

PROTECCIÓN DEL ACERO MEDIANTE ZINC PARA CUMPLIR LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA COLOMBIANA NSR-10 Y API-571 SECCIÓN 4-69 A FIN DE PREVENIR LA AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA E IMPACTO ECONÓMICO EN LA SOCIEDAD

PROTECTION OF STEEL BY ZINC TO MEET THE REQUIREMENTS OF THE COLOMBIAN STANDARD NSR-10 AND API-571 SECTION 4-69 TO PREVENT THE IMPAIRMENT OF QUALITY OF LIFE AND ECONOMIC IMPACT ON SOCIETY

LA PROTECTION EN ACIER GRACE AU ZINC POUR ACCOMPLIR LES REQUETES DE LA NORME COLOMBIENNE NSR-10 ET API-571 SECTION 4-69 POUR PREVENIR L'AFFECTION DE LA QUALITE DE VIE ET L'IMPACT ECONOMIQUE DANS LA SOCIETE

*Tovar-Quiroz E. **
*Vera-López E. ***
*Lozano-Gómez L. F. ****

Fecha de recepción: 12 de septiembre de 2014
Fecha de Aprobación: 25 de noviembre de 2014

Pág. 211 a 224

RESUMEN

En Colombia se contempla la Ley 400 de 1997 para el cumplimiento de criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones a fin de garantizar la reparación a la comunidad después de eventos catastróficos como lo son los sismos e inundaciones que comprometan vidas humanas, perjuicios económicos y ambientales.

Cuando la Ley 400 de 1997 fue sancionada, se expidió la primera norma de sismo-resistencia de la historia de Colombia a través del Decreto 33 de 1998, conocido como la NSR-98. Esta norma incluyó también por primera vez exigencias de desempeño sísmico para elementos no estructurales, y la obligatoriedad de ser constantemente actualizados. La actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente se llevó a cabo paulatinamente y dio como resultado la NSR-10, norma que incluye entre sus principales novedades un mapa de sismicidad hecho por la Red Sismológica Nacional. (Colombia 2011).

* *Universidad Distrital FJC. Msc. Metalurgia y Ciencia de Materiales Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. edilberto.tovar@usantoto.edu.co.*

** *PhD. Universitat Heidelberg (Ruprecht-Karls). Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y en Tecnología de Materiales. UPTC enrique.vera@uptc.edu.co.*

*** *Msc. Metalurgia y Ciencia de Materiales. Universidad Industrial de Santander. Docente Posgrado UPTC. luis.lozano@uptc.edu.co.*

Una fuerza de la naturaleza como la corrosión del acero es causa frecuente de pérdidas económicas debido a que el material pierde propiedades mecánicas y de durabilidad afectando la seguridad de las personas debido a la falla de estructuras y vehículos. (Krugger 2003). Escapes en tuberías de gas han provocado miles de muertes por intoxicación del aire, contaminación de ríos debido a fugas por deterioro corrosivo de recipientes de almacenamiento. (Gómez 2004) (Bilurbina 2012). Las estructuras metálicas civiles, y las estructuras de concreto reforzado con acero, así como las instalaciones y equipos de la industria, exigen el cumplimiento de normas tanto nacionales e internacionales como la sección 4-69 de la API 571, y la NSR-10, de la reglamentación de Colombia.

En el contexto anterior se ve la necesidad de desarrollar un solución desde la ingeniería que sea fácil de aplicar y económicamente viable para contrarrestar los efectos nocivos que origina este fenómeno sobre los artículos y productos metálicos de uso común en la sociedad y en especial en las construcciones civiles pues estas deben garantizar su vida útil y la seguridad de las personas. Para ello se realizó la deposición de un recubrimiento metálico zinc-hierro por vía electrolítica sobre materiales de lámina de acero cold-rolled. Mediante un generador de funciones, un osciloscopio y una celda electrolítica de 50 ml, provista de un ánodo soluble de cinc puro. Los reactivos utilizados son de grado analítico, y las pruebas se realizaron a temperatura de 25C. Se presenta una metodología fundamental para la reproducción de estos recubrimientos a escala de laboratorio. La caracterización morfológica realizada con Microscopía Electrónica de Barrido muestra que las

muestras mejor recubiertas se obtienen a partir del ciclo de trabajo de 85%, y se muestran en el contenido del presente artículo.

PALABRAS CLAVE:

Calidad de vida, Ley 400 de 1997, aleación Zn-Fe, ciclo de trabajo, recubrimiento electrolítico, corrosión.

ABSTRACT

Colombia contemplates the law 400 of 1997 for compliance With Minimum Requirements and criteria for the design, construction and technical supervision of buildings to Ensure the repair to the community after catastrophic events: such as earthquakes and floods That jeopardize human lives, economic and environmental damage.

When the 1997 law was sanctioned 400, was issued the first standard of seismic resistance in the history of Colombia-through the Decree 33 of 1998. Known as the NSR-98. This standard Also included for the first time Demands of seismic performance for non-structural elements, and the obligation to be Constantly updated. The update of the Colombian earthquake resistant construction took place Gradually and Resulted in the NSR-10, standard STI Among main innovations Including a map of seismic activity made by the national seismic network. (Colombia 2011).

A force of nature as the corrosion of the steel is a common cause of economic losses since the mechanical properties Loses materials and durability Affecting the safety of persons due to failure of structures and vehicles. (Krugger 2003). Leaks in gas pipes Have Caused Thousands of Deaths by poisoning the air, pollution of rivers due to leaks impairment corrosive storage containers. (Gomez 2004) (Bilurbina 2012). Civil metal structures and concrete

structures reinforced with steel, as well as facilities and equipment industry, require compliance With Both national and international standards: such as section 4-69 of the API 571, and the NSR-10, on the regulation of Colombia.

In the above context is the need to Develop a solution That is easy to apply engineering and economically feasible to counteract the harmful effects that originates this phenomenon on metal items and products of common use in civil society and in particular, in constructions as in Original Should Ensure life and security of persons. This has made the deposition of a metallic coating, zinc-iron-through electrolytic cold-rolled steel sheet materials. Using a function generator, oscilloscope, and a cell 50 ml, fitted with a soluble zinc anode electrolytic puree. Reagents are analytical grade, and tests Were Performed at temperature of 25 c. Presents a critical methodology for the reproduction of These coatings at laboratory scale. The morphological characterization With That scanning electron microscopy shows better coated samples are Obtained from the 85% duty cycle, and are displayed in the content of this article.

KEY WORDS:

Quality of life, law 400 of 1997, Zn-Fe alloy, cycle of work, electrolytic coating, corrosion.

RÉSUMÉ

En Colombie La Loi 400 de 1997 est contemplée pour l'accomplissement de critères et de conditions requerelements minimales pour le dessin, une construction et une supervision technique de constructions, pour garantir la réparation de la communauté après des évènements catastrophiques comme les séismes et inondations qui compromettent des vies humaines, ce sont des préjudices économiques et environnementaux.

Quand la Loi 400 de 1997 a été sanctionnée, on a expédié la première norme de sésme - résistance de l'histoire de la Colombie à travers du Décret 33 de 1998, connue comme la NSR-98. Cette norme, a aussi inclus pour la première fois des exigences de performance sismique pour des éléments non structurels, et le caractère obligatoire d'être constamment actualisé. L'actualisation du Règlement Colombien de Construction Sésme Résistant a été réalisé peu à peu et a donné comme en ressorti la NSR-10, la norme qui inclut entre ses nouveautés principales une carte de sismicidad fait par le Réseau Sismologique National. (La Colombie 2011).

Une force de la nature comme la corrosion de l'acier est une cause fréquente de pertes économiques parceque le matériel perd des propriétés mécaniques et de durabilité en affectant la sécurité des personnes pour la faille de structures et de véhicules. (Krugger 2003). Des fuites dans des tuyauteries de gaz ont provoqué des milliers de morts par intoxication de l'air, contamination de rivières grâce aux fuites par une détérioration corrosive de récipients de stockage. (Gómez 2004) (Bilurbina 2012). Les structures métalliques civiles, et les structures de ciment renforcé avec acier, ainsi les installations et les équipes de l'industrie, exigent l'accomplissement de normes nationales et internationales comme la section 4-69 de l'API 571, et la NSR-10, de la réglementation de la Colombie.

Dans le contexte antérieur on voit la nécessité de développer une solution depuis l'ingénierie qui est facile d'appliquer et économiquement viable pour contrecarrer les effets nocifs que ce phénomène provoque sur les matériels et les produits métalliques d'usage commun dans la société et spécialement dans les constructions civiles puisque celles-ci doivent garantir sa vie

utile et la sécurité des personnes. Pour cela un zinc - fer a réalisé la déposition d'un recouvrement métallique par une route électrolytique sur des matériels de lame en acier cold-rolled. Au moyen d'un générateur de fonctions, un oscilloscope et une cellule électrolytique de 50 ml, pourvue d'une anode soluble de zinc pur. Les réactifs utilisés sont d'un degré analytique, et les preuves ont été réalisées avec une température de 25C. On présente une méthodologie fondamentale pour la reproduction de ces recouvrements à une échelle de laboratoire. La caractérisation morphologique réalisée avec une Microscopie Électronique de Balayage montre que les échantillons mieux recouverts sont obtenus à partir du cycle de travail de 85 %, et ils se montrent dans le contenu de l'article présent.

MOTS CLÉS

La Qualité de vie, la Loi 400 de 1997, alliage Zn-fe, cycle de travail, recouvrement électrolytique, corrosion.

METODOLOGÍA

La estrategia investigativa para la realización del trabajo, se fundamenta en el método científico, caracterizado por establecer los principios generales para realizar la investigación, es decir, explicar los argumentos o hipótesis a partir de causas y principios verdaderos, y mediante una etapa experimental, derivar de ella sus efectos o conclusiones en los resultados parciales y/o finales.

SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN, 2. INCIDENCIA DE LA CORROSIÓN EN LA CALIDAD DE VIDA DE LAS PERSONAS, 3. IMPACTO ECONÓMICO-SOCIAL DEL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN 4. ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MITIGAR EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN 5. PROCESO ELECTROLÍTICO 6. DISEÑO EXPERIMENTAL. 7. RESULTADOS 8.

CONCLUSIONES 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. INTRODUCCIÓN

El impacto social generado por la fuerza natural de la corrosión, es paralelo al impacto económico producido por el deterioro de estructuras, edificaciones, cubiertas, embarcaciones, ductos de transporte de productos, vehículos. Adicionalmente, los perjuicios y riesgos causados por fugas en recipientes originan costosas indemnizaciones económicas tanto a personas y organismos de control ambiental, ya que incrementa las no conformidades de los procesos productivos y debilitan los esfuerzos realizados dentro de la gestión de mantenimiento preventivo. El deterioro, degradación o destrucción de los materiales debido a las reacciones con su medio ambiente, actualmente es ampliamente aceptado para definir la corrosión. Desde un punto de vista práctico, el término materiales se refiere a toda sustancia usada en la construcción de maquinaria, equipo de proceso, vehículos, edificaciones y otros productos manufacturados. (Stansbury, 2000).

En primera instancia, se presenta la incidencia de la corrosión en la calidad de vida de las personas, así como el impacto que ha tenido este fenómeno en la economía de un país y posteriormente se describen las alternativas técnicas para mitigar el fenómeno de la corrosión como aporte de solución a la problemática desde la ingeniería y se evidencia como el no cumplimiento de las normas para la protección de los materiales genera riesgos en la durabilidad de las estructuras y elementos fabricados con acero.

Para tal efecto, se utiliza un proceso electrolítico y como alternativa de protección económica, con bajo impacto

ambiental, durable, y comercializable en el mercado actual. El desarrollo del proceso se fundamenta en un diseño experimental a partir del cual se puede evidenciar el cambio sobre el acero sin recubrir y su valor de velocidad de corrosión frente al acero recubierto con la técnica presentada y la garantía de durabilidad en aplicaciones que requiere la sociedad y el desarrollo de una infraestructura duradera y resistente a la corrosión (Poursae 2014), dándose así cumplimiento a lo establecido en las normas respecto a la calidad de resistencia de los materiales utilizados en construcciones civiles.

A las muestras recubiertas se les realizó microfotografías con un Microscopio óptico marca MOTIC a 75x y Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL NEOSCOPE 5000 a 5000 aumentos para caracterizar su morfología. Las condiciones ambientales del laboratorio se controlaron a 20C y 50% de humedad relativa. Los recubrimientos con zinc-hierro sobre sustratos de acero de bajo carbono ofrecen una superficie compuesta por una aleación de zinc-hierro apropiada para ser pintada (Instituto, 1989).

2. INCIDENCIA DE LA CORROSIÓN EN LA CALIDAD DE VIDA DE LAS PERSONAS

El fenómeno de la corrosión es natural, silencioso y sin lugar a dudas catastrófico, si no se toman las medidas pertinentes para mitigarlo, pues aunque la mayoría han tenido contacto con éste en algún momento de su vida, no han percibido su efecto destructivo en las estructuras de sus bienes inmuebles ya que los elementos metálicos de acero que conforman vigas y columnas (C. Andrade, D. Izquierdo 2005) están expuestos a cambios permanentes con la atmósfera (Emilio Bastidas-Arteaga. Mark G. Stewart 2015) (M. Elisabete M. Almeida 2005). que les rodea, bien sea por efecto de

lluvia, cambios de temperatura y humedad relativa; generándose así el fenómeno corrosivo que de manera paulatina influye en el debilitamiento de dichas estructuras y reduciendo la capacidad de resistencia de las mismas, incrementando el riesgo de falla que en determinados eventos como los sismos y pueden ocasionar un colapso inmediato generando pérdidas materiales y humanas. En Colombia y a nivel global, el tema ha tomado relevancia a nivel investigativo y técnico desde la ingeniería Mecánica, Civil, y la arquitectura con miras a favorecer a la sociedad debido a que este fenómeno tiene incidencia en la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos, por ello se ha venido fortaleciendo el ámbito normativo destacándose lo señalado en la Ley 400 de 1997. Artículo 1°:

“establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, con el fin de reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender el patrimonio del Estado y de los ciudadanos”. Contiene y define las responsabilidades de diseñadores y constructores. Obliga a la revisión de los diseños para las licencias de construcción. Define la necesidad de ejercer la supervisión técnica de la construcción. Delega en el Gobierno Nacional potestad reglamentaria de la ley. Establece responsabilidad y sanciones para el incumplimiento. Deroga el Decreto 1400/84. Entró en vigencia el 19 de febrero de 1998. (Colombia 2011).

Durante el proceso investigativo, se encontró que la corrosión genera como

lo menciona (Orozco C. Ricardo y otros; 2007) (J.A. Richardson 2010), además de consecuencias directas sobre los materiales, también genera consecuencias indirectas o efectos sociales como son: seguridad (por ejemplo, alguna falla repentina puede causar fuego, explosión, fuga de productos tóxicos y colapso de construcciones). • Salud (por ejemplo, contaminación debido a la fuga de productos del equipo o tubería corroídos o debido a los mismos productos de corrosión). • Agotamiento de fuentes naturales, incluidos metales y combustibles usados para manufacturarlos. • Apariencia, pues una estructura con material corroído no muestra buenas condiciones a simple vista. El otro efecto nocivo de este fenómeno es el daño al medio ambiente. Por mencionar un caso real, en diciembre de 1999, frente a las costas de Vizcaya, al norte de España, el buque-tanque Erika zozobró debido a la ruptura de su casco provocada por la corrosión. El resultado: aproximadamente 20 mil toneladas de petróleo crudo se derramaron en el mar y causaron un gran daño al ecosistema marino. (Orozco. C. Ricardo, y otros 2007) Así mismo, para el caso de las redes de distribución de agua potable, (De Sousa. C 2010) es bien sabido, que continuamente, los metales en contacto con el agua para consumo humano, están sometidos al desgaste y pérdida de metal por efecto de la corrosión, liberando en el agua suministrada, niveles de metales en forma iónica disueltos en el fluido, desde el punto de vista reglamentario, debe mencionarse Decreto colombiano 1575 de 2007 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

3 IMPACTO DEL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN LA ECONOMÍA DE UN PAÍS

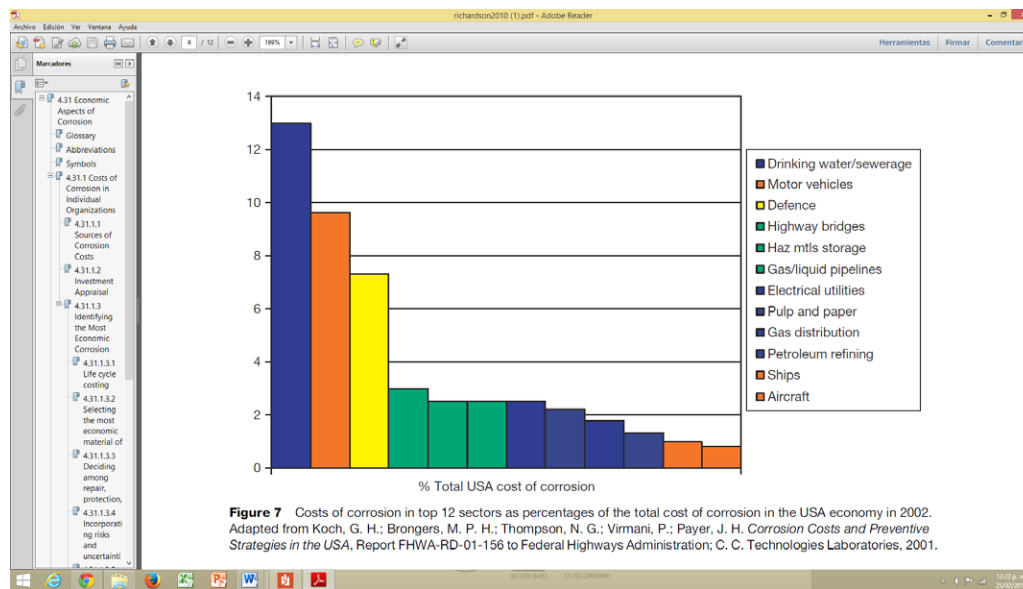
La corrosión es un fenómeno destructivo que tiene un alto costo económico y social;

si no se hace nada para combatirlo, Este trabajo investigativo se realiza teniendo en cuenta que la corrosión del acero es causa frecuente de pérdidas económicas debido a que el material pierde propiedades mecánicas y de durabilidad afectando la seguridad de las personas debido a la falla de estructuras y vehículos”, (KRUGGER, J 2003) escapes en tuberías de gas han provocado miles de muertes por intoxicación del aire, contaminación de ríos debido a fugas por deterioro corrosivo, de recipientes de almacenamiento”. (GÓMEZ DE LEÓN, H. 2004) (BILURBINA, A, Luis. Mesa)

La corrosión puede costar aproximadamente el 5% del producto interno bruto (P.I.B.) de un país industrializado y se gasta directa e indirectamente en prevenir y corregir problemas relacionados con la corrosión metálica;” (M. Elisabete M. Almeida 2005) debido a reposición de elementos y estructuras metálicas, transporte y mano de obra, averías imprevistas y daños accidentales, interrupciones en la producción, pérdidas de producto, contaminación y sobredimensionado”. (GÓMEZ DE LEÓN, H. 2004)

Los costos de la corrosión pueden disgregarse de varias maneras. La más obvia, es diferenciar los costos directos reconocibles para controlar la corrosión. Incluyendo cualquier cambio previsto, reparación o reemplazo de estructura, equipo, o artefacto. Los costos indirectos o consecuencias fatales; resultantes de incidentes inesperados a la corrosión, contablemente, son registrados como gastos de capital de funcionamiento, pero pueden ser muy altos y pueden provocar incidentes mayores; como la pérdida de la licencia de construcción, e incluso privación de la libertad para las personas responsables. (J.A. Richardson 2010).

Figura. 1. Costos de la corrosión en sectores Top 12 como porcentajes de los costos totales de la corrosión en sectores de la economía de Estados Unidos en 2012.



Fuente: J.A. Richardson. Economic Aspects of Corrosion. Shreir’s Corrosion. Volume 4: Management and Control of Corrosion. 2010, Pages 3040–3051

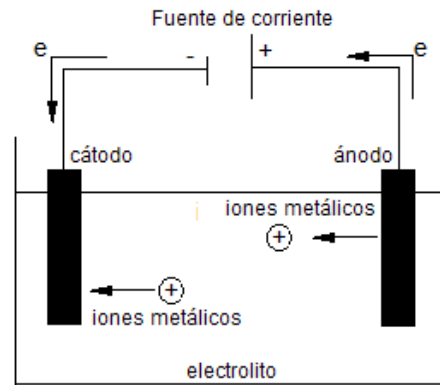
4. ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MITIGAR EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN

4.1 RECUBRIMIENTO POR VÍA ELECTROLÍTICA

Todo proceso electrolítico consta de cuatro elementos fundamentales para que se realice la electrodeposición del recubrimiento. Un ánodo, un cátodo, una diferencia de potencial entre ellos y una solución líquida que transporte los iones entre ánodo y cátodo. (Ceuret, 1992) (Bilurbina et al, 2003), de la forma que se observa en la figura 1.

4.2 CELDA ELECTROLÍTICA

Figura 1. Esquema general de una celda electroquímica



- Reducción (cátodo)
- Deposición de metal
- Oxidación (ánodo)
- Disolución de metal (para ánodo soluble)

Fuente: MEMS Materials and Processes Handbook.

Para minimizar los efectos que produce la corrosión atmosférica, se utiliza una celda

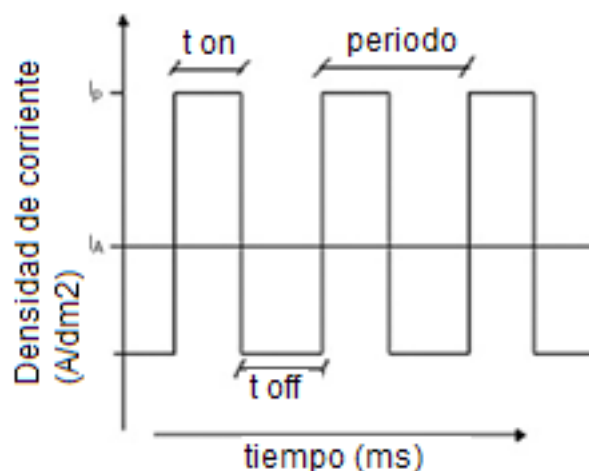
Protección del acero mediante Zinc para cumplir los requerimientos de la norma colombiana NSR-10 y API-571 Sección 4-69 a fin de prevenir la afectación de la calidad de vida e impacto económico en la sociedad

para electro-depositar recubrimientos mediante un electrolito que contiene iones de cinc y hierro en solución ya que la co-deposición de estos dos elementos sobre el acero podría mejorar el comportamiento frente a la corrosión respecto al zinc puro y a otros recubrimientos de Zn con aleantes del grupo del hierro (Carcél, 1998). La electrodeposición de aleaciones supone la deposición electroquímica simultánea de dos o más metales, sobre un mismo cátodo, a partir de una solución electrolítica que contiene sus iones. (Bilurbina et al, 2003).

4.3 FORMAS DE ONDA PULSANTE

En este trabajo se realizaron electro-depósitos con onda cuadrada, ya que el número de variables aumenta con la complejidad y número de las formas de onda. (Mazda, 1995). La onda cuadrada estuvo condicionada por un ciclo de trabajo entre 55% y 95%; el cual representa el porcentaje del ciclo de onda que dura la reacción en el ánodo y se mide con un tiempo en milisegundos; denominado TIEMPO ON (t_{on}) durante este tiempo, los iones metálicos son arrancados del ánodo y llevados por la corriente hacia el cátodo para allí reducirse. Seguidamente, para completar el ciclo de la onda, habrá un pulso de potencial inverso denominado TIEMPO OFF (t_{off}) como muestra la figura 2. El (t_{off}) es complementario en valor; al porcentaje de ciclo de trabajo; durante este tiempo (instantáneo), los iones serían repuestos cerca de la interface. Es posible controlar la composición y espesor del depósito regulando la amplitud y ancho de pulso. (Paunovic, 2010) (Chandrasekar, 2008) (Ravindra, 2008).

Figura 2. Forma tradicional de onda pulsante

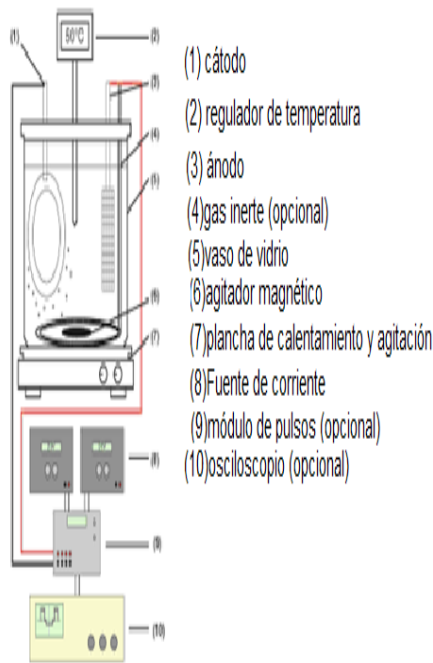


Fuente: (Chandrasekar,2008). Pulse and pulse reverse plating-Conceptual advantages and applications.

1.4 UNIDAD PARA DEPOSICIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA ELECTROLITICA

El equipo de laboratorio (figura 4) utilizado fue una celda electrolítica con porta ánodo y porta cátodo, Fuente Dual DC GW INSTEK GPS-4303, GENERADOR DE FUNCIONES marca Gw INSTEK modelo AFG 2125, OSCILOSCOPIO marca Gw INSTEK modelo GOS 1152A, Limpiador con ultrasonido CLEAN ULTRASONIC, Estereoscopio marca MOTIC. Pertenecientes a la línea de Ingeniería y Diseño del Tecno-parque Nodo Cali.

Figura 4. Esquema a escala de unidad de electrodeposición para laboratorio



- 1 Cátodo
- 2 Regulador de temperatura
- 3 Ánodo
- 4 Gas inerte opcional
- 5 Vaso de vidrio
- 6 Agitador magnético
- 7 Plancha de calentamiento agitación
- 8 Fuente de corriente
- 9 Generador de funciones
- 10 Osciloscopio

Fuente: MEMS Materials and Processes Handbook.

4.5 REACTIVOS UTILIZADOS PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA

El volumen del electrolito fue 50 ml; el pH se mantuvo en 4,3 y se emplearon reactivos de tipo analítico de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Reactivos utilizados en la preparación del electrolito.

| Reactivo | Concentración en la solución |
|--|------------------------------|
| Sulfato de Zinc ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) | 160 gramos por litro |
| Sulfato de Hierro ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) | 16 gramos por litro |
| Ácido bórico (H_3BO_3) | 40 gramos por litro |
| Sulfato de Sodio (Na_2SO_4) | 12 gramos por litro |

Fuente: New Brightener for Zn-Fe Alloy Plating from Sulphate Bath. (Praveent 2011)

Los reactivos son de grado analítico, indicando que su pureza es del 99.9%, esto influye positivamente en la adhesión del recubrimiento sobre el metal base; debido a que la inclusión de impurezas por efecto de un electrolito contaminado se reduce considerablemente con la elección de reactivos con pureza certificada. No se utilizan aditivos nocivos y por lo tanto el proceso es ambientalmente sostenible.

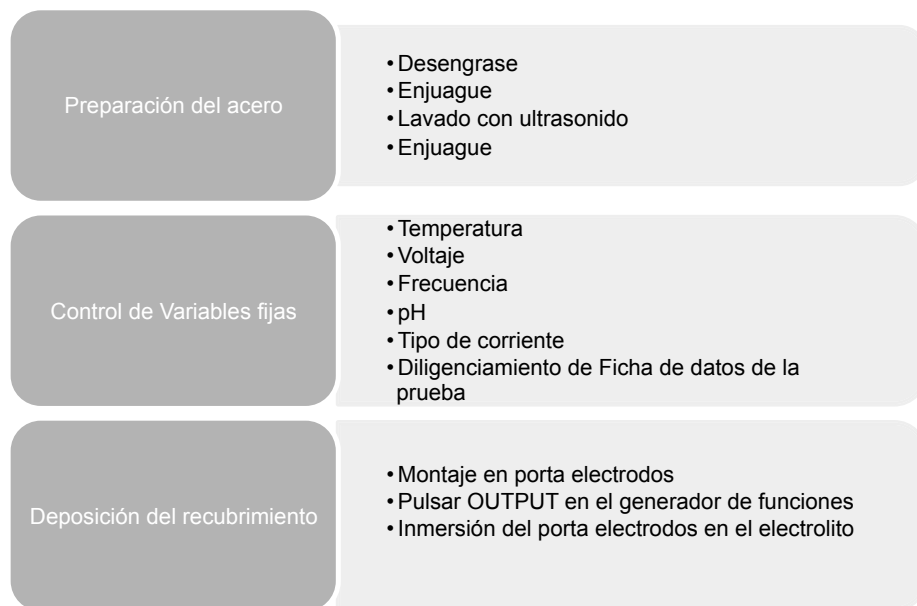
5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El depósito se realizó sobre sustratos de láminas de acero cold-rolled con espesor de 1mm. Se ajustaron las condiciones de electrodeposición mediante un sistema experimental de agitación continua a nivel de laboratorio de tal manera que el volumen de la solución electrolítica mantenga rodeado el sustrato durante toda la prueba. (Vassos, 1987).

El orden de operaciones para la realización de los ensayos; estuvo de acuerdo con el diagrama de la figura 3.

Protección del acero mediante Zinc para cumplir los requerimientos de la norma colombiana NSR-10 y API-571 Sección 4-69 a fin de prevenir la afectación de la calidad de vida e impacto económico en la sociedad

Figura 3: Diagrama de flujo utilizado durante los experimentos



Fuente: Autores

6. RESULTADOS

El grupo de microfotografías correspondiente a la imagen 1 tomadas con el microscopio óptico estereoscópico, permiten delimitar el rango de valores de ciclo de trabajo o porcentaje de tiempo anódico en el cual se presentan en forma visual, un recubrimiento uniforme y de buen aspecto.

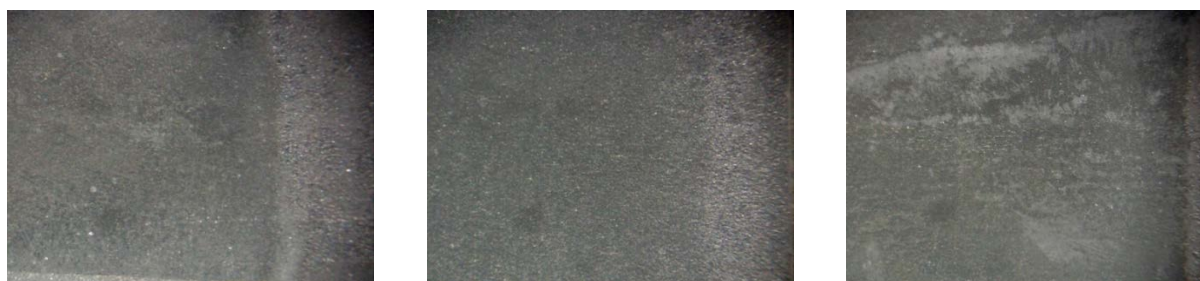
Se tomaron valores iniciales de ciclo de trabajo desde 55% hasta 95% con un valor de frecuencia de 100 Hz.

6.1 RANGO DE VALORES DE CICLO DE TRABAJO UTILIZADO PARA REALIZAR LOS RECUBRIMIENTOS.

El rango de valores seleccionado estuvo entre 55% y 95% de ciclo de trabajo.

Imagen 1. Muestras recubiertas y observadas con estereoscopio.

Frecuencia 100 Hz, 75 aumentos, Ciclo de trabajo de 55, 60 y 65% de izquierda a derecha



Frecuencia 100 Hz, 75 aumentos, Ciclo de trabajo de 70, 75 y 80% de izquierda a derecha



Frecuencia 100 Hz, 75 aumentos con Ciclo de trabajo de 85, 90 y 95% de izquierda a derecha



Fuente: Autores.

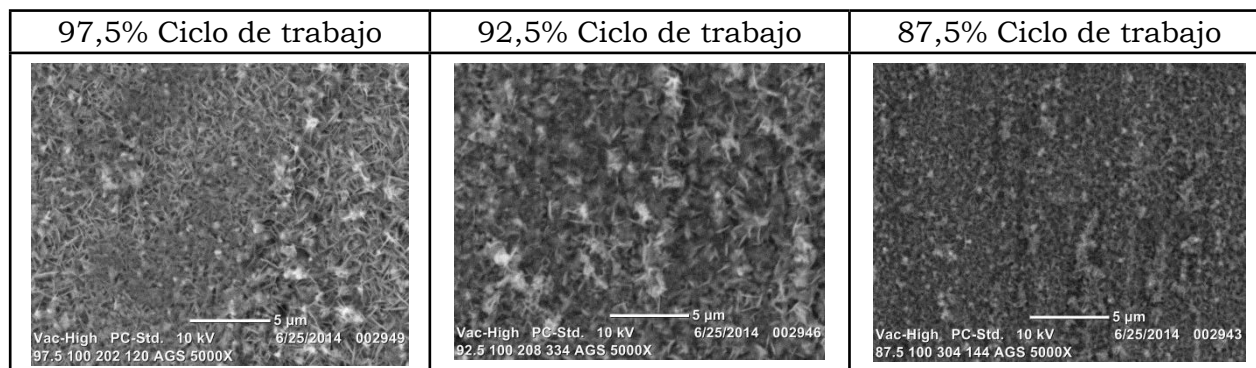
El grupo de microfotografías correspondiente a la imagen 1 muestran que a medida que aumenta el ciclo de trabajo, el recubrimiento presenta mayor cobertura y homogeneidad a una frecuencia de 100 Hz. La corriente pulsada con tiempos anódicos mayores, a partir del ciclo de trabajo de 85% presentan los recubrimientos mejor distribuidos y sin presencia de manchas, o falta de cobertura sobre las muestras. Un recubrimiento homogéneo, es en primera instancia, un importante indicador de la calidad de un recubrimiento. Con base en el recubrimiento de mayor homogeneidad y teniendo en cuenta los valores de las variables de deposición, puede indicarse que con estos valores se obtienen recubrimientos que cumplen el requerimiento de resistencia a la corrosión atmosférica, indicado según la norma API 571 en la sección 4-69.

6.2 MICRO FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS CON MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

A partir de las imágenes obtenidas con el estereoscopio, se realizaron nuevos recubrimientos con valores de ciclo de trabajo desde 87,5% hasta 97,5%, el grupo de micrografías SEM mostrado en la imagen 2 muestra que la morfología y tamaño de los granos depositados, son mas densos para el valor de ciclo de trabajo de 87,5%, esta característica aumenta positivamente las propiedades mecánicas y físicas del recubrimiento.

Protección del acero mediante Zinc para cumplir los requerimientos de la norma colombiana NSR-10 y API-571 Sección 4-69 a fin de prevenir la afectación de la calidad de vida e impacto económico en la sociedad

Imagen : Micrografías SEM. Frecuencia 100 Hz, 5V, 5000 aumentos, Ciclo de trabajo 97.5, 92.5 y 87.5%.



Fuente: Autores.

El efecto de la corriente aplicada por pulsos, muestra en las imágenes una reducción del tamaño de los cristales del depósito, esta característica permite obtener un recubrimiento con menor porosidad, reduciendo así la inclusión del oxígeno atmosférico y de humedad hacia el interior del recubrimiento, mejorando el efecto barrera y por consiguiente el efecto protector del recubrimiento metálico. Una razón con mayor contundencia, para indicar que el recubrimiento ofrece una opción válida como protector del metal base de acuerdo con la norma API 571 sección 4-69, y la NSR-10 de la reglamentación de Colombia.

7. CONCLUSIONES

La calidad de vida de las personas, el medio ambiente se ven altamente afectados por el fenómeno natural de la corrosión, lo cual ha llevado al ámbito jurídico la problemática, razón por la cual se ha venido implementando normas para regular los criterios y requisitos mínimos de construcción a fin de mitigar estos impactos.

Desde lo social, el impacto que ha tenido el fenómeno de la corrosión sobre el

patrimonio arquitectónico, las edificaciones e incluso los bienes de uso cotidiano de los ciudadanos como los vehículos de transporte, genera un impacto negativo en la economía de las personas, debilitan la calidad de vida de las personas al disminuir la vida útil de su bienes.

La protección del acero es imprescindible para garantizar la vida útil de los elementos metálicos en servicio. La protección mediante técnica de corriente pulsante mejora la calidad del recubrimiento, pudiendo dar cumplimiento a la especificaciones técnicas y a la normativa nacional de construcción. De esta manera, se puede extender la durabilidad de los bienes de la sociedad que estén constituidos por elementos que contengan acero.

Los recubrimientos metálicos de Zinc, son oportunos para la protección del acero, utilizado para la construcción metálica, para responder a la demanda de productos recubiertos de acuerdo con el crecimiento poblacional, urbanístico e industrial de las grandes ciudades representados por estructuras civiles y edificaciones.

Al recubrir el acero con la técnica planteada, se prolonga la duración en servicio y se

mantienen las propiedades mecánicas de las construcciones de acero, se reducirán los costos de mantenimiento, generando un impacto socio-económico favorable.

Las imágenes obtenidas con estereoscopia, permitieron observar, que con valores de ciclo de trabajo mayores a 80% los recubrimientos cubren completamente el sustrato, evidenciando depósitos homogéneos que mejoran la calidad del recubrimiento. Y por tanto mejoran la durabilidad de las estructuras y/o vehículos donde se aplique.

El refinamiento del tamaño de grano de los depósitos, puede verse reflejado comparando las micrografías SEM, ya que con los mismos aumentos, el tamaño reticular del depósito disminuye en las muestras a medida que disminuye el ciclo de trabajo. Este refinamiento, podría aportar en la dureza y menor porosidad del recubrimiento, para dar cumplimiento a los requerimientos de vida útil bajo condiciones atmosféricas, de acuerdo con la norma API 571 sección 4-69, y la NSR-10 de la reglamentación de Colombia.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Colombia (2011). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, no. 3). *Las normas aplicables en el Desarrollo de Vivienda de Interés Social*. Editores. Díaz Reyes. C. Ramírez Luna J. AINCOL (textos). Bogotá, D.C. Colombia. 48 p. ISBN: 978-958-8491-45-5.
- Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry RECOMMENDED PRACTICE 571. FIRST EDITION, DECEMBER 2003. Copyright American Petroleum Institute. (API).
- De Baere et al (2013). *Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach*. *Marine Structures*, 32, 136-152. EN Science Direct
- De Baere et al (2013). *Study on alternative approaches to corrosion protection of ballast tanks using an economic model*. *Marine Structures*, 32, 1-17. EN Science Direct
- Ley 400 de 1997. *Por la cual se adoptan las normas sobre construcciones sísmo-resistentes*. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=336>
- Rocha H, Leticia. (2004) "Descartes y el significado de la filosofía mecanicista". *Revista Digital Universitaria*. 5, 1-2.
- KRUGGER, J. (2003) *Zinc Alloys: Corrosion*. En E. S. Technology, en *Encyclopedia of Materials*. Baltimore, Maryland USA: Johns Hopkins University.
- GÓMEZ DE LEÓN, H. (2004). *Manual Básico de Corrosión Para Ingenieros*. Murcia: Universidad de Murcia. 2004.
- BILURBINA, A, (2012). *Luis. Mesa Mestres, Francisco. Iribarren Laco, Jose Ignacio*. [Books.google.com.co](http://books.google.com.co). Recuperado el 9 de 3 de 2012. 2003, Pagina 14.
- F, Ceuret. (1992). *Introducción a la Ingeniería Electroquímica*. Barcelona: Reverté.
- Stansbury, E. E. (Copyright@ 2000). *Fundamentals of Electrochemical Corrosión*. En *Introduction and Overview*

- of *Electrochemical Corrosion*. ASM Internacional.
- Mazda, F. (1995). *Electronica De Potencia*. Oxford: Paraninfo.
- Milan Paunovic, M. S. (2010). *Fundamental Considerations*. En M. S. Paunovic, *Modern Electroplating*. John Wiley & Sonns, Inc.
- M.S. Chandrasekar, M. P. (2008). *Pulse and pulse reverse plating--Conceptual advantages and aplicaciones*. (*Electrochimica Acta* 53(2008)3313-3222).
- Ravindra Bhide. (2008). *Quantifying the effects of mass transport on surface Roughness off cooper*. Utah: University of Utah.
- J. D. Jensen, D. R. (1998). *The practical realisation of zinc-iron CMA coatings*. *Surface an Coatings Technology*.
- VASSOS, B. H. (1987). *Electroquímica Analítica*. Mexico: Limusa.
- González Fernandez, J. A. (1984.). *Teoría y Práctica de la Lucha contra la Corrosión*. páginas 625-628. Recuperado el 9 de 3 de 2012, de books.google.com.co:
- Instituto, latinoamericano del Hierro y del Acero. (1989). *Siderurgia Latinoamericana*. Recuperado el 9 de 3 de 2012, de books.google.com.co:
- Diaz Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de Química Analítica. Equilibrio Iónico y Análisis Químico*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Emilio Bastidas-Arteaga. Mark G. Stewart (2015) *Damage risks and economic assessment of climate adaptation strategies for design of new concrete structures subject to chloride-induced corrosion*. *Structural Safety*. Volume 52, Part A, January 2015, Pages 40–53. EN Science Direct
- C. Andrade, , D. Izquierdo. (2005) *Benchmarking through an algorithm of repair methods of reinforcement corrosion: The repair index method*. *Cement and Concrete Composites*. Volume 27, Issue 6, July 2005, Pages 727–733. EN Science Direct
- J.A. Richardson. (2010). *EconomicAspects of Corrosion*. Shreir's Corrosion. Volume 4: *Management and Control of Corrosion*. 2010, Pages 3040–3051. EN Science Direct
- Poursaee. (2014) *Corrosion sensing for assessing and monitoring civil infrastructures*. *Sensor Technologies for Civil Infrastructures. Sensing Hardware and Data Collection Methods for Performance Assessment*. Volume 1 in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. Pages 357–382. EN Science Direct
- Morcillo, M. (2013). *Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review*. *Corrosion Science*. Volume 77, Pages 6–24. EN Science Direct.
- M. Elisabete M. Almeida. (2005) *Minimisation of steel atmospheric corrosion: Updated structure of intervention*. *Progress in Organic Coatings*. Volume 54, Issue 2, Pages 81–90. EN Science Direct