se detallan los diferentes recubrimientos utilizados por cada estudio; observando que todos presentan un cierto porcentaje de mejora siendo unos más resaltantes que otros, logrando

reducir la permeabilidad al ion cloruro hasta un grado despreciable en algunos casos de acuerdo con lo que indica la norma ASTM C1202

1.15. Comparación de la permeabilidad al ion cloruro obtenida entre los concretos recubiertos y no recubiertos

Figura 5.

Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-01.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-01 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que los 3 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el recubrimiento compuesto de nanopartículas de SiO₂ con un valor de 2074 Coulomb.

Figura 6.

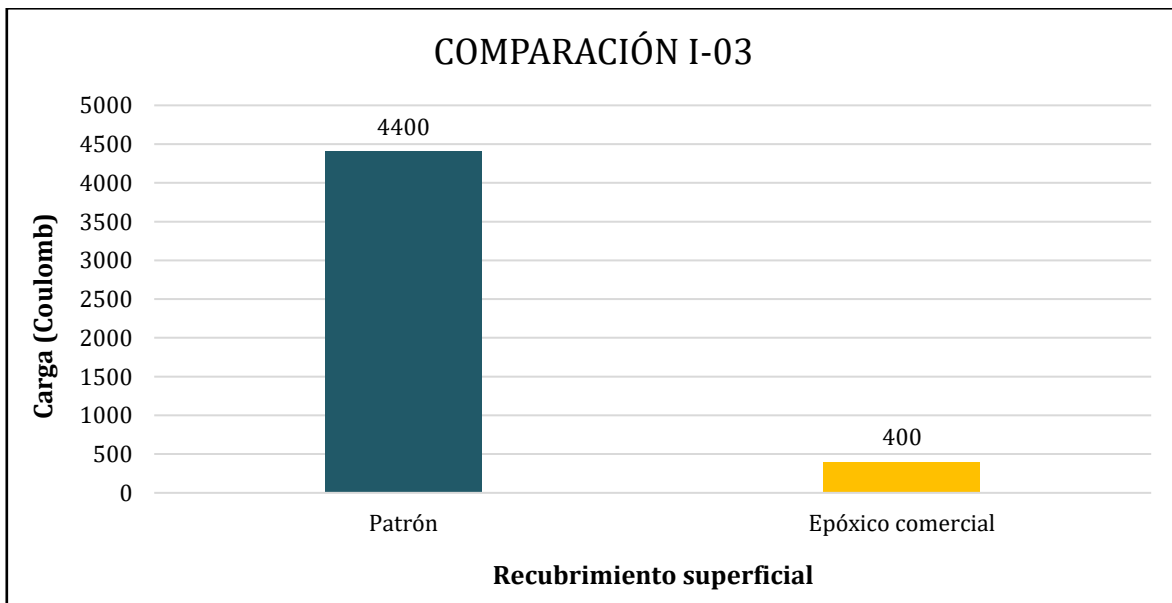
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-02.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-02 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el aditivo inhibidor de corrosión logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente.

Figura 7.

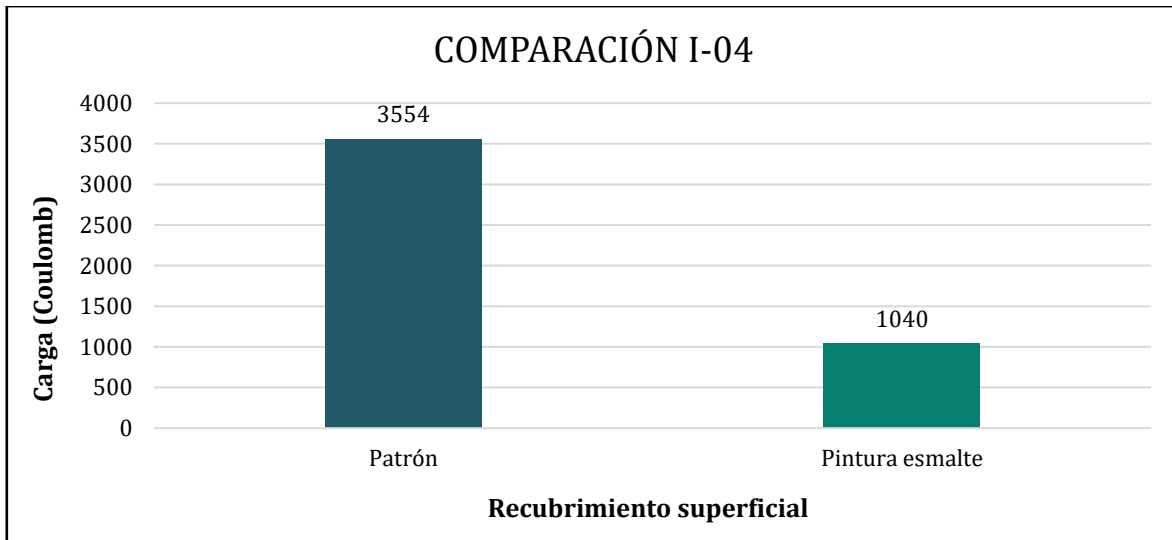
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-03.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-03 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el recubrimiento epóxico comercial logra reducir en gran medida la permeabilidad del concreto frente a este agente.

Figura 8.

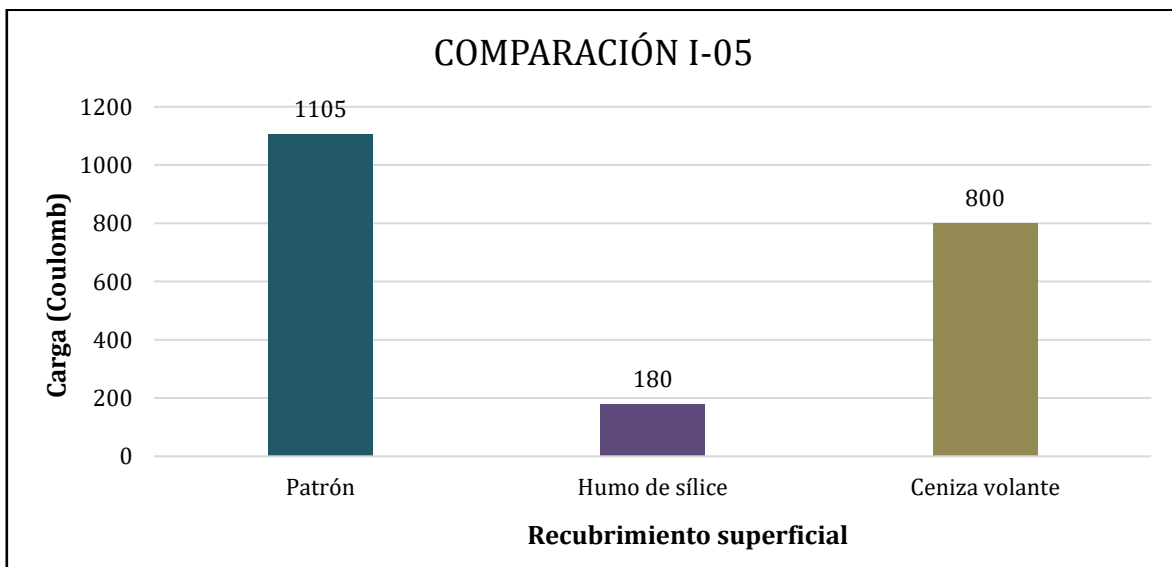
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-04.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-04 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la pintura esmalte logra reducir en gran medida la permeabilidad del concreto frente a este agente.

Figura 9.

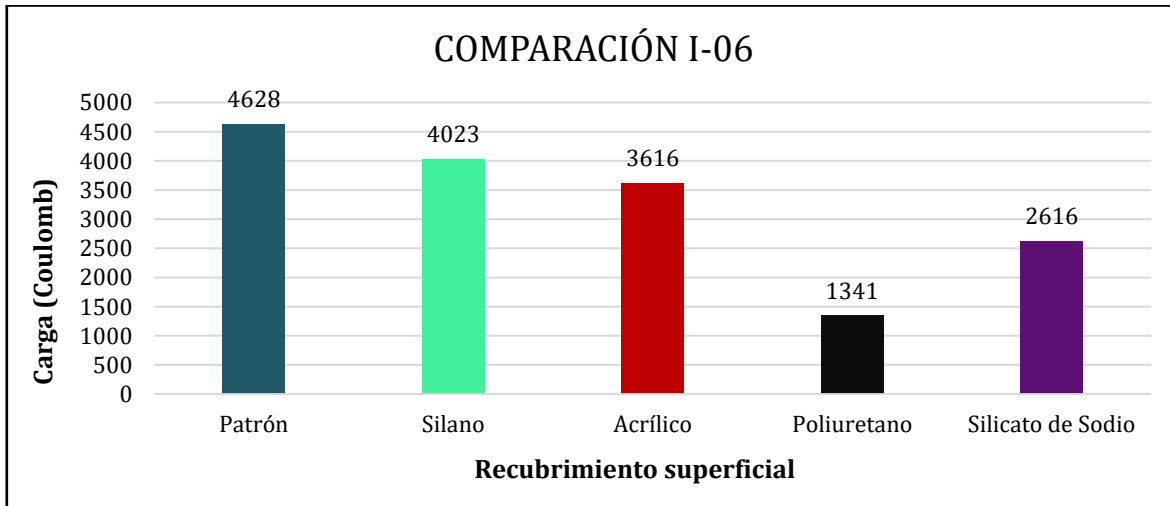
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-05.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-05 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el humo de sílice logra el mejor comportamiento con un valor de 180 coulomb.

Figura 10.

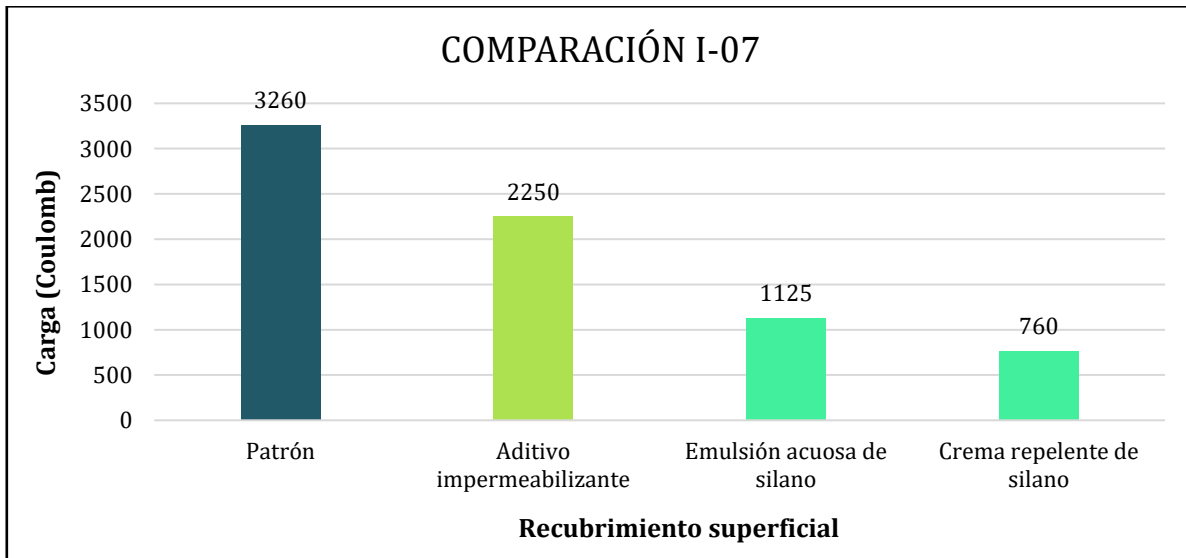
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-06.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-06 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el Poliuretano logra el mejor comportamiento con un valor de 1341 coulomb frente a lo alcanzado por el concreto patrón.

Figura 11.

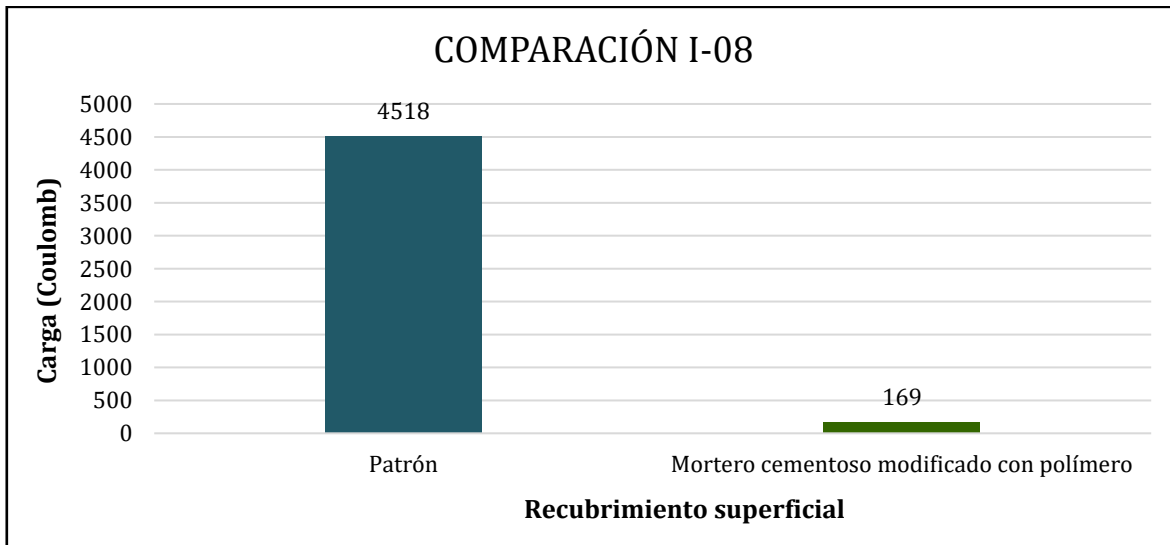
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-07.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-07 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la emulsión acuosa y la crema repelente de silano, logran el mejor comportamiento con valores de 1125 coulomb y 760 coulomb respectivamente frente a lo alcanzado por el concreto patrón.

Figura 12.

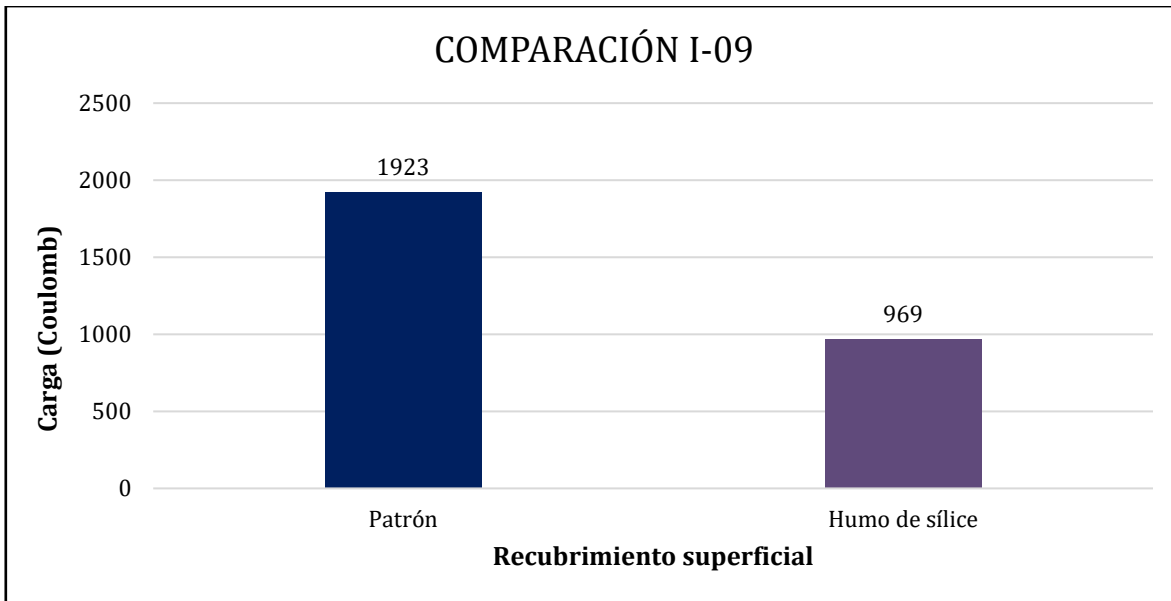
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-08.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-08 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el mortero cementoso modificado con polímero logra reducir de manera considerable la permeabilidad frente a este agente.

Figura 13.

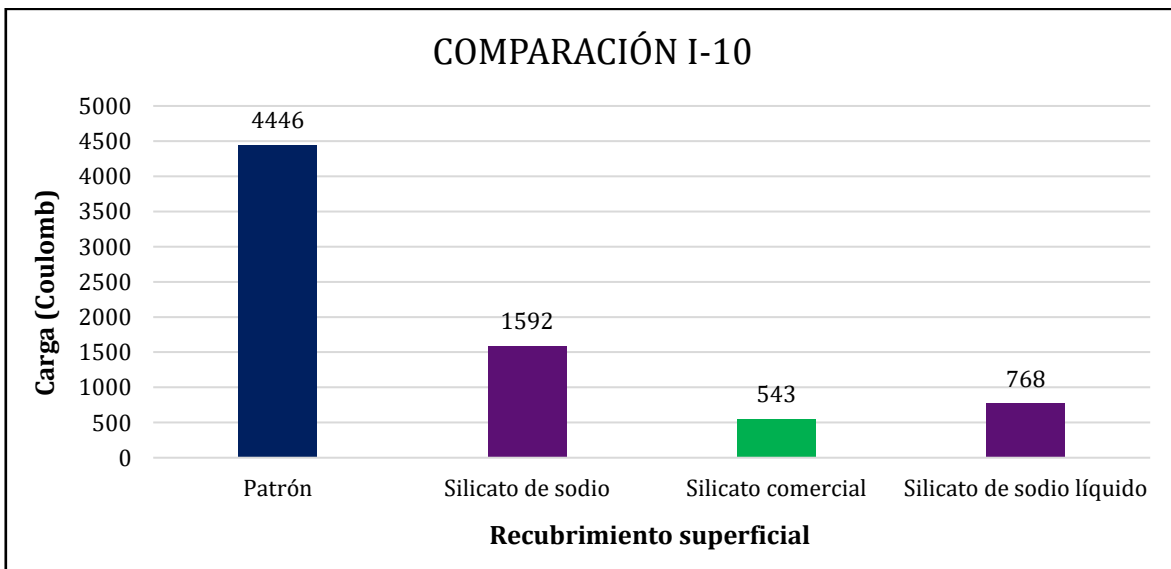
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-09.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-09 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el humo de sílice logra reducir la permeabilidad del concreto respecto a la muestra patrón.

Figura 14.

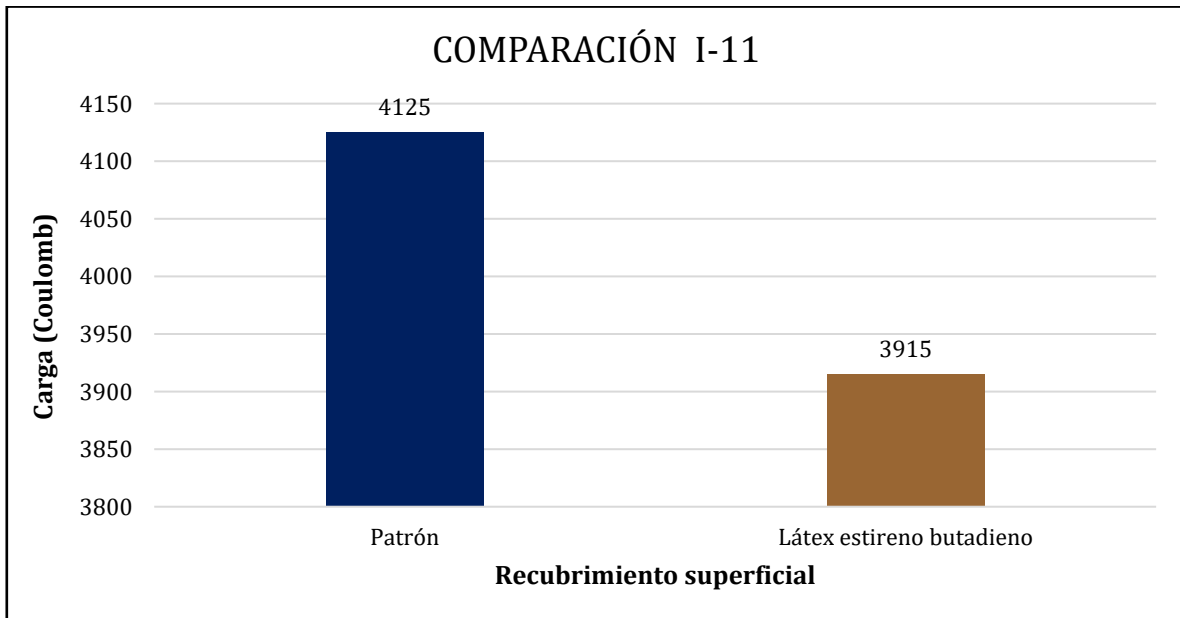
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-10.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-10 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el silicato comercial logra un mejor resultado frente a sus compañeros, con un valor de 543 Coulomb.

Figura 15.

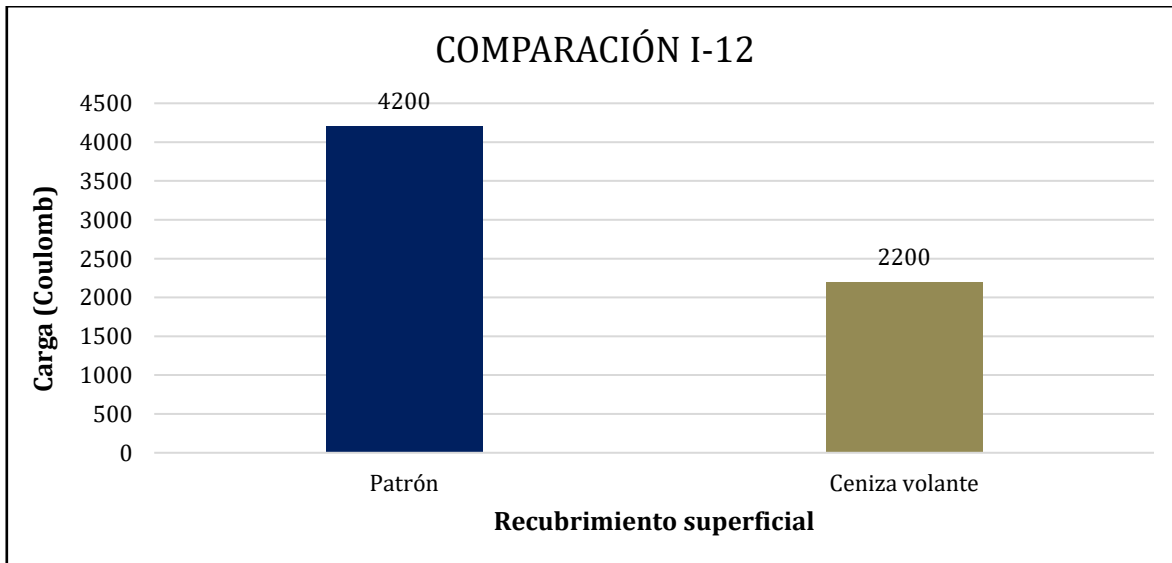
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-11.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-11 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el látex estireno butadieno de igual forma logra una cierta reducción de la permeabilidad del concreto.

Figura 16.

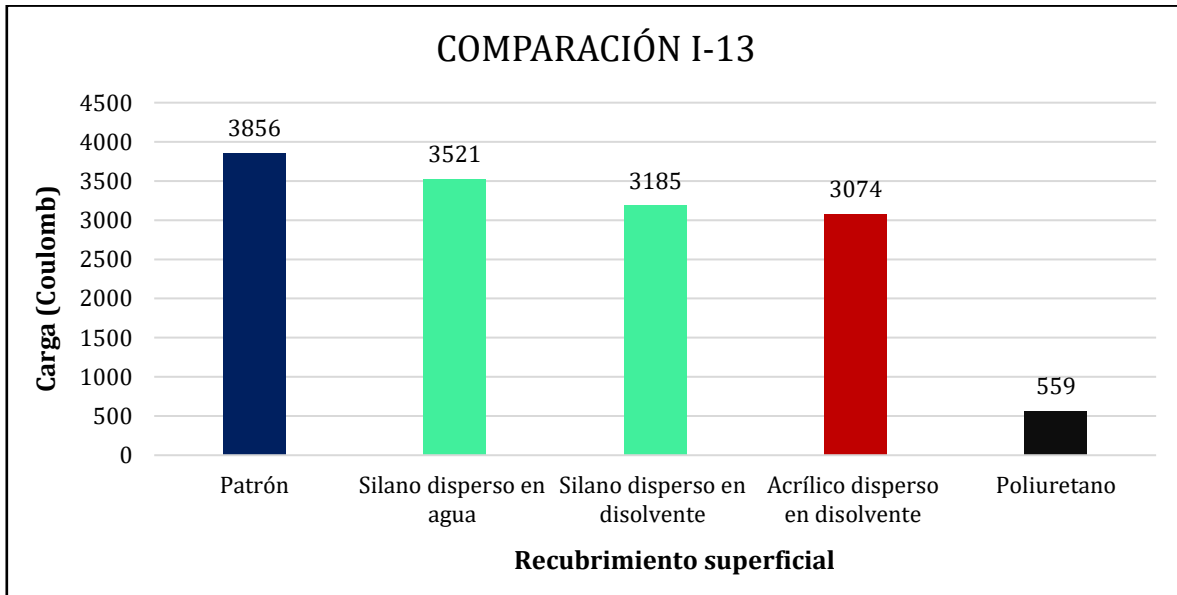
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-12.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-12 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la ceniza volante de igual forma logra una reducción de la permeabilidad en alrededor del 50% respecto a la muestra patrón.

Figura 17.

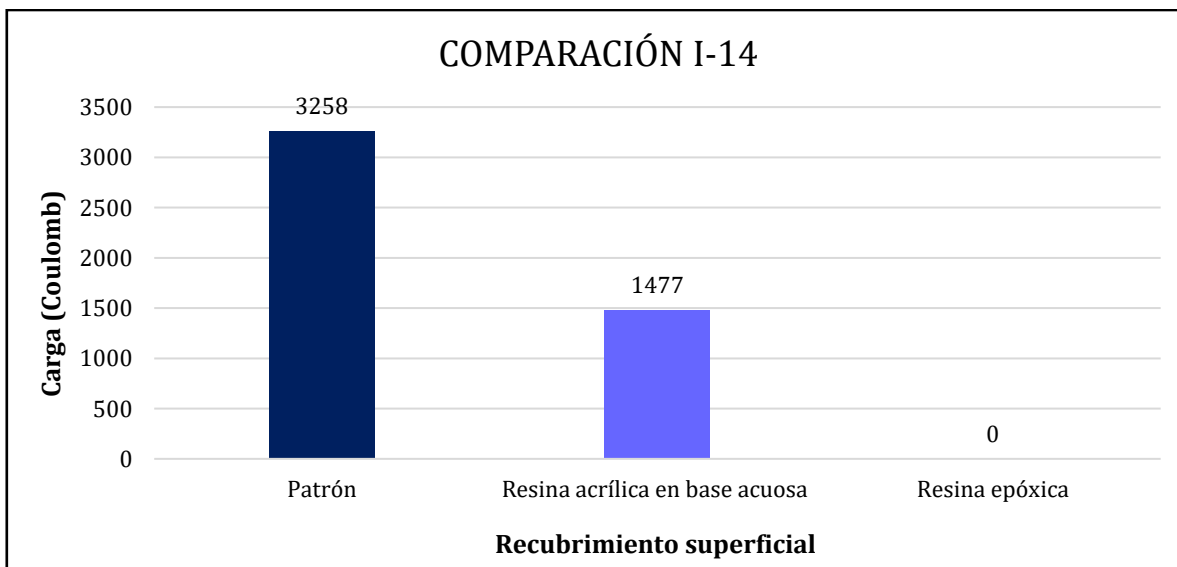
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-13.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-13 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el poliuretano es el que logra el mejor resultado con un valor de 559 Coulomb.

Figura 18.

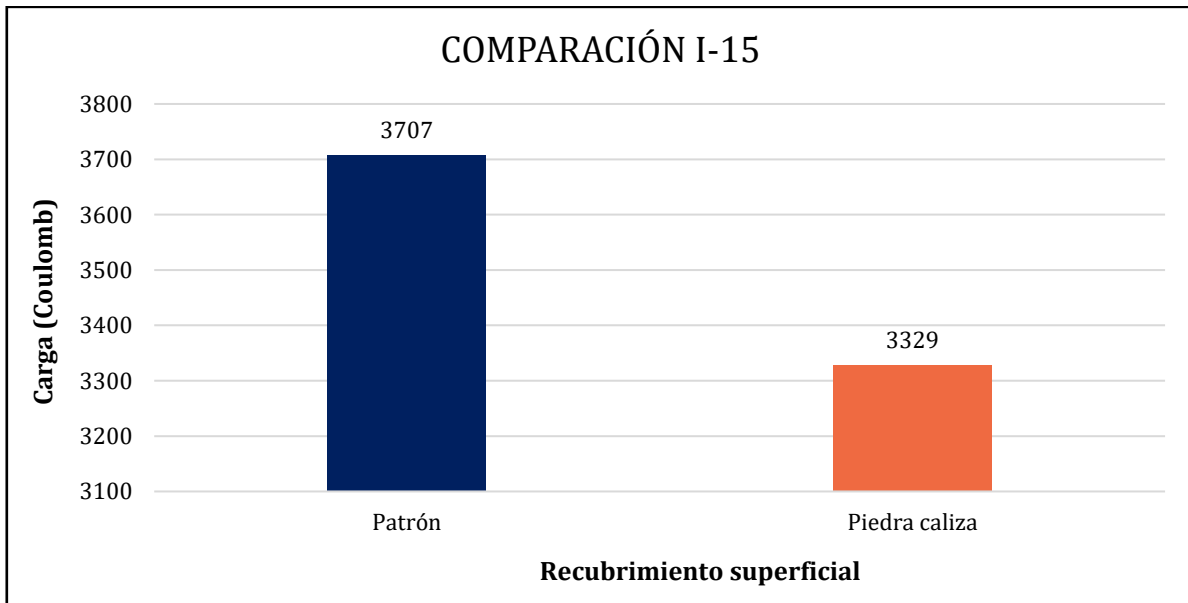
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-14.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-14 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la resina epóxica es la que logra el mejor resultado llegando a reducir en un 100% la permeabilidad frente a este agente.

Figura 19.

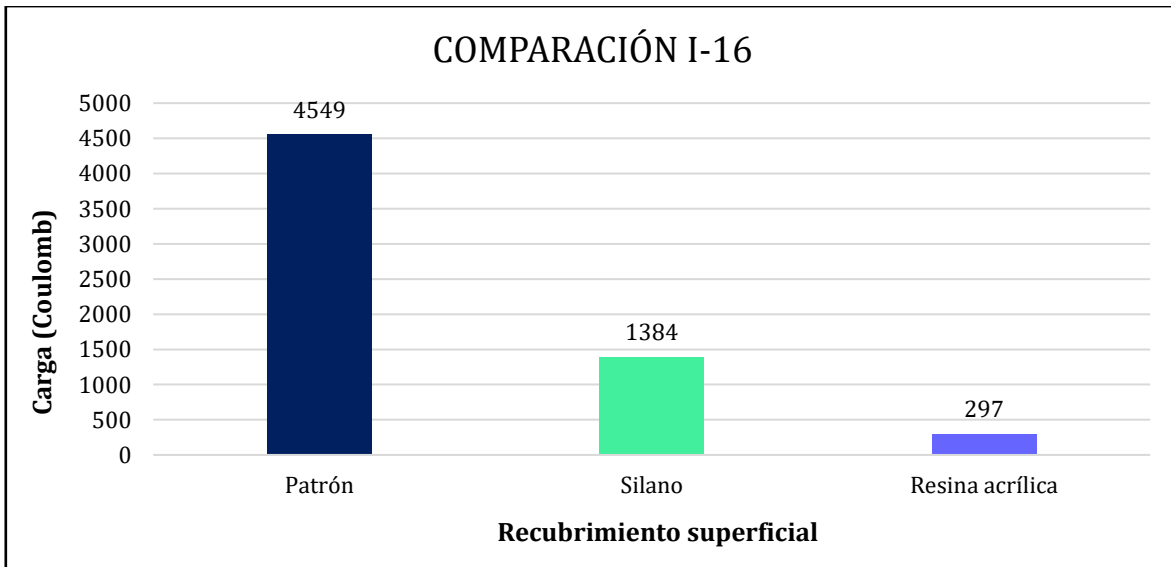
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-15.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-15 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la piedra caliza ayuda también en cierta medida a reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente.

Figura 20.

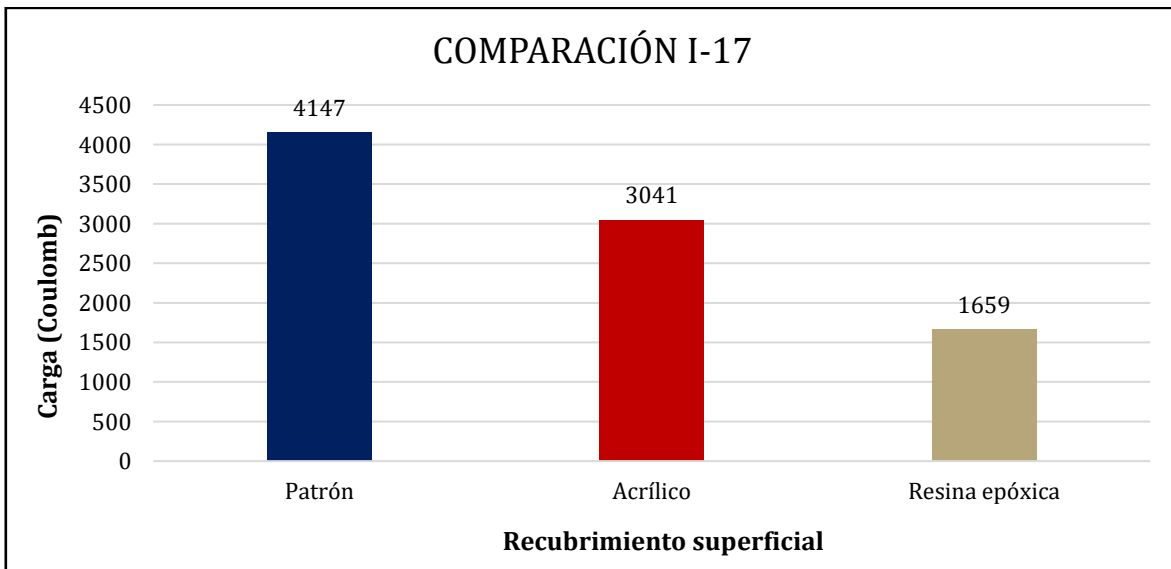
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-16.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-16 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la resina acrílica logra el mejor resultado frente al silano, logrando un valor de 297 Coulomb.

Figura 21.

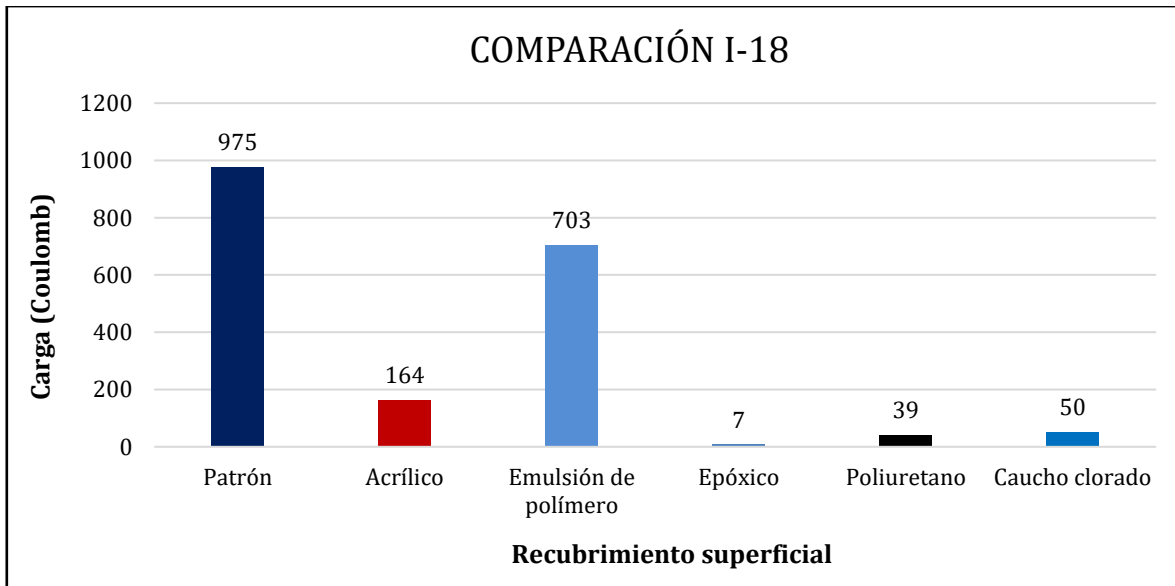
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-17.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-17 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la resina epóxica logra el mejor resultado frente al acrílico, logrando un valor de 1659 Coulomb.

Figura 22.

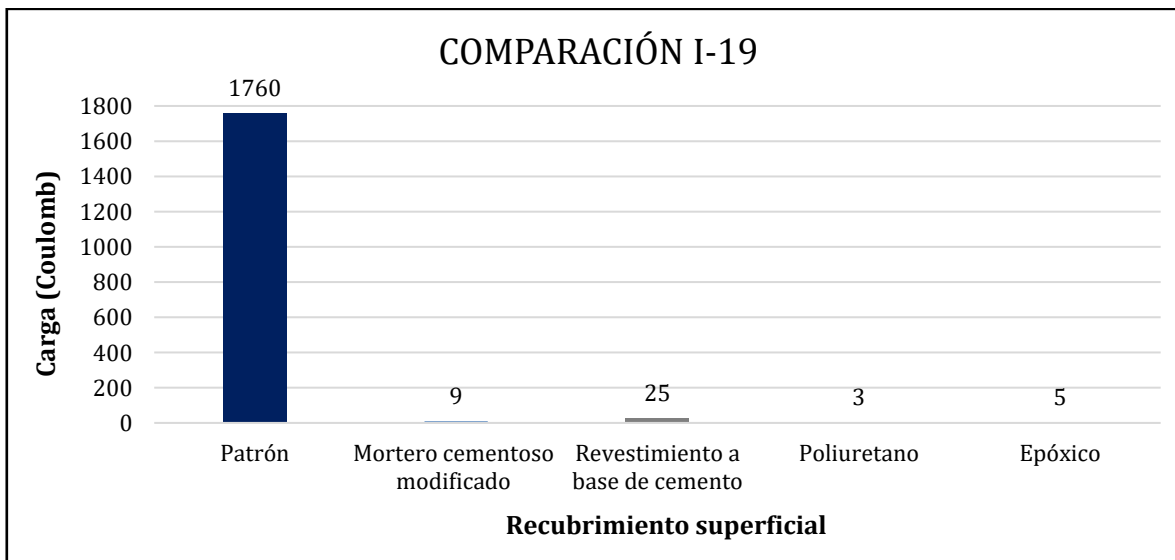
Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-18.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-18 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el epóxico logra reducir significativamente la permeabilidad del concreto hasta un valor de 7 Coulomb.

Figura 23.

Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-19.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-19 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que el epóxico logra reducir significativamente la permeabilidad del concreto hasta un valor de 7 Coulomb.

Figura 24.

Comparación de la permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos empleados en el I-20.

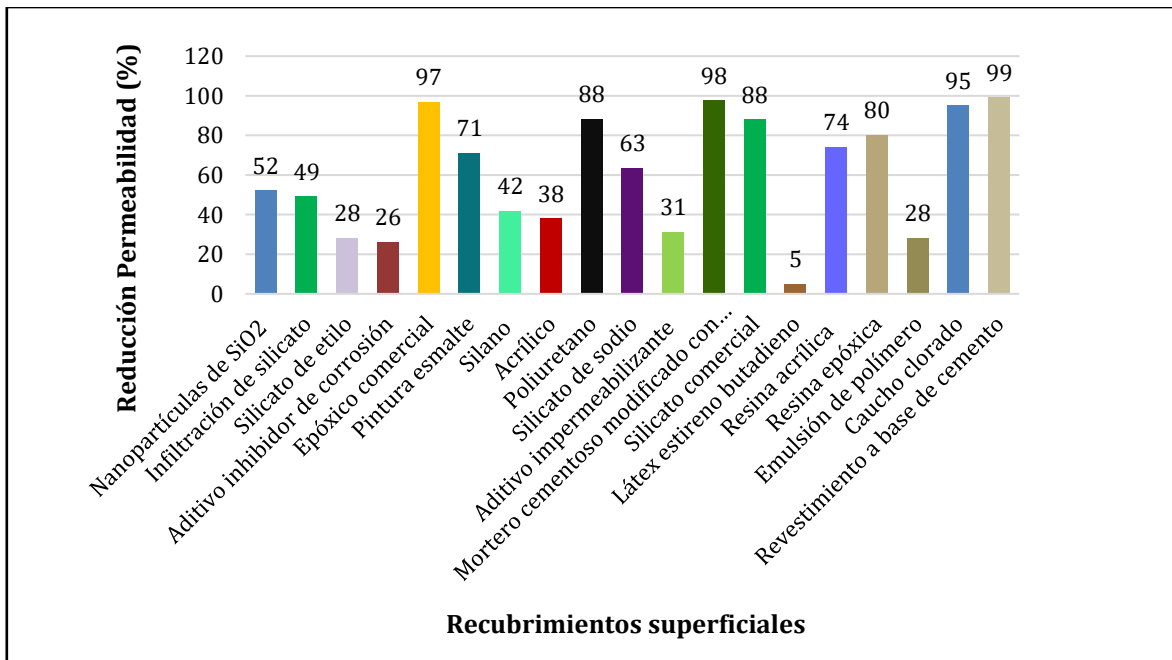


Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar el comportamiento de los recubrimientos utilizados en la I-20 en cuanto al ensayo de permeabilidad de ion cloruro, observando que la puzolana logra reducir la permeabilidad del concreto logrando un valor de 800 Coulomb.

1.16. Recubrimiento superficial que presenta mejor comportamiento

Figura 25.

Recubrimiento superficial que presenta mejor comportamiento según el porcentaje de reducción de permeabilidad al ion cloruro, obtenido del análisis de todos los estudios considerados.

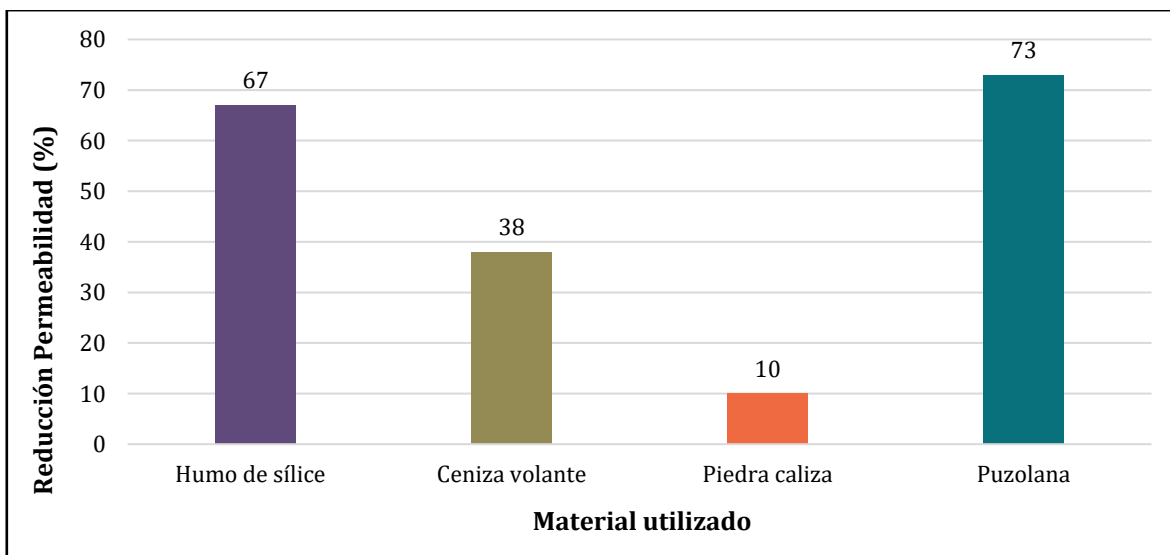


Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar los recubrimientos superficiales utilizados, observando que el revestimiento a base de cemento, el mortero cementoso modificado con polímero

y el epóxico comercial son los tres tipos de recubrimiento que mejor comportamiento presentan ya que lograron reducir la permeabilidad al ion cloruro en 99%, 98% y 97% respectivamente.

Figura 26.

Material complementario utilizado que presenta mejor comportamiento según el porcentaje de reducción de permeabilidad al ion cloruro, obtenido del análisis de todos los estudios considerados.



Nota: Se muestra el gráfico estadístico de barras a modo de representar los materiales complementarios utilizados, observando la piedra caliza y la ceniza volante son los que mejor comportamiento presentan ya que lograron reducir la permeabilidad al ion cloruro en 38% y 10% respectivamente.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Después de determinar la importancia de la protección de los elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, se obtuvieron diferentes tipos de recubrimientos que pueden ser utilizados para dicho fin, debido a que en su mayoría logran reducir en más del 50% la permeabilidad al ion cloruro evaluada de acuerdo a la norma ASTM C1202, la cual señala el grado de permeabilidad según la carga promedio en Coulomb que pasa por el concreto. Con esto, se acepta la hipótesis planteada en la presente investigación que señala que el análisis de la importancia de la protección de los elementos de concreto armado frente al ataque de cloruros nos permitirá encontrar agentes como recubrimientos superficiales para ser usados en ambientes marinos según los resultados de sus principales comportamientos; esto gracias a un intensivo análisis de los resultados recogidos por cada una de las investigaciones de la muestra considerada.

En la tabla N°08, se detallan los diferentes recubrimientos utilizados por cada estudio; observando que todos fueron evaluados mediante el ensayo de permeabilidad al ion cloruro debido a que la presente investigación se enfoca en concretos empleados en ambientes marinos los cuales se encuentran expuestos a este problema que afecta el comportamiento y la durabilidad de las estructuras. Asimismo, se puede observar que se emplearon no solo recubrimientos superficiales sino también otros materiales que al ser sometidos al ensayo de permeabilidad al ion cloruro muestran resultados favorables.

En la tabla N°09, se muestran los diferentes recubrimientos utilizados por cada estudio; observando que todos presentan un cierto porcentaje de mejora siendo unos más resaltantes que otros, logrando reducir la permeabilidad al ion cloruro hasta un grado despreciable en algunos casos ya que según lo que indica la norma ASTM C1202, se tiene que para considerar una permeabilidad alta, la carga promedio que pasa en debe ser mayor a 4000 coulomb, para una permeabilidad moderada el valor debe encontrarse entre 2000 y 4000 coulomb, para una permeabilidad baja debe encontrarse entre los 1000 y 2000 coulomb, para una permeabilidad muy baja el valor debe estar entre 100 y 1000, por último indica que para considerarse como una permeabilidad despreciable, los valores de carga obtenidos deben estar por debajo de 100 coulomb.

En la figura N°05, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-01, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 3 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el recubrimiento compuesto de nanopartículas de SiO₂ con un valor de 2074 coulomb, seguido de los 2221 coulomb alcanzados por las muestras con infiltración de silicato, seguido de los 3135 coulomb alcanzados por las muestras protegidas con silicato de etilo, las cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 52%, 49% y 28% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4330 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada al utilizar recubrimientos.

En la figura N°06, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-02, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que el aditivo inhibidor de corrosión logra reducir la permeabilidad del concreto

frente a este agente, con un valor de carga de 3789 coulomb, logrando una reducción de 26%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 5150 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada al utilizar este tipo de producto.

En la figura N°07, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-03, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que el epóxico comercial logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 400 coulomb, logrando una reducción de 91%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4400 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja al utilizar este tipo de producto.

En la figura N°08, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-04, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que la pintura esmalte logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 1040 coulomb, logrando una reducción de 71%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 3554 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad baja al utilizar este tipo de recubrimiento.

En la figura N°09, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los materiales utilizados por el I-05, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 2 tipos de materiales empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el humo de sílice con un valor de 180 coulomb, seguido de los 800 coulomb alcanzados por las muestras con ceniza volante, los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 84% y 28% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad baja debido a los 1105 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja al utilizar recubrimientos.

En la figura N°10, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-06, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 4 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el poliuretano con un valor de 1341 coulomb, seguido de los 2616 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con silicato de sodio, seguido de los 3616 coulomb alcanzados por las muestras con acrílico, seguido de los 4023 coulomb obtenidos por las muestras con silano; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 71%, 43%, 22% y 13% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4628 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada y baja en la mayoría de los casos.

En la figura N°11, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-07, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 3 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando la crema repelente de silano con un valor de 760 coulomb, seguido de los 1125 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con emulsión acuosa de silano, seguido de los 2250 coulomb alcanzados por las muestras con aditivo impermeabilizante; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 77%, 65% y 31% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad moderada debido a los 3260 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad baja y muy baja en la mayoría de los casos.

En la figura N°12, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-08, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que el mortero cementoso modificado con polímero, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 169 coulomb, logrando una reducción de 96%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4518 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja al utilizar este tipo de recubrimiento.

En la figura N°13, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los materiales utilizados por el I-09, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que el humo de sílice, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 969 coulomb, logrando una reducción de 50%, pasando del grado de permeabilidad baja debido a los 1923 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja al utilizar este tipo de recubrimiento.

En la figura N°14, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-10, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 3 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el silicato comercial con un valor de 543 coulomb, seguido de los 768 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con silicato de sodio líquido, seguido de los 1592 coulomb alcanzados por las muestras con silicato de sodio; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 88%, 83% y 64% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4446 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad baja y muy baja.

En la figura N°15, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-11, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que el látex estireno butadieno, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 3915 coulomb, logrando una reducción de 5%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4125 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada al utilizar este tipo de recubrimiento.

En la figura N°16, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los materiales utilizados por el I-12, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que la ceniza volante, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 2200 coulomb, logrando una reducción de 48%, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4200 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada al utilizar este material.

En la figura N°17, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-13, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 4 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el poliuretano con un valor de 559 coulomb, seguido de los 3074 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas acrílico disperso en disolvente, seguido de los 3185 coulomb alcanzados por las muestras con silano disperso en disolvente, seguido de los 3521 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con silano disperso en agua; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 86%, 20%, 17% y 9% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad moderada debido a los 3856 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja en el caso del poliuretano.

En la figura N°18, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-14, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 2 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando la resina epóxica con un valor de 0 coulomb, seguido de los 1477 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con resina acrílica en base acuosa; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 100% y 55% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad moderada debido a los 3258 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad baja y despreciable en el caso de la resina epóxica.

En la figura N°19, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los materiales utilizados por el I-15, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que la piedra caliza, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 3329 coulomb, logrando una leve reducción de 10%, manteniendo en este caso el grado de permeabilidad moderado debido a que tanto el concreto patrón como el concreto recubierto, obtienen valores que se encuentran dentro del rango de 2000 a 4000 coulomb.

En la figura N°20, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-16, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 2 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando la resina acrílica con un valor de 297 coulomb, seguido de los 1384 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con silano; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 93% y 70% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4549 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad baja y muy baja.

En la figura N°21, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-17, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 2 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando la resina epóxica con un valor de 1659 coulomb, seguido de los 3041 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con acrílico; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 60% y 27% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad alta debido a los 4147 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad moderada y baja.

En la figura N°22, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-18, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 5 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el epóxico con un valor de 7 coulomb, seguido de los 39 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con poliuretano, seguido de los 50 coulomb alcanzados por las muestras con caucho dorado, seguido de los 164 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con acrílico, seguido de los 703 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con emulsión de polímero; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 99%, 96%, 95%, 83% y 28% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad muy baja debido a los 975 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad despreciable en la mayoría de los casos.

En la figura N°23, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los recubrimientos utilizados por el I-19, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que los 4 tipos de recubrimientos empleados logran reducir la permeabilidad respecto al patrón, resaltando el poliuretano con un valor de 3 coulomb, seguido de los 5 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con epóxico, seguido de los 9 coulomb alcanzados por las muestras con mortero cementoso modificado, seguido de los 25 coulomb alcanzados por las muestras recubiertas con revestimiento a base de cemento, seguido de los; los cuales logran reducciones de permeabilidad en el orden de 100%, 100%, 99% y 99% respectivamente, pasando del grado de permeabilidad baja debido a los 1760 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad despreciable en todos los casos.

En la figura N°24, se muestra la comparación de los resultados de permeabilidad al ion cloruro de los materiales utilizados por el I-15, según las cargas obtenidas en Coulomb, observando que la puzolana, logra reducir la permeabilidad del concreto frente a este agente, con un valor de carga de 800 coulomb, logrando una reducción de 73%, pasando del grado de permeabilidad moderado debido a los 3000 coulomb obtenido por el concreto patrón, a una permeabilidad muy baja.

En la figura N°25, se muestra que el revestimiento a base de cemento, el mortero cementoso modificado con polímero y el epóxico comercial son los tres tipos de recubrimiento que mejor comportamiento presentan ya que lograron reducir la permeabilidad al ion cloruro en 99%, 98% y 97% respectivamente. Sin embargo, se puede apreciar que el resto de los recubrimientos empleados pueden ser una alternativa para proteger el concreto del ataque de cloruros en ambientes marinos, ya que si bien es cierto tienen porcentajes de reducción menores, la mayoría se encuentra dentro del nivel moderado de permeabilidad al ión cloruro.

En la figura N°26, se detallan también otros materiales que han sido empleados con la finalidad de proteger el concreto del ataque de cloruros, los cuales presentan un buen comportamiento al igual que los recubrimientos superficiales, pues los porcentajes de reducción de permeabilidad son altos, asimismo el grado de permeabilidad de estos concretos se encuentra entre moderada y muy baja lo cual también resulta aceptable su utilización.

La presente investigación, a través de los resultados, evidencia que el uso de diferentes tipos de recubrimientos superficiales ayuda en la protección contra el ataque de cloruros ya que la mayoría de ellos reduce considerablemente el grado de permeabilidad al ion cloruro; concordando con Medeiros, Real, Quarcioni & Helene (2015), quienes luego de analizar las contribuciones con respecto a los tres sistemas típicos de protección superficial del hormigón (capas protectoras, revestimientos y bloqueadores de poros), encontraron que el tratamiento con silicato de sodio puede aumentar la vida útil de la misma manera que un revestimiento de poros de silano/siloxano y un revestimiento acrílico; sin embargo, la protección con recubrimiento de poliuretano fue la que resultó más eficiente; teniendo relación con Carvajal & Jorquera (2010), quienes encontraron que el ambiente acelerado marino industrial es más adverso para el hormigón armado que un ambiente marino o industrial por separado; además, entre los recubrimientos de mortero con 10%, 15% y 20% de acrílico, no se aprecia un comportamiento más ventajoso para el de mayor porcentaje. Presentando conformidad con Rodríguez (2017), quien luego de observar que sus resultados muestran que el transporte de iones cloruros en concretos donde se aplicó recubrimiento de pintura esmalte, resulta inferior frente a otros recubrimientos empleados; concluyó que la durabilidad del concreto hidráulico en ambientes agresivos se ve afectada por la corrosión de la armadura de refuerzo provocado por los mecanismos de transporte del ion cloruro como la permeabilidad, disfunción y/o absorción.

Asimismo, la carbonatación lleva a la disminución del pH, eliminando así la pasivación del acero. Ésta es sensible a la humedad relativa del ambiente donde se encuentra el concreto y se ve influenciada por su curado inicial.

Para el desarrollo del presente estudio, se tuvieron diferentes limitaciones, tales como el difícil acceso a ciertos documentos, ya que en su mayoría se encontraban incompletos o con ciertas restricciones por derechos de autor, por lo que se tuvo que contactar vía correo con algunos autores para que puedan facilitar el documento completo. Otra limitación fue que no todos los estudios encontrados se enfocaron en un solo ensayo para el análisis de sus muestras, por ello se tuvo que uniformizar quedando como tema específico de estudio el ensayo de permeabilidad al ión cloruro. Asimismo, otra de las limitaciones fue que algunos de los estudios encontrados no se adaptaban a una estructura adecuada para su eficaz análisis por lo que se tuvo que realizar un procedimiento de descarte.

En resumen, la presente investigación fue desarrollada en base a un procedimiento que tuvo como punto de inicio la búsqueda de información en diferentes fuentes confiables, ello seguido de un análisis documental mediante la elaboración de fichas resumen y matrices de categorización; luego se llevó a cabo la extracción de datos los mismos que fueron representados en tablas y gráficos haciendo uso de la estadística descriptiva, finalmente, se cumplió con los objetivos y se validó la hipótesis mediante los resultados, lo cual dio lugar a la redacción de discusión y conclusiones. Todo este procedimiento se desarrolló poniendo énfasis en la permeabilidad al ion cloruro de las muestras de concreto en ambientes marinos, cuyo datos obtenidos se evaluaron de acuerdo con los parámetros establecidos por la ASTM C1202, encontrando que los recubrimientos superficiales son de gran importancia puesto que ayudan a reducir considerablemente la permeabilidad al ión cloruro, resaltando en este caso los tres recubrimientos superficiales que presentaron un mejor comportamiento, como el

revestimiento a base de cemento, mortero cementoso modificado con polímero y el epóxico comercial, ya que lograron reducir la permeabilidad en un 99%, 98% y 97% respectivamente.

4.2. Conclusiones

- Se logró determinar la importancia de la protección de los elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, encontrando que, los diferentes tipos de recubrimientos muestran resultados aceptables ya que logran reducir la permeabilidad al ion cloruro en más del 50% en su mayoría.
- Se logró identificar los recubrimientos superficiales considerados en cada estudio, siendo estos, nanopartículas de SiO₂, infiltración de silicato, silicato de etilo, inhibidor de corrosión, epóxico comercial, pintura esmalte, silano, acrílico, poliuretano, silicato de sodio, aditivo impermeabilizante, mortero cementoso modificado con polímeros, silicato comercial, látex estireno butadieno, resina acrílica, resina epóxica, emulsión de polímero, caucho clorado y revestimiento a base de cemento.
- Se logró identificar los principales comportamientos de permeabilidad al ion cloruro de los elementos de concreto armado según los tipos de recubrimiento superficial empleado, así como su cumplimiento con la ASTM C1202.
- Se logró comparar los principales comportamientos de permeabilidad al ion cloruro obtenidos por cada tipo de recubrimiento superficial empleado, observando que en todos los casos los recubrimientos reducen el grado de permeabilidad de las muestras haciendo que el grado de permeabilidad del concreto patrón pase de ser alto a moderado, bajo, muy bajo y en algunos casos despreciable pudiendo notar de esta manera la importancia que tienen estos productos.

- Se logró identificar los recubrimientos superficiales como protección frente al ataque de cloruros en ambientes marinos que presentan mejores comportamientos en elementos de concreto armado; los cuales son revestimiento a base de cemento, mortero cementoso modificado con polímero y el epóxico comercial, ya que lograron reducir la permeabilidad en un 99%, 98% y 97% respecto a una muestra de concreto patrón o sin recubrir.

REFERENCIAS

- Li, T. & Wu, Y. (2021). Influence of different surface treatment on water penetration resistance of concrete. En *Revista EDP Sciences*, 272, pp. 1015-1018. Recuperado de <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127201015>.
- Cruz, R. & Cisneros, D. (2019). Estudio de caso para evaluar la patología presente en el concreto al ataque químico del cloruro. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Universidad Santo Tomas].
- Aguirre, A. & Mejia, R. (2021). Alkali-activated protective coatings for reinforced concrete exposed to chlorides. En *Revista Construction and Building Materials*, 268, pp. 1-15. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121098>.
- Rodríguez, Y. (2017). Evaluación del efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros. [Tesis para obtener el título de Constructor Civil, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas].
- Zhang, M., Bilodeau, H., Malhotra, A., Kim, V. & Kim, J. (2000). Concrete incorporating supplementary cementing materials: effect on compressive strength and resistance to chloride-ion penetration. En *Revista ACI Materials Journal*, 96, pp. 181-189. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/250613853>.
- Medeiros, M., Real, L., Quarcioni, V. & Helene, P. (2015). Concreto con protección de superficie y expuesto a solución de cloruros: Espesor de recubrimiento equivalente. En *Revista ALCOMPAT*, 5, pp. 219-234. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427643087005>.

Sivasankar, A., Stango, S. & Vedalakshmi, R. (2013). Quantitative estimation on delaying of onset of corrosion of rebar in surface treated concrete using sealers. En *Revista Ain Shams Engineering Journal*, 4, pp. 615-623. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.01.007>.

Diamanti, M., Brenna, A., Bolzoni, F., Berra, M., Pastore, T. & Ormellese, M. (2013). Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. En *Revista Construction and Building Materials*, 49, pp. 720-728. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.050>.

Dehwah, H. (2012). Corrosion resistance of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume and fly ash. En *Revista Construction and building materials*, 37, pp. 277-282. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.078>.

Medeiros, M., Castro, P., Aleixo, D., Quarcioni, V., Marcondes, C. & Helene, P. (2012). Reducing water and chloride penetration through silicate treatments for concrete as a mean to control corrosion kinetics. En *Revista International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*, 7, pp. 9682-9696. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286187659_Reducing_Water_and_Chloride_Penetration_Through_Silicate_Treatments_for_Concrete_as_a_Mean_to_Control_Corrosion_Kinetics.

- Rojas, E. (2013). Rodríguez, Y. (2017). Obtención y evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado. [Tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].
- Chi, M. (2016). Mechanical strength and durability of alkali-activated fly ash/slag concrete. En *Revista Journal of Marine Science and Technology*, 24, pp. 958-967. Recuperado de <https://doi.org/10.6119/JMST-016-0603-1>.
- Medeiros, M. & Helene, P. (2009). Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. En *Revista Construction and building materials*, 23, pp. 1476-1484. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.06.013>.
- Aguiar, J., Camões, A. & Moreira, P. (2008). Coatings for concrete protection against aggressive environments. En *Revista Journal of Advanced Concrete Technology*, 6, pp. 243-250. Recuperado de <https://doi.org/10.3151/jact.6.243>.
- Ramezani pour, A., Ghiasvand, E., Nickseresht, I., Mahdikhani, M. & Moodi, F. (2009). Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes. En *Revista Cement and Concrete Composites*, 31, pp. 715-720. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.08.003>.
- Moreira, P., Aguiar, J. & Camões, A. (2006). Systems for superficial protection of concretes. En *Revista International Symposium Polymers in Concrete*, 2, pp. 225-236. Recuperado de <https://hdl.handle.net/1822/6141>.

Vera, R., Apablaza, J. & Carvajal, A. (2005). Evaluación de recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales. En *Revista de la Construcción*, 4, pp. 13-18. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619365002.pdf>.

Almusallam, A., Khan, F., Dulaijan, S. & Al-Amoudi, O. (2003). Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. En *Revista Cement and concrete composites*, 25, pp. 473-481. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00087-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00087-2).

Al-Zahrani, M., Al-Dulaijan, S., Ibrahim, M., Saricimen, H. & Sharif, F. (2002). Effect of waterproofing coatings on steel reinforcement corrosion and physical properties of concrete. En *Revista Cement and Concrete Composites*, 24, pp. 127-137. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00033-6).

Merida, A., Kharchi, F. & Chaid, R. (2015). Measure of the Chloride Permeability of the Pozzolana concrete in Sulphate Middle. En *Revista Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, pp. 2668-2674. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.475>

Vargas Cordero, Z. R.,(2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. En *Revista Educación*, 33 (1), 155-165. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

ANEXOS

ANEXO N°1. Validación de instrumento por experto

Figura 27.

Matriz para evaluación de experto del instrumento de recolección de datos.

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

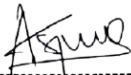
| | |
|--|---|
| Título de la investigación: | Importancia de la protección de los elementos de concreto armado mediante recubrimientos superficiales frente al ataque de cloruros en ambientes marinos, Trujillo 2021 |
| Línea de investigación: | Tecnologías Emergentes |
| Apellidos y nombres del experto: | Ing. Vásquez Díaz, Alberto Rubén |
| El instrumento de medición pertenece a la variable: | Recubrimientos superficiales |

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

| Ítems | Preguntas | Aprecia | | Observaciones |
|-------|---|---------|----|---------------|
| | | SÍ | NO | |
| 1 | ¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado? | ✓ | | |
| 2 | ¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación? | ✓ | | |
| 3 | ¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación? | ✓ | | |
| 4 | ¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación? | ✓ | | |
| 5 | ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio? | ✓ | | |
| 6 | ¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores? | ✓ | | |
| 7 | ¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos? | ✓ | | |
| 8 | ¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio? | ✓ | | |
| 9 | ¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos? | ✓ | | |

Sugerencias:

Firma del experto:



Alberto Rubén Vásquez Díaz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 166228

Ing. Vásquez Díaz, Alberto Rubén

ANEXO N°2. Formato de los instrumentos de recolección de datos

Figura 28.

Formato de la ficha resumen.

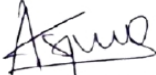
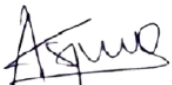
| FICHA RESUMEN | |
|---|---|
| Título: | |
| Autor (es): | |
| Año: | |
| Resumen | : |
| <p>Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos</p>  <p>Alberto Rubén Yásquez Díaz ING. CIVIL R. C.I.P. N° 166228</p> | |

Figura 29.

Formato de la matriz de categorización.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|---|--|
| Título: | |
| Pregunta de Investigación: | |
| Objetivo: | |
| Conclusiones: | |
| <p>Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos</p>  <p>Alberto Rubén Yásquez Díaz ING. CIVIL R. C.I.P. N° 166228</p> | |

ANEXO N°3. Fichas resumen**Tabla 10.***Ficha resumen de la investigación 01.*

| FICHA RESUMEN I-01 | |
|---------------------------|---|
| Título: | Influence of different surface treatment on water penetration resistance of concrete. |
| Autor (es): | Tianlun, L. & Yonggen, W. |
| Año: | 2021 |
| Resumen: | <p>El hormigón se ve fácilmente afectado por todo tipo de sustancias erosivas durante su uso. El tratamiento superficial es un método simple para mejorar la compacidad de la superficie y la permeabilidad al agua del hormigón. En este documento, el agente de infiltración de silicato, el nano-SiO₂ y el silicato de etilo se seleccionan como material de tratamiento de la superficie del concreto. Los resultados de la prueba de permeabilidad al agua mostraron que los tres tratamientos pueden mejorar efectivamente la resistencia al agua. El agente de infiltración de silicato y el nano-SiO₂ fueron los más efectivos, lo que redujo en gran medida la profundidad de penetración del agua de 66 mm a 34 mm y 32 mm, mientras que el silicato de etilo se redujo a 50 mm. A través de la curva de prueba de permeabilidad al agua, podemos ver que el agua ingresó al concreto bajo cierta presión, y el resultado mostró la forma de un borde alto, medio y bajo.</p> |

Tabla 11.*Ficha resumen de la investigación 02.*

FICHA RESUMEN I-02

Título: Alkali-activated protective coatings for reinforced concrete exposed to chlorides

Autor (es): Aguirre, A. & Mejía, R.

Año: 2021

Resumen:

La interacción del hormigón armado con ambientes ricos en cloruros es una causa predominante de la corrosión del acero de refuerzo, lo que puede resultar en la aparición de daños que afecten el desempeño estructural. Una forma de proteger el hormigón y alargar su vida útil es mediante la aplicación de recubrimientos superficiales, para limitar la penetración de agentes agresivos. Este estudio evaluó la efectividad de recubrimientos inorgánicos a base de materiales activados por álcali (AAM) aplicados a hormigones de cemento Portland (sustrato) expuestos a cloruros. Se utilizaron dos tipos de AAM, uno a base de puzolana natural volcánica (70%)/escoria de alto horno granulada (30%) y otro a base de ceniza volante (90%)/cemento Portland (10%) adicionado con emulsión acrílica polimérica. Se usó una mezcla de NaOH y silicato de sodio como activador alcalino. Se utilizaron como materiales de referencia hormigón sin recubrir (UCC) y recubrimiento epóxico comercial (CEC). Se evaluaron propiedades como absorción de agua por capilaridad, resistencia a la penetración de iones de cloruro, fuerza de adhesión, tiempo de fraguado y porosidad. En comparación con el hormigón sin recubrimiento, AMCP5 y APCP5 reducen la tasa de corrosión después del período de exposición en un 86 % y un 96 %, respectivamente.

Tabla 12.*Ficha resumen de la investigación 03.*

| FICHA RESUMEN I-03 | |
|---------------------------|---|
| Título: | Estudio de caso para evaluar la patología presente en el concreto al ataque químico del cloruro. |
| Autor (es): | Cruz, R. & Cisneros, D. |
| Año: | 2021 |
| Resumen: | <p>Se presenta un estudio de caso del efecto del ion cloruro sobre el concreto y el acero de refuerzo a nivel de laboratorio, en el marco de la patología preventiva. Para entender las lesiones y las formas de mitigar el efecto de este agente agresor del concreto, se fabricaron seis mezclas en el laboratorio modificando variables como la relación agua material cementante, el uso de adiciones, aditivos inhibidores de corrosión y cuantías de cemento. Para evaluar la efectividad de la mitigación a la permeabilidad del ion cloruro con las modificaciones al diseño de mezcla, se realizaron ensayos de RCPT (Rapid Chloride Permeability Test), además se documentó el nivel de ingreso de los cloruros por medio de la aspersión de nitrato de plata en probetas que se sumergieron durante 28 días en una solución de cloruros.</p> |

Tabla 13.*Ficha resumen de la investigación 04.*

| FICHA RESUMEN I-04 | |
|---------------------------|---|
| Título: | Evaluación del efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros. |
| Autor (es): | Rodríguez, Y. |
| Año: | 2017 |
| Resumen: | <p>Se presenta un estudio de caso del efecto del ion cloruro sobre el concreto y el acero de refuerzo a nivel de laboratorio, en el marco de la patología preventiva. Para entender las lesiones y las formas de mitigar el efecto de este agente agresor del concreto, se fabricaron seis mezclas en el laboratorio modificando variables como la relación agua material cementante, el uso de adiciones, aditivos inhibidores de corrosión y cuantías de cemento. Para evaluar la efectividad de la mitigación a la permeabilidad del ion cloruro con las modificaciones al diseño de mezcla, se realizaron ensayos de RCPT (Rapid Chloride Permeability Test), además se documentó el nivel de ingreso de los cloruros por medio de la aspersion de nitrato de plata en probetas que se sumergieron durante 28 días en una solución de cloruros.</p> |

Tabla 14.*Ficha resumen de la investigación 05.*

FICHA RESUMEN I-05

| | |
|--------------------|--|
| Título: | Mechanical strength and durability of alkali-activated fly ash/slag concrete |
| Autor (es): | Chi, M. |
| Año: | 2016 |

Resumen:

Este estudio investigó la resistencia mecánica y la durabilidad de los aglutinantes activados por álcali compuestos de mezclas de cenizas volantes (FA) y escoria de alto horno granulada molida. Se emplearon cinco muestras con relaciones FA/escoria de 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 0/100 en masa para preparar concreto FA/escoria activado con álcali (AAFS). Se usaron concentraciones de óxido de sodio (Na₂O) de 6% y 8% del peso del aglutinante y relaciones de módulo de activador (relación de masa de SiO₂ a Na₂O) de 0,8, 1,0 y 1,23 para preparar activadores alcalinos. Los resultados de las pruebas revelaron que los contenidos más altos de escoria, las concentraciones de Na₂O y las relaciones del módulo activador aumentaron la resistencia a la compresión y la resistencia a la se pueden obtener a través de la coexistencia de los dos tipos de gel.

Tabla 15.*Ficha resumen de la investigación 06.*

| FICHA RESUMEN I-06 | |
|---------------------------|--|
| Título: | Concreto con protección de superficie y expuesto a solución de cloruros: Espesor de recubrimiento equivalente. |
| Autor (es): | Medeiros, M.; Real, L.; Quarcioni, V. & Helene, P. |
| Año: | 2015 |
| Resumen: | <p>El principal objetivo de las pruebas era obtener el coeficiente de difusión y generar un cloruro de cloruro de entrada en previsión de hormigón con y sin superficie tratada, válido para el período de inicio de la corrosión de penetración de armadura y la difusión de iones. El pronóstico se basa en el estado inestable y algunos resultados indican que un hormigón con este tipo de protección puede aumentar el tiempo de contaminación hasta tres veces. Revestimientos equivalentes también presentados de protección de datos indica que los materiales utilizados en este experimento oscilaron entre 0,3 y 3,4 cm, es decir, los resultados mostraron una gran variación entre la protección de materiales probados.</p> |

Tabla 16.*Ficha resumen de la investigación 07.*

FICHA RESUMEN I-07

Título: Measure of the Chloride Permeability of the Pozzolana Concrete in Sulphate Midd

Autor (es): Merida, A.; Kharchi,F. & Chaid, R.

Año: 2015

Resumen:

La puzolana natural de origen volcánico tiene una marcada influencia en las características físico - mecánicas de los hormigones. Cuando se acopla a un superplastificante reductor de agua mediante un correcto ajuste de la composición, mejora notablemente las propiedades del hormigón. El análisis de los resultados experimentales sobre hormigón puzolana al 5% de contenido y finura de 9600 cm² / g, en ambiente sulfatado, mostró que contribuye positivamente a la mejora de su durabilidad respecto a la permeabilidad a los Cloruros. Este ensayo se realizó utilizando los procedimientos de la norma ASTM C 1202. La resistencia del concreto a la penetración de iones de cloruro se midió mediante la carga que pasó a través de dos especímenes de concreto de disco de 50 mm mantenidos bajo una tensión eléctrica de 60 V durante 6 horas por medio de electrodos hechos de acero inoxidable. acero entre las dos celdas de los dos compartimentos. Una de las caras de la muestra estaba en contacto con una solución de NaCl al 3% y la otra cara estaba en contacto con una solución de NaOH 0,3N. La prueba se realizó a los 28, 90,180 y 365 días.

Tabla 17.*Ficha resumen de la investigación 08.*

| FICHA RESUMEN I-08 | |
|---------------------------|---|
| Título: | Quantitative estimation on delaying of onset of corrosion of rebar in surface treated concrete using sealers. |
| Autor (es): | Sivasankar, A.; Xavier, S. & Vedalakshmi, R. |
| Año: | 2013 |
| Resumen: | <p>El tratamiento superficial de la superficie del hormigón con selladores reduce la tasa de permeabilidad del cloruro y la humedad a través del hormigón. El retraso del inicio de la corrosión se evalúa para hormigón tratado superficialmente y sin tratar utilizando técnicas electroquímicas. Después de realizar la prueba rápida de permeabilidad al cloruro (RCPT), utilizando la ecuación de Nernst-Plank, el coeficiente de difusión del cloruro (D_{eff}) es calculado. Sustitución del umbral de concentración de cloruro de la barra de refuerzo (C_{th}) a partir de la prueba de polarización cíclica en la segunda ley de Ficks, el tiempo hasta el inicio de la corrosión (T_i) llega. De los resultados se encuentra que el hormigón tratado con sellador de alquiltrialcoxisilano retrasa el inicio de la corrosión cuatro veces más que el hormigón sin tratar.</p> |

Tabla 18.*Ficha resumen de la investigación 09.*

FICHA RESUMEN I-09

Título: Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete.

Autor (es): Diamanti, M.; Brenna, A.; Bolzoni, F.; Berra, M.; Pastore, T. & Ormellese, M.

Año: 2013

Resumen:

Los revestimientos de hormigón se utilizan ampliamente para mejorar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado con el fin de prevenir y controlar la corrosión del refuerzo en entornos que contienen cloruros. Recubrimientos a base de cemento, así como los recubrimientos de base orgánica, actúan como barrera física a la penetración de agua, iones y gases. En este trabajo se evaluó la permeabilidad al agua y a los cloruros del hormigón, revestido con morteros cementosos modificados con polímeros comerciales con dos proporciones diferentes de polímero a cemento, en función de absorción de agua, difusión de cloruro, tasa de penetración de cloruro y propiedades de adhesión del recubrimiento. Pruebas se realizaron en especímenes de hormigón revestidos, así como en capas de revestimiento. El efecto de la barrera física. Se discutió la penetración de cloruros y la capacidad de disminuir el contenido de agua en el concreto, así como la influencia en la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

Tabla 19.*Ficha resumen de la investigación 10*

FICHA RESUMEN I-10

Título: Obtención y evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado.

Autor (es): Rojas, E.

Año: 2013

Resumen:

Se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico cuya finalidad es disminuir la corrosión en estructuras de concreto reforzado construidas en ambientes agresivos y aumentar su vida útil. El recubrimiento geopolimérico consta de metacaolín como material base e hidróxido de sodio como solución alcalina, activadora del proceso de geopolimerización. En ciertas mezclas se adiciona también, como nuevo agregado cemento Portland en diferentes proporciones, para observar el comportamiento del recubrimiento. Se presenta la realización de pruebas de tratamiento térmico a alta temperatura, resistencia a la compresión en elementos cúbicos y cilíndricos, resistividad eléctrica, adherencia (Pull Off), permeabilidad rápida de cloruros e intemperismo acelerado mediante ataques de sulfato de sodio. De los resultados obtenidos se pudo concluir que el recubrimiento con tratamiento térmico a alta temperatura es menos permeable y con mayor resistencia mecánica, el recubrimiento con sustituciones de cemento mejora las propiedades mecánicas del concreto y además le otorga mayor durabilidad. Adicionalmente se realizan varias propuestas para mejorar la adherencia y facilitar la aplicación del recubrimiento.

Tabla 20.*Ficha resumen de la investigación 11*

FICHA RESUMEN I-11

Título: Corrosion resistance of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume and fly ash.

Autor (es): Dehwah, H.

Año: 2012

Resumen:

Este artículo presenta los resultados de un estudio realizado para evaluar la resistencia a la corrosión del hormigón autocompactante (SCC) preparado con polvo de cantera (QDP), humo de sílice (SF) más QDP o cenizas volantes (FA). Se prepararon especímenes de SCC y se probaron para determinar la resistencia a la corrosión, la permeabilidad al cloruro y la difusión del cloruro. Los resultados indicaron que el tiempo hasta el inicio de la corrosión del refuerzo en las muestras M4 (8 % QDP más 5 % SF y $a/c = 0,4$) y las muestras M2 (8 % QDP y $a/c = 0,38$) fue mayor que en M5 (30% FA y $w/c = 0,4$) especímenes. La densidad de corriente de corrosión en el acero en las muestras de SCC fue muy baja en la etapa inicial de exposición a una solución de NaCl al 5% y aumentó con el aumento del período de exposición. Se observó activación por corrosión en el acero en las muestras M1, M3 y M5. Sin embargo, no se observó en muestras M2 y M4 incluso después de 990 días (33 meses) de exposición. La permeabilidad al cloruro en las muestras de SCC que incorporaron QDP o FA fue moderada y fue baja en las muestras que incorporaron QDP más SF. El coeficiente de difusión más bajo se observó en las muestras M2 mientras que fue el más alto en las muestras M5.

Tabla 21.*Ficha resumen de la investigación 12*

FICHA RESUMEN I-12

| | |
|--------------------|--|
| Título: | Reducing water and chloride penetration through silicate treatments for concrete as a mean to control corrosion kinetics.. |
| Autor (es): | Medeiros, M.; Castro, P.; Aleixo, D., Quarcioni, V.; Marcondes, C. & Helene, P. |
| Año: | 2012 |

Resumen:

Actualmente existen muchos tipos de materiales de protección para estructuras de hormigón armado y la influencia de estos materiales en el coeficiente de difusión de cloruros y la penetración del agua aún necesita más investigación. El objetivo de este trabajo es analizar las contribuciones con respecto a los tres sistemas típicos de protección superficial del hormigón (revestimientos, revestimientos y bloqueadores de poros) y discute los resultados de tres bloqueadores de poros (silicato de sodio) probados en este trabajo. Para ello, se utilizaron unas pruebas: una de mecanismo de permeabilidad (absorción por inmersión a baja presión), otra de absorción de agua por capilaridad y, por último, una prueba de migración para estimar el coeficiente efectivo de difusión de cloruros en estado saturado. Los resultados indicaron una reducción en los coeficientes de difusión de cloruro y la absorción de agua capilar, por lo tanto, restricciones a la penetración de agua del ambiente externo. Como consecuencia, se espera una reducción de la cinética de corrosión y un control del ingreso de cloruro.

Tabla 22.*Ficha resumen de la investigación 13.*

FICHA RESUMEN I-13

Título: Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption.

Autor (es): Medeiros, M. & Helene, P.

Año: 2009

Resumen:

Actualmente existen muchos tipos de materiales de protección para estructuras de hormigón armado y la influencia de estos materiales en el coeficiente de difusión de cloruros aún necesita más investigación. El objetivo de este trabajo es estudiar la eficacia de ciertos tratamientos superficiales (tales como agentes hidrófobos, revestimiento acrílico, revestimiento de poliuretano y sistemas dobles) para inhibir la penetración de cloruros en el hormigón. Los resultados indicaron que todas las protecciones superficiales probadas redujeron significativamente la sorción del concreto (tasa de reducción > 70%). Sin embargo, solo el revestimiento de poliuretano fue muy eficaz en la reducción del coeficiente de difusión de cloruro (tasa de reducción del 86%).

Tabla 23.
Ficha resumen de la investigación 14.

FICHA RESUMEN I-14

Título: Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes.

Autor (es): Ramezaniapour, A.; Ghiasvand, E.; Nickseresht, I.; Mahdikhani, M. & Moodi, F.

Año: 2009

Resumen:

Los beneficios de la piedra caliza como reemplazo parcial del cemento Portland (PC) están bien establecidos. Las ventajas económicas y medioambientales de la reducción de las emisiones de CO₂ son bien conocidas. El artículo describe el efecto de varias cantidades de piedra caliza sobre la resistencia a la compresión, la penetración de agua, la sorción, la resistividad eléctrica y la rápida permeabilidad al cloruro en hormigones producidos mediante el uso de una combinación de PC y piedra caliza a los 28, 90 y 180 días. Los porcentajes de caliza que sustituyen al PC en esta investigación son 0%, 5%, 10%, 15% y 20% en masa. Las relaciones agua/(clinker + caliza) o (w/b) son 0,37, 0,45 y 0,55 teniendo un contenido total constante de ligante de 350 kg/m³. En general, los resultados muestran que los hormigones de cemento Portland calizo (PLC) que tienen hasta un 10 % de caliza proporcionan propiedades competitivas con los hormigones PC.

Tabla 24.*Ficha resumen de la investigación 15.*

FICHA RESUMEN I-15

Título: Coatings for concrete protection against aggressive environments.**Autor (es):** Aguiar, J.; Camoes, A. & Moreira, P.**Año:** 2007**Resumen:**

Se evaluó el efecto de los recubrimientos poliméricos en la protección del hormigón frente a ambientes químicamente agresivos. Se aplicaron dos polímeros, acrílico y epoxi, sobre diferentes hormigones. La protección se midió mediante pruebas relacionadas con la resistencia química. Se utilizaron las pruebas de penetración de cloruros, sulfatos, ácidos y bases. Los tratamientos superficiales actúan como barrera entre el entorno y el hormigón. Este trabajo pretende contribuir a una mejor comprensión del comportamiento del hormigón revestido en ambientes químicamente agresivos, al presentar los resultados de la difusión de iones y la resistencia a soluciones agresivas de varios revestimientos utilizados para proteger el hormigón. El comportamiento de los hormigones revestidos usados frente a ambientes químicamente agresivos fue en general mejor que el comportamiento de los hormigones sin protección. Los resultados indican que el desempeño general de la resina epoxi usada fue mejor que el de otros recubrimientos usados.

Tabla 25.*Ficha resumen de la investigación 16.*

FICHA RESUMEN I-16

Título: Systems for superficial protection of concretes**Autor (es):** Moreira, P.; Aguiar, J.; & Camoes, A.**Año:** 2006**Resumen:**

Hoy en día, es consensuado que la mayor degradación del hormigón ocurre de acciones de afuera hacia adentro, debido a la penetración de humedad, gases activos e iones agresivos, por causas mecánicas, físicas y químicas que frecuentemente actúan juntas. Una baja porosidad, permeabilidad y penetración del hormigón a la humedad y los gases son las primeras líneas de defensa contra varios mecanismos de deterioro. La durabilidad del hormigón depende en gran medida de cómo fluidos duros o fáciles (agua, dióxido de carbono, oxígeno) en forma líquida o gaseosa pueden migrar a través de la masa endurecida del concreto. Al seleccionar el recubrimiento de pintura para la protección del hormigón, se da importancia a las propiedades de resistencia a la difusión y permeabilidad, además de la propiedad de durabilidad y resistencia química. Los revestimientos de pintura deben impedir la penetración del agua y retardar la influencia de los agentes agresivos (CO₂, SO₂, Cl⁻ iones), permitiendo la estructura para respirar por un mecanismo de difusión de vapor de agua.

Tabla 26.*Ficha resumen de la investigación 17.*

FICHA RESUMEN I-17

Título: Evaluación de recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales.

Autor (es): Vera, R.; Apablaza, J. & Carvajal, A.

Año: 2005

Resumen:

El presente trabajo tiene como objetivo general estudiar el efecto protector en ambientes industriales de recubrimientos aplicados sobre hormigón armado. Para ello se preparó un hormigón con una relación de agua/cemento de 0,55 el que fue caracterizado mediante ensayos físicos y mecánicos, como resistividad eléctrica, absorción capilar, porosidad efectiva, permeabilidad a cloruros y resistencia a la tracción y compresión. Las probetas sin pintar y con recubrimientos del tipo epóxico y acrílico se expusieron a una solución ácida artificial empleada en plantas mineras durante 56 días. La corrosión de la armadura fue evaluada por medidas de potencial de corrosión y resistencia de polarización. Por otra parte, el deterioro propio del hormigón y su contaminación se determinó midiendo el perfil de profundidad de cloruro, de acidez y de sulfato. Los resultados preliminares muestran que el acero de refuerzo del hormigón en todas las muestras se encuentra en estado pasivo y que el comportamiento de los recubrimientos es epóxico > acrílico.

Tabla 27.*Ficha resumen de la investigación 18.*

FICHA RESUMEN I-18

Título: Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability.**Autor (es):** Allmusallam, A.; Khan, F.; Dulaijan, S. & Al-Amoudi, O.**Año:** 2003

Resumen:

Este documento informa los resultados de un estudio realizado para evaluar la durabilidad del hormigón revestido con revestimientos superficiales de hormigón. que representan cinco tipos genéricos. La durabilidad de los especímenes de concreto revestidos y no revestidos se evaluó evaluando la absorción de agua, la permeabilidad al cloruro y la difusión del cloruro. La resistencia química se evaluó sumergiendo las muestras de mortero con y sin recubrimiento en ácido sulfúrico al 2.5%. Los resultados indicaron que los recubrimientos de epoxi y poliuretano funcionaron mejor que los recubrimientos de acrílico, polímero y caucho clorado. Sin embargo, se notó una variación notable en el desempeño del mismo tipo genérico adquirido de diferentes fabricantes. Por lo tanto, la selección de recubrimientos debe hacerse después de realizar pruebas de prueba en lugar de basarse únicamente en el tipo genérico.

Tabla 28.*Ficha resumen de la investigación 19.*

FICHA RESUMEN I-19

Título: Effect of waterproofing coatings on steel reinforcement corrosion and physical properties of concrete

Autor (es): Al-Zahrani, M.;Al-Dulaijan, S.;Ibrahim, M.; Saricimen, H. & Sharif, F.

Año: 2002

Resumen:

Este artículo informa los resultados de un estudio realizado para evaluar la corrosión del refuerzo de acero y algunas propiedades físicas de especímenes de concreto recubiertos con dos recubrimientos impermeabilizantes a base de polímero, uno a base de cemento modificado con polímero y otro a base de cemento. Los especímenes de concreto revestidos y no revestidos se sometieron a corrosión acelerada para determinar el tiempo de iniciación de la corrosión. Las propiedades físicas también se evaluaron sometiendo las muestras de concreto a ciclos de humectación/secado y ciclos de calentamiento/enfriamiento. durante cinco meses. Las propiedades físicas evaluadas fueron absorción de agua, permeabilidad al agua, permeabilidad al cloruro y adhesión. Los resultados de la prueba de corrosión acelerada mostraron claramente que las muestras recubiertas con el material impermeabilizante a base de elastómero de poliuretano se comportaron mejor que las muestras de hormigón recubiertas con otros materiales impermeabilizantes. Los dos recubrimientos a base de polímeros mostraron un mejor desempeño que los recubrimientos a base de cemento modificados con polímeros y a base de cemento en términos de las propiedades físicas evaluadas.

Tabla 29.*Ficha resumen de la investigación 20*

FICHA RESUMEN I-20

Título: Concrete incorporating supplementary cementing materials: Effect on compressive strength and resistance to chloride-ion penetration

Autor (es): Zhang, M.; Bilodeau, A.; Malhotra, V.; Kim, K. & Kim, J.

Año: 2000

Resumen:

Este artículo presenta los resultados de una investigación que trata sobre los efectos del método de curado en la resistencia a la compresión y la resistencia a la penetración de iones de cloruro del hormigón que incorpora materiales cementantes suplementarios. El concreto fue curado bajo arpillera húmeda durante 7 días, seguido de exposición al aire del laboratorio o curado usando tres compuestos de curado diferentes. Se evaluó el efecto de la relación agua-cemento (a/c) y el tipo de materiales cementantes complementarios, incluidas las cenizas volantes, el humo de sílice y la escoria granulada de alto horno molida. La resistencia a la compresión del hormigón se determinó a los 7, 28 y 91 días, y la resistencia del hormigón a la penetración de iones de cloruro se determinó a los 28 y 91 días.

ANEXO N°4. Matrices de categorización

Tabla 30.

Matriz de categorización de la investigación 01.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-01 | |
| Título: | Influence of different surface treatment on water penetration resistance of concrete. |
| Pregunta de Investigación: | ¿Cuál es la influencia de diferentes tratamientos superficiales en la resistencia a la penetración de agua del hormigón? |
| Objetivo: | Determinar la influencia de diferentes tratamientos superficiales en la resistencia a la penetración de agua del hormigón. |
| Conclusiones: | El tratamiento de superficie puede mejorar efectivamente la permeabilidad al agua del concreto. En términos de reducción de la penetración, el nano-SiO ₂ tiene el mejor efecto, la tasa de reducción de profundidad en comparación con ningún tratamiento es del 52,1 %, el segundo es el agente de infiltración de silicato con una tasa de reducción del 48,7 %. |

Tabla 31.

Matriz de categorización de la investigación 02.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-02 | |
| Título: | Alkali-activated protective coatings for reinforced concrete exposed to chlorides |
| Pregunta de Investigación: | ¿ Cual es la efectividad de recubrimientos inorgánicos a base de materiales activados por álcali (AAM) aplicados a hormigones de cemento Portland (sustrato) expuestos a cloruros.? |
| Objetivo: | Evaluar la efectividad de recubrimientos inorgánicos a base de materiales activados por álcali (AAM) aplicados a hormigones de cemento Portland (sustrato) expuestos a cloruros. |
| Conclusiones: | <p>En cuanto a las propiedades de absorción capilar y resistencia a la penetración de iones de cloruro, los recubrimientos a base de NP con adiciones de 10% de emulsión acrílica o superior se comportaron menos bien, con coeficientes de absorción capilar aumentados, menor resistencia a la penetración de agua y mayor permeabilidad a los iones de cloruro con respecto a el recubrimiento sin adición.</p> <p>Los porcentajes de adición de 5% para AAM basado en NP y 1% para AAM basado en FA mostró un aumento en la resistencia a la penetración de iones de cloruro y agua. Declaración de interés en competencia. Además, estos mismos porcentajes de adición incrementaron la fuerza de adherencia al hormigón con respecto a los recubrimientos sin ninguna adición polimérica.</p> |

Tabla 32.
Matriz de categorización de la investigación 03.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|---|--|
| I-03 | |
| Título: | Estudio de caso para evaluar la patología presente en el concreto al ataque químico del cloruro. |
| Pregunta de Investigación: | ¿ Cuales son los criterios normativos del diseño de mezcla por durabilidad presentes en la normatividad colombiana en función de los niveles de exposición a cloruros? |
| Objetivo: | Confrontar los criterios normativos del diseño de mezcla por durabilidad presentes en la normatividad colombiana en función de los niveles de exposición a cloruros. |
| Conclusiones: | |
| <p>Se comprobó que una de las formas más efectivas de disminuir la permeabilidad al ion cloruro consiste en densificar la pasta, lo cual se logra disminuyendo el espacio entre los granos de cemento por efecto de la disminución de la relación a/mc. Con base en los resultados obtenidos de RCPT, se lograron reducciones del 35% de la permeabilidad ion cloruro para una a/c de 0,45 y del 67% para una a/c de 0,30 con respecto al control (mezcla n°1 a/c 0,65).</p> <p>El uso de materiales cementantes puzolánicos como la ceniza volante para disminuir el ataque de los Iones cloruros, demostró para el presente caso ser más efectivo que la disminución de la relación a/c. Esto se evidenció al comparar el resultado del ensayo RCPT para la mezcla n°2 (relación a/c 0,45), el cual fue de 2457 coulomb vs 2250 de la mezcla n°4 (15 % de ceniza y relación a/mc 0,65).</p> | |

Tabla 33.

Matriz de categorización de la investigación 04.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-04 | |
| Título: | Evaluación del efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros. |
| Pregunta de Investigación: | ¿Cuál es el efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros? |
| Objetivo: | Determinar el efecto del recubrimiento superficial como protección secundaria en hormigones antes el ataque de iones cloruros? |
| Conclusiones: | <p>El transporte de iones cloruros en hormigones con recubrimiento de pintura esmalte resulta inferior a otros recubrimientos ensayados, producto que esta pintura se adhiere de mejor forma a la superficie de la muestra, dejándola prácticamente impermeable al paso de líquidos.</p> <p>La saturación planteada en la norma ASTM C1202 no es recomendable utilizarla en muestra con recubrimientos a base de pintura, debido que presenta baja transpirabilidad.</p> |

Tabla 34.

Matriz de categorización de la investigación 05.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-05 | |
| Título: | Mechanical strength and durability of alkali-activated fly ash/slag concrete |
| Pregunta de Investigación: | ¿Cómo es la resistencia mecánica y la durabilidad de los aglutinantes activados por álcali compuestos de mezclas de cenizas volantes (FA) y escoria de alto horno granulada molida? |
| Objetivo: | Investigar la resistencia mecánica y la durabilidad de los aglutinantes activados por álcali compuestos de mezclas de cenizas volantes (FA) y escoria de alto horno granulada molida. |
| Conclusiones: | <p>La resistencia a la compresión del hormigón AAFS también aumenta con el contenido de escoria. Además, las relaciones más altas del módulo activador y los niveles de concentración de Na₂O mejoran la resistencia a la compresión del hormigón AAFS. La tendencia en la resistencia a la tracción por hendimiento del hormigón AAFS es similar a la de su resistencia a la compresión. La carga total que pasa a través del concreto AAFS está entre 2500 y 4000 C, más alta que la que pasa a través del concreto OPC de referencia, pero el concreto AAFS demuestra un desempeño más alto que el del concreto OPC cuando se expone al sulfato, además de exhibir un cierto aumento de fuerza con el tiempo en solución de sulfato de sodio.</p> |

Tabla 35.
Matriz de categorización de la investigación 06.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-06 | |
| Título: | Concreto con protección de superficie y expuesto a solución de cloruros: Espesor de recubrimiento equivalente. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Obtener el coeficiente de difusión y generar un cloruro de cloruro de entrada en previsión de hormigón con y sin superficie tratada, válido para el período de inicio de la corrosión de penetración de armadura y la difusión de iones. |
| Conclusiones: | <p>La protección de superficie del concreto puede ser un medio eficiente de inhibición de la penetración de cloruros en concreto. Consecuentemente, los sistemas de protección deben ser usados para aumentar la vida útil del concreto armado en ambientes influenciados por el mar, como edificios costeros.</p> <p>Los resultados indican que el sistema de protección más eficiente puede reducir el coeficiente de difusión de cloruros en el concreto armado en 71%.</p> |

Tabla 36.

Matriz de categorización de la investigación 07.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-07 | |
| Título: | Measure of the Chloride Permeability of the Pozzolana Concrete in Sulphate Midd |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Determinar la medida de la permeabilidad al cloruro del concreto puzolana en sulfato medio. |
| Conclusiones: | <p>En base a los datos obtenidos en este estudio, el uso de puzolana volcánica natural en sustitución del 5% en peso de cemento en la mezcla de hormigón de altas prestaciones influye positivamente en la durabilidad de las probetas de hormigón curado en ambiente sulfatado. La puzolana modifica la microestructura del hormigón en cuanto a sus características físicas y químicas. Se observó que durante las primeras etapas, el efecto de relleno se produce debido a la reducción de la porosidad. Con el envejecimiento, la acción puzolánica evidencia aún más la densificación y baja porosidad del hormigón debido a la mezcla natural por la formación de CSH con propiedades aglomerantes similares a las formadas en los cementos de base mineral. Puedo concluir que la mezcla mineral mejoró las características físicas del concreto en relación con la muestra de concreto de control.</p> |

Tabla 37.

Matriz de categorización de la investigación 08.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-08 | |
| Título: | Quantitative estimation on delaying of onset of corrosion of rebar in surface treated concrete using sealers. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Estimar cuantitativamente el retraso del inicio de la corrosión de las barras de refuerzo en hormigón tratado superficialmente utilizando selladores. |
| Conclusiones: | <p>La presencia del grupo orgánico butilo del sellador a base de alquiltrialk oxisilano (sellador tipo III) aumenta la hidrofobicidad, por lo que repele el cloruro y el agua más eficazmente que el sellador a base de silicona del grupo éster (sellador tipo I y II). Siendo el tamaño molecular más pequeño del sellador a base de silano capaz de penetrar más profundamente en el concreto, es decir, hasta 12 mm, mientras que el sellador a base de silicona puede penetrar solo hasta 4–6 mm. Pruebas de corrosión acelerada realizadas en solución de cloruro de sodio al 3,5 % sobre hormigón tratado/sin tratar, la resistencia a la corrosión de los tres selladores evaluados es del orden de tipo III > tipo II > tipo I. Estos selladores a base de agua son más respetuosos con el medio ambiente que los a base de disolvente. selladores IV. Por las razones dadas en (i) y (ii), el concreto tratado en la superficie que usa sellador tipo III mejora la vida útil del concreto cuatro veces más que la del concreto sin tratar durante el período de iniciación y propagación del proceso de deterioro de las barras de refuerzo en el concreto.</p> |

Tabla 38.

Matriz de categorización de la investigación 09.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-09 | |
| Título: | Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. |
| Pregunta de Investigación: | Evaluar la permeabilidad del hormigón, revestido con morteros cementosos comerciales modificados con polímeros con dos proporciones diferentes de polímero a cemento, al agua y los cloruros en función de la absorción de agua, la difusión del cloruro, la tasa de penetración del cloruro y la adhesión del recubrimiento |
| Objetivo: | Reducir la intensidad en la aparición de las fisuras, tanto en frecuencia como en su ancho, que se producen en la fabricación de losas macizas in-situ debido a la contracción plástica, desarrollando un concreto estándar ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) con adiciones cenizas de cáscara de arroz y fibras de polipropileno. |
| Conclusiones: | Los revestimientos cementosos modificados con polímeros reducen en gran medida el contenido de agua del hormigón en condiciones húmedas (ensayos de inmersión), así como también ralentizan la penetración de cloruro en el hormigón; los revestimientos actúan como una barrera física efectiva bajo exposición cíclica a condiciones húmedas y secas, dificultando la absorción de agua mientras permiten su evaporación gracias a una buena permeabilidad al vapor de agua: debido a este comportamiento, el contenido de agua del hormigón expuesto a la atmósfera se redujo fuertemente; el efecto protector ejercido por los recubrimientos es más pronunciado a medida que la relación polímero-cemento aumenta de 0,35 a 0,55: esto se atribuyó al doble efecto de reducir la porosidad del recubrimiento y aumentar la hidrofobicidad de la superficie inducida por la presencia del polímero acrílico. |

Tabla 39.
Matriz de categorización de la investigación 10.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-10 | |
| Título: | Obtención y evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado. |
| Pregunta de Investigación: | ¿Cómo es la obtención y evaluación de un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado.? |
| Objetivo: | Evaluar un recubrimiento geopolimérico ecológico para aumentar la durabilidad en estructuras de concreto reforzado. |
| Conclusiones: | <p>Los resultados de la prueba de permeabilidad rápida del ión cloruro demuestran que el geopolímero que contiene látex y 10% de cemento en adición, es el que presenta la penetrabilidad más baja, permeabilidad moderada. El mejor comportamiento se obtuvo en el geopolímero que contiene látex y 10% de sustitución de cemento; la prueba de adherencia mostró resistencias abajo del geopolímero testigo, pero se propone realizar pruebas con adiciones menores al 10%. El geopolímero sometido a alta temperatura mostró mayor resistencia a la compresión y mayor resistividad eléctrica, se propone analizar la microestructura del geopolímero y realizar pruebas de adherencia y permeabilidad rápida del ion cloruro.</p> |

Tabla 40.

Matriz de categorización de la investigación 11.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-11 | |
| Título: | Corrosion resistance of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume and fly ash |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Determinar la resistencia a la corrosión del hormigón autocompactante que incorpora polvo de cantera, humo de sílice y cenizas volantes. |
| Conclusiones: | <p>El tiempo hasta el inicio de la corrosión del refuerzo (350 días) en los especímenes M4 fue el más alto seguido por el de los especímenes M2 (230 días), M3 (130 días) y M1 (35 días). El tiempo más bajo para el inicio de la corrosión del refuerzo (20 días) se observó en las muestras M5. La densidad de la corriente de corrosión en el acero en todos los especímenes de SCC fue muy baja en las etapas iniciales de exposición a una solución de NaCl al 5% y aumentó con el aumento del período de exposición. Se observó activación por corrosión en el acero en las muestras M1, M3 y M5. Sin embargo, no se observó en las muestras M2 y M4 incluso después de más de dos años de exposición a una solución de NaCl al 5 %.</p> <p>La permeabilidad al cloruro en las muestras de SCC que incorporaban polvo de cantera o cenizas volantes fue moderada y fue baja en las muestras que incorporaron humo de sílice más polvo de cantera.</p> |

Tabla 41.

Matriz de categorización de la investigación 12.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-12 | |
| Título: | Reducing water and chloride penetration through silicate treatments for concrete as a mean to control corrosion kinetics. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | analizar las contribuciones con respecto a los tres sistemas típicos de protección superficial del hormigón (revestimientos, revestimientos y bloqueadores de poros) y discute los resultados de tres bloqueadores de poros (silicato de sodio) probados en este trabajo |
| Conclusiones: | <p>El tratamiento de la superficie del hormigón con silicato de sodio redujo el coeficiente de difusión de cloruro. Los resultados indicaron que el concreto con este tipo de protección puede extender significativamente su vida útil, cuando el concreto es expuesto a soluciones contaminadas con cloruros. Esta conclusión es válida solo si el proceso de degradación más rápido es el ataque de cloruros en lugar de factores externos accidentales que puedan afectar las propiedades del recubrimiento de hormigón.</p> <p>El tratamiento con silicato de sodio se comparó con otros grupos de tratamiento (un poro liner y dos revestimientos). La conclusión fue que el tratamiento con silicato de sodio puede aumentar la vida útil de la misma manera que un revestimiento de poros de silano/siloxano y un revestimiento acrílico; sin embargo, la protección con recubrimiento de poliuretano fue más eficiente que con silicato de sodio.</p> |

Tabla 42.

Matriz de categorización de la investigación 13.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-13 | |
| Título: | Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Estudiar la eficacia de ciertos tratamientos superficiales (tales como agentes hidrófobos, revestimiento acrílico, revestimiento de poliuretano y sistemas dobles) para inhibir la penetración de cloruros en el hormigón. |
| Conclusiones: | <p>La protección de la superficie del hormigón puede ser un medio eficaz para inhibir la penetración de cloruros en el hormigón. En consecuencia, los sistemas de protección deben utilizarse para aumentar la vida útil del hormigón armado en entornos influenciados por la niebla salina, como edificios en ciudades/pueblos costeros disminuir el fisuramiento por retracción plástica y el desgaste al impacto. En esta dosificación, la incorporación de la fibra de natural de Maguey incrementa en 13.1% el costo unitario por m³ respecto a un concreto convencional.</p> <p>Los resultados indicaron que el sistema de protección más eficiente podría reducir el coeficiente de difusión de cloruro del concreto en un 86%.</p> |

Tabla 43.

Matriz de categorización de la investigación 14.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-14 | |
| Título: | Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes |
| Pregunta de Investigación: | ¿ Cual es influencia de diversas cantidades de polvo de piedra caliza en el comportamiento de hormigones de cemento de piedra caliza Portland? |
| Objetivo: | Describir el efecto de varias cantidades de piedra caliza sobre la resistencia a la compresión, la penetración de agua, la sorción, la resistividad eléctrica y la rápida permeabilidad al cloruro en hormigones producidos mediante el uso de una combinación de PC y piedra caliza a los 28, 90 y 180 días |
| Conclusiones: | La permeabilidad a los iones de cloruro aumenta considerablemente cuando la relación (w/b) aumenta de 0,37 a 0,55. Para los materiales de este estudio, la sustitución óptima de la caliza está entre el 10% y el 15%. |

Tabla 44.

Matriz de categorización de la investigación 15.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-15 | |
| Título: | Coatings for concrete protection against aggressive environments. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Contribuir a una mejor comprensión del comportamiento del hormigón revestido en ambientes químicamente agresivos. |
| Conclusiones: | <p>El comportamiento de los hormigones revestidos usados frente a ambientes químicamente agresivos fue en general mejor que el comportamiento de los hormigones sin protección.</p> <p>El hormigón revestido con epoxi utilizado logró los mejores resultados contra la penetración de cloruros. La composición de los hormigones es un factor importante que afecta el comportamiento frente a ambientes químicamente agresivos.</p> <p>En relación con el ataque de los sulfatos, los hormigones revestidos y no revestidos que se comportaron mejor se fabricaron con el menor contenido de cemento y la mayor relación agua-cemento. La alta porosidad es buena para acomodar las expansiones causadas por las reacciones que ocurren durante este ataque. La degradación provocada por la base utilizada y el ácido utilizado se midió mediante inspecciones visuales y mediante pruebas de adhesión. El hidróxido de amonio provocó una degradación insignificante en los hormigones revestidos. Por el contrario, la degradación provocada por el ácido sulfúrico fue importante.</p> |

Tabla 45.*Matriz de categorización de la investigación 16.*

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|---|
| I-16 | |
| Título: | Systems for superficial protection of concretes |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Evaluar tres tipos de recubrimientos diferentes para reducir la porosidad y permeabilidad del concreto. |
| Conclusiones: | <p>Los recubrimientos seleccionados demostraron ser efectivos protegiendo al concreto contra la acción del agua y del gas (oxígeno). Los barnices de silicona presentaron la menor absorción por capilaridad, seguidos de las resinas epoxi y acrílicas. Las resinas acrílicas no fueron efectivas para proteger el concreto contra la absorción de agua por capilaridad y no deben usarse en situaciones donde este es el requisito básico. La capacidad de las resinas epoxi para evitar la absorción por inmersión fue mejor que la de las resinas acrílicas y los barnices de silicona. Los barnices de silicona no fueron efectivos reduciendo la absorción de agua por inmersión.</p> |

Tabla 46.

Matriz de categorización de la investigación 17.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-17 | |
| Título: | Evaluación de recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Evaluar el comportamiento de los recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales. |
| Conclusiones: | Después de exponer las muestras de hormigón durante 56 días a la solución industrial, se tiene que el acero de refuerzo se encuentra en estado pasivo, tanto en el hormigón sin recubrimiento como en aquellos con recubrimiento. En base a los análisis químicos, el recubrimiento que mejor cumple su función de barrera al medio ácido es el epóxico. |

Tabla 47.
Matriz de categorización de la investigación 18.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-18 | |
| Título: | Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Evaluar la durabilidad del hormigón revestido con revestimientos superficiales de hormigón que representan cinco tipos genéricos. |
| Conclusiones: | <p>Los recubrimientos de poliuretano fueron altamente efectivos en la reducción de la resistividad eléctrica del concreto, como lo demostraron los valores de permeabilidad al cloruro y permeabilidad al agua. Los revestimientos de epoxi y caucho clorado también permitieron que solo pasara una carga insignificante. La permeabilidad al cloruro del acrílico recubrimientos de emulsión de polímero también fue muy bajo de acuerdo con ASTM C 1202.</p> <p>Los datos de difusión de cloruro se utilizaron para calcular el tiempo hasta el inicio de la corrosión del refuerzo. Estos datos indican que el refuerzo en las muestras de hormigón sin recubrir comenzaría a corroerse después de aproximadamente 1 año, mientras que las barras de acero tardarán entre 11 y 30 años en corroerse en las muestras de hormigón recubiertas con revestimientos de poliuretano.</p> |

Tabla 48.
Matriz de categorización de la investigación 19.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| I-19 | |
| Título: | Effect of waterproofing coatings on steel reinforcement corrosion and physical properties of concrete. |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Evaluar la corrosión del refuerzo de acero y algunas propiedades físicas de especímenes de concreto recubiertos con dos recubrimientos impermeabilizantes a base de polímero, uno a base de cemento modificado con polímero y otro a base de cemento. |
| Conclusiones: | La resistencia a la permeabilidad al cloruro tanto del sistema de revestimiento a base de poliuretano (WP3) como del sistema de revestimiento a base de epoxi (WP4) fue superior a la de los dos materiales impermeabilizantes a base de cemento. El sistema de revestimiento a base de poliuretano (WP3), el sistema de revestimiento a base de epoxi (WP4) y el sistema de revestimiento a base de cemento modificado con polímeros (WP1) fueron igualmente superiores con respecto a la permeabilidad al agua y no mostraron ninguna penetración de agua. |

Tabla 49.
Matriz de categorización de la investigación 20.

| MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN | |
|--|---|
| I-20 | |
| Título: | Concrete incorporating supplementary cementing materials: Effect on compressive strength and resistance to chloride-ion penetration |
| Pregunta de Investigación: | - |
| Objetivo: | Determinar el efecto sobre la resistencia a la compresión y la resistencia a la penetración de iones de cloruro, al incorporar cementación suplementaria. |
| Conclusiones: | |
| <p>Para el concreto de cemento portland con un w/ cm de 0.32 e incorporando humo de sílice y escoria, la resistencia a la compresión de los núcleos tomada a los 7 y 28 días y la resistencia del concreto a la penetración de iones de cloruro no se vieron afectadas significativamente por las condiciones de curado. Sin embargo, a los 91 días, los núcleos tomados del concreto curado bajo arpillera húmeda tenían mayores resistencias a la compresión que los curados con el compuesto de curado I.</p> | |