

“Uso del inhibidor de nitrato de calcio y/o uso del acero galvanizado para evitar la corrosión del acero del concreto armado”

Jauregui Alcantara Danny Edward, Lezama Rojas Edwin Luis, Vásquez Díaz Alberto Rubén 

Universidad Privada del Norte, Perú, n00025720@upn.pe

Universidad Privada del Norte, Perú, n00026253@upn.pe

Universidad Privada del Norte, Perú, ruben.vasquez@upn.pe

Resumen: Con el fin de contrarrestar el problema de la corrosión del acero del concreto armado se estudia el uso de un inhibidor de nitrato de calcio y/o del uso del acero galvanizado como posibles soluciones a dicho problema, mediante el análisis descriptivo basado en criterios técnicos, económicos, cuidado ambiental y comercial, se propone una metodología adaptada a nuestra realidad problemática nacional, para ello se analizaron cincuenta y cuatro publicaciones académicas del estudio de ambos componentes, utilizando fuentes secundarias confiables, los resultados evidencian que ambos productos cumplen con la misión de prevenir y controlar la corrosión del acero embebido en concreto y luego del análisis ponderativo se establece que el nitrato de calcio por su efectividad, facilidad de aplicación, mejor relación precio – rendimiento, es el que mejor se adapta a nuestra realidad. En cambio, se ha determinado que el acero galvanizado aplica a zonas con una gama elevada de agentes agresivos siendo más efectivo y duradero.

Palabras clave: corrosión en el concreto armado, acero galvanizado, inhibidores de corrosión y nitrato de calcio.

I. INTRODUCCIÓN

Siendo la corrosión un ataque electroquímico del entorno que ocasiona el deterioro de un metal, lo convierten en un agente muy agresivo con las estructuras de concreto armado, siendo un problema grave por las consecuencias patológicas que se manifiestan comprometiendo la resistencia de los elementos estructurales e influyendo en las características funcionales del concreto armado, lo que genera elevados costos de mantenimiento y reparación o en su defecto la demolición de la estructura, motivo por el cual varios investigadores durante décadas empezaron a desarrollar diversos materiales y métodos que ayuden a controlar el proceso de la corrosión con el fin de aumentar la vida útil de la estructura.

Los Estados Unidos estima pérdidas de 300,000 millones de dólares por fallas en infraestructura, de los cuales 100,000 millones de dólares podrían evitarse si se tomaran medidas contra la corrosión. [1], otro dato valioso es el de Reino Unido donde los gastos debidos a la reparación de infraestructura de concreto armado ocasionados por problemas de corrosión son de 755 millones de libras esterlinas [2], Para Sudamérica con países en vías de desarrollo el problema de la corrosión tiene un matiz muy preocupante ya que no se cuenta con los grandes presupuestos que manejan los países del primer mundo y es

importante abordar el fenómeno de la corrosión de una manera seria, al respecto encontramos información Chile donde según la Reunión anual de Metalurgia de la OEA calculaba pérdidas económicas de 400 millones de dólares en el año 1987 originados por el problema de la corrosión. [3], sobre el mismo tema la información revelada en el Congreso Latin Galva, realizado en Cartagena, Colombia el año 2010, El Vicerrector de Ciencia, Tecnología e Innovación de la universidad Antonio Nariño, Arroyave [4], en su exposición: “El impacto de la corrosión en la economía de los países latinoamericanos” disertó que el costo por problemas de corrosión abarca el 3% del Producto Bruto Interno de cada país de América Latina durante el año 2001 cifras que se representan en la siguiente tabla:

TABLA 1
ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS PARA A.L. EN 2010

País	PIB (US Millones)	3% PIB
Brasil	\$ 1.340.000,00	\$ 40.200,00
México	\$ 920.000,00	\$ 27.600,00
España	\$ 828.000,00	\$ 24.840,00
Argentina	\$ 391.000,00	\$ 11.730,00
Colombia	\$ 255.000,00	\$ 7.650,00
Chile	\$ 153.000,00	\$ 4.590,00
Venezuela	\$ 146.200,00	\$ 4.386,00
Perú	\$ 132.000,00	\$ 3.960,00
R. Dominicana	\$ 50.000,00	\$ 1.500,00
Guatemala	\$ 48.300,00	\$ 1.449,00
Ecuador	\$ 39.600,00	\$ 1.188,00
Costa Rica	\$ 31.900,00	\$ 957,00
Uruguay	\$ 31.000,00	\$ 930,00
El Salvador	\$ 28.400,00	\$ 852,00
Paraguay	\$ 26.200,00	\$ 786,00
Cuba	\$ 25.900,00	\$ 777,00
Bolivia	\$ 21.400,00	\$ 642,00
Panamá	\$ 21.000,00	\$ 630,00
Honduras	\$ 17.000,00	\$ 510,00
Nicaragua	\$ 12.500,00	\$ 375,00
Total	\$ 4.700.400,00	\$141.012,00

NOTA. CIFRAS PRESENTADAS EN EL CONGRESO LATIN GALVA

En el Perú Cencico es la entidad orientada a la investigación tecnológica, para la vivienda y edificación, en julio del 2020 presento su estudio de corrosión atmosférica en el territorio peruano: “Servicio de Identificación de Ciudades de Atmosferas Homogéneas Considerando la Norma ISO 9223, donde se determinarán las estaciones de Monitoreo para la

Instalación de Puntos de Monitoreo del Estudio de Corrosión Atmosférica en el Territorio Nacional” en dicha publicación establece la categoría de corrosividad según los diversos ambientes típicos determinados en la Norma ISO 9223:2012.

Sobre el impacto económico actual que genera la corrosión en el Perú no se encontraron estudios oficiales, pero si tomamos en cuenta las estimaciones vistas [4] las estimaciones del MEF el cual proyecta que el PBI 2022 será de S/ 563 000 millones, se estima que los gastos para el estado por problemas de corrosión podrían alcanzar la suma de S/ 16 890 millones (3% del PBI).

La solución al problema de la corrosión ha originado muchos estudios y métodos que han sido y son objeto de ensayo, algunos se centran en el acero, tratando de conferirle una inmunidad protectora que lo proteja de los agentes corrosivos como el proceso del galvanizado, en cambio otros estudios se centran en el concreto, buscando darle propiedades en su dosificación que lo hagan impermeable y resistentes a la penetración de agentes agresivos como lo son los inhibidores químicos de corrosión, para de esta manera proteger el acero actuando en el propio concreto, que es la forma como actual el inhibidor de corrosión a base de nitrito de calcio.

Factor importante de la presente investigación es la justificación económica, pues la búsqueda de soluciones al problema de la corrosión conllevara a mejora la durabilidad de las estructuras, originando ahorro económico en el mantenimiento y reparación del concreto armado originado por el fenómeno de la corrosión.

II. METODOLOGÍA

Según la finalidad de la presente tesis el tipo de investigación es básica pues a través de la búsqueda y análisis de la información existente, se preocupa por saber, explicar y predecir fenómenos [5]. Así, buscamos ampliar el conocimiento acerca del fenómeno de la corrosión y tras un análisis técnico, económico, ambiental y comercial proponer su posible solución en la realidad peruana, a través de una metodología propuesta.

La profundidad de la investigación es no experimental, descriptiva ya que no se influenciará en ninguna de las variables (Nitrito de calcio y Acero galvanizado) para su estudio, pues se limita a caracterizar algo como es [5]. Por la naturaleza de los datos la presente investigación es cualitativa, ya que se recolectarán las fuentes secundarias, para a través de su análisis se propondrá una teoría de uso, además de un proceso comparativo, en cuanto a su temporalidad es transversal ya que el recojo de datos se hará en un tiempo determinado.

Como primer paso se verifico la información requerida para nuestra investigación, tomando como unidad de estudio las publicaciones académicas de nuestra base de datos de la biblioteca virtual de la Universidad Privada del Norte y de los buscadores académicos de fuentes confiables como Scielo.org, Google académico y Redalyc.org; usando las palabras claves:

corrosión en el concreto armado, acero galvanizado e inhibidores de corrosión y nitrito de calcio; teniendo como limitadores: texto completo, el tipo de fuente: tesis y publicaciones académicas, dado lo limitado de la información se consideró emplear investigaciones que se encuentren entre los 20 años de antigüedad y considerando las publicaciones en idioma inglés y castellano, de los estudios obtenidos se aplicaron filtros con los cuales se descartaron algunas investigaciones por no tratarse del tema de estudio y otros por duplicidad.

Como resultado se obtuvieron 22 publicaciones para el caso del nitrito de calcio, mientras que para el estudio del acero galvanizado se analizaron 34 documentos, los cuales suman 56 investigaciones que constituyen la muestra de estudio de la presente investigación.

Posteriormente la información obtenida de las publicaciones académicas fue revisada bajo una metodología basada en un análisis documental, utilizando como instrumento la Ficha de Análisis de datos. Tomando para ello un protocolo para el registro de los datos, como año de publicación, autor, país donde tuvo lugar el estudio, el tipo de metodología de estudio, variable de estudio, un breve resumen del estudio académico y las conclusiones a la que llegaron, para finalmente determinar los criterios de inclusión y exclusión bajo el aporte de conocimiento adquirido.

Por último, el procesamiento, integración y el análisis de datos de la información bibliográfica de las fuentes secundarias obtenidas se realizó utilizando el método de análisis de contenido cualitativo, en base a las variables de interés de estudio y sus indicadores.

III. RESULTADOS

A. Nitrito de calcio:

Potencial de corrosión (E_{corr})

En el análisis de las investigaciones realizadas encontramos que algunos autores realizaron este tipo de pruebas con los siguientes resultados:

TABLA 2
RESULTADOS DE ECORR (CARVAJAL ET AL.2005) Y (CARVAJAL ET AL 2008)

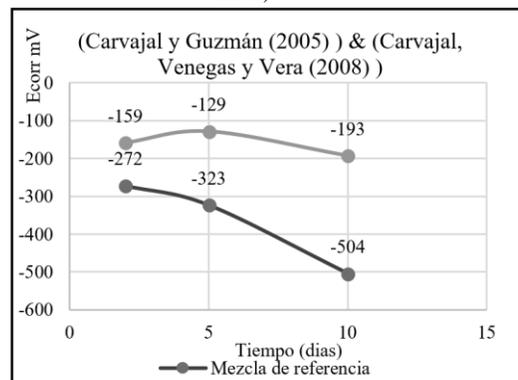


TABLA 3
RESULTADOS DE ECORR DE VELARDE Y FOSCA (1992)

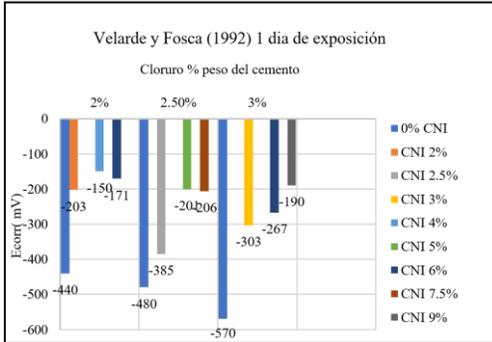


TABLA 4
RESULTADOS DE ECORR DE MEHTEL, DULAIJAN, IDI, SH, SHAMEEM, ALI Y MASLEHUDDIN (2009)

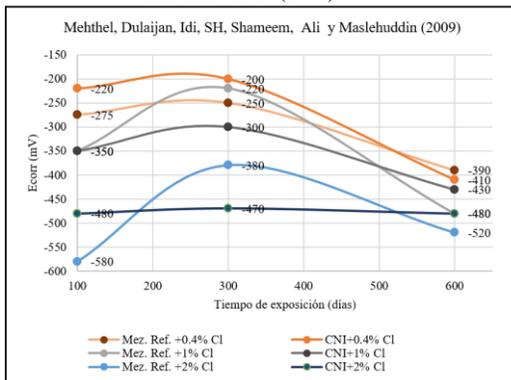


TABLA 5
RESULTADOS DE ECORR DE ØSTNOR Y JUSTNES (2011)

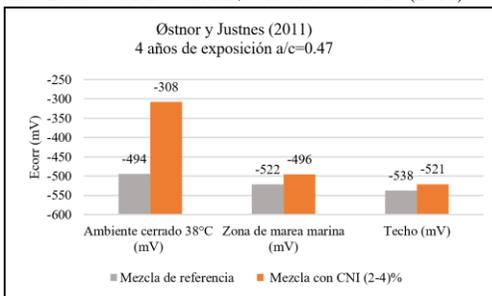
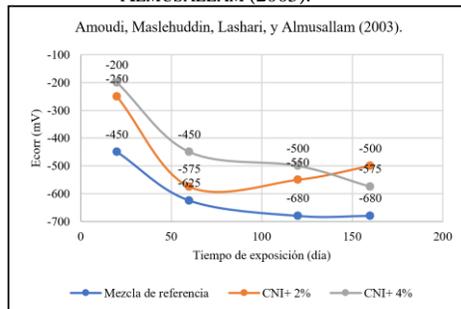


TABLA 6
RESULTADOS DE ECORR DE AMOUDI, MASLEHUDDIN, LASHARI, Y ALMUSALLAM (2003).



Como se aprecia el uso de Nitrito de calcio mejora notablemente el potencial de corrosión, disminuyendo la probabilidad de que se produzca la corrosión en el acero embebido en concreto, la investigación de Carvajal, Guzmán [6]. y Carvajal, Venegas, Vera [7]. concuerdan en el experimento y los datos obtenidos, ellos usan una dosificación de 30 l/m³ en un concreto con alta relación agua cemento (0.55) que da por resultado un concreto poroso para garantizar una fácil entrada de cloruros, en donde el nitrito de calcio mejora el Ecorr al 5% comparándolo con la mezcla de referencia que a más días de exposición avanza del 50 % al 95 % de ocurrencia de corrosión, en el caso de Velarde y Fosca [8] los autores experimentan con un concreto poroso y a 24 horas de exposición con diferentes niveles de cloruro y diferentes dosificaciones de nitrito de calcio, como se observa en la tabla referida a mayor presencia de nitrito de calcio en la mezcla mejores resultados se obtendrán en el objetivo de protegerla contra la corrosión.

Los autores Mehthel, et al. [9]. emplean un CAD con una baja dosificación de nitrito de calcio, donde se evidencia el discreto accionar del inhibidor de corrosión cuando hay un mayor nivel de cloruros presentes en la mezcla objeto de análisis en largos periodos de exposición (600 días) al agente contaminante.

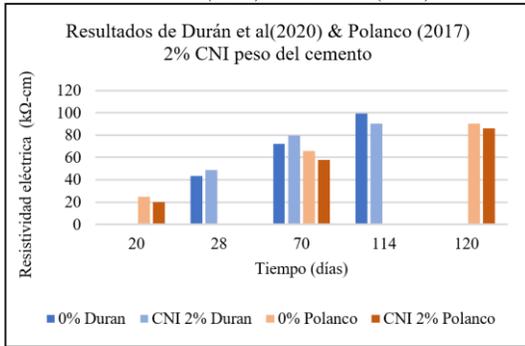
Para Østnor y Justnes [10] exponen las muestras de estudio a diferentes entornos de una zona costera como son un ambiente cerrado, zona de marea marina y el techo de una edificación con una media de 38° C de temperatura y 90% de humedad relativa, el mayor desempeño del inhibidor a base de nitrito de calcio se da en el ambiente cerrado, la misma investigación concluye que basta con un 2-4% de nitrito de calcio en relación al peso del cemento para proteger de la corrosión al acero del concreto contra el accionar del cloruro.

Amoudi et al. [11]. emplea una mezcla con una baja relación agua cemento, con 80% de contenido de cloruro, para mezclas con 2-4% de nitrito de calcio en relación al peso del cemento, obteniendo un 5% de probabilidad de corrosión a los 20 días, cifra que crece al llegar a los 60 días desde donde en adelante alcanzará el 95 % de probabilidad de corrosión del acero, esto se debe al elevado porcentaje de cloruro presente en las mezclas analizadas.

Resistividad eléctrica

En las investigaciones analizadas encontramos las investigaciones de Durán et al [12]. y Polanco [13]. que elaboran el ensayo bajo la norma AASHTO: TP 95-11.

COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE DURÁN ET AL. (2020) & POLANCO (2017)

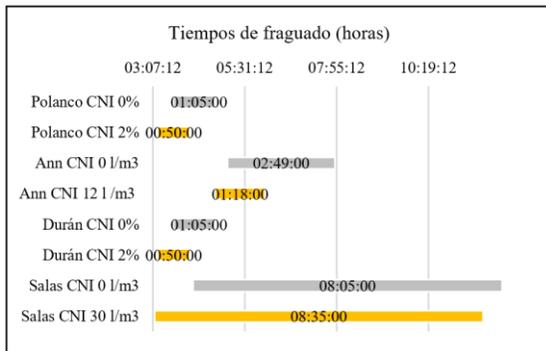


En el comparativo de los hallazgos de ambos autores se evidencia que los valores alcanzados por ambos estudios se encuentran en un nivel muy bajo de penetración de iones de cloruro según la norma AASHTO: TP 95-11.

Tiempo de fraguado

Una de las propiedades del inhibidor de corrosión en base a nitrato de calcio es su característica de acelerador de fraguado, las investigaciones citadas en la presente investigación también nos dan alcances sobre el uso del nitrato de calcio y su influencia en los tiempos de fraguado:

COMPARATIVO PORCENTUAL DE LA RETRACCIÓN AUTÓGENA DE LOS RESULTADOS DE DURÁN ET AL (2020) Y POLANCO (2017) EN COMPARACIÓN CON LA MEZCLA DE REFERENCIA



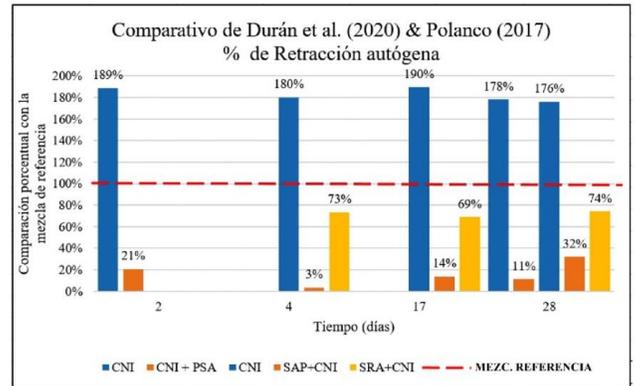
Como se aprecia en la mayoría de las mezclas con nitrato de calcio iniciaron el fraguado antes el proceso de fraguado en comparación con las mezclas de referencia, acelerando el término del fraguado, así tenemos que para Polanco [13]. la mezcla si inhibidor de corrosión el fraguado tuvo una duración de 1 hora y 5 minutos en comparación con la mezcla con nitrato de calcio cuyo fraguado duro 50 minutos, para la investigación de Ann et al. [14]. el fraguado de la mezcla de referencia duro 2 horas y 49 minutos en comparación con la mezcla con nitrato de calcio que duro 1 hora y 18 minutos. Para Durant et al. [12]. el tiempo que duro el fraguado para la mezcla de referencia tomo 1 hora y 5 minutos y la mezcla con nitrato de calcio llego a terminar su fraguado en 50 minutos. La investigación de Salas [15]. es la excepción a la regla pues,

aunque la mezcla con inhibidor de nitrato de calcio inicio su fraguado 1 antes que la muestra de referencia tuvo una duración de 8 horas y 35 minutos en comparación de la muestra de referencia cuyo fraguado duro 8 horas y 5 minutos, Estos resultados nos ayudan a concluir que la acción de acelerante de fraguado del nitrato de calcio aunque no es muy marcada, si es un tema a tener en cuenta para evitar las posibles consecuencias de cambios volumétricos.

Retracción Autógena y por secado

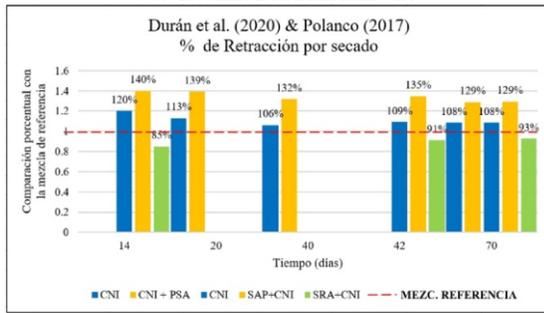
De los documentos seleccionado para el estudio de la presente tesis, dos autores: Durán et al. [12] y Polanco [13] investigan sobre el tema bajo la normativa de ASTM C1698-19 (Método de prueba estándar para deformación autógena de pasta de cemento y mortero), cuyos resultados se comparan en la siguiente tabla:

COMPARATIVO PORCENTUAL DE LA RETRACCIÓN AUTÓGENA DE LOS RESULTADOS DE DURÁN ET AL (2020) Y POLANCO (2017) EN COMPARACIÓN CON LA MEZCLA DE REFERENCIA



El comparativo de resultados de la retracción autógena de los ensayos de Durán et al [12] y Polanco [13] nos muestran como del uso de nitrato de calcio aumenta considerablemente la retracción autógena en comparación porcentual de las mezclas de referencia alcanzando picos de 190% a los 17 días, el uso de SRA logra reducir la contracción a valores inferiores de la muestra de referencia llegando al 69% como su marca más baja a los 17 días, sim embargo el mejor desempeño lo obtiene la mezcla nitrato de calcio y SAP que logra reducir la contracción autógena hasta el 3% de la mezcla de referencia a los 4 días, esta información nos indica que la reacción del nitrato de calcio en cuanto a la contracción autógena es un factor que se necesita tomar en cuenta al momento de su uso.

TABLA 10
COMPARATIVO PORCENTUAL DE LA RETRACCIÓN POR SECADO DE LOS RESULTADOS DE DURÁN ET AL (2020) Y POLANCO (2017) EN COMPARACIÓN CON LA MEZCLA DE REFERENCIA

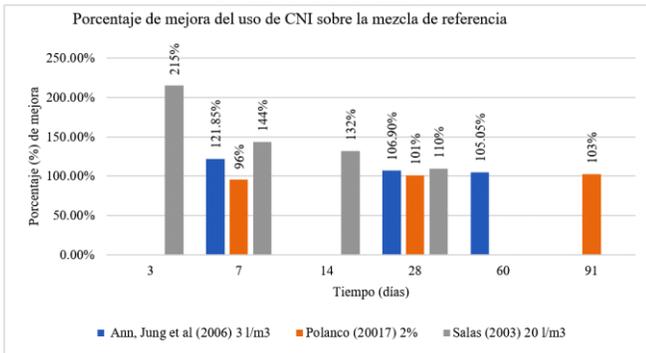


En cuanto a la contracción por secado observamos que el uso del inhibidor a base de nitrito de calcio eleva la contracción sobre la mezcla de referencia y que el uso de los aditivos SAP no la controla, sino por el contrario elevan las cifras de contracción, en cambio el aditivo reductor de contracción disminuye un poco la contracción por secado.

Resistencia a la compresión

El comparativo porcentual de los ensayos de resistencia a la compresión observados en las investigaciones de Ann et al. [14], Polanco [13] y Salas [15], evidencia que el uso de nitrito de calcio no afecta la resistencia a la compresión, sino por el contrario lo mejora desde edades tempranas, característica que, aunque decae se mantiene por sobre la muestra de referencia a lo largo del tiempo.

TABLA 11
COMPARATIVO PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS RESULTADOS DE ANN ET AL (2006), POLANCO (2017) Y SALAS (2003) SOBRE LA MEZCLA DE REFERENCIA.



Metodología sugerida del uso del inhibidor de nitrito de calcio

La mayoría de experimentos que analizan el desenvolvimiento del nitrito de calcio, para prevenir la corrosión del acero del concreto armado lo hacen para concretos de Alto Desempeño, con relaciones de w/c menores a 0.40, para los investigadores Sideris, Kosmas y Savva [16]. Lo más recomendable es una relación w/c de 0.29 lo que ayudará a la formación de una capa en la zona anódica que

protegerá o repondrá la capa pasivante que rodea al acero, pues contribuirá a disminuir la corrosión del mismo, concluyen los autores.

Al tratarse de la prevención de la corrosión del acero del concreto armado, lo más recomendable en el diseño de mezcla, es el uso de un Cemento Portland tipo V, por su alta resistencia al ataque de sulfatos.

Sobre la dosificación de Nitrito de Calcio se ha comprobado que para obtener los rangos deseados de Ecorr la dosificación debe por lo menos ser el doble de la presencia de cloruros en la mezcla [8]. La documentación estudiada hace referencia a una dosificación que varía entre 12.5 L/m³ a 30 L/m³ empleado en varias investigaciones, esta última cifra es en la que mejor comportamiento se obtuvo del nitrito de calcio en su propósito de retardar el inicio del proceso corrosivo. [17].

Una de las consecuencias del uso del nitrito de calcio es la aceleración del fraguado por lo que para evitar la pérdida de trabajabilidad del concreto fresco se recomienda el uso de aditivos retardantes, (Sika 2020), sin embargo, esta propiedad podría resultar favorable para su empleo en climas fríos, en relación al modo de empleo de los aditivos adicionales a emplearse en la mezcla, Sika nos recomienda que estos productos se deberían añadir de forma separada al nitrito de calcio para obtener los resultados deseados. Sobre el recubrimiento del acero embebido, se sugiere se tome en consideración 7 cm de recubrimiento mínimo establecido por la norma A60 de RNE, para concretos armados en contacto con el suelo o expuestos al medio ambiente, es lo más recomendable para garantizar un buen desempeño del inhibidor de corrosión y minimizar el efecto corrosivo en el acero.

Sobre las consecuencias de usar el nitrito de calcio cumple con su tarea de retrasar el inicio del fenómeno de corrosión en todos los estudios analizados.

B. Acero Galvanizado:

Luna [18]. En su investigación de "Implementación de metodologías de protección frente a la corrosión para extender la vida útil de estructuras de hormigón armado". Utilizo dos tipos de hormigones OPC y hormigones con escorias y filler calizo (SL) para analizar la capacidad de protección frente a la corrosión de cloruros entre las armaduras de acero inoxidable y el acero galvanizado, determinando que el ensayo de penetración y transporte de cloruros fue 03 veces inferior con hormigón SL con respecto al hormigón OPC, concluyendo que el concreto armado en ambientes contaminados con cloruros, es factible la utilización de acero galvanizado y/o acero inoxidable llegando a vida útiles de 100 años, siendo económicamente viables por el ciclo de vida vs los costos de construcción.

Cerdán [19]. En su tesis de "Influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, norma ASTM a-615, grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado", realiza varios ensayos a las barras galvanizadas con revestimiento de

zinc que cumplan con la norma ASTM-767, donde determina que galvanizar las barras de acero no modifica las propiedades mecánicas y cumpla con los requerimientos de la norma ASTM A-615. Además, el uso del acero galvanizado representa un aumento del 4% en una vivienda de 144.375 m² con respecto a acero al carbono.

Figueria [20]. En su investigación de “Corrosion Protection of Hot Dip Galvanized Steel in Mortar”, donde las muestras de recubrimiento del acero galvanizado (HDGS) fueron recubiertas con los diferentes recubrimientos OIH que fue estudiado en mortero preparado según la norma EN 196-1. Para ello utilizaron un sistema automático de adquisición de datos (Datataker DT505, serie 3), para medir el igual de las células preparadas mediante la lectura de la diferencia de potencial a los terminales (derivados con una resistencia de 100 Ω) inmediatamente después de ser embebidos en mortero fresco. Las mediciones se realizaron con una periodicidad de 1 minuto en los primeros siete días, y en cada 5 minutos durante el tiempo restante hasta que el registro fue completado, en el día 74. Concluyendo que el uso del acero galvanizado protege de agentes agresivos

La Asociación Galvanizado.Americana [21]. Publica una guía del “Galvanizado en caliente para protección contra la corrosión”, en Él establece una serie galvanizada de los metales, donde muestra las capas inter metálicas resistentes a la abrasión que se generan al galvanizar el acero, cumpliendo con la norma ASTM A123.

Vera, María, Villarroel y Marcela [22]. “Estudio de la corrosión de hormigón armado con acero y acero galvanizado en ambiente salino. Realizaron ensayos sumergiendo probetas en una solución de cloruro de sodio de 3,5%, donde se midieron en 22 meses las variables de potencial de corrosión y corriente de corrosión. El estudio concluye que el hormigón reforzado con acero al carbono presenta corrosión moderada, pero el acero galvanizado se mantiene pasivo.

Moreno, Serrano y Sarabia [23]. “Barras de acero galvanizado: Una opción contra la corrosión inducida por la carbonatación”. Se fabricaron especímenes con cemento Portland usando barras de acero galvanizado, exponiéndoles a una cámara de carbonatación acelerada, donde las mediciones potenciales y las densidades de corrientes de corrosión indican que el acero de refuerzo galvanizado está corroyéndose a bajas velocidades mientras que el acero de refuerzo normal está corroyéndose activamente.

Rodríguez [24]. “Estudio de la corrosión atmosférica del zinc y el acero galvanizado”. Se estudia el efecto de la corrosión atmosférica sobre dos metales, el zinc y el acero galvanizado expuestos en 35 estaciones, situados en diferentes atmósferas dentro de la isla de la provincia de Santa cruz de Tenerife, por un lapso de 3 años (1996-1999). Mediante medidas de la pérdida de peso sobre cada una de las placas expuestas. Se determina la concentración de contaminantes atmosféricos tales como los iones cloruro y al anhídrido sulfuroso, además de las horas de tiempo de humectación obtenidas a partir de la humedad relativa.

C. Matriz de selección de alternativas

Después de comparar los resultados descriptivos obtenidos tras llevar a cabo alternativas de análisis distintos de aplicación y con el objetivo de combatir o prolongar el inicio del fenómeno natural de la corrosión; por ello su importancia en dedicar el tiempo necesario al diseño de criterios o sub-criterios los cuales son el criterio técnico basado en el análisis de las investigaciones analizadas, el criterio económico, para el cual se emplea dos estructuras modelo (zapata y columna) de los cuales se obtiene el metrado de las partidas de concreto, encofrado, desencofrado y acero con el fin de elaborar un presupuesto para las estructuras sin aditivos, otro presupuesto para las estructuras con el aditivo Sika ® CNI, un tercer presupuesto para las estructuras modelo empleando acero galvanizado y finalmente un cuarto presupuesto para las estructuras modelo empleando el aditivo Sika ® CNI más acero galvanizado, los precios están actualizados a octubre del 2021 según cotizaciones en la ciudad de Cajamarca. El siguiente criterio analizado es el ambiental el que se basa en la información proporcionada por las empresas comercializadoras de los productos estudiados y finalmente se analiza el criterio comercial bajo criterios de disponibilidad en el mercado, facilidad de uso y compatibilidad con los diferentes tipos de cementos.

TABLA 12
CRITERIOS ANALIZADOS

	Técnico	Económico	Ambiental	Comercial
Nitrato de Calcio	<ul style="list-style-type: none"> Fortalece la capa del óxido férrico pasivante. Acelera el fraguado. Mejora la resistencia a la compresión. Controla el Ecorr. Eleva la RES. Cambios volumétricos 	Presenta un incremento económico de 11% sobre el presupuesto de las estructuras modelo	Nivel para la salud 3 (muy peligroso). Nivel 1 de inflamabilidad, mayor de 93°C. Peligroso si es vertido en fuentes de agua. No es reactivo ni presenta un riesgo específico.	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de uso y dosificación Disponible en el mercado. Se puede utilizar con todo tipo de cementos. Compatible con otros aditivos
Acero Galvanizado	<ul style="list-style-type: none"> Adherencia + tiempo. Generación de hidrogeno por hidrolisis No afecta las propiedades mecaniza del acero. 	Presenta un incremento económico de 33% sobre el presupuesto de las estructuras modelo	El recubrimiento de zinc aplicado al acero corrugado es un producto reciclable amigable al medioambiente, de igual modo el acero en sí. Por lo que su impacto al medioambiente es nulo.	<ul style="list-style-type: none"> Disponible en el mercado. Selección de un acero adecuado. Recubrimiento adicional Compatible con todo tipo de cementos

TABLA 13
PONDERACIÓN CUALITATIVA

Valor	Categoría	Descripción
3	Bueno	Completamente factible su uso
2	Regular	Parcialmente factible su uso
1	Malo	No es factible su aplicación

TABLA 14
MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Criterios	Alternativas	
	Nitrito de Calcio	Acero Galvanizado
A. Disponibilidad en el mercado	Bueno	Regular
B. Costo de la implementación	Bueno	Regular
C. Tiempo de implementación	Regular	Malo
D. De fácil aplicación en obra	Bueno	Regular
E. Beneficios Sociales	Bueno	Bueno
F. Impacto Ambiental	Malo	Bueno
Valor:	15	13

IV CONCLUSIONES:

La penetración de iones de cloruros y la carbonatación, constituye unas de las causas fundamentales para el deterioro de nuestra estructura de concreto armado, generando al final repercusiones. Esto ha llevado a desarrollar muchos métodos para contrarrestar la corrosión, siendo uno de ellos el empleo de recubrimiento metálico de zinc (galvanizado) aplicado al acero de refuerzo.

El análisis del proceso y resultados de los estudios analizados, concluye que el uso del acero galvanizado cumple con la labor de proteger contra la corrosión al concreto armado, su uso es más factible para zonas extremadamente contaminadas de agentes agresivos, donde el acero de refuerzo del concreto armado sufre patologías referentes a la corrosión, afectando seriamente la durabilidad de nuestra estructura.

Sobre el proceso y resultados del uso de nitrito de calcio y determino que el uso del nitrito de calcio cumple con la labor de proteger contra la corrosión al acero embebido en concreto, según las investigaciones estudiadas, en las cuales se pudo observar que el inhibidor de corrosión en base a nitrito de calcio mejora el potencial de corrosión reduciendo la probabilidad de corrosión en el acero del concreto armado donde a mayor dosificación de Nitrito de calcio en el concreto mejores resultados se obtendrán, otro factor relevante es la mayor resistividad eléctrica que genera del nitrito de calcio en el concreto cuyos valores de resistividad eléctrica demuestran el nivel muy bajo de migración de iones en la mezclas estudiadas, en cuanto al tema de tiempo de fraguado, se determinó que la cualidad de acelerante de fraguado del nitrito de calcio no es muy marcada, sin embargo, merece atención por los posibles cambios volumétricos que podría generar como la retracción autógena y por secado en los ensayos elaborados por las fuentes secundarias estudiadas evidencian que el uso de nitrito de calcio incrementa considerablemente la retracción autógena y por secado por lo que se recomienda el uso de aditivos super plastificantes o reductores de

contracción que ayudaran a controlar dichas retracciones y evitar las posibles microfisuraciones del concreto, sobre su influencia en la capacidad de resistencia a la compresión del concreto queda demostrado que el uso del nitrito de calcio mejora esta capacidad desde edades tempranas donde la diferencia es más marcada la cual decae con el tiempo pero siempre por sobre la mezclas de referencia, por último es importante mencionar la importancia de la relación agua cemento, ya que a menor relación a/c menor porosidad del concreto y menor probabilidad de entrada de cloruros.

REFERENCIAS

- [1] del Valle Moreno, Angélica, Tezozómoc PEREZ LOPEZ, and Miguel MARTINEZ MADRID. "El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado." *Publicación técnica* 182 (2001).
- [2] Castañeda-Valdéz, Abel, and Manuel Rodríguez-Rodríguez. "Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado." *Revista CENIC. Ciencias Químicas* 45 (2014): 52-59.
- [3] Marchena Córdova, Juan Francisco. "Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la IE Niño Jesús de Praga distrito de SMP 2017." (2017).
- [4] Arroyave, C. "El impacto de la corrosión en la economía de los países latinoamericanos, Bogotá, Universidad Antonio Nariño, [en línea]. 2010."
- [5] McMillan, J. H., and S. Schumacher. "Modalidades de investigación, técnicas de recogida de datos e informes de investigación." McMillan, JH, Schumacher, S.(2005). *Investigación educativa* 5 (2005): 37-86.
- [6] Carvajal, A. María, and Francisca Guzmán. "Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis de Potencial de Corrosión." *Revista de la Construcción* 4.2 (2005): 25-29.
- [7] Carvajal, Ana María, et al. "Estudio de aditivos inhibidores de corrosión para estructuras de hormigón armado. Análisis cualitativo y cuantitativo de penetración de cloruros." *Revista de la Construcción* 7.2 (2008): 84-92.
- [8] Ch, André Velarde, and Carlos Fosca. "Estudio de la influencia del nitrito de calcio como agente inhibidor de la corrosión." *Revista de Química* 6.1 (1992): 29-46.
- [9] Al-Mehthel, Mohamed, et al. "Performance of generic and proprietary corrosion inhibitors in chloride-contaminated silica fume cement concrete." *Construction and Building Materials* 23.5 (2009): 1768-1774.
- [10] Østnor, T. A., and H. Justnes. "Anodic corrosion inhibitors against chloride induced corrosion of concrete rebars." *Advances in applied ceramics* 110.3 (2011): 131-136.
- [11] Al-Amoudi, Omar S. Baghabra, et al. "Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete." *Cement and Concrete Composites* 25.4-5 (2003): 439-449.
- [12] Durán-Herrera, A., et al. "Efeito sinérgico de um polímero super absorvente e um aditivo inibidor de corrosão à base de nitrito de cálcio na durabilidade do concreto de alto desempenho." *Revista ALCONPAT* 10.2 (2020): 206-218.
- [13] Canul Polanco, Jennifer Anette. *Uso de aditivos químicos para mejorar la durabilidad de concretos de alto desempeño con humo de sílice*. Diss. Universidad Autónoma de Nuevo León, 2017.
- [14] Ann, K. Y., J. H. Ahn, and J. S. Ryou. "The importance of chloride content at the concrete surface in assessing the time to corrosion of steel in concrete structures." *Construction and Building Materials* 23.1 (2009): 239-245.
- [15] Salas Sepúlveda, J. E. "Comportamiento del hormigón con inhibidor de corrosión en el amasado" [Tesis Pregrado, Universidad Austral De Chile, Valdivia] (2003).
- [16] Sideris, K. K., y Savva, A. E. "Durability of mixtures containing calcium nitrite based corrosion inhibitor". *Cement and Concrete Composites*, (2005): 277-287.

- [17] López, Herwing, et al. "Estrategias para Mejorar la Durabilidad del Concreto Reforzado Ante un Medio Ambiente Marino." *Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO)*, México (2014).
- [18] Luna Molina, Francisco Javier. "Implementación de metodologías de protección frente a la corrosión para extender la vida útil de estructuras de hormigón armado." (2017).
- [19] Cerdán Chávez, Baldomero Germán. "Influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, Norma ASTM A-615, Grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado." (2018).
- [20] Figueira, Rita M., et al. "Corrosion protection of hot dip galvanized steel in mortar." *Portugaliae electrochimica acta*, 31(5), (2013): 277-287.
- [21] American Galvanizers Association. "Galvanizado en caliente para protección contra la corrosión." *Guía del especificador* (2015): 1-20.
- [22] Vera, Rosa, et al. "Estudio de la corrosión de hormigón armado con acero y acero galvanizado en ambiente salino." *Revista de la Construcción* (2004): 83-88.
- [23] Moreno, Eric I., Daniel Serrano Ixtepan, and Enrique Cob Sarabia. "Barras de acero galvanizado: Una opción contra la corrosión inducida por la carbonatación." *Ingeniería* 9.2 (2005): 17-24.
- [24] Rodríguez, Francisco Miguel Díaz. "Estudio de la corrosión atmosférica del cinc y el acero galvanizado". *Diss. Universidad de La Laguna* (Canary Islands, Spain), 2001.