

VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR INMERSION Y CAMARA DE NIEBLA
SALINA

JUAN CAMILO COVELLI CUÉLLAR

ID: 211224

SERGIO FERNEY ROJAS SUÁREZ

ID: 247468

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2018

VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR INMERSION Y CAMARA DE NIEBLA
SALINA

JUAN CAMILO COVELLI CUÉLLAR

ID: 211224

SERGIO FERNEY ROJAS SUÁREZ

ID: 247468

PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE PROFESIONAL EN INGENIERÍA
MECÁNICA

DIRECTOR

ALFONSO SANTOS JAIMES

INGENIERO MECÁNICO

M. SC. INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2018

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FLORIDABLANCA (__/__/__)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos, principalmente, a nuestras familias, pues fueron ellos quienes estuvieron incondicionalmente apoyando cada paso que dimos, no solo en la resolución de este proyecto, sino también brindando su apoyo emocional en cada momento difícil que pasamos para lograr dar cumplimiento a cada objetivo planteado y de ese modo superar las adversidades que se presentaron a lo largo del trabajo realizado.

Finalmente, agradecemos inmensamente a todas aquellas personas que durante estos años han estado presentes, apoyando emocionalmente y colaborando para que este proyecto de investigación se realizara satisfactoriamente, especialmente agradecemos al ingeniero Alfonso Santos Jaimes, quien con su ayuda y experticia hizo de este proyecto una grata experiencia de aprendizaje; a su vez, agradecer a los encargados del laboratorio de química de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y la Universidad Antonio Nariño, ubicadas en la ciudad de Bucaramanga, debido a que pusieron a nuestra disposición todos aquellos elementos que fueron necesarios para la culminación de nuestro trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVOS GENERALES	16
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. MARCO TEORICO	18
2.1. CORROSIÓN	18
2.1.1. Efectos corrosión	18
2.1.2. Factores que influyen en la corrosión	18
2.1.3. Control corrosión	19
2.1.3.1. Recubrimientos protectores contra la corrosión	20
2.1.3.2. Propiedades físicas de los recubrimientos metálicos	20
2.1.3.3. Revestimiento térmico por rociado metalizado	20
2.1.4. Materiales usados en el proceso de corrosión	21
2.2. MATERIALES QUE SE UTILIZARON EN ESTOS ENSAYOS	22
2.2.1. Dióxido de titanio	22
2.2.2. Carburo de tungsteno	22
2.2.3. Alúmina	23
2.3. NORMAS ASTM	24
2.3.1. ASTM B117	24
2.3.2. ASTM G31	25
2.4. ANALISIS GRAVIMETRICO	26
2.4.1. Clasificación de métodos gravimétricos	26
2.4.1.1. Métodos de precipitación química	27
2.4.1.2. Métodos electro gravimétricos	27
2.4.1.3. Métodos de volatilización	27
2.4.1.4. Métodos de extracción	27

2.5. BALANZA ANALITICA	28
2.6. ACIDO CLORHIDRICO	29
2.6.1. Densidad y características	29
2.7. TEFLON	30
2.7.1. Propiedades	30
2.8. CABINA EXTRACTORA DE GASES Y HUMOS	30
2.9. TECNICAS PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN	31
2.10. METODOS DE PRUEBA Y EVALUACION DE CORROSIÓN	32
2.10.1. Pruebas de laboratorio	33
2.10.2. Método de pérdida de peso	34
2.10.3. Preparación de la superficie	34
2.10.4. Marcado de testigos	35
2.10.5. Volumen de la solución	35
2.10.6. Numero de testigos	36
2.10.7. Duración de la prueba	37
2.10.8. Limpieza de las muestras después de la prueba	38
3. METODOLOGIA	40
3.1. ENSAYO DE INMERSIÓN	40
3.2. ENSAYO DE CAMARA DE NIEBLA SALINA	45
4. ANALISIS DE RESULTADOS	49
4.1. PARAMETROS EXIGIDOS	49
4.2. TAMAÑO DE LAS PROBETAS	50
4.3. CANTIDAD DE TESTIGOS	50
4.4. VELOCIDADES DE CORROSIÓN	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
6. BIBLIOGRAFIA	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Imagen 1. Métodos comunes de control de corrosión	19
Imagen 2. Espesores y características comunes en los recubrimientos por rociado	21
Imagen 3. Norma ASTM D1193-06-Parámetros de calidad del agua para los tipos de ASTM	25
Imagen 4. Balanza analítica llevada a cabo para realizar las pruebas	28
Imagen 5. cámara extractora de gases, ubicada en un laboratorio de química en la UPB Bucaramanga	31
Imagen 6. Importancia de la evaluación para el control de la corrosión (Ashwort,1984)	32
Imagen 7. Medidas del testigo para el ensayo de inmersión en HLC	36
Imagen 8. Medidas del testigo para el ensayo de cámara de niebla salina	37
Imagen 9. Evidencia de las láminas después del proceso de rociado térmico respectivo	40
Imagen 10. Evidencia del proceso de amarre realizado con teflón de las láminas entre sí, antes de ser sumergidas al ácido clorhídrico.	41
Imagen 11. Montaje del ensayo de inmersión, láminas sumergidas en el ácido, colgando del teflón, sostenidas en la parte superior por el vidrio.	42
Imagen 12. Láminas en orden numérico y separado por recubrimientos después de ser retirado el exceso de ácido con aire a alta presión.	43
Imagen 13. Proceso de pesado de las láminas en la balanza digital.	43
Imagen 14. Montaje del ensayo después de haber realizado el proceso de pesado de todas las láminas.	44

Imagen 15. Ejemplo de cómo quedaron las láminas listas para realizar el ensayo de cámara de niebla salina, evidencia de la lámina sin recubrir.	45
Imagen 16. Montaje de las láminas al interior de la cámara de niebla salina, ordenadas por número y diferenciadas por su tipo de recubrimiento.	46
Imagen 17. Tablero del manómetro del compresor y el reloj con el cual se da inicio y final del ensayo.	47
Imagen 18. Láminas al momento de abrir la cámara de niebla salina después de 8 días de ensayo.	48
Imagen 19. Evidencia de los testigos después de ser retirados de la cámara de niebla salina.	49
Imagen 20. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Dióxido de titanio de inicio a fin en el proceso de inmersión.	52
Imagen 21. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Carburo Tungsteno de inicio a fin en el proceso de inmersión.	53
Imagen 22. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Alúmina de inicio a fin en el proceso de inmersión.	54
Imagen 23. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos sin recubrir de inicio a fin en el proceso de inmersión.	55
Imagen 24. Velocidades de corrosión de los cuatro diferentes componentes estudiados	56
Imagen 25. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Dióxido de titanio de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.	57
Imagen 26. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Carburo Tungsteno de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.	58
Imagen 27. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Alúmina de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.	59
Imagen 28. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos sin recubrir de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.	60

Imagen 29. Velocidades de corrosión de los cuatro diferentes componentes estudiados

61

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 1. Concentraciones del ácido clorhídrico en diferentes porcentajes.	29
Tabla 2. Parámetros del proyecto.	49
Tabla 3. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Dióxido Titanio	52
Tabla 4. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Dióxido titanio	52
Tabla 5. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Carburo Tungsteno	53
Tabla 6. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Carburo Tungsteno	53
Tabla 7. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Alúmina	54
Tabla 8. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Alúmina	54
Tabla 9. Tablas de pérdida de material en inmersión sin recubrir	55
Tabla 10. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido sin recubrir	55
Tabla 11. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Dióxido Titanio	57
Tabla 12. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Dióxido titanio	57
Tabla 13. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Carburo Tungsteno	58
Tabla 14. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Carburo Tungsteno	58

Tabla 15. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Alúmina	59
Tabla 16. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Alúmina	59
Tabla 17. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina sin recubrir	60
Tabla 18. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido sin recubrir	60

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A	66
ANEXO B	67

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR INMERSIÓN Y CÁMARA DE NIEBLA SALINA

AUTOR(ES): JUAN CAMILO COVELLI CUÉLLAR
SERGIO FERNEY ROJAS SUÁREZ

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ALFONSO SANTOS JAIMES

RESUMEN

Con el avance de la humanidad y en paralelo con las exigencias que esto conlleva, cada día se exige más a la industria para que logre estar a la altura de dichos requerimientos. Es relevante el conocimiento que se tenga respecto a la corrosión, en especial los mecanismos que puedan mitigar dicho proceso permitiendo, además, disminuir las pérdidas económicas generadas por ésta. Para la ejecución del proyecto se empleó un estudio experimental en un acero común: SAE 1020, sabiendo que la corrosión influye directamente a este material, se aplicaron diversos recubrimientos tales como el carburo de tungsteno, la alúmina, y el dióxido de titanio. Éstos, se adhirieron a las placas metálicas que estaban siendo material de investigación por un proceso llamado rociado térmico; lo anterior, con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del acero. Como objeto principal del proyecto, se determinó la velocidad de corrosión tanto en las láminas que contaron con los recubrimientos anteriormente mencionados, como aquellas a las que no fueron expuestas a algún proceso para mejorar sus propiedades. Para lograr medir la velocidad cuantitativamente, se recurrió a dos procesos que simularon una alta corrosión en las piezas, inicialmente con pruebas de inmersión de las láminas en ácido clorhídrico con una concentración del 30% por un tiempo total de 240 horas; seguidamente, se realizó el análisis mediante cámara de niebla salina por un tiempo máximo de 168 horas, con el fin de comparar de manera cuantitativa ¿cuál de los materiales arrojaba un valor menor a las piezas sin proceso de recubrimiento?. Como principal resultado, se puede nombrar el éxito obtenido en la simulación del proceso de corrosión en las piezas que fueron expuestas a los ensayos después de someter de manera física la superficie de las piezas basadas en las normas ASTM G-31 Y B-117.

PALABRAS CLAVE:

Corrosión, rociado térmico, recubrimiento, velocidad de corrosión, ASTM G31, ASTM B117.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: SPEED OF CORROSION BY IMMERSION Y CAMERA OF FOG SALINE

AUTHOR(S): JUAN CAMILO COVELLI CUÉLLAR
SERGIO FERNEY ROJAS SUÁREZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: ALFONSO SANTOS JAIMES

ABSTRACT

The progress of the humankind entails new demands. Every day the industry sector requires new developments to achieve these demands. It is required every day more to the industry in order that it manages to be at a height of sayings, Especially the mechanisms that could mitigate the above-mentioned process allowing, also, to diminish the economic losses generated for is. For develop the project an experimental study was used in a common steel: SAE1020, knowing that the corrosion influences directly to this material, there were applied such diverse coverings as the carbide of tungsten, alumina, and dioxide of titanium. These, Adherer to the metallic plates that were a material of investigation for a so called dewy thermal process; the previous thing, to improve the physical and mechanical properties of the steel. As principal object of the project, the speed of corrosion decided so much in the sheets that possessed the coverings previously mentioned, as those to which they were not exposed to any process to improve his properties. To manage to measure the speed quantitatively, One resorted to two processes that simulated a high corrosion in the pieces, Initially with tests of dip of the sheets in hydrochloric acid with a concentration of 30% in a total time of 240hours; Immediately afterwards, The analysis was realized by means of chamber of saline fog by a maximum time of 168hours, In order to compare in a quantitative way Which of the materials was throwing a minor value to the pieces without process of covering?. As principal result, it is possible to name the success obtained in the simulation of the process of corrosion in the pieces that were exposed to the tests after submitting in a physical way the surface of the pieces based on the procedure ASTM G-31 and B-117.

KEYWORDS:

Corrosion, thermal spray, covering, corrosion rate, ASTMG31, ASTMB117.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La humanidad avanza de manera acelerada, tanto en tecnologías a gran escala como en descubrimientos microscópicos. Esto le exige a la industria mundial estar al alcance de satisfacer todas las necesidades que día a día se van evidenciando en las personas, hacer de aquellos procesos tediosos en el uso de materias primas y metales, procesos altamente eficientes que generen una confiabilidad magna, de acuerdo con los requerimientos que exija cada aplicación industrial. Es en este punto en donde se vuelve relevante el conocimiento que se tenga sobre la corrosión, especialmente, los mecanismos que podamos utilizar para mitigar dicho proceso y poder contar con una vida útil mucho más larga en los materiales; permitiendo adicionalmente disminuir las pérdidas tan grandes que se generan en la industria día tras día.

En el presente trabajo se realiza un estudio experimental en un acero común como lo es el SAE 1020, generalmente utilizado para la fabricación de piezas estructurales y la construcción de maquinarias de mediana resistencia. Sabiendo que la corrosión influye de manera directa a este acero, se aplican diversos recubrimientos como lo son el carburo de tungsteno, la alúmina, y el dióxido de titanio. Estos, se adhieren a las placas metálicas que están siendo material de investigación por un proceso llamado: rociado térmico. Todo esto, con el fin de mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas del acero, haciéndolo menos vulnerable a la corrosión y aumentando su vida útil en los procesos industriales.

Como objeto principal del proyecto, se determinó la velocidad de corrosión tanto en las láminas que contaban con los recubrimientos, anteriormente mencionados, como aquellas a las que no se expusieron a algún proceso para mejorar sus propiedades. Como medio para lograr medir la velocidad de manera cuantitativa, se recurrió a dos procesos que simularon una alta corrosión en las piezas.

Como primer ensayo, se realizaron pruebas de inmersión de las láminas en ácido clorhídrico con una concentración del 30% por un tiempo total de exposición de las piezas de 240 horas.

Como ensayo complementario, se realizó el análisis mediante cámara de niebla salina por un tiempo total de 168 horas, esto, con el fin de comparar de manera cuantitativa cuál de los recubrimientos, al ser expuesto a los ensayos llevados a cabo en este proyecto, arrojaba un valor menor al que dio en las piezas que no contaban con algún proceso adicional, mostrando que aplicar un recubrimiento a una pieza metálica es una opción bastante viable hoy en día.

Los principales resultados de este proyecto fueron que se pudo simular con gran éxito el proceso de corrosión en las piezas sometidas a los diversos ensayos planteados, ya que, fue posible no solo calcular una velocidad de corrosión, sino evidenciar el daño que causa este proceso de manera física en la superficie de los metales expuestos después de seguir un tiempo de ensayo según las normas ASTM G-31 y ASTM B-117.

Por otra parte, se observó una mayor velocidad de corrosión en las láminas con recubrimiento de Alúmina en la práctica de inmersión y una menor velocidad de corrosión en las láminas sin recubrimiento en la práctica de cámara de niebla salina.

ABSTRACT

The humanity move on faster, from big the technology to microscopic discoveries. This fact push the world industry to find the appropriate way to satisfy not only the human needs but also makes those long process more competitive and efficient, with a high trust level foran the industrials applications. This is the pant where become important the knowledge about corrosion, specifically the mechanisms that we can use to stop this process and make a useful life longer than now are, reducing losses in the mechanic and materials industry. This project was made with the analysis of a common steel, SAE 1020 which generally it's use in the manufacturing of structural parts and medium strength machines.

Knowing that corrosion affects directly the steel, we start to use tungsten carbide, alumina and titanium dioxide coatings. These coatings adhere to metal plates in a process call thermal spraying, giving the steel better physical and mechanical properties.

Like a principal point of this project, we determine the corrosion rate in the coatings pates and also in the ones with any kind of process. Trying to measure the speed quantitatively, we find two trials.

The first one was plate immersion 30% hydrochloric acid for about 24 hours. The second one was using salt spray chamber for about 165 hours.

The results shows the coating plates has lower corrosion rates than the ones without, making this coating process a great industrial idea today. The simulation of the corrosion process was successful, allowing calculate the corrosion speed, and the physical damage on the metals surfaces according to the standards ASTM G-31 and ASTM B-117.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la velocidad de corrosión en recubrimientos de alúmina, dióxido de titanio y carburo de tungsteno, a través de las técnicas de inmersión y cámara de niebla salina, para identificar su influencia en la resistencia a la corrosión de aceros al carbono.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los parámetros y requerimientos exigidos para ensayos de corrosión mediante inmersión y cámara de niebla salina mediante la búsqueda de las normas ASTM que estandarizan estos ensayos. Resultado: Tabla con parámetros de dimensiones de probeta, materiales a utilizar, tiempos de ensayos, equipos y procedimientos para el desarrollo de las pruebas. Indicador: Se consultarán las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Elaborar las probetas y los recubrimientos requeridos para las pruebas de inmersión y cámara de niebla salina, a través de procesos de mecanizado y rociado térmico por llama. Resultado: Probetas para ensayos. Indicador: Las probetas se ajustarán a los requerimientos de las normas ASTM y el proceso de rociado térmico por llama garantizará el anclaje de este al material base.

Determinar el número de ensayos requeridos a través de ecuaciones estadísticas para obtener datos con una confianza del 95% y un porcentaje de error del 5%. Resultado: Tabla con el número de ensayos requeridos. Indicador: Se utilizarán las ecuaciones estadísticas requeridas para este tipo de análisis.

Realizar ensayos de inmersión en Hipoclorito de Sodio a los recubrimientos de alúmina, dióxido de titanio y carburo de tungsteno; para determinar su velocidad de corrosión mediante la aplicación de la norma ASTM G-31. Resultado: Gráfica de

velocidad de corrosión en función del tiempo de ensayo. Indicador: Se aplicará la norma ASTM G-31.

Realizar ensayos de cámara de niebla salina a los recubrimientos de alúmina, dióxido de titanio y carburo de tungsteno; para determinar su velocidad de corrosión mediante la aplicación de la norma ASTM B-117. Resultado: Gráfica de velocidad de corrosión en función del tiempo de ensayo. Indicador: Se aplicará la norma ASTM B117.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CORROSIÓN

Se conoce como corrosión al deterioro de un material, usualmente un metal, que resulta de la reacción con su ambiente, entendiendo por ambiente, los alrededores o condiciones (físicas, químicas o mecánicas) en los cuales un material existe. [1] En términos químicos, la corrosión es considerada una oxidación acelerada y continua que desgasta, es decir, que para que exista el fenómeno de corrosión tiene que haber un proceso de oxidación previo; dicho proceso ocurre cuando un átomo inestable pierde un electrón, lo que permite que el átomo forme un compuesto nuevo con otro elemento, donde el proceso se caracteriza por ceder electrones del elemento que se oxida al elemento oxidante. [2]

2.1.1 Efectos de la corrosión

El efecto de la corrosión se observa en nuestra sociedad a diario, tanto de manera directa en los materiales usados más comúnmente, como de manera indirecta cuando nos referíamos a la afectación económica y los gastos que genera este desgaste en los elementos usados. Estos efectos de la corrosión se observan más seguido de lo normal, un claro ejemplo es la influencia que este fenómeno tiene en los automóviles, en las herramientas metálicas, en las bisagras de las ventanas de los hogares, o en cualquier elemento que visualicemos comúnmente; por ende, es un efecto de extremo cuidado. [2]

2.1.2 Factores que influyen en la corrosión

Los siguientes factores son los que generalmente se consideran como de mayor importancia o relevancia en el transcurso del proceso de oxidación que conlleva a generarse la corrosión:

Potencial eléctrico de los materiales, formación de películas y biopelículas, temperatura, velocidad y agentes oxidantes. [2]

2.1.3 Control de la corrosión

Generalmente, este proceso no puede ser eliminado en su totalidad, pero si se puede llegar a controlar de una manera adecuada, consiguiendo que los materiales cumplan el ciclo de vida previsto desde un principio. Existen tres etapas muy importantes para definir el tiempo de vida de un elemento o material: el diseño, la construcción y el uso. Desde el punto de vista de corrosión, los métodos genéricos para su prevención están en las líneas de:

Modificación del diseño, modificación del medio, selección de materiales, protecciones anódicas, protecciones catódicas, aplicación de capas de protección: recubrimientos. La corrosión puede ser controlada o prevenida por métodos muy diferentes. Si lo miramos desde el punto de vista económico, las soluciones pueden variar y llegar a ser altamente decisivas. Como un claro ejemplo de esto, podemos nombrar la situación en la que un ingeniero debe enfrentarse económicamente entre elegir cambiar una pieza periódicamente, o desde un principio elegir un material más resistente a la corrosión, pero mucho más costoso. Algunos de los métodos más comunes de control o prevención de la corrosión se muestran en la imagen 1. [3]

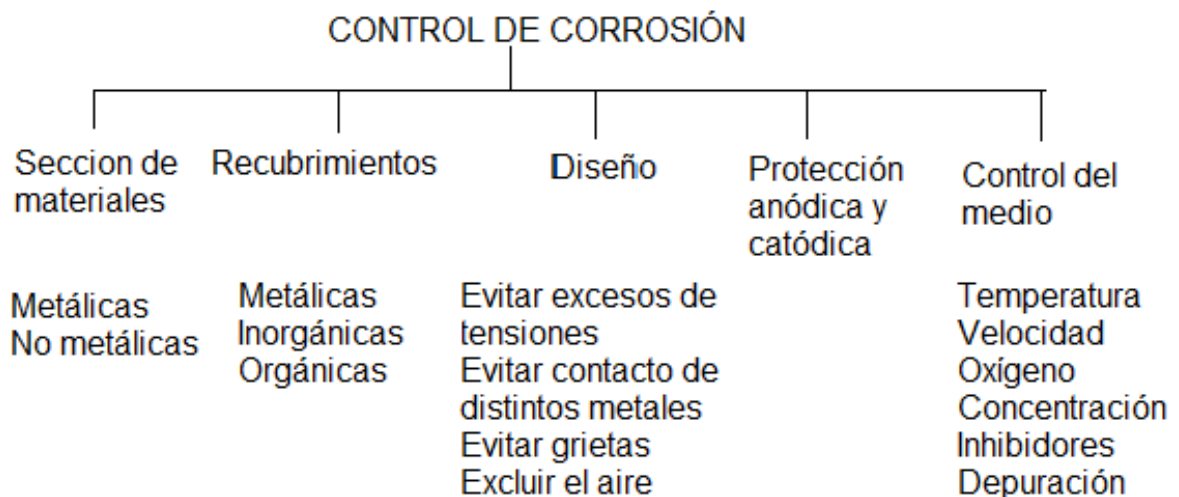


Imagen 1. Métodos comunes de control de corrosión. Tomado de la página <
https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/Im%E1genes/Fig12_17.jpg >

2.1.3.1 Recubrimientos protectores contra la corrosión. Estos recubrimientos se utilizan para aislar el metal del medio agresivo. En primer lugar, aquellos recubrimientos metálicos y no-metálicos que se pueden aplicar al metal por proteger, sin una modificación notable de la superficie metálica. Recubrimientos no-metálicos: Pueden incluirse dentro de éstos las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas. Grasas, ceras, aceites, empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal. Recubrimientos orgánicos de materiales plásticos: Esmaltes vitrificados resistentes a la intemperie, al calor y a los ácidos. Proyección del metal fundido mediante una pistola atomizadora. Metalizaciones al cinc, aluminio, estaño, plomo, etc. Recubrimientos metálicos: Pueden lograrse recubrimientos metálicos mediante la electrodeposición de metales como el níquel, zinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etcétera. [3]

2.1.3.2 Propiedades físicas de los recubrimientos metálicos. Refiriéndose al caso del acero como el material de más amplia utilización, la selección de un determinado recubrimiento metálico se puede efectuar y justificar sobre la base de una de las siguientes propiedades físicas. Cuando se trata de proteger de una manera eficaz y económica la superficie del acero en condiciones determinadas, puede referirse a propiedades tales como la impermeabilidad, la buena adherencia al acero y la resistencia mecánica de los metales utilizados en los recubrimientos, todo esto, con el fin de garantizar una buena resistencia a los choques, rozamientos ligeros o accidentales, entre otros. [4]

2.1.3.3 Revestimiento térmico por rociado (metalizado). Este tipo de rociado se basa en la solidificación de pequeñas pero numerosas gotas fundidas individualmente; al momento de ser expulsadas estas gotas de ciertos dispositivos especiales golpean una superficie que con anterioridad ha sido limpiada y preparada para este tratamiento. La limpieza y preparación de la superficie del acero antes de

la aplicación de un recubrimiento metálico, es una operación indispensable, sea cual sea el procedimiento de aplicación escogido. De la calidad de la preparación de la superficie dependerá la adherencia y, en consecuencia, la eficacia de la capa protectora. Como paso a seguir, dichas partículas se aplanan y se solidifican. El espesor del recubrimiento se puede controlar fácilmente por el operador y puede variar según la naturaleza del metal proyectado y el resultado que se espera obtener. En este proceso de revestimiento especialmente se pueden manejar espesores desde los 0.04 mm hasta los 3 mm como se muestra en la imagen 2. [5]

PROCESOS DE RECUBRIMIENTO	ESPEORES TÍPICOS DE RECUBRIMIENTO	MATERIALES DE RECUBRIMIENTO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
Rociado térmico	0.04 - 3mm (0.0015 - 0.12in)	Cerámicos y aleaciones metálicas	Resistente al desgaste y corrosión	Rodaduras

Imagen 2. Espesores y Características comunes en los recubrimientos por rociado térmico. Tomada de página < http://metal-spray-coating.com/es/wp-content/uploads/2015/03/Thermal_Spray_V4-MS-C-Esp.pdf >

2.1.4 Materiales usados en el proceso de corrosión

Teniendo en cuenta que la corrosión es un proceso electroquímico, uno de los mejores caminos para evitarla es utilizar materiales que químicamente sean resistentes a este proceso. Materiales como los plásticos, cerámicas, vidrios, gomas, asbesto y cemento entran dentro de esta categoría. El problema con este tipo de materiales es que en muchos casos no tienen o no reúnen aquellas otras propiedades diferentes a la resistencia a la corrosión, y, por ende, no satisfacen todos los requerimientos que se necesitan en una aplicación en especial. Materiales como el cromo, aluminio, titanio, silicio, tungsteno y molibdeno forman películas de óxidos protectores y sus aleaciones están similarmente protegidas. Otro elemento es el níquel que también forma aleaciones con una buena resistencia a la corrosión en medios ácidos, incluso cuando el contenido de oxígeno del medio es bajo. [6]

2.2 MATERIALES QUE SE UTILIZARON EN ESTOS ENSAYOS

Como materiales bases para trabajar en los dos ensayos presentados en este documento, se escogieron el dióxido de titanio, el carburo de wolframio y la alúmina, siendo estas aleaciones especiales por sus propiedades mecánicas y su resistencia física a la corrosión o a ataques ambientales que afecten la vida útil de los materiales que se usan cotidianamente en las actividades tanto industriales como domésticas.

2.2.1 Dióxido de titanio

El óxido de titanio (IV) o dióxido de titanio es un compuesto químico cuya fórmula es TiO_2 . El dióxido de titanio puede actuar como ácido o como base según la sustancia con la que reaccione, es químicamente muy estable, no es atacado por compuestos orgánicos o inorgánicos y se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y ácido fluorhídrico, refleja la mayoría de la radiación electromagnética visible, por lo que es un muy buen pigmento blanco. Además, absorbe la luz ultravioleta y es capaz de mantener su color a pesar de estar en exposición a la radiación solar. Por todas estas propiedades con las que cuenta, es usualmente muy usado en la industria química, en general. Los pigmentos de dióxido de titanio se utilizan principalmente en la producción de pinturas y plásticos, así como en papel, tintas de impresión, cosméticos, productos textiles, farmacéuticos y alimentarios. El dióxido de titanio es el pigmento más habitualmente utilizado en el mundo. Además de esto, el dióxido de titanio a nano escala se utiliza como material de apoyo para aplicaciones catalíticas. Como un ejemplo de esto; se puede ver que, en la industria automotriz, los principales usos incluyen la eliminación de las emisiones de gases de escape nocivos, y en centrales eléctricas, la eliminación de los óxidos nitrosos. [7]

2.2.2 Carburo de tungsteno

También llamado carburo de wolframio. Es un compuesto formado por wolframio y carbono, con composición química de W_3C hasta W_6C , perteneciente al grupo de los carburos. Se utiliza fundamentalmente, debido a su elevada dureza, en la

fabricación de herramientas de corte gracias a su gran resistencia al desgaste. Otras de las interesantes propiedades que ofrece este material son la resistencia a compresiones elevadas y a las altas temperaturas. Debido a esta propiedad y escasa ductilidad, se elaboran piezas de este material en forma de polvo, añadiendo entre un 6 y un 10 % de cobalto forma una cerámica metal. Los granos del carburo de wolframio empleados en el proceso suelen tener diámetros de aproximadamente 0,5 a 1 micrómetros. El polvo se prensa y las piezas obtenidas se calientan a una presión de 10.000 a 20.000 bares, aproximadamente a 1600 °C (por debajo del punto de fusión del carburo). En estas condiciones la masa se compacta por sinterización, actuando el cobalto como pegamento entre los granos del carburo. Por su gran importancia en la industria, el gobierno estadounidense lo incluye dentro de los materiales de categoría vital junto a otros materiales y productos como el petróleo, lo que significa que se almacenan reservas para 6 meses, ante posibles fallos de suministro debido a fenómenos naturales o guerras; a su vez, su fragilidad no se emplea en estado puro sino en un compuesto de carburo cementado. [8]

2.2.3 Alúmina

También llamada óxido de aluminio (Al_2O_3). Es una cerámica blanca y opaca de alto rendimiento con características físicas excepcionales. Es extremadamente resistente a la temperatura, ofrece una muy buena resistencia mecánica y excelentes propiedades de aislamiento eléctrico, tiene un bajo factor de disipación y una gran resistencia dieléctrica. Estas propiedades permiten el uso en aplicaciones eléctricas de alto voltaje. Puede resistir la mayoría de los ácidos y álcalis, incluso a temperaturas elevadas. Junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y los esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración. El óxido de aluminio existe en la naturaleza en forma de corindón y de esmeril. Tiene la particularidad de ser más duro que el aluminio y el punto de fusión de la alúmina son 2072 [°C] (2345,15 K) frente a los 660 °C (933,15 K) del aluminio. Sus propiedades más importantes son:

Densidad: 3,96-4,05 [g/cm³], Dureza Vickers: 1500-1650 [kgf] [mm²] y Módulo de elasticidad: 300-400 [GPa]. [9]

2.3 NORMAS ASTM

ASTM o ASTM International es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial. Las oficinas principales de la organización ASTM Internacional están ubicadas en West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos, al noroeste de la ciudad de Filadelfia. Gracias a estos estándares, se ofrece una seguridad al momento de construir infraestructuras nacionales e internacionales, se aplican a casi todas las áreas, desde el acero hasta la sustentabilidad, ayudando a mejorar la vida de millones de personas a diario. [10]

2.3.1 ASTM B117

Es la más antigua y la más utilizada de las pruebas de gabinetes de niebla salina. Usada desde 1914, con raíces en la Oficina Nacional de Estándares y formalizado como una especificación ASTM B117 en 1939 por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Las primeras especificaciones para este método de prueba de corrosión estaban sujetas a muchos cambios. Fue la norma base de la prueba de cámara de niebla salina en el proyecto, debido a sus claras especificaciones de tiempo de prueba, tamaño de testigo y materiales aptos para ser sometidos a dichas pruebas. La prueba de aspersion salina (niebla) ASTM B117 se usa a menudo para evaluar la resistencia relativa a la corrosión de los materiales revestidos y no revestidos expuestos a un rocío de sal o niebla a una temperatura elevada. Las muestras de prueba se colocan en un gabinete o cámara de pulverización de sal encerrada y se someten a una pulverización indirecta continua de una solución de agua salada neutra (pH 6,5-7,2). Este clima se mantiene durante toda la prueba. El agua utilizada en la prueba ASTM B117 de niebla salina (niebla) debe cumplir con la especificación ASTM D1193, como se muestra en la imagen 3.

Para agua reactiva tipo IV; a esto se agrega suficiente cloruro de sodio que se logra una solución de sal del cinco por ciento. En el momento en que las muestras se colocan en la cámara, el gabinete debe pre-acondicionarse a la temperatura de funcionamiento de 35 [° C] o (95 ° F) y empañarse con una solución de sal al 5% a una velocidad de 12 [ml / h]. La posición predeterminada para la colocación de la muestra está en un ángulo de 15-30 grados con respecto a la vertical. Para los propósitos de recolección de datos, la cámara debe permanecer completamente cerrada de principio a fin durante la toma de datos. De este modo, la prueba de aspersión salina (niebla) ASTM B117 puede variar en longitud de 24 a 5000 horas, generalmente en incrementos de 24 horas. [11]

PARAMETER	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV
Conductivity (uS/cm) at25, max	0.056	1	0.25	5
Resistivity (Mohms-cm), max	18	1	4	0.2
pH at 25C	-	-	-	5 to 8
TOPC (ug/l), max	50	50	200	no limit
Sodium (ug/l), max	1	5	10	50
Silica (ug/l), max	3	3	500	no limit
Chloride (ug/l), max	1	5	10	50

Imagen 3. Norma ASTM D1193-06-Parámetros de calidad del agua para los tipos de ASTM. Tomado de la pagina > <https://bit.ly/2rVDopm> <

2.3.2 ASTM G31

Es la norma más común para ensayos de inmersión, en procesos de evaluación de corrosión. Las evaluaciones de corrosión por inmersión con G31, proporcionan un método simple y directo para determinar la velocidad de corrosión en soluciones acuosas. Es más apropiado para determinar la corrosividad de los líquidos en aplicaciones estáticas, pero también se puede usar como una herramienta de evaluación para muchas otras aplicaciones. La prueba se realiza por períodos de

24 horas a varios meses, dependiendo de la aleación y de los intereses de la prueba. Después de haber seleccionado un tiempo en especial de prueba, esta norma nos proporciona una aproximación de la tasa de corrosión que se dará a largo plazo por corrosión general. Esta norma no se aplica ni mide los efectos de picaduras, grietas y otros procesos locales de corrosión; si es este el interés de la prueba se debe recurrir a la norma ASMT G48 que es la más aplicable en esos casos. [12]

2.4 ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO

Aunque existen muchos métodos para analizar una muestra, algunos son más prácticos que otros, por ejemplo, la volumetría se basa en la medición de volumen de un reactivo o muestra. A diferencia de muchos métodos, se basan en la medición de masa; estos métodos son llamados métodos gravimétricos, o simplemente gravimetría. Ambos, volumetrías y gravimetrías, son métodos clásicos de análisis, lo cual significa que están basados en la aplicación de una reacción química. En resumen, para llevar a cabo una gravimetría lo más frecuente es que se produzca en el laboratorio una reacción química de precipitación de un compuesto puro que contenga el analito que se quiere determinar. Se trata de métodos cuantitativos, con los cuales puede obtenerse un resultado numérico que ayudará a completar los objetivos planteados de principio a fin. Gracias a su fiabilidad y precisión, estos métodos hacen que, con frecuencia, se usen como métodos de referencia, por lo que se puede apreciar su gran importancia. [13]

2.4.1 Clasificación de los métodos gravimétricos

Los métodos gravimétricos se pueden clasificar según la técnica que se utiliza, como principal cualidad tienen el aislar el componente de interés. Así, se logró encontrar cuatro grupos principales como lo son el método de precipitación química, los métodos electro gravimétricos, los métodos de volatilización y los métodos de extracción.

2.4.1.1 **Métodos de precipitación química.** La precipitación es el modo más corriente de proceder en gravimetría. Se llevan a cabo sobre la muestra en disolución, de la que se separa la especie a determinar por adición de un reactivo que provoca la formación de un precipitado insoluble que contendrá el analito. Después, el precipitado se debe separar de la disolución (por filtración), lavar y secar o calcinar para pesar el residuo final.

2.4.1.2 **Métodos electro gravimétricos.** Se trata de un tipo concreto de métodos de precipitación, ya que, también se produce un precipitado sólido, pero en lugar de hacerlo mediante la adición de un reactivo, se provoca la reacción química mediante el paso de una corriente eléctrica y el precipitado se deposita en la superficie de uno de los electrodos. Pesar el electrodo antes y después de la reacción arrojará el peso total de la sustancia depositada y mediante cálculos estequiométricos también se puede determinar la concentración. Son métodos de poca aplicación; se puede emplear para determinar algunos metales como el cobre o el plomo.

2.4.1.3 **Métodos de volatilización.** En ocasiones, cuando la especie que se deseó determinar pasa fácilmente a fase gaseosa o puede formar un compuesto volátil, en lugar de formar un sólido precipitado se volatiliza. Así, se pudo determinar la cantidad de especie presente por diferencia de pesos, es decir, el peso final, una vez volatilizada la parte deseada, menos el peso inicial de la muestra (método indirecto), o bien se recogió la especie volatilizada y pesándola posteriormente (método directo). Por ejemplo, cuando se desea determinar la cantidad de agua de una muestra de alimento, se pesa la muestra de alimento inicial y después de haberse desecado por completo.

2.4.1.4 **Métodos de extracción.** Estos, solo se pueden usar para determinaciones muy concretas, por ejemplo, la determinación del porcentaje de un componente en una aleación. Consisten en separar por disolución los componentes

no deseados y pesar únicamente el residuo del componente de interés. Por tanto, se necesita un disolvente que diluya los componentes no deseados de la muestra, pero no el analito. Puesto que, generalmente, cuando se hace referencia a una gravimetría es a un método de precipitación, por tener mayor cantidad de aplicaciones, en adelante se centrará la atención en estos métodos. [14]

2.5 BALANZA ANALÍTICA

Es una clase de balanza de laboratorio diseñada para medir pequeñas masas, en un principio de un rango menor del miligramo (y que hoy día, las digitales, llegan hasta la diezmilésima de gramo: (0,0001 g o 0,1 mg). Los platillos de medición de una balanza analítica están dentro de una caja transparente provista de puertas para que no se acumule el polvo y para evitar que cualquier corriente de aire en la habitación afecte el funcionamiento de esta. (A ese recinto a veces se le llama protector de corriente, draft shield). El uso de un cierre de seguridad con ventilación equilibrada y con perfiles aerodinámicos acrílicos diseñados exclusivamente a tal fin, permite en el interior un flujo de aire continuo sin turbulencias que evita las fluctuaciones de la balanza y que se puedan medir masas por debajo de 1 μg sin fluctuaciones ni pérdidas de producto. Además, la muestra debe estar a temperatura ambiente para evitar que la convección natural forme corrientes de aire dentro de la caja que puedan causar un error en la lectura. [15]



Imagen 4. Balanza analítica llevada a cabo para realizar las pruebas. Tomada de la página < <http://www.quimitube.com/gravimetria-definicion-fundamento-teorico-y-procedimiento> >

2.6 ÁCIDO CLORHÍDRICO

Es un compuesto químico conocido con distintos nombres, algunos cambian incluso dependiendo de la zona. Una de las principales características son su alto poder corrosivo y ácido, y se encuentra en estado líquido. También cuenta con un olor que irrita considerablemente las cavidades mucosas. Tiene un pH que suele ser más bajo a 1, es bastante peligroso e incluso podría matar un ser humano si es ingerido, aunque sea en pequeñas cantidades. En temperatura ambiente puede ser gaseoso, pero no inflamable, si se expone al aire formaría vapor de un color blanco denso y corrosivo. Se puede usar como reactivo; cuenta con numerosos usos, como son: Limpieza o tratamiento de metales, tratar el cuero y en la fabricación de productos en la industria. [16]

2.6.1 Densidad y características

Su densidad varía en la concentración; características como molaridad y densidad del ácido clorhídrico pueden verse a continuación:

Conc. (m/m) c : kg HCl/kg	Conc. (m/v) c : kg HCl/m ³	Densidad ρ : kg/l	Molaridad M	pH	Viscosidad η : mPa·s	Calor específico s : kJ/(kg·K)	Presión de vapor P _{HCl} : Pa	Punto de ebullición b.p.	Punto de fusión m.p.
10 %	104,80	1,048	2,87 M	-0,5	1,16	3,47	0,527	103 °C	-18 °C
20 %	219,60	1,098	6,02 M	-0,8	1,37	2,99	27,3	108 °C	-59 °C
30 %	344,70	1,149	9,45 M	-1,0	1,70	2,60	1.410	90 °C	-52 °C
32 %	370,88	1,159	10,17 M	-1,0	1,80	2,55	3.130	84 °C	-43 °C
34 %	397,46	1,169	10,90 M	-1,0	1,90	2,50	6.733	71 °C	-36 °C
36 %	424,44	1,179	11,64 M	-1,1	1,99	2,46	14.100	61 °C	-30 °C
38 %	451,82	1,189	12,39 M	-1,1	2,10	2,43	28.000	48 °C	-26 °C

Tabla 1. Concentraciones del ácido clorhídrico en diferentes porcentajes. tomada de la página < <http://bit.ly/2nZohJk> >

Para desarrollar el proyecto, se utilizó el ácido con una concentración del 30%, lo que da un punto de ebullición y un punto de fusión bastante elevados, muy adecuados para esos trabajos, pero principalmente una concentración de 344,70 kg

HCL/m³. Aunque la concentración que se tomó fue bastante alta, la idea era exponer los testigos a un proceso muy fuerte y extremo. Se refiere a fuerte, con el hecho de que este compuesto químico no se consigue con concentraciones superiores al 80% y mucho menos de una manera pura en el mercado.

2.7 TEFLÓN

Su nombre científico es politetrafluoroetileno y es similar al polietileno; sin embargo, es conocido en el mercado como teflón y viene siendo la marca registrada de este, es resistente a los ácidos, hidrocarburos, disolventes de tipo orgánico, humedad, sol y temperaturas de hasta 300°.

2.7.1 Propiedades

Una de las principales propiedades es que no reacciona con otras sustancias químicas. Se debe a la protección de átomos de flúor sobre la cadena carbonada, además, mantiene sus cualidades en ambientes húmedos. También sirve como aislante eléctrico y es bastante flexible, soporta temperaturas de -270 °C (3 K) hasta 270 °C (543 K), y es antiadherente. Por sus grandes propiedades y su inmunidad al ácido clorhídrico, el teflón se escogió como el material de amarre, con el cual se logró ubicar los testigos, para realizar la prueba de inmersión de manera exitosa sin que tuvieran contacto entre ellos durante el muestreo. [17]

2.8 CABINA EXTRACTORA DE GASES Y HUMOS

Esas cabinas capturan, contienen y expulsan emisiones que sueltan las sustancias químicas peligrosas. Para cuidar de su salud, lo más recomendable es que cada vez que se trabaje con químicos fuertes, como el trabajado en este proyecto que fue el ácido clorhídrico, la utilicen, sin olvidar las demás recomendaciones como son: Revisar el funcionamiento de la cámara extractora, tener guantes, tapabocas, bata antifluido y demás cuidados para que tengan una experiencia exitosa en el laboratorio. Se tuvo en cuenta que, para utilizar esta cámara, se debe realizar un

estudio del gas emitido que no debe exceder la capacidad de extraer gases, movimiento del aire y trayectoria del flujo, turbulencias en el interior. [18]



Imagen 5. cámara extractora de gases, ubicada en un laboratorio de química en la UPB Bucaramanga

2.9 TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN.

La forma que se utilizó para hallar la velocidad de corrosión y los valores que se tuvieron en cuenta son: La pérdida de peso luego de exponerse a determinado tiempo, una constante de corrosión y el área del material expuesto. Una vez que se determinó el cambio de peso que el material experimenta con el fin de obtener la velocidad de corrosión en $[(g/cm^2) * h]$ es decir, gramos de material perdido por hora transcurrida y $[cm^2]$ de área de material expuesto.

$$V = \frac{K * (m_i - m_f)}{\rho * A * t}$$

Dónde:

V = velocidad de corrosión, m_i = masa inicial, m_f = masa final, ρ = la densidad del material, A = área de exposición, t = tiempo de exposición, K = Constante de corrosión.

2.10 MÉTODOS DE PRUEBA Y EVALUACIÓN DE CORROSIÓN

Las pruebas de corrosión son consideradas la base para la evaluación y posterior control del fenómeno en gran cantidad de aplicaciones en ingeniería. En la imagen 6 que se muestra a continuación, se puede observar los factores que afectan en la evaluación de la corrosión y la importancia para poder controlarla. Para realizar la evaluación de la corrosión es necesario determinar la velocidad de corrosión, la cual es una medida del grado de afectación del metal debida a reacciones de corrosión.

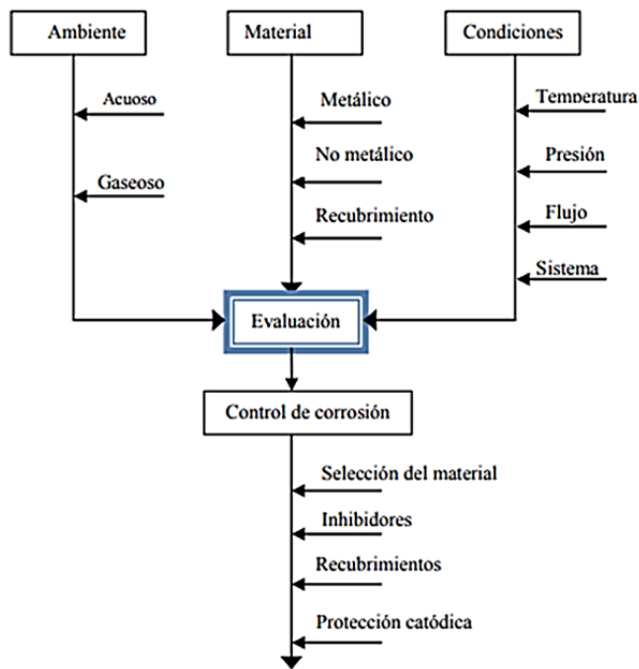


Imagen 6. Importancia de la evaluación para el control de la corrosión (Ashwort,1984).

Tomada de la página <

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lqi/coatl_p_m/capitulo3.pdf >

Las pruebas de corrosión se pueden dividir, de forma general, en tres grandes grupos. El primero corresponde a las pruebas de laboratorio en las que las muestras son expuestas a líquidos de plantas reales (ensayo de inmersión) o ambientes simulados (ensayo de cámara de niebla salina). En el segundo, se encuentran las pruebas en planta o campo en donde las pruebas se efectúan en ambientes reales exponiendo los metales o aleaciones a las condiciones presentes en los procesos. Por ejemplo, condiciones en la atmósfera, el mar, etc. Finalmente, el tercer grupo lo conforman las pruebas de servicios. En este tipo de prueba los materiales a estudiar, que en algunas veces se elaboran tomando la forma de piezas de proceso, se exponen a las condiciones específicas en las que serán usados en los procesos reales.

De forma general, las muestras de metal que se emplean para determinar la velocidad de corrosión se denominan testigos o cupones. El proyecto que se llevó a cabo se enfocó en las pruebas de laboratorio basadas en dos ensayos específicos: el ensayo de inmersión y el ensayo de cámara de niebla salina.

2.10.1 Pruebas de laboratorio

Las pruebas de corrosión de laboratorio son métodos importantes para entender el comportamiento de los metales y aleaciones en diferentes ambientes corrosivos. A pesar de ello, las pruebas de laboratorio presentan desventajas; en algunas ocasiones, este tipo de pruebas no simulan de manera exacta el ambiente y las condiciones de operación del sistema real. Por otra parte, su duración es relativamente corta en comparación con el tiempo de vida al que se diseñan los equipos en los procesos industriales. Por tal razón, es necesario extrapolar los resultados para tener una predicción del comportamiento de los materiales en un determinado ambiente de proceso. El mayor problema con la extrapolación de los resultados en una prueba de corrosión es que no es posible predecir el punto de quiebre del proceso de corrosión en el sistema.

2.10.2 Método de pérdida de peso

El método de pérdida de peso relaciona el daño causado por la corrosión con pérdida de peso en los materiales. Las pruebas de inmersión total que emplean el método de pérdida de peso consisten en exponer piezas pequeñas de metal a ambientes corrosivos para determinar la pérdida de peso del material después de las pruebas. Este método es uno de los más usados en estudios de oxidación y corrosión para determinar el grado de afectación en los metales. Esto se debe a que los resultados obtenidos por este método son considerados confiables, al asemejarse a resultados obtenidos en pruebas de planta, si se cuidan las condiciones al realizar las pruebas. Las pruebas de corrosión mediante el método de pérdida de peso se consideran el método más rápido y satisfactorio para hacer una selección preliminar de los mejores materiales en estudio para una determinada aplicación. Existen gran cantidad de aparatos para determinar la velocidad de corrosión mediante este método y para determinar de forma continua el peso del testigo y muy populares al momento de realizar las mediciones; elegir la más adecuada hará que estas pruebas tengan un mejor desenlace. Procedimiento y recomendaciones para realizar pruebas de corrosión en laboratorio por pérdida de peso. [20]

2.10.3 Preparación de la superficie

Cuando se realizan pruebas de corrosión para predecir el comportamiento de un metal en un determinado ambiente, lo deseable sería que la superficie de los testigos se asemejara a la de los materiales empleados en los procesos o servicios. Sin embargo, debido a que existen diferentes condiciones en los metales empleados en ingeniería es grande, incluso dentro de un mismo tipo, no sería práctico evaluar cada una de dichas condiciones (Lai, 1990). Por ello, el mejor procedimiento en la práctica es elegir una determinada condición de superficie para los testigos que pueda ser reproducida a lo largo de las pruebas. Adicionalmente, es recomendable que la superficie de los testigos no presente raspaduras, ya que, estos sitios representan sitios de ataque preferencial (Sheler & et. al, 1995). Se pueden esperar

resultados con mayor uniformidad, si se retira una capa significativa de la superficie del metal, con el fin de eliminar las raspaduras o variaciones en las condiciones de la superficie metálica original. Lo anterior se puede lograr mediante tratamiento químico, eliminación electrolítica o esmerilado con un paño o papel de liga fuerte. Para este proyecto, se lijaron las superficies de los testigos, con el fin de dejarlos de la mejor manera posible, evitando impurezas o imperfecciones en la gran mayoría de la superficie que será expuesta a las pruebas. [20]

2.10.4 Marcado de los testigos para identificación

La forma más sencilla para identificar los testigos es marcarlos de forma alfabética o numéricamente. El marcado puede realizarse mediante estampado con un estencil o sello. Además, si se realiza la prueba a un gran número de testigos, se aconseja tener un historial de la posición relativa entre ellos o en el dispositivo de soporte que se emplee para realizar las pruebas. En el caso del proyecto, fueron enumerados los testigos, comenzando desde el número uno de manera ascendente hasta el último testigo cinco. [20]

2.10.5 Volumen de la solución

El volumen empleado de solución a estudiar es un aspecto que se debe considerar al realizar las pruebas de corrosión. Es recomendable que el volumen sea lo suficientemente grande para evitar cambios apreciables de corrosión a causa del agotamiento de los constituyentes corrosivos o a la acumulación de productos de corrosión que pudieran afectar el avance de esta. La norma ASTM G31-03 recomienda que la relación de volumen de la disolución con el área de exposición de testigos sea de $40 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (ASTM, 2003). Otra porción es adecuada de dicha relación es de 20 cm^3 de solución por cm^2 de superficie de la muestra. Tal recomendación corresponde a la norma A262 ASTM para el ensayo de Huey. Para el ensayo de inmersión empleado en el proyecto, se utilizaron cinco probetas, en donde se introdujeron los testigos, los cuales fueron cubiertos con solución de ácido clorhídrico desde su parte más baja hasta su parte más alta, así teniendo la totalidad

de la superficie de la testigo inmersa en la solución antes mencionada; en total se utilizó alrededor de 2 L de solución como resultado final. [20]

2.10.6 Número de testigos

En algunos casos las recomendaciones prácticas limitan el número de testigos a emplearse en las pruebas de corrosión. Se recomienda emplear por lo menos dos testigos o cupones para evaluar la velocidad de corrosión de determinado sistema. Para efectos estadísticos, es recomendable usar al menos cinco testigos para un mismo sistema. En la prueba de inmersión usada para el proyecto, se utilizaron en total 20 testigos repartidos de manera uniforme en cuatro recipientes, los cuales contaron con las siguientes medidas: 50 mm x 25 mm x 4.8 mm (como se muestra en la imagen 7).

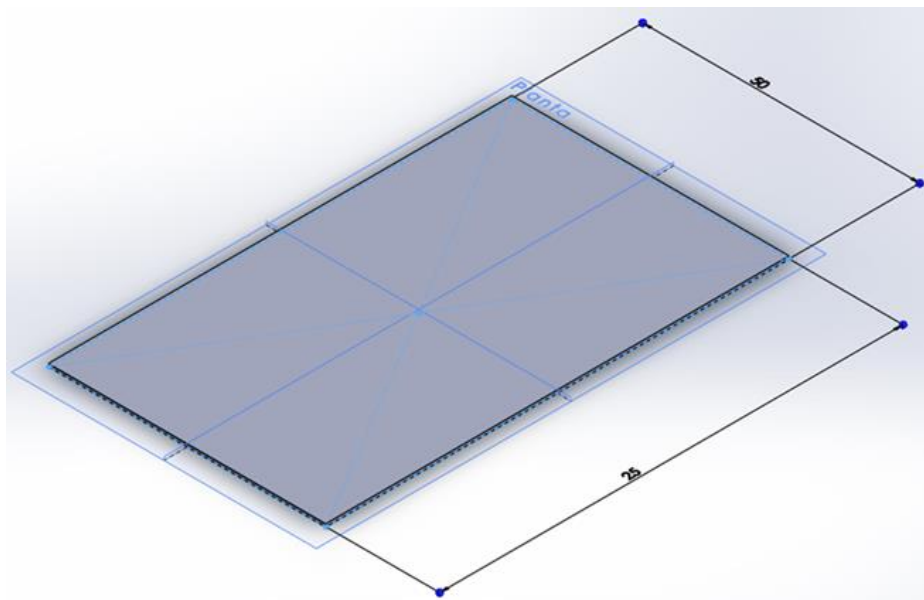


Imagen 7. Medidas del testigo para el ensayo de inmersión en HLC.

Fuente: Autores del proyecto.

En el ensayo empleado para el proyecto en la cámara de niebla salina, se emplearon 20 testigos de medidas 76 mm x 127 mm x 0.8 mm respectivamente (como se muestra en la imagen 8).

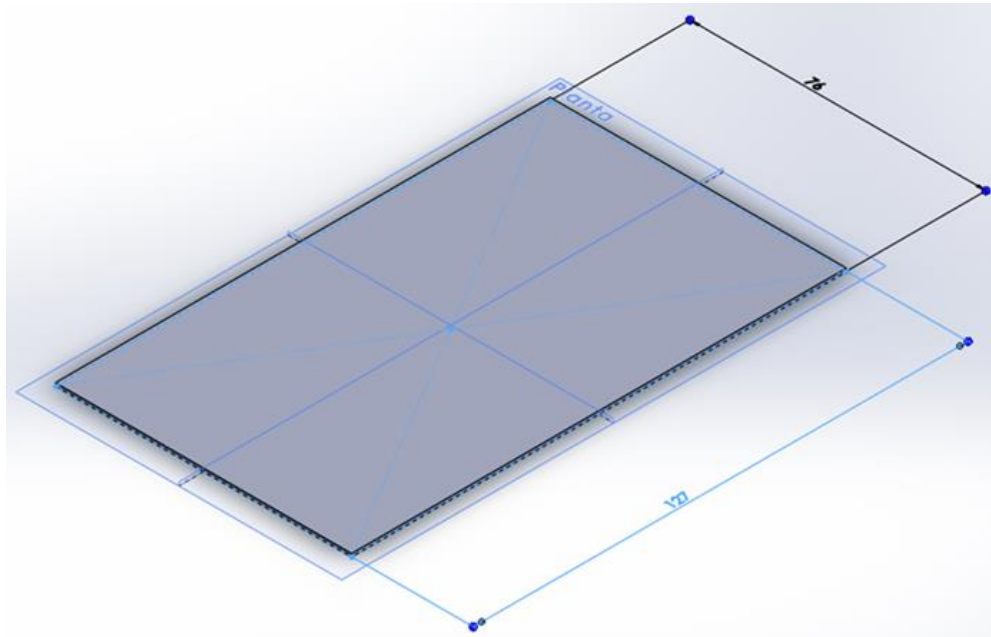


Imagen 8. Medidas del testigo para el ensayo de cámara de niebla salina

Fuente: Autores del proyecto

2.10.7 Duración de la prueba

La duración de la prueba de corrosión está influenciada por la naturaleza de este y su finalidad. Los materiales que experimentan efectos de corrosión importantes no requieren de tiempos prolongados para obtener velocidades de corrosión precisas, aunque existen excepciones. La formación de películas protectoras se observa en muchos de los materiales resistentes a la corrosión, debido a ello, el realizar ensayos cortos con este tipo de materiales puede arrojar resultados no muy precisos de velocidad de corrosión. De forma general, se recomienda que la duración de las pruebas sea prolongada para obtener datos más reales que los que se pudieran obtener en otras pruebas cortas. [20] En el ensayo de inmersión del proyecto, la norma ASTM recomendó un mínimo de 240 horas, lo que equivale a 10 días. Por otro lado, para el caso de la cámara de niebla salina, la norma ASTM correspondiente recomendó un estimado de 7 días. Si la velocidad de corrosión

esperada es baja, se puede emplear la ecuación que se muestra a continuación para calcular el tiempo de duración de las pruebas.

$$\text{Duración de la prueba (h)} = 78,74 / (\text{Velocidad de corrosión (mmy)})$$

Donde 78,74 es una constante de ajuste de unidades y [mmy] corresponde a milímetros por año. Enfocado en los tiempos recomendados por las normas ASTM que se relacionan directamente con cada uno de los ensayos abordados, no se tiene en cuenta ningún tipo de fórmula ni un estimado aparte de tiempo referencia para dichos ensayos.

2.10.8 Limpieza de las muestras después de la prueba

Al finalizar las pruebas de corrosión, es importante realizar una inspección visual de la apariencia de los testigos. En las observaciones, se deben considerar la formación de productos de corrosión, así como la deposición de dichos productos en los testigos. Lo anterior, con el fin de evaluar la corrosión localizada por picaduras o el ataque en celdas de concentración que se puedan presentar en la superficie de los testigos. Realizada la inspección visual, los testigos deben ser sometidos a un procedimiento de limpieza. La limpieza de los testigos, posterior a las pruebas, es uno de los procedimientos de mayor importancia en el desarrollo experimental de las pruebas de corrosión. De forma general, el procedimiento de limpieza debe retirar todos los productos de corrosión de los testigos con una eliminación mínima de la superficie no atacada. Si la limpieza no se realiza adecuadamente, los resultados de velocidad de corrosión pueden resultar erróneos. No existen reglas fijas para la forma en que se debe realizar la limpieza de los testigos después de las pruebas; los procedimientos varían dependiendo del tipo de metal y el grado de adherencia de los productos de corrosión. Existen tres tipos principales de limpieza de testigos:

Limpieza mecánica: Este tipo de limpieza remueve los productos de corrosión mediante procedimientos mecánicos tales como el raspado, cepillado, desbaste, el

choque mecánico y el ultrasonido. El método más empleado en este tipo de limpieza es cepillar la superficie de los testigos con abrasivo suave. Los otros métodos se emplean como complemento. *Limpieza química*: La limpieza química implica la eliminación de material de la superficie de los testigos por disolución con algún agente químico apropiado dentro de los cuales se emplean disolventes tales como acetona, tetracloruro de carbono y alcohol para eliminar restos de aceites, grasas o resinas. En la norma ASTM G31 se reportan diferentes soluciones de limpieza química dependiendo del tipo de aleación o metal. *Limpieza electrolítica*: Este tipo de limpieza se realiza después de la remoción de productos de corrosión adheridos débilmente mediante frotación, consiste en formar con el testigo una celda de corrosión electrolítica a determinadas condiciones de temperatura e intensidad de corriente y en presencia de inhibidores orgánicos. Existen diferentes métodos de limpieza electrolítica dependiendo el tipo de metal que se está estudiando; sin embargo, uno de los métodos más útiles para una gran cantidad de metales y aleaciones se encuentra reportado en la norma ASTM G103.

Independientemente del tipo de tratamiento que se emplee para la limpieza de los testigos, es necesario, después, determinar el efecto de pérdida en la superficie del metal. Para ello, antes de la prueba de corrosión y después de la limpieza posterior a ésta, es necesario determinar la masa de los testigos, con el fin de establecer la pérdida de masa.

Lista de verificación de datos importantes en las pruebas de corrosión:

Medios corrosivos y su concentración, volumen de la solución a estudiar, temperatura, aireación, agitación, tipo de equipo utilizado para las pruebas, duración de las pruebas, composición química o nombre comercial de los metales a evaluar, forma y condiciones metalúrgicas de los testigos de corrosión, tamaño exacto, forma y área de los testigos de corrosión, número de testigos de cada material y ubicación, método empleado para la limpieza posterior a las pruebas, pérdidas de peso,

evaluación del daño por corrosión, velocidad de corrosión de los testigos evaluados, realización de una gráfica velocidad (V) vs tiempo (t).

3. METODOLOGÍA

3.1 ENSAYO DE INMERSIÓN

Para ello, se cortaron a las medidas dadas las láminas de acero, después de esto, como dichas laminas tenían imperfecciones, se procedió a lijarlas hasta un punto en el cual quedarán aptas para realizar el tratamiento térmico que se tenía planeado en este ensayo. Se llevó a cabo el proceso de rociado térmico a cada una de ellas según lo estipulado, 5 láminas fueron recubiertas con alúmina, 5 láminas con carburo de tungsteno, 5 láminas con dióxido de titanio y 5 más a las cuales no se les realizó ningún proceso de recubrimiento como se aprecia en la imagen 9.



Imagen 9. Evidencia de las láminas después del proceso de rociado térmico respectivo.

Fuente: Autores del proyecto

Se necesitó encontrar una manera práctica con la cual introducir las láminas en los recipientes adecuados; como los recipientes escogidos eran vasos precipitados de 600 [ml] debido a que por el área de las láminas cabían perfectamente en ellos e iban a quedar totalmente cubiertas con el ácido clorhídrico sin necesidad de malgastarlo, se decidió usar una técnica de amarre verticalmente, por ende, se procedió a abrirle agujeros a cada lámina en cada una de sus esquinas, después de esto, se analizaron los materiales que resistían la exposición a este ácido, para

ello, se escogió el teflón debido a su manejabilidad y a que el ácido no provocaba ningún cambio en su estructura sin importar el tiempo en el que estuviera este material expuesto a él. El amarre se realizó como se muestra en la imagen 10.



Imagen 10. Evidencia del proceso de amarre realizado con teflón de las láminas entre sí, antes de ser sumergidas al ácido clorhídrico.

Fuente: Autores del proyecto

Este tipo de amarre aseguró que las láminas no tuvieran contacto entre ellas y que el ácido actuara sobre la mayor área posible. Se procedió a llenar los vasos precipitados con el ácido clorhídrico y al momento de introducir las láminas en cada uno de ellos, lo cual evidenció que la mejor manera para que estas se quedaran sostenidas era con algún elemento de longitud mayor al diámetro de los vasos; como no podía ser ningún elemento metálico, se hizo necesario utilizar unos trozos de vidrio para sostener en el aire las láminas; teniendo en cuenta que las láminas se enumeraron de 1 al 5 y que cada vaso tenía una muestra con recubrimiento diferente, esto, debido a que después de cierto tiempo se retiraban para ser pesadas. En la imagen 11 se evidencia como se veían las láminas después de ser introducidas en los respectivos recipientes.

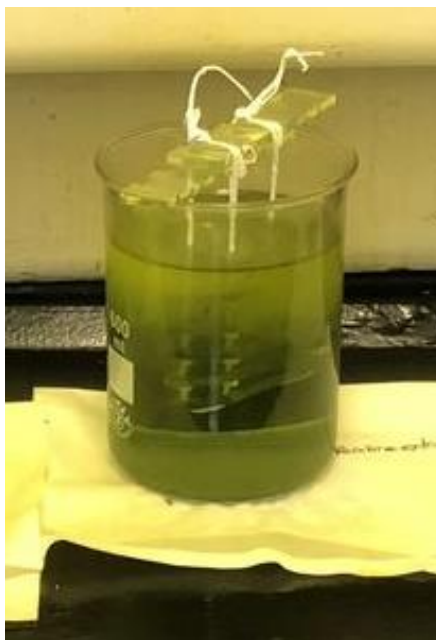


Imagen 11. Montaje del ensayo de inmersión, láminas sumergidas en el ácido, colgando del teflón, sostenidas en la parte superior por el vidrio.

Fuente: Autores del proyecto

Al ser el ácido clorhídrico un elemento el cual emite demasiados gases al exterior y al ser estos gases nocivos para la salud, se decidió realizar este ensayo dentro de una cámara de extracción de gases. En dicha cámara, se dejaron los vasos precipitados por periodos de tiempo diferentes, después de que se cumplían estos tiempos, las láminas se sacaban del ácido, contando con todos los elementos de protección personal necesarios para que no ocurriera ningún accidente, se dejaban secar por un momento en servilletas desechables para no contaminar las muestras y después de esto, ya estaban listas para ser retiradas de la cámara de extracción de gases.

Para poder realizar un proceso de pesado más exacto, las láminas fueron llevadas al laboratorio para allí retirar el exceso de ácido con ayuda del aire a alta presión, donde se colocaban por orden numérico como se muestra en la imagen 12.

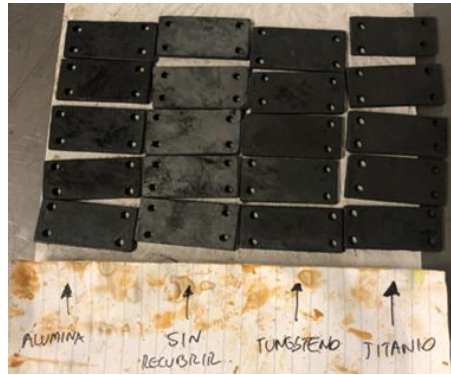


Imagen 12. Láminas en orden numérico y separado por recubrimientos después de ser retirado el exceso de ácido con aire a alta presión.

Fuente: Autores del proyecto

Al contar con láminas secas, se realizó el proceso de pesado de cada una de ellas como se muestra en la imagen 13, teniendo en cuenta el orden del recubrimiento y el número de la lámina, para así, al final, poder contar con un resultado certero de pérdida de peso por gravimetría de cada lámina y poder medir la efectividad de cada recubrimiento al ser expuesto a dicho ácido. Se contó con un peso bastante exacto, el cual permitió ver cuatro cifras significativas después del cero, lo que hacía que las medidas tomadas, tres veces por cada lámina, para obtener un valor promediado fuese mucho más exacto.



Imagen 13. Proceso de pesado de las láminas en la balanza digital.

Fuente: Autores del proyecto

Teniendo los tres valores por cada lámina y terminado el proceso de pesado de todas las láminas, se procedió a hacer el amarre con teflón nuevamente, como se hizo en un principio. Montar el teflón en la barra de vidrio e introducir de nuevo las láminas en los vasos precipitados que se encontraban dentro de la cámara de extracción de gases, como se muestra en la imagen 14.

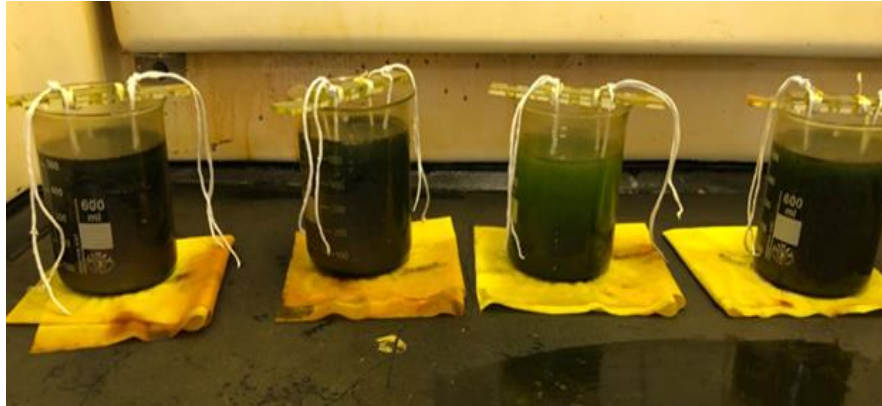


Imagen 14. Montaje del ensayo después de haber realizado el proceso de pesado de todas las láminas.

Fuente: Autores del proyecto

Como se planteó desde un principio, las láminas se retiraron por primera vez de la cámara de gases tres horas después de comenzar el ensayo, cinco horas después de haber sido retiradas por primera vez y finalmente, trece horas después de haber sido retiradas por segunda vez. Después de eso, se tomaron muestras de peso cada 24 horas, así hasta completar un total de 10 días.

En cada proceso de retiro de las láminas, se llevó a cabo el mismo procedimiento de secado, cortado del teflón, secando con aire a presión, pesaje tres veces de cada lámina, tabulación de los datos, amarre de nuevo del teflón a las láminas e introducción de las láminas en los vasos precipitados en la cámara de extracción de gases hasta completar el tiempo total del ensayo.

3.2 ENSAYO DE CÁMARA DE NIEBLA SALINA

En primera instancia, se explicará el funcionamiento de la máquina, inicialmente fue agregado agua destilada con sal que fue la fuente base para producir el ambiente de niebla salina dentro de la cámara, este líquido pasó por unas mangueras que llevaban a un compresor para ver la presión y así continuar el proceso, hasta llegar al interior donde era soltado en suspensión de gas, gotas muy pequeñas de aguasal. Al igual que en el ensayo de inmersión, el primer paso fue cortar las láminas de acero con las medidas establecidas desde un principio, lijarlas de la mejor manera posible, abrirle los agujeros en las esquinas debido a que se utilizaba el mismo estilo de montaje que en el ensayo anterior con el mismo material de colgado que era el teflón y realizar el proceso térmico de recubrirlas con los diferentes tipos de aleaciones, para que la lámina quedara lista para el ensayo como se muestra en la imagen 15.



Imagen 15. Ejemplo de cómo quedaron las láminas listas para realizar el ensayo de cámara de niebla salina, evidencia de la lámina sin recubrir.

Fuente: Autores del proyecto

Para que la cámara de niebla salina tuviera un correcto funcionamiento los días que debía estar encendida, se sacó un estimado del líquido con el que ella iba a estar realizando el proceso de corrosión, se utilizó un total de 6.5 galones de agua destilada. Como dicha agua tenía que ir mezclada con sal marina, se realizó un cálculo sencillo para que dicha solución no quedara sobresaturada. En total se emplearon 1.3 Kg de sal marina. Siguiendo con lo antes mencionado, se realizó el amarre de las láminas en los tubos que se encontraban en el interior de la cámara de niebla salina y, como en el ensayo anterior, se distinguió por su recubrimiento de forma general y por su número de lámina en cada uno de sus montajes de forma especial, cuidando de no dejar pasar por alto que no quedara el amarre muy largo, que no llegara a tocar el suelo de la cámara o que no fuera a quedar muy corto e interfiriera con el proceso como se muestra en la imagen 16.



Imagen 16. Montaje de las láminas al interior de la cámara de niebla salina, ordenadas por número y diferenciadas por su tipo de recubrimiento.

Fuente: Autores del proyecto

Al tener el tanque con la solución de agua destilada y sal marina en proporciones adecuadas, se procedió a cerrar la cámara y encender el compresor, el cual iba a ser el encargado de darle ingreso al gas que iba a realizar el proceso de corrosión, al revisarse cuidadosamente la presión que marcaba y corroborar que dicha presión

no excediera los valores críticos, se tuvo en cuenta también la hora de inicio de la prueba la cual se visualizaba en el tablero situado en la parte superior del compresor como lo muestra la imagen 17.



Imagen 17. Tablero del manómetro del compresor y el reloj con el cual se da inicio y final del ensayo.

Fuente: Autores del proyecto

El funcionamiento de esta cámara de niebla salina hace que el compresor se encienda y se apague por periodos de tiempo variables, dependiendo de la cantidad de gas que se encuentre dentro de la cámara. Dicho ensayo fue realizado por un total de 7 días consecutivos, en los cuales los testigos fueron retirados a las 7 horas de montado, luego cada 23 horas y dicha cámara no fue apagada en ningún momento durante este periodo de tiempo, simplemente se revisaron los niveles de agua y la presión de manera constante para rectificar el correcto funcionamiento de la máquina y tener certeza sobre la efectividad del ensayo. Después de 7 días se procedió a apagar la cámara, más no a abrirla, debido a que, al momento de abrirla, los gases concentrados en el interior de la cámara pasarían a expandirse en el medio ambiente y a corroer todas las piezas que se encontraban en el laboratorio, por ende, se le dio un tiempo estimado de apagada para así poder abrir dicha

cámara. Después de abierta, se logró observar que la cámara no contaba con ningún gas en su interior y que las piezas fueron corroídas de manera contundente como se muestra en la imagen 18.



Imagen 18. Láminas al momento de abrir la cámara de niebla salina después de 8 días de ensayo.

Fuente: Autores del proyecto

Como era de esperarse, las láminas fueron bastante afectadas por la corrosión al estar expuestas al interior de la cámara de niebla salina por esta cantidad de tiempo como se muestra más de cerca en la imagen 19. Las láminas fueron separadas, organizadas por recubrimientos y número de lámina, el teflón fue cortado y el exceso de óxido fue retirado de las láminas para poder realizar el proceso de pesaje. Cada lámina fue pesada tres veces para poder tener un valor promedio más exacto de su peso, se tabularon los valores de peso iniciales y los valores de peso finales, los cuales fueron introducidos en una fórmula que permitió hallar la velocidad de corrosión en cada lámina y llegar a deducir cual recubrimiento era más efectivo que otro y cuáles láminas eran las más afectadas por la corrosión en cada ensayo realizado.

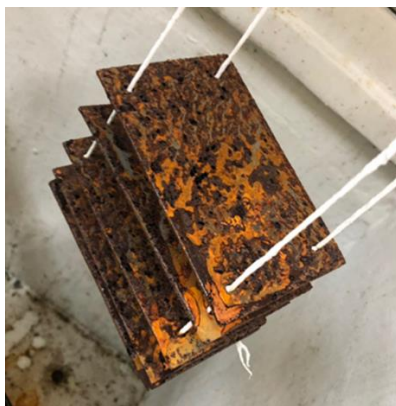


Imagen 19. Evidencia de los testigos después de ser retirados de la cámara de niebla salina.

Fuente: Autores del proyecto

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL PROYECTO

Los parámetros utilizados para el proyecto de inmersión y cámara de niebla salina son los mostrados a continuación:

Tabla 2. Parámetros del proyecto.

Dimensiones	Materiales utilizados	Tiempos estipulados para el estudio	Equipos utilizados	Procedimientos
5cm * 2.5cm * 0.48cm	Dióxido	0[h], 3[h],	Vaso precipitado	Inmersión
	Titanio	5[h], 13[h],	Vidrio	
	Carburo	23[h], 23[h],	Teflón	
	Tungsteno	90[h], 23[h],	Ácido clorhídrico	
	Alúmina	23[h].	Pinzas	
Sin recubrir			20 testigos	
			Balanza analítica	

12.7cm * 7.6 cm * 0.08cm	Dióxido Titanio	0[h], 7[h], 23[h], 23[h],	Cámara Agua destilada	Cámara niebla salina
	Carburo Tungsteno	23[h], 23[h], 23[h], 23[h], 23[h].	Sal Teflón 20 testigos Manómetros	
	Alúmina		Compresor	
	Sin recubrir		Balanza analítica	

4.2 TAMAÑO DE LAS PROBETAS

El tamaño de las probetas ajustadas al proyecto se realizó con la norma ASTM G31 y ASTM B117, los cuales fueron:

Para el ensayo de inmersión, las medidas obtenidas fueron 5cm de largo * 2.5cm de ancho * 0.48 cm de profundidad; y para el ensayo de niebla salina, las medidas obtenidas fueron 12.7cm de largo * 7.6cm de ancho * 0.08cm de profundidad.

4.3 CANTIDAD DE TESTIGOS

Se determinó la cantidad de testigos mediante la fórmula que se menciona a continuación:

$$n = \frac{S^2 * Z^2}{e^2}$$

Donde:

n = Número de testigos necesarios para el estudio, S = Desviación estándar matemática, Z = Porcentaje de confiabilidad, e = Porcentaje de error.

Se halló S utilizando la desviación estándar matemática de los siguientes valores:

Probeta 1 = 2.0393 [gr]

Probeta 2 = 2.1319 [gr]

Probeta 3 = 2.1479 [gr]

Y se obtuvo un valor de S = 0.0586

Se obtuvo el valor de $Z = 1,96$ por medio de la tabla de apoyo al cálculo del tamaño de una muestra por niveles de confianza; y se encontró el valor de e , sacando el promedio de los pesos de las 3 probetas y multiplicándolo por el 5% ($e=2.1064*0.05$; $e=0.1053$).

$$n = \frac{0.0586^2 * 1.96^2}{0.1053^2}$$

$$n = \frac{0.0132}{0.0111}$$

$$n = 1.1894$$

Según la fórmula se tenía que utilizar solo 2 testigo, sin embargo, para obtener un mejor estudio se realizó el estudio con 5 testigos.

4.4 VELOCIDADES DE CORROSIÓN

Se encontró la velocidad de corrosión utilizando la siguiente fórmula y se mostró los correspondientes procedimientos para visualizar con más claridad lo que se llevó a cabo:

$$V_c = \frac{K * W}{A * t * \rho}$$

Se reemplazó $K = 1 * \rho$ en la fórmula

$$V_c = \frac{1 * \rho * W}{A * t * \rho}$$

$$V_c = \frac{W}{A * t}$$

Para cual, se reemplazó por los primeros valores obtenidos en la práctica de inmersión con recubrimiento de Dióxido de Titanio:

$$V_c = \frac{38.4959 - 36.2987}{32.2 * 3}$$

$$V_c = \frac{2.19721}{96.6}$$

$$V_c = 0.0227 \left[\frac{g}{cm^2} * h \right]$$

Tabla 3. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Dióxido Titanio

Pérdida de material Dióxido Titanio [g]								
	3 [h]	8 [h]	21 [h]	44 [h]	67 [h]	157 [h]	180 [h]	203 [h]
1	2.1972	3.6239	3.7845	4.8993	3.3295	3.2106	1.9426	0;8920
2	2.5459	3.9042	4.0375	4.4237	2.7050	2.7416	4.3493	1;0625
3	2.3311	3.2731	4.5149	5.1674	3.4839	3.3681	2.4686	1;0535
4	2.2372	3.1032	4.7291	5.0921	3.5217	3.3881	1.2663	1;0600
5	2.0512	3.5488	4.2339	4.3852	2.7625	2.6751	2.5178	0;9900

Los resultados fueron obtenidos sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO A.

Tabla 4. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Dióxido titanio

Velocidad de corrosión en el Titanio [(g/cm ²) *h]								
	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	0.0227	0.0361	0.0229	0.0195	0.0240	0.0072	0.0310	0;0322
2	0.0263	0.0400	0.0250	0.0201	0.0237	0.0070	0.0333	0;0347
3	0.0241	0.0348	0.0241	0.0206	0.0253	0.0076	0.0332	0;0346
4	0.0231	0.0331	0.0240	0.0204	0.0252	0.0076	0.0315	0;0329
5	0.0212	0.0347	0.0234	0.0191	0.0229	0.0067	0.0299	0;0312
Promedio	0.0235	0.0357	0.0239	0.0200	0.0242	0.0072	0.0318	0;0331

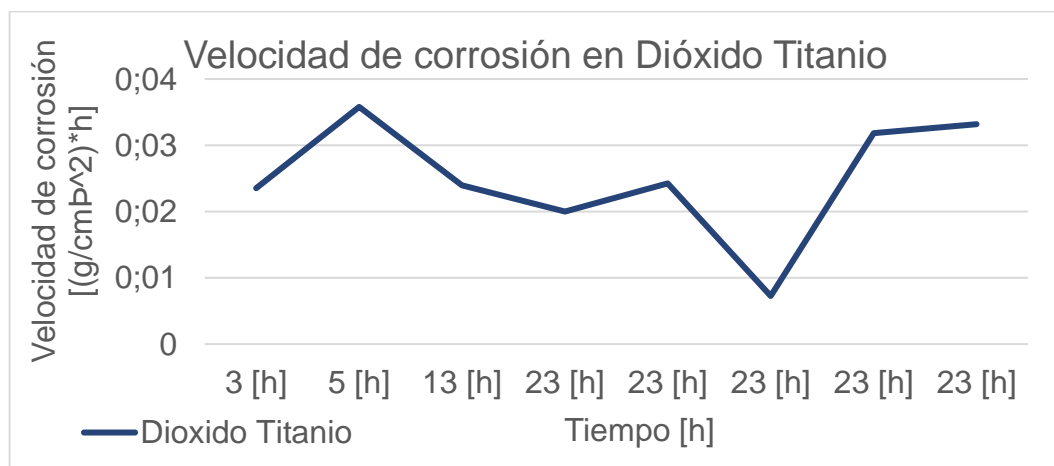


Imagen 20. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Dióxido de Titanio de inicio a fin en el proceso de inmersión.

Tabla 5. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Carburo Tungsteno

Pérdida de material [g]								
	3 [h]	8 [h]	21 [h]	44 [h]	67 [h]	157 [h]	180 [h]	203 [h]
1	2.3141	2.0925	4.0338	4.6967	3.6892	5.2055	1.6613	1.2045
2	2.6016	2.2466	4.1805	4.2978	3.0968	4.6787	2.7023	1.1445
3	2.8724	2.3157	4.2529	4.5479	3.4290	5.1248	2.1583	1.1190
4	2.7021	2.1825	4.0291	4.4883	2.4931	6.0041	1.3726	0.9785
5	2.9261	2.4690	4.2492	4.6218	3.5273	5.2314	3.6316	1.0505

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO A.

Tabla 6. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Carburo Tungsteno.

Velocidad de corrosión en el Tungsteno [(g/cm ²) *h]								
	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	0.0239	0.0273	0.0201	0.0177	0.0227	0.0076	0.0319	0.0336
2	0.0269	0.0301	0.0215	0.0179	0.0221	0.0072	0.0321	0.0336
3	0.0297	0.0322	0.0225	0.0188	0.0235	0.0077	0.0333	0.0348
4	0.0279	0.0303	0.0212	0.0180	0.0214	0.0075	0.0314	0.0327
5	0.0302	0.0335	0.0230	0.0192	0.0240	0.0079	0.0359	0.0374
Promedio	0.0277	0.0307	0.0217	0.0183	0.0227	0.0076	0.0329	0.0344

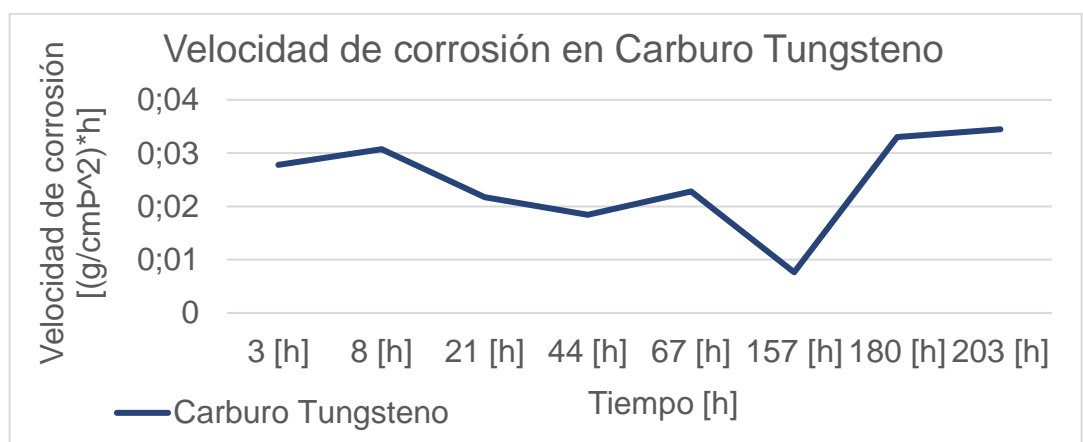


Imagen 21. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Carburo Tungsteno de inicio a fin en el proceso de inmersión.

Tabla 7. Tablas de pérdida de material en inmersión con recubrimiento de Alúmina

Pérdida de material [g]								
	3 [h]	8 [h]	21 [h]	44 [h]	67 [h]	157 [h]	180 [h]	203 [h]
1	2.6414	3.0659	3.7599	5.0288	3.9552	4.6637	1.5630	0.5230
2	2.9396	2.3578	3.8287	4.7856	1.2224	4.8922	1.5071	0.6610
3	1.8522	2.0816	4.4297	5.2795	3.6860	4.9434	2.9223	0.6055
4	4.2030	2.6808	4.1148	4.0559	2.7376	6.1857	2.1966	0.6785
5	3.0217	2.7325	4.2019	4.8888	3.0191	4.4698	2.0531	0.6165

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO A.

Tabla 8. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Alúmina.

Velocidad de corrosión en la alúmina [(g/cm ²) *h]								
	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	0.0273	0.0354	0.0226	0.0195	0.0249	0.0079	0.0333	0.0340
2	0.0304	0.0329	0.0218	0.0187	0.0204	0.0069	0.0290	0.0299
3	0.0191	0.0244	0.0199	0.0184	0.0233	0.0076	0.0340	0.0348
4	0.0435	0.0427	0.0262	0.0203	0.0240	0.0082	0.0353	0.0362
5	0.0312	0.0357	0.0237	0.0200	0.0241	0.0077	0.0329	0.0337
Promedio	0.0303	0.0342	0.0228	0.0194	0.0233	0.0077	0.0329	0.0337

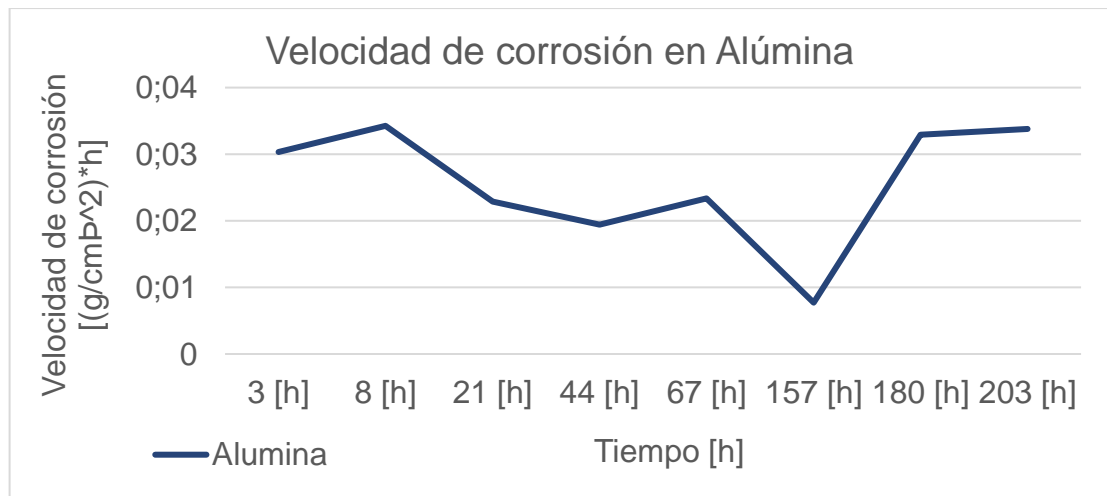


Imagen 22. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Alúmina de inicio a fin en el proceso de inmersión.

Tabla 9. Tablas de pérdida de material en inmersión sin recubrir.

Pérdida de material [g]								
	3 [h]	8 [h]	21 [h]	44 [h]	67 [h]	157 [h]	180 [h]	203 [h]
1	1.9023	1.9030	2.1774	1.8534	1.2187	5.3426	1.1806	1.3920
2	1.8584	1.8367	2.0275	1.7371	1.1044	4.3664	0.8545	1.1130
3	2.0393	2.0656	2.2783	1.7825	1.1473	4.6941	1.0401	1.2665
4	2.1319	2.0686	2.2761	1.9862	1.1829	4.8659	1.0571	1.4010
5	2.1479	2.0688	2.2163	1.9612	1.1759	4.7016	0.9505	1.3320

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO A.

Tabla 10. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido sin recubrir.

Velocidad de corrosión sin recubrir [(g/cm ²) *h]								
	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	0.0196	0.0236	0.0142	0.0105	0.0122	0.0049	0.0210	0.0229
2	0.0192	0.0229	0.0136	0.0100	0.0115	0.0044	0.0186	0.0201
3	0.0211	0.0254	0.0152	0.0110	0.0125	0.0048	0.0203	0.0220
4	0.0220	0.0260	0.0154	0.0114	0.0130	0.0050	0.0210	0.0229
5	0.0222	0.0261	0.0153	0.0113	0.0129	0.0049	0.0205	0.0223
Promedio	0.0208	0.0248	0.0148	0.0108	0.0124	0.0048	0.0203	0.0220

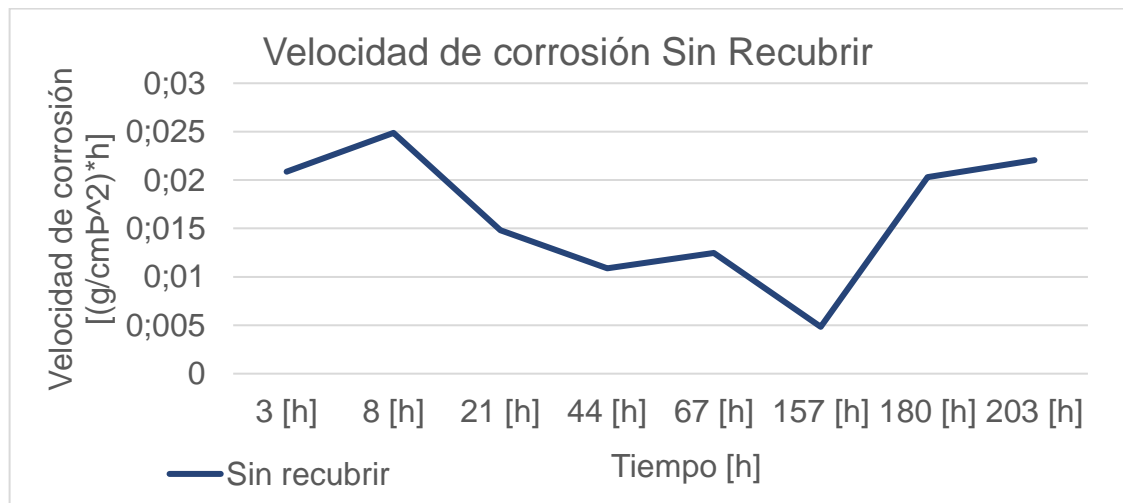


Imagen 23. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos sin recubrir de inicio a fin en el proceso de inmersión.

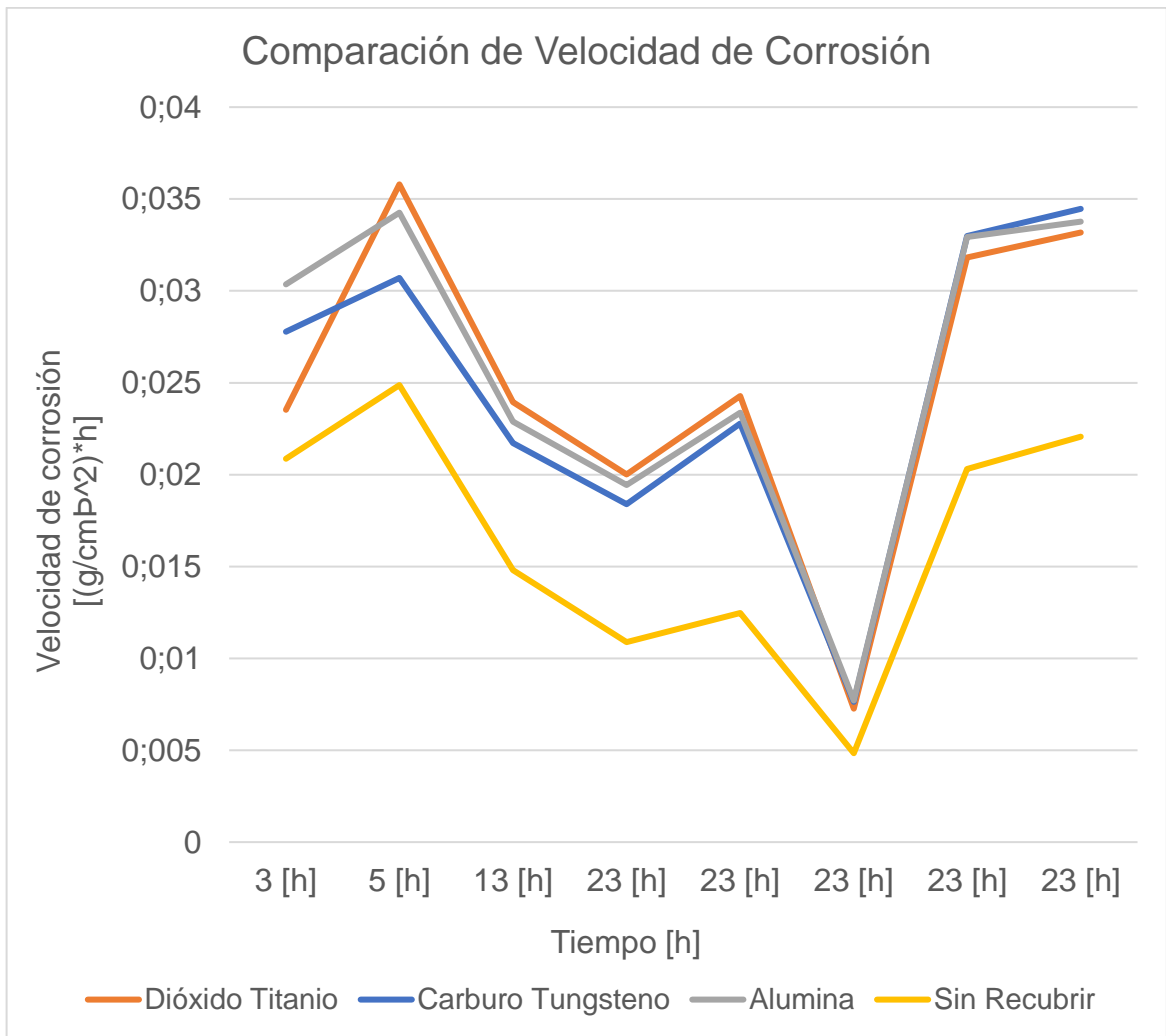


Imagen 24. Velocidades de corrosión de los cuatro diferentes componentes estudiados. Luego de comparar los 3 recubrimientos respecto al de sin recubrir se logró entender que:

Dióxido Titanio VS Sin Recubrir = 50.45%

Carburo Tungsteno VS Sin Recubrir = 56.36%

Alúmina VS Sin Recubrir = 53.18%

Con estos valores, se pudo concluir que la velocidad de corrosión en los testigos recubiertos fue más rápida respecto a los testigos que están sin recubrir.

Tabla 11. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Dióxido Titanio.

Pérdida de material [g]								
	7 [h]	30 [h]	53 [h]	76 [h]	99 [h]	122 [h]	145 [h]	168 [h]
1	0.0021	0.0043	0.0065	0.0869	0.1739	0.2608	0.3478	0.1173
2	0.0014	0.0029	0.0044	0.0595	0.1191	0.1787	0.2382	0.0804
3	0.0014	0.0028	0.0043	0.0573	0.1147	0.1720	0.2294	0.0774
4	0.0014	0.0029	0.0043	0.0584	0.1169	0.1754	0.2339	0.0789
5	0.0007	0.0014	0.0022	0.0298	0.0597	0.0896	0.1195	0.0403

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO B.

Tabla 12. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Dióxido Titanio.

Velocidad de corrosión en el Titanio [(g/cm ²) *h]								
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	1.5661E-6	1.4300E-6	2.8600E-6	2.1926E-5	6.0060E-5	0.0001	0.0001	0.0002
2	1.0728E-6	9.7958E-7	1.9591E-6	1.5020E-5	4.1142E-5	8.0326E-5	0.0001	0.0001
3	1.0332E-6	9.4339E-7	1.8867E-6	1.4465E-5	3.9622E-5	7.7358E-5	0.0001	0.0001
4	1.0532E-6	9.6166E-7	1.9233E-6	1.4745E-5	4.0389E-5	7.8856E-5	0.0001	0.0001
5	5.3835E-7	4.9154E-7	9.8308E-7	7.5370E-6	2.0644E-5	4.0306E-5	6.6522E-5	7.5370E-5
Promedio	1.0527E-6	9.6123E-7	1.9224E-6	1.4739E-5	4.0371E-5	7.8821E-5	0.0001	0.0001

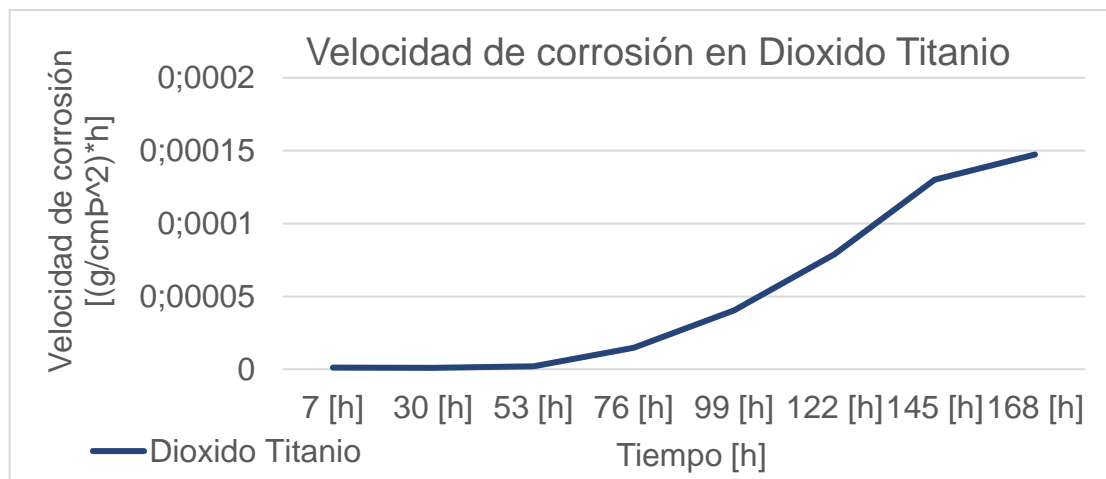


Imagen 25. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Dióxido de titanio de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.

Tabla 13. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Carburo Tungsteno

Pérdida de material [g]								
	7 [h]	30 [h]	53 [h]	76 [h]	99 [h]	122 [h]	145 [h]	168 [h]
1	0.0019	0.0038	0.0057	0.0765	0.1530	0.2296	0.3061	0.1033
2	0.0010	0.0021	0.0032	0.0431	0.0863	0.1294	0.1726	0.0582
3	0.0019	0.0039	0.0059	0.0798	0.1597	0.2395	0.3194	0.1078
4	0.0013	0.0027	0.0040	0.0544	0.1089	0.1634	0.2179	0.0735
5	0.0023	0.0047	0.0071	0.0959	0.1918	0.2877	0.3836	0.1294

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO B.

Tabla 14. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Carburo Tungsteno.

Velocidad de corrosión en el tungsteno [(g/cm ²) *h]								
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	1.3786E-6	1.2588E-6	2.5176E-6	1.9301E-5	5.2869E-5	0.0001	0.0001	0.0001
2	7.7736E-7	7.0977E-7	1.4195E-6	1.0883E-5	2.9810E-5	5.8201E-5	9.6055E-5	0.0001
3	1.4382E-6	1.3131E-6	2.6263E-6	2.0135E-5	5.5154E-5	0.0001	0.0001	0.0002
4	9.8143E-7	8.9609E-7	1.7921E-6	1.3740E-5	3.7636E-5	7.3479E-5	0.0001	0.0001
5	1.7275E-6	1.5773E-6	3.1547E-6	2.4186E-5	6.6249E-5	0.0001	0.0002	0.0002
Promedio	1.2606E-6	1.1510E-6	2.3020E-6	1.7649E-5	4.8344E-5	9.4385E-5	0.0001	0.0001

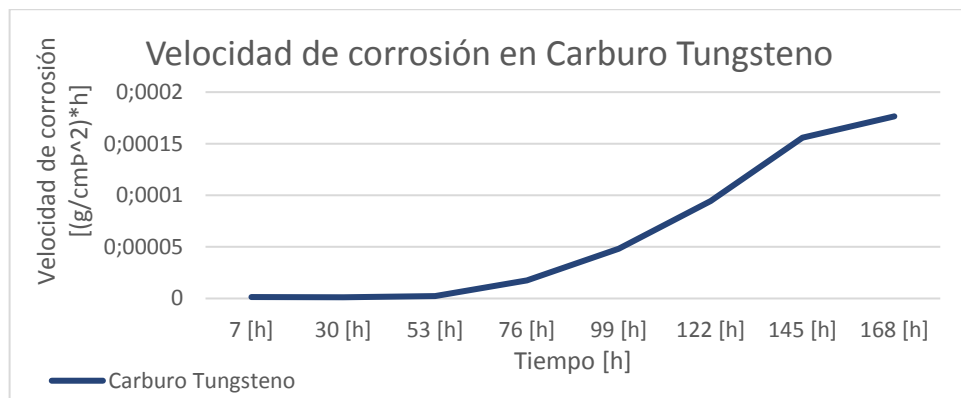


Imagen 26. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Carburo Tungsteno de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.

Tabla 15. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina con recubrimiento de Alúmina.

Pérdida de material [g]								
	7 [h]	30 [h]	53 [h]	76 [h]	99 [h]	122 [h]	145 [h]	168 [h]
1	0.0025	0.0051	0.0077	0.1032	0.2065	0.3097	0.4130	0.1393
2	0.0015	0.0031	0.0046	0.0626	0.1252	0.1879	0.2505	0.0845
3	0.0020	0.0040	0.0060	0.0807	0.1615	0.2422	0.3230	0.1090
4	0.0022	0.0044	0.0066	0.0891	0.1782	0.2674	0.3565	0.1203
5	0.0013	0.0027	0.0041	0.0553	0.1106	0.1660	0.2213	0.0747

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO B.

Tabla 16. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido en recubrimientos de Alúmina.

Velocidad de corrosión en la alúmina [(g/cm ²) *h]								
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	1.8596E-6	1.6979E-6	3.3959E-6	2.6035E-5	7.1314E-5	0.0001	0.0002	0.0002
2	1.1283E-6	1.0301E-6	2.0603E-6	1.5796E-5	4.3267E-5	8.4475E-5	0.0001	0.0001
3	1.4544E-6	1.3279E-6	2.6559E-6	2.0362E-5	5.5775E-5	0.0001	0.0001	0.0002
4	1.6054E-6	1.4658E-6	2.9316E-6	2.2475E-5	6.1564E-5	0.0001	0.0001	0.0002
5	9.9674E-7	9.1007E-7	1.8201E-6	1.3954E-5	3.8223E-5	7.4626E-5	0.0001	0.0001
Promedio	1.4089E-6	1.2864E-6	2.5728E-6	1.9724E-5	5.4029E-5	0.0001	0.0001	0.0001

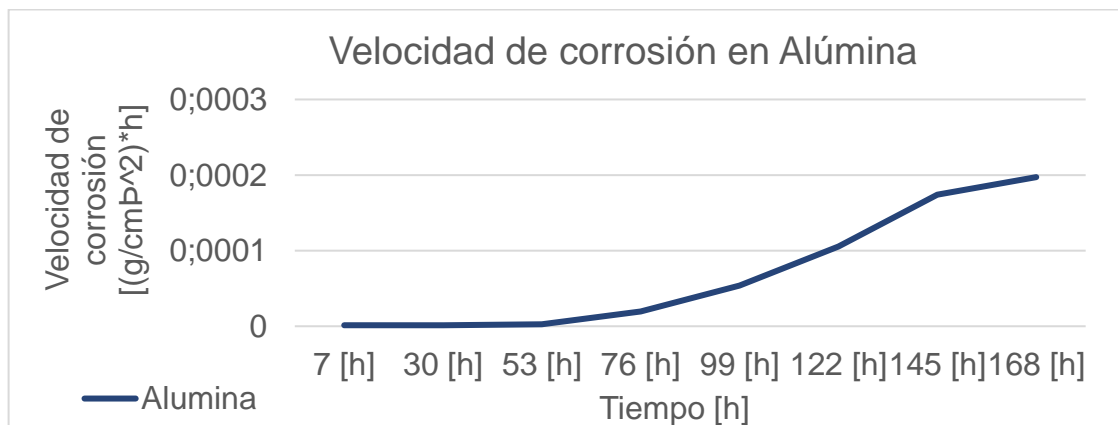


Imagen 27. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos en Alúmina de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.

Tabla 17. Tablas de pérdida de material en cámara de niebla salina sin recubrir.

Pérdida de material [g]								
	7 [h]	30 [h]	53 [h]	76 [h]	99 [h]	122 [h]	145 [h]	168 [h]
1	0.0012	0.0024	0.0036	0.0488	0.0976	0.1464	0.1952	0.0658
2	0.0008	0.0016	0.0024	0.0321	0.0642	0.0964	0.1285	0.0433
3	0.0004	0.0009	0.0013	0.0186	0.0372	0.0559	0.0745	0.0251
4	0.0004	0.0009	0.0014	0.0196	0.0393	0.0589	0.0786	0.0265
5	0.0005	0.0010	0.0016	0.0217	0.0434	0.0652	0.0869	0.0293

Los resultados se obtuvieron sacando la diferencia entre los pesajes para saber que tanto material se perdió a través de la exposición en el ácido con los resultados expuestos en el ANEXO B.

Tabla 18. Velocidades de corrosión con respecto al tiempo transcurrido sin recubrir.

Velocidad de corrosión sin recubrir [(g/cm ²) *h]								
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	8.7913E-7	8.0268E-7	1.6053E-6	1.2307E-5	3.3712E-5	6.5820E-5	0.0001	0.0001
2	5.7888E-7	5.2854E-7	1.0570E-6	8.1043E-6	2.2198E-5	4.3340E-5	7.1529E-5	8.1043E-5
3	3.3573E-7	3.0653E-7	6.1307E-7	4.7002E-6	1.2874E-5	2.5136E-5	4.1484E-5	4.7002E-5
4	3.5410E-7	3.2331E-7	6.4662E-7	4.9574E-6	1.3579E-5	2.6511E-5	4.3754E-5	4.9574E-5
5	3.9167E-7	3.5761E-7	7.1523E-7	5.4834E-6	1.5019E-5	2.9324E-5	4.8397E-5	5.4834E-5
Promedio	5.0790E-7	4.6373E-7	9.2747E-7	7.1106E-6	1.9477E-5	3.8026E-5	6.2759E-5	7.1106E-5

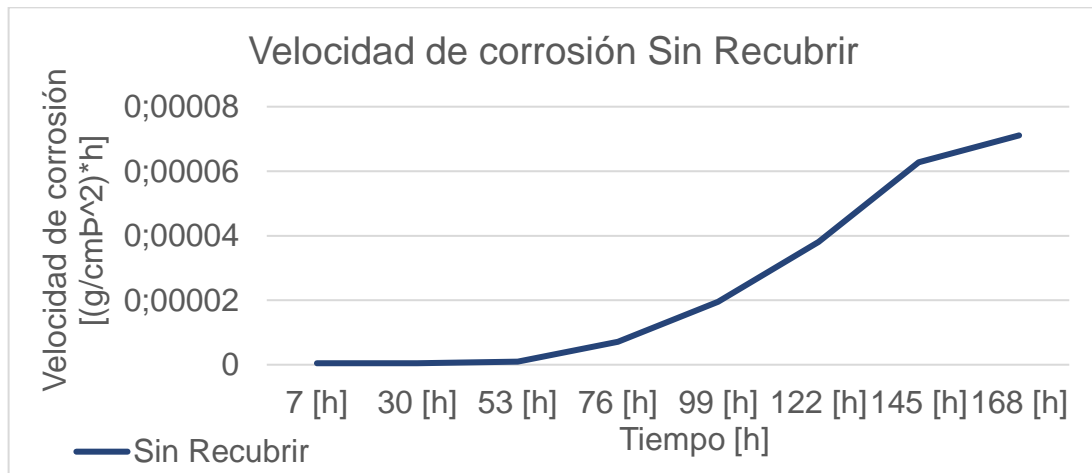


Imagen 28. Tendencia de la velocidad de corrosión de los testigos sin recubrir de inicio a fin en el proceso de cámara de niebla salina.

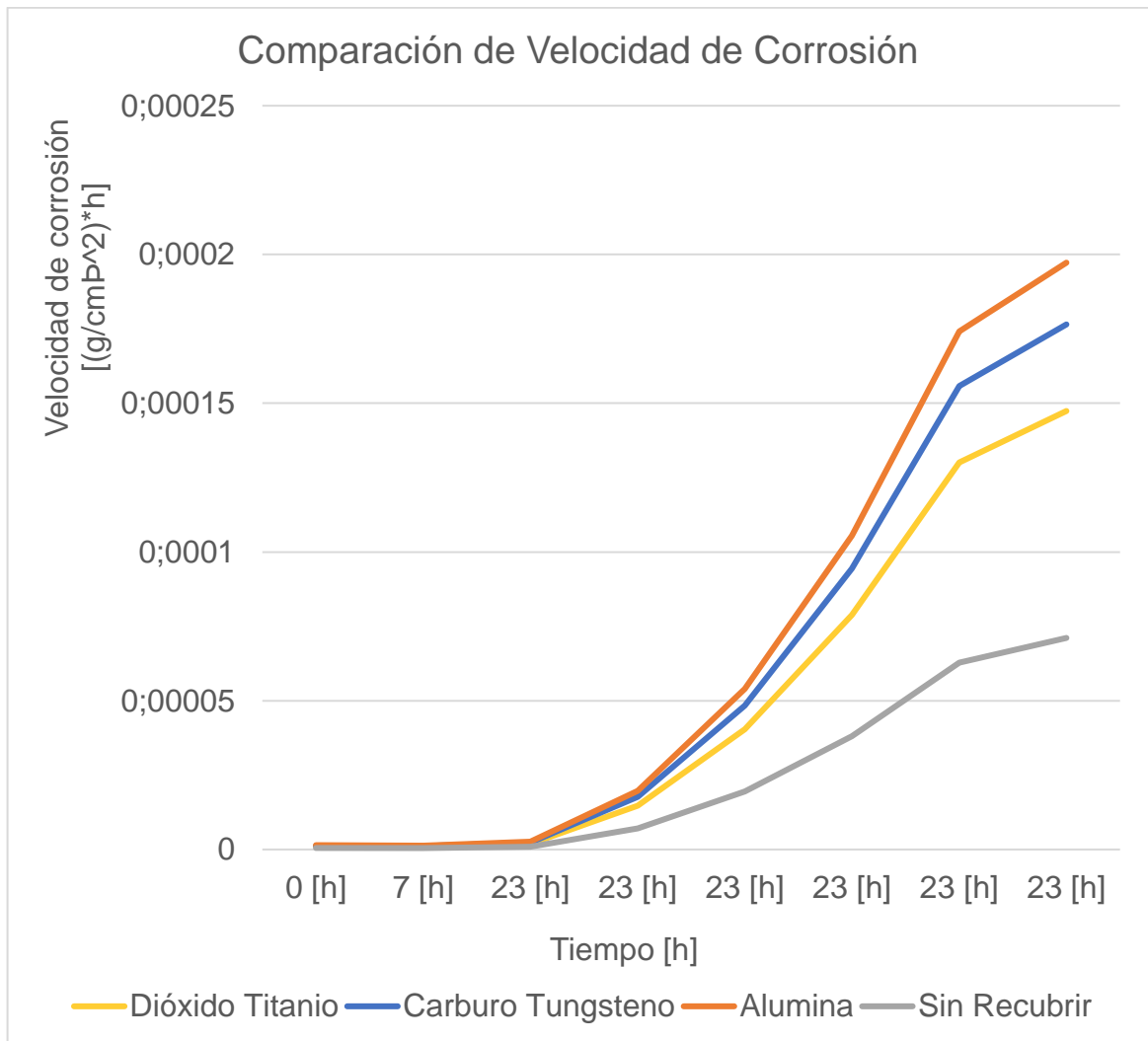


Imagen 29. Velocidades de corrosión de los cuatro diferentes componentes estudiados.

Luego de comparar los 3 recubrimientos respecto al de sin recubrir se logró entender que:

Dióxido Titanio VS Sin Recubrir = 40.63%

Carburo Tungsteno VS Sin Recubrir = 40.63%

Alúmina VS Sin Recubrir = 40.63%

Con estos valores se pudo concluir que la velocidad de corrosión en los testigos recubiertos fue más rápida respecto a los testigos que están sin recubrir.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido al tiempo empleado a los ensayos, tanto de cámara de niebla salina como de inmersión, se logró demostrar la eficiencia contra la corrosión de cada uno del recubrimiento aplicados a un acero común.

Se consiguió demostrar que, en el ensayo de inmersión, ninguno tuvo el resultado esperado, por tanto, se recomienda utilizar otra técnica de recubrimiento que no sea por rociado térmico, puesto que al estar expuesta por tanto tiempo dentro del ácido esta técnica pierde efectividad debido a la porosidad y discontinuidad del revestimiento, ya que, el líquido solo ataca la base y desprende fácilmente el material. No era de esperarse que las láminas sin recubrimiento tuvieran una menor pérdida de peso que las láminas a las cuales se les había realizado un proceso de recubrimiento. La concentración del ácido clorhídrico utilizada en el ensayo de inmersión (30%) fue demasiado elevada, debido a que encontrar una acidez así de alta en la naturaleza es demasiado complicado, por ende, la corrosión en los testigos se dio de manera muy acelerada y la pérdida de peso fue bastante notoria desde el inicio de la prueba hasta su final. Se recomienda otro tipo de recubrimiento con un proceso de adherencia diferente, dependiendo de la aplicación a la cual se vaya a exponer la pieza o la máquina, como tal. Se podrá encontrar diferentes tipos de aleaciones o de sustancias las cuales serán de mayor utilidad para una futura investigación.

A continuación, se muestran los datos que arrojó la comparación que se realizó en el ensayo de inmersión de los recubrimientos, respecto al que NO tiene recubrimiento:

Dióxido Titanio VS Sin Recubrir = 50.45%

Carburo Tungsteno VS Sin Recubrir = 56.36%

Alúmina VS Sin Recubrir = 53.18%

En el ensayo de cámara de niebla salina se nota una disminución muy mínima en la masa de los testigos a comparación del ensayo de inmersión, esto se debe a que, la velocidad de corrosión del primero es extremadamente pequeña con respecto a las velocidades del segundo; la escasa perdida es debido a que en su superficie se crean capas de esa misma corrosión que es formado por las sales en el interior de la cámara, lo que genera un estado de desgaste lento y superficial. Aunque disminuye su masa, su estructura a simple vista no cambia completamente de apariencia, internamente el material demuestra un deterioro poco notorio en su estructura, lo que lo debilita con el pasar del tiempo, haciendo que pierda sus propiedades mecánicas, y que, en tal caso, de ser una pieza de vital importancia en un proceso, pueda llegar a colocarlo en un riesgo total si llega a fallar.

A continuación, se muestran los datos que arrojó la comparación que se realizó en el ensayo de cámara de niebla salina de los recubrimientos, respecto al que NO tiene recubrimiento:

Dióxido Titanio VS Sin Recubrir = 40.63%

Carburo Tungsteno VS Sin Recubrir = 40.63%

Alúmina VS Sin Recubrir = 40.63%

Finalmente, se logra concluir que los testigos que mayor velocidad de corrosión tuvieron en la prueba de inmersión fueron los que poseían el recubrimiento de Alúmina, a diferencia que los que presentaron una menor velocidad de corrosión fueron los que NO tenían recubrimiento en el ensayo de cámara de niebla salina; cabe recordar nuevamente para tener claridad que las velocidades de corrosión en inmersión son considerablemente mayores a las de cámara de niebla salina, esto se puede deber, ya sea a la técnica utilizada para realizar el recubrimiento o a la manera en cómo afecta el líquido en especial a las moléculas de la aleación empleada para recubrir el testigo.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] NACE International (2007) Glossary of Corrosion-Related Terms. Disponible En línea > [<https://bit.ly/2rsQ1le>]
- [2] CORROSION, Definición, causas y efectos, Factores que influyen en la corrosión Disponible en línea ><http://bit.ly/2q8Vpg7><
- [3] CURSO DE FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES, Corrosión y protección, Control de la corrosión, universidad politécnica de valencia, disponible en línea > [<https://bit.ly/2FVa32o>]
- [4] CONTROL DE CORROSION, recubrimientos, tipos de recubrimientos, disponible en línea > <http://bit.ly/2An88Fo> <
- [5] RECUBRIMIENTO, termo rociado, implementación y funcionamiento, disponible en línea > <http://bit.ly/2jgDu5H> <
- [6] MATERIALES, tipos de materiales, materiales para corrosión, disponible en línea > <http://bit.ly/2An88Fo> <
- [7] OXIDO DE TITANIO, propiedades, aplicaciones, referencias, disponible en línea > <http://bit.ly/2hM4k58> <
- [8] CARBURO DE WOLFRAMIO, propiedades, aplicaciones, toxicidad, disponible en línea > <http://bit.ly/2Bq9z3h> <
- [9] ALUMINA, propiedades, aplicaciones, Disponible en línea ><http://bit.ly/2jrZR8u><
- [10] NORMAS ASTM, definición, características de trabajo, historia, disponible en línea > <https://bit.ly/2kemhe9> <
- [11] NORMAS ASTM B-117, funcionamiento, disponible en línea ><http://bit.ly/2hXYdLv> <
- [12] LABORATORIOS GM2T, ASTM G31, funcionamiento, disponible en línea ><http://bit.ly/2iVnlGM><
- [13] KHAN ACADEMY, GRAVIMETRIA, definición y conceptos básicos, © 2018 Khan Academy, disponible en línea > <https://bit.ly/2rYWT08> <

- [14] GRAVIMETRIA, análisis, clasificaciones, disponible en línea < <http://bit.ly/1xX5tto> >
- [15] BALANZA ANALITICA, funcionamiento, especificaciones, disponible en línea < <http://bit.ly/1xX5tto> >
- [16] ACIDO CLORHIDRICO, propiedades, usos comunes, disponible en línea < <http://bit.ly/2nZohJk> >
- [17] POLITETRAFLUOROETILENO, definición, propiedades, aplicaciones, disponible en línea, < <http://bit.ly/2r07xV0> >
- [18] CAMARA EXTRACTORA DE GASES Y HUMOS, funcionamiento, recomendaciones de uso, disponible en línea < <http://bit.ly/2m8Nd1X> >
- [19] VELASQUEZ Andrés, Método de protección catódica para controlar la corrosión galvánica, ciencia de los materiales, Circuito Dr. Gonzalo Aguirre Beltrán S/N, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz, México, 2013.
- [20] CAPITULO 3. MÉTODOS DE PRUEBA Y EVALUACION DE CORROSIÓN, metodología y forma de evaluar la corrosión, disponible en línea < <https://bit.ly/2FFXQQ0> >
- [21] OTERO HUERTA, ENRIQUE, corrosión y degradación de materiales, 2a ed. corr. y amp. -- Madrid: Editorial Síntesis, 2012.
- [22] AHMAD, ZAKI, Principles of corrosion engineering and corrosion control, Oxford: El Sevier, c2006.

ANEXO A

Resultados de los pesos obtenidos sobre el ensayo de inmersión.

Material: Dióxido Titanio / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	90 [h]	23 [h]	23 [h]
1	38.4959	36.2987	32.6748	28.8902	23.9908	20.6613	17.4506	15.5080	14.6160
2	41.1934	38.6475	34.7433	30.7057	26.2820	23.5770	20.8353	16.4860	15.4235
3	40.5094	38.1783	34.9052	30.3902	25.2227	21.7388	18.3706	15.9020	14.8485
4	40.7969	38.5597	35.4565	30.7274	25.6352	22.1134	18.7253	17.4590	16.3990
5	37.2283	35.1770	31.6282	27.3942	23.0090	20.2464	17.5713	15.0535	14.0635

Material: Carburo Tungsteno / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	40.0153	37.7012	35.6087	31.5748	26.8781	23.1888	17.9833	16.3220	15.1175
2	39.2705	36.6689	34.4223	30.2418	25.9439	22.8471	18.1683	15.4660	14.3215
3	41.0074	38.1349	35.8192	31.5662	27.0183	23.5892	18.4643	16.3060	15.1870
4	39.5022	36.8000	34.6175	30.5883	26.0999	23.6068	17.6026	16.2300	15.2515
5	42.5617	39.6355	37.1665	32.9172	28.2954	24.7680	19.5366	15.9050	14.8545

Material: Alúmina / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	40.0440	37.4026	34.3367	30.5768	25.5479	21.5927	16.9290	15.3660	14.8430
2	38.0083	35.0686	32.7108	28.8820	24.0964	22.8739	17.9816	16.4745	15.8135
3	41.3719	39.5197	37.4381	33.0083	27.7288	24.0427	19.0993	16.1770	15.5715
4	42.6327	38.4296	35.7488	31.6340	27.5780	24.8403	18.6546	16.4580	15.7795
5	39.9356	36.9139	34.1814	29.9794	25.0906	22.0714	17.6016	15.5485	14.9320

Material: Sin recubrir / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	3 [h]	5 [h]	13 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	39.8903	37.9880	36.0850	33.9075	32.0541	30.8353	25.4926	24.3120	22.9200
2	36.5276	34.6692	32.8325	30.8049	29.0678	27.9634	23.5970	22.7425	21.6295
3	40.6660	38.6267	36.5611	34.2828	32.5002	31.3528	26.6586	25.6185	24.3520
4	40.0474	37.9155	35.8469	33.5707	31.5845	30.4015	25.5356	24.4785	23.0775
5	39.1429	36.9950	34.9262	32.7098	30.7485	29.5726	24.8710	23.9205	22.5885

ANEXO B

Resultados de los pesos obtenidos sobre el ensayo de cámara de niebla salina.

Material: Dióxido Titanio / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	148.3235	148.3213	148.3169	148.3104	148.2235	148.0495	147.7887	147.4408	147.3235
2	152.3540	152.3525	152.3495	152.3451	152.2855	152.1664	151.9877	151.7494	151.6690
3	147.2145	147.2130	147.2101	147.2058	147.1485	147.0337	146.8616	146.6322	146.5547
4	150.5024	150.5010	150.4980	150.4936	150.4352	150.3182	150.1428	149.9089	149.8299
5	152.6792	152.6784	152.6769	152.6747	152.6448	152.5850	152.4954	152.3758	152.3355

Material: Carburo Tungsteno / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	153.5768	153.5748	153.5710	153.5653	153.4887	153.3356	153.1060	152.7998	152.6965
2	149.7521	149.7510	149.7489	149.7456	149.7025	149.6161	149.4867	149.3140	149.2558
3	153.6826	153.6806	153.6766	153.6706	153.5908	153.4311	153.1915	152.8721	152.7643
4	150.3900	150.3886	150.3859	150.3818	150.3273	150.2183	150.0548	149.8369	149.7633
5	150.7414	150.7390	150.7342	150.7270	150.6311	150.4393	150.1515	149.7678	149.6383

Material: Alúmina / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	152.2311	152.2285	152.2233	152.2156	152.1123	151.9058	151.5961	151.1831	151.0437
2	149.7807	149.7791	149.7760	149.7713	149.7086	149.5834	149.3954	149.1449	149.0603
3	151.9711	151.9691	151.9651	151.9590	151.8783	151.7167	151.4745	151.1515	151.0425
4	148.2298	148.2275	148.2231	148.2164	148.1272	147.9490	147.6816	147.3250	147.2047
5	146.6431	146.6417	146.6389	146.6348	146.5794	146.4688	146.3027	146.0814	146.0067

Material: Sin recubrir / Peso [g]									
Probeta #	Pesaje 1	Pesaje 2	Pesaje 3	Pesaje 4	Pesaje 5	Pesaje 6	Pesaje 7	Pesaje 8	Pesaje 9
	0 [h]	7 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]	23 [h]
1	146.0204	146.0192	146.0168	146.0131	145.9643	145.8667	145.7202	145.5250	145.4591
2	146.1557	146.1549	146.1533	146.1509	146.1188	146.0545	145.9581	145.8295	145.7861
3	149.6529	149.6524	149.6515	149.6501	149.6315	149.5942	149.5383	149.4637	149.4385
4	145.1107	145.1102	145.1092	145.1077	145.0881	145.0488	144.9898	144.9111	144.8846
5	149.2932	149.2926	149.2915	149.2899	149.2681	149.2247	149.1594	149.0724	149.0431