

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para
ensayos de corrosión**

PRESENTADO POR:

LUIS ERNESTO DAHBURA RAMOS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para
ensayos de corrosión**

Presentado por :

LUIS ERNESTO DAHBURA RAMOS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTÍZ

San Salvador, agosto de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTÍZ

HOJA RESUMEN

En esta tesis se diseñó y construyó una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión con probetas tanto metálicas o con recubrimientos metálicos como probetas con recubrimientos no metálicos.

La cámara se construyó en base a la norma ASTM B-117 la cual establece los parámetros y/o condiciones que se deben cumplir para construirla tales como presión de aire, salinidad de la solución salina, temperatura mínima y máxima dentro de la cámara, tiempo de exposición, proceso de limpieza de las probetas. Los materiales o elementos seleccionados fueron vidrio para la cámara debido a su característica inerte frente a ambientes salinos, filtro regulador para la regulación y dosificación de aire a presión, un termostato de amplio rango para controlar la temperatura dentro de la cámara, un foco de 300 W como elemento calefactor, un humidificador y recipientes plásticos que fueron usados como contenedores de solución salina.

Se desarrolló un ensayo de 24 horas al final de la construcción de la cámara de niebla salina. El cual permitió establecer el proceso ideal de operación y limpieza del equipo, permitiendo al estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador elaborar estudios sobre los efectos que la corrosión tendrá sobre algunos materiales evaluados en un ambiente salino, y los beneficios que se pueden obtener con los datos obtenidos en ellos.

ÍNDICE DE TEMATICO

Temas	Pág.
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Corrosión.....	1
1.2 Definiciones básicas.....	2
1.3 Grandes catástrofes causadas por la corrosión.....	3
1.4 Formas de corrosión.....	7
1.4.1 Corrosión uniforme o general.	8
1.4.2 Picaduras.	9
1.4.3 Corrosión por grietas.....	10
1.4.4 Corrosión galvánica.....	12
1.4.5 Corrosión por un ambiente agrietador (EC).....	15
1.4.6 Corrosión Intergranular.....	17
1.4.7 Corrosión por exfoliación.....	18
1.5 Protección contra la corrosión.....	19
1.5.1 Granallado (Shot Peening).....	20
1.5.2 Recubrimientos metálicos por inmersión en caliente.....	21
1.5.3 Recubrimientos por Electrodeposición.....	24
1.5.4 Anodizado.....	26
1.5.5 Procesos para obtención de recubrimientos por proyección térmica (termo rociado).	27
1.5.6 Recubrimientos con pinturas.....	28
1.5.7 Procesos de deposición en fase de vapor.....	32
1.6 Ensayos de corrosión.....	33
1.6.1 Ensayos naturales.....	34

Temas	Pág.
1.6.2 Ensayos de laboratorio.....	35
1.6.3 Obtención de los resultados en ensayos de corrosión.....	37
1.7 Reseña histórica del ensayo de niebla salina.....	39
1.8 Resumen en español de la norma ASTM B117 “Salt Spray Test”.....	44
1.9 Características comunes del equipo empleado en la realización del ensayo de corrosión por niebla salina.....	46
2.0 DISEÑO DE LA CAMARA.....	53
2.1 Consideraciones de diseño.....	54
2.1.1 Cámara de niebla salina.....	54
2.1.2 sistema de generación de niebla salina.....	58
2.1.3 Marco estructural de la cámara de niebla salina.....	60
2.1.4 Sistema de control de temperatura.....	61
2.1.5 sistema de suministro de aire de atomización.....	63
2.1.6 Sistema de suministro de solución salina.....	64
2.1.7 Diseño del portaprobetas.....	65
2.2 Cálculos, formulas y esquemas importantes.....	66
2.2.1 Transferencia de calor del bombillo hacia la cámara.....	66
2.2.2 Transferencia de calor del bombillo al agua del reservorio.....	67
2.2.3 Transferencia de calor de la cámara hacia el exterior.....	68
2.3 Presupuesto general del proyecto.....	69
3.0 PRACTICAS DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE CORROSIÓN.....	70
3.1 Uso de la cámara de niebla salina.....	70
3.2 Toma de datos del ensayo de corrosión.....	75
3.2.1 Dimensión, forma y marcado de las probetas.....	75

Temas	Pág.
3.2.2 Preparación de la superficie.....	76
3.3 Interpretación de resultados.....	77
3.3.1 Grado de corrosión del metal.....	77
3.3.2 Grado de degradamiento de un recubrimiento protector no metálico.....	78
3.3.3 Peso perdido de un material metálico debido a la corrosión.....	80
3.3.4 Cambios en la conductividad eléctrica de un metal.....	80
3.3.5 Cambios en la resistencia a la tracción de un metal.....	80
3.4 Laboratorio de ensayo de corrosión.....	81
3.5 Limpieza de la cámara de niebla salina después de realizado un ensayo...	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS.....	86

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Fig. 1.1. Esquema de oxidación del hierro, corrosión del tipo polarizada.....	2
Fig. 1.2. Foto de los daños causados en el barrio céntrico de Guadalajara, el 22 de abril de 1992 durante la explosión de una alcantarilla.....	3
Fig. 1.3. Foto de un F16 de la USAF estrellado por fallas en el motor debido a problemas en la línea de combustible, en un vuelo de práctica.....	4
Fig. 1.4. Foto del lado derecho del vuelo 243 de Aloha Airlines accidentado el 29 de abril de 1988 en pleno vuelo.....	5
Fig. 1.5. Descripción esquemática del accidente de Aloha Airlines.....	6
Fig. 1.6. Foto del MV KIRKI, se aprecia la pérdida de un panel frontal de proa.....	7
Fig. 1.7. Grupos y categorías de tipos de corrosión. Grupo 1 identificables por inspección visual: corrosión uniforme, picaduras, corrosión por grietas, La corrosión galvánica. Grupo 2 identificable con herramientas especiales de inspección: erosión, cavitación, rozamiento, intergranular. Grupo 3 identificable por exanimación microscópica: Exfoliación, De-Aleación, Corrosión bajo tensión, corrosión fatiga.....	8
Fig. 1.8. Tipos de picaduras (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo): estrecho y profundo, poca profundidad, elíptica, sub superficie, sub valoración, ataque para el grano horizontal y ataque para el grano vertical.....	10
Fig. 1.9. Microambiente de corrosión por grieta generada por el desbalance anódico en el material. Arriba se presenta la reacción de acidificación del electrolito.....	11
Fig. 1.10. Representación esquemática del microambiente creada por una corrosión filiforme.....	12

Figura	Pág.
Fig. 1.11. Corrosión galvánica en láminas acopladas con remaches, (a) con láminas de acero y remaches de aluminio y (b) laminas de aluminio y remaches de acero.....	13
Fig. 1.12. Corrosión galvánica presente en “La Estatua de la Libertad” en New York, USA.....	13
Fig. 1.13. Serie galvánica de algunos metales y aleaciones comerciales en agua de mar.....	14
Fig. 1.14. Modos de falla entre el umbral de fatiga, el umbral de tensión y la fractura.	17
Fig. 1.15. Sensibilización del acero inoxidable en una Zona de Afectada por Calor (ZAC).....	18
Fig. 1.16 esquema del proceso del Granallado	20
Fig. 1.17. a) Protección catódica de una capa de cinc, b) protección por efecto barrera.....	22
Fig. 1.18. Curvas potenciostaticas de oxidación anódica.....	27
Fig. 1.19. Proceso de termorociado, a) instalación, b) pistola de termo rociado.....	28
Fig. 1.20 Esquema de una cámara de niebla salina, 1) panel de instrumentos, 2) tanque de solución, 3) torre de dispersión, 4) saturador, 5) manómetro.....	49
Fig. 1.21. Partes de la torre de aspersion.....	50
Fig. 1.22. Esquema básico de un atomizador.....	51
Fig. 2.1. Esquema de conjunto de la cámara de niebla salina y sus elementos. 1- tanque de solución salina, 2-cámara de niebla salina, 3-sistema de suministro de aire, 4-tanque de recuperación de agua salina, 5-tanque de recolección de agua salina sucia, 6-compresor, 7-sistema de control de temperatura.....	53

Figura	Pág.
Fig. 2.2. Esquema y dimensionamiento de la cámara de niebla salina a) vista lateral derecha b) vista frontal	57
Fig. 2.3. Esquema y dimensionamiento del reservorio y el atomizador.....	59
Fig. 2.4. Esquema del atomizador seleccionado.....	59
Fig. 2.5. Marco estructural de la cámara de niebla salina a) vista lateral derecha b) vista frontal	61
Fig. 2.6. Diagrama del circuito eléctrico del sistema de control de temperatura....	62
Fig. 2.7. Diagrama del sistema de suministro de aire.....	63
Fig. 2.8. Diagrama del sistema de suministro de solución salina a) vista lateral derecha b) vista frontal	64
Fig. 2.9. Esquema del diseño del porta probetas a) vista lateral izquierda del portaprobetas b) vista frontal del portaprobetas	65
Fig. 2.10. Esquema de la transferencia de calor del foco incandescente hacia la cámara.....	66
Fig. 2.11. Esquema de la transferencia de calor de los focos incandescentes hacia la cámara.....	67
Fig 2.12. Esquema de la transferencia de calor de la zona de exposición al exterior.....	68
Fig. 3.1. Limpieza de probetas metálicas a) antes de limpieza b) después de limpieza	76

INDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
Tabla 1.1 Características de factores que generan ambientes agrietadores.....	16
Tabla 1.2. Componentes que conforman una pintura.....	29
Tabla 1.3. Grado de compatibilidad entre pinturas comúnmente aplicadas: compatibles (C), incompatibles (NR) y tolerables, (C*)	31
Tabla 1.4. Clasificación industrial de productos que requieran la prueba de niebla salina.....	44
Tabla 1.5. Capacidades típicas de tanques para la solución salina.....	48
Tabla 2.1. Propiedades generales del vidrio.....	55
Tabla 2.2 Tabla ponderización de criterios de selección.....	62
Tabla 2.3 Datos transferencia de calor del bombillo hacia la cámara.....	66
Tabla 2.4. Datos para la transferencia de calor del bombillo al agua del reservorio.....	67
Tabla 2.5. Datos para la transferencia de calor de la cámara hacia el exterior.....	68
Tabla 2.6. Presupuesto total del proyecto.....	69
Tabla 3.1. Pasos a seguir para el uso de la cámara de niebla salina.....	72

1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo detalla los aspectos generales de la corrosión, su definición, el mecanismo bajo el cual se desarrolla además de sus clasificaciones y métodos desarrollados para evitarla. También se encuentran detallados algunos accidentes causados por la corrosión. Por último en este capítulo se encuentra una síntesis de la norma ASTM B117 que rige tanto la construcción de cámaras de niebla salina para realizar ensayos de corrosión así como los ensayos mismos

1.1 Corrosión ^[1]

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen las aleaciones metálicas ferrosas a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación) donde intervienen la temperatura, la salinidad del ambiente en contacto con el metal o las propiedades del metal. Otros materiales metálicos no ferrosos también sufren corrosión mediante otros mecanismos como una reacción química (oxidorreducción) donde intervienen el ambiente, el agua o la conformación de la pieza.

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de película verde en el cobre y sus aleaciones (bronces, latones). Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc). La corrosión es un campo de las ciencias de los materiales que reúne a la vez nociones de química y de física.

1.2 Definiciones básicas

Lo que provoca la corrosión es un flujo eléctrico masivo generado por las diferencias electroquímicas entre las piezas implicadas. Una corriente de electrones se establece cuando existe una diferencia de potenciales entre un grano y otro grano debido a su orientación dentro del material. Aquel metal o especie química que exhiba un potencial de reducción más positivo se comportará como un cátodo y producirá una reducción y aquél que exhiba un potencial de reducción más negativo se comportara como un ánodos y producirá una oxidación. Para que haya corrosión electroquímica, además del ánodo y el cátodo debe haber un electrólito que puede ser solido o líquido. La transmisión de cargas eléctricas es por electrones del ánodo al cátodo por medio del metal y por iones en el electrólito. Este par de metales constituye la llamada pila galvánica, en donde la especie que se oxida (ánodo) cede sus electrones y la especie que se reduce (cátodo) acepta electrones. Al formarse la pila galvánica, el cátodo se polariza negativamente, mientras el ánodo se polariza positivamente como se presenta en la Fig. 1.1. La manera de corrosión de los metales es un fenómeno natural que ocurre debido a la inestabilidad termodinámica de la mayoría de los metales. En efecto, salvo raras excepciones (el oro, el hierro de origen meteorítico) los metales están presentes en la Tierra en forma de óxido, en los minerales (la bauxita , la hematita). La corrosión es la forma natural en la que los metales regresan a su estado natural los óxidos.

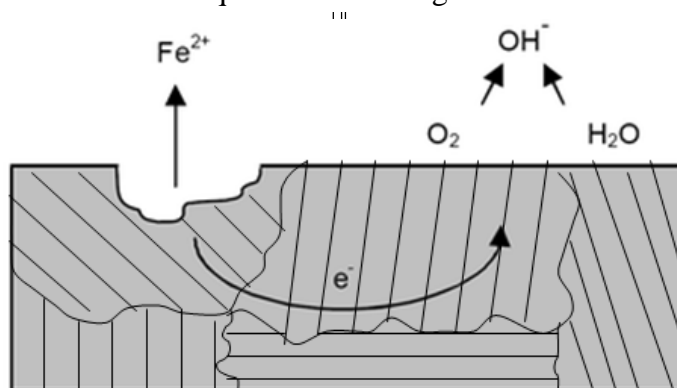


Fig. 1.1. Esquema de oxidación del hierro, corrosión del tipo polarizada.

1.3 Grandes catástrofes causadas por la corrosión ^[2]

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión entre los más conocidos se citan los siguientes casos.

Explosión en las alcantarillas, México: Uno de los mejores ejemplos de los daños por corrosión fue la explosión de unas alcantarillas (Fig. 1.2), acontecida en la ciudad de Guadalajara, México. Además de las fatalidades que fueron alrededor de 200 personas, cerca de 1500 personas sufrieron heridas en ese suceso y cerca de 1600 edificios acabaron averiados. El daño ascendió hasta un estimado de 75 millones de dólares americanos. La explosión de la alcantarilla fue rastreada hasta la instalación de una tubería de agua instalada por un contratista, donde varios años antes de la explosión el agua se filtro hasta la línea de conducción de gasolina situada unos metros por debajo. La subsecuente corrosión en la tubería de gasolina causo filtraciones de gasolina en las alcantarillas.



Fig. 1.2. Foto de los daños causados en el barrio céntrico de Guadalajara, el 22 de abril de 1992 durante la explosión de una alcantarilla.

Perdida de una aeronave F16 de la UNITED STATES AIR FORCE: Este ejemplo ilustra un caso que está creando problemas recientemente en la flota de las aeronaves F16 de la USAF. El grafito es usado comúnmente como lubricante solido por su fácil disponibilidad en la industria del acero. La alternativa es una formulación que contiene disulfuro de molibdeno la cual es mucho más cara. Infortunadamente, es un hecho que el del grafito causa la corrosión galvánica en las parejas bimetálicas. En una flota de más de 3000 aeronaves F16 USAF de motor sencillo, el grafito fue usada por un contratista a pesar de una orden general que prohíbe su uso en aeronave por la forma en que los alerones son operados, el lubricantes fue extruido hacia una parte de la aeronave donde el control de la línea de combustible de la válvula de cierre fue realizada por conectores eléctrico hechos de una combinación de oro, estaño y pasadores de acero. En muchas instancias la corrosión ocurre entre estos metales y causaron la pérdida de control de la válvula, ya que cierra el paso de combustible al motor en pleno vuelo. Al menos 7 aeronaves se presume que fueron pérdidas por este motivo, además de otros accidentes y mantenimiento adicional. En la Fig.1.3 se aprecia un ejemplo.



Fig. 1.3. Foto de un F16 de la USAF estrellado por fallas en el motor debido a problemas en la línea de combustible, en un vuelo de práctica.

El accidente de la aeronave de ALOHA AIRLINES: La aeronave perdió la mayor parte del fuselaje superior frontal en pleno vuelo a 24,000 pies de altura Fig. 1.4 y Fig. 1.5. Múltiples grietas de fatiga fueron detectadas en la estructura remanente de la aeronave, en los agujeros de la fila superior de los remaches en el fuselaje. Juntas articuladas formaban largos paneles de fuselaje junto a largos segmentos de fuselaje, las grietas por fatiga no son anticipadas como un problema futuro siempre y cuando los paneles remanentes permanezcan fuertes y unidos entres sí. La inspección de otra aeronave similar revelo decapado, corrosión y problemas de grietas en las juntas. La acumulación de volúmenes de productos de corrosión se localizó dentro de las juntas móviles en los pilotes de las alas donde las superficies de contacto están separadas. A partir de ese accidente se utilizaron instrumentos especiales para detectar esta condición peligrosa. Debido a este accidente se crearon programas de seguridad con bases rigurosas de manera que permita minimizar ese problema



Fig. 1.4. Foto del lado derecho del vuelo 243 de Aloha Airlines accidentado el 29 de abril de 1988 en pleno vuelo.

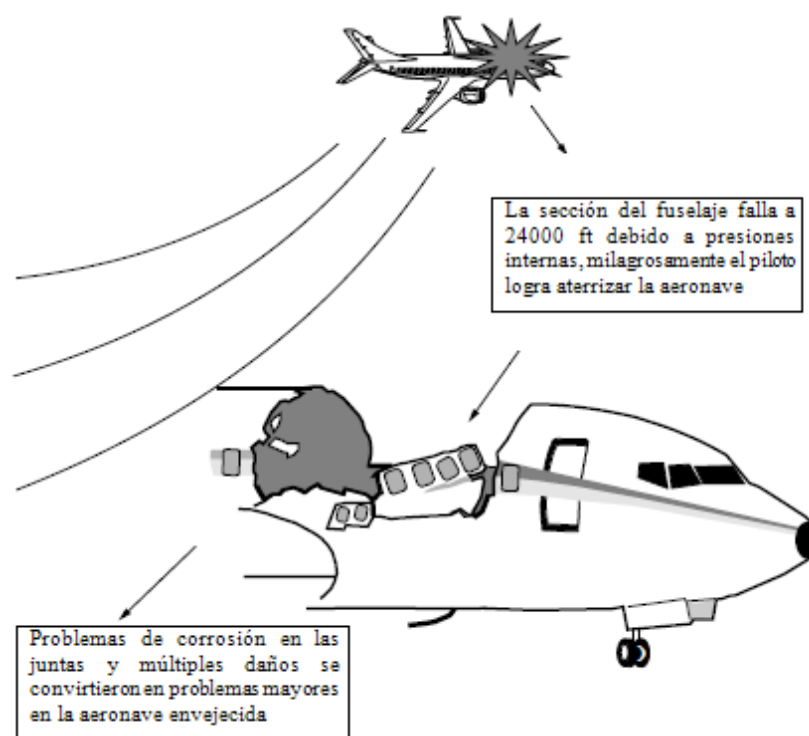


Fig. 1.5. Descripción esquemática del accidente de Aloha Airlines.

El MV KIRKI: Un caso muy recordado fue el del MV KIRKI, construido en España en 1969 con un diseño Danés. En 1990 mientras operaba en la costa de Australia, una sección completa de la proa se desprendió de la nave. Fig. 1.6 Milagrosamente ninguna vida se perdió, sin embargo hubo una ligera contaminación, la nave pudo ser rescatada. A lo largo de este periodo parece haber sido muy común la práctica de no usar ninguno de los recubrimientos de protección catódicos ni siquiera dentro de los tanques de lastre. Se presento evidencia donde la corrosión redujo en gran medida el espesor de los paneles y esto combinado con el pobre diseño contra la fatiga, fueron la causa primaria de la falla. El caso genero un informe en el gobierno de Australia llamado “los barcos de la vergüenza” el MV KIRKI no es un caso aislado. Existen muchos casos envueltos en una larga cantidad de fallas catastróficas. Aunque en muchos casos es poca o nula la evidencia que se encuentra cuando van a parar al fondo del océano.



Fig. 1.6. Foto del MV KIRKI, se aprecia la pérdida de un panel frontal de proa.

1.4 Formas de corrosión ^[3]

Las diferentes formas de corrosión representan fenómenos categorizados de acuerdo a su apariencia. Dillon considero las formas básicas de corrosión de Fontana y las dividió en tres grupos, basándose en la facilidad de su identificación en la Fig. 1.7 se presentan las categorías usadas y al grupo al cual pertenecen:

- Grupo 1. Fácilmente identificables mediante una exanimación visual ordinaria.
- Grupo 2. Puede requerir medios suplementarios de exanimación.
- Grupo 3. La verificación es usualmente requerida por microscopio.

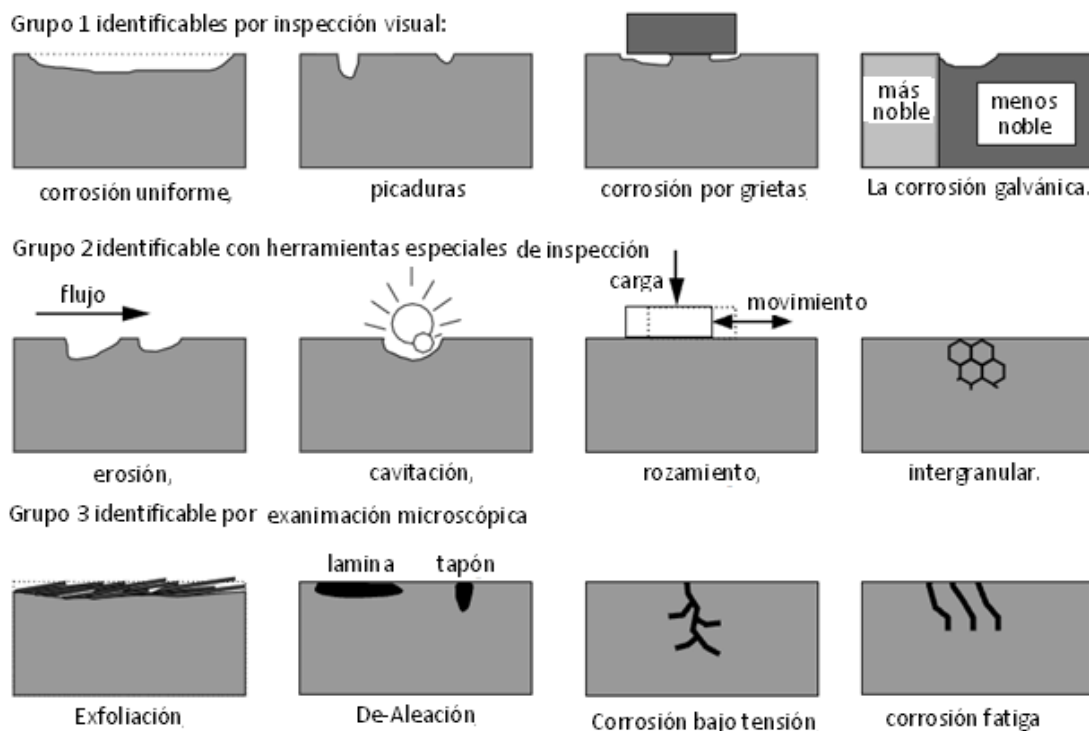


Fig. 1.7. Grupos y categorías de tipos de corrosión. Grupo 1 identificables por inspección visual: corrosión uniforme, picaduras, corrosión por grietas, La corrosión galvánica. Grupo 2 identificable con herramientas especiales de inspección: erosión, cavitación, rozamiento, intergranular. Grupo 3 identificable por exanimación microscópica: Exfoliación, De-Aleación, Corrosión bajo tensión, corrosión fatiga.

1.4.1 Corrosión uniforme o general

Está caracterizada por un ataque corrosivo procedente de manera uniforme sobre toda la superficie o una larga fracción del total del área. Generalmente el adelgazamiento sucede hasta producir la falla. Sobre la base del tonelaje perdido, esta es la forma más importante de corrosión. Sin embargo la corrosión uniforme es relativamente fácil de medir y predecir, causando fallas desastrosas relativamente raras. En muchos casos solo es objetable desde el punto de vista de la apariencia. La gran gama de sistemas de revestimientos protectores en estructuras a menudo es para esta forma de corrosión.

Aleaciones y aceros inoxidables resistentes a la corrosión pueden llegar a ser empañados u oxidados en ambientes corrosivos. Superficies con corrosión pueden indicar desprendimiento en los sistemas de revestimiento protector, sin embargo deberán ser examinados más de cerca por más ataques posibles de corrosión. Si se permite que continúe la corrosión en la superficie, esta podría tornarse áspera se podrían provocar fallos en los componentes.

1.4.2 Picaduras

Es una forma localizada de corrosión en la cual cavidades y agujeros son producidos en el material. El daño por picaduras son consideradas más peligrosas que la corrosión uniforme porque es más difícil de detectar, predecir y diseñar contra ella. Los productos para la corrosión a menudo cubre las picaduras. Una picadura pequeña y estrecha con un mínimo de pérdida de metal puede provocar la falla de un sistema ingenieril completo. Por ejemplo la corrosión por picaduras son el mayor común denominador de todos los tipos de ataques por corrosión localizados. Puede asumir diferentes formas como las ilustradas en la Fig. 1.8. La corrosión por picaduras puede producir picaduras con la boca abierta (descubierta) o cubierta con una membrana semipermeable de productos de corrosión. Las picaduras pueden tener una forma hemisférica o de copa. La corrosión por picaduras ocurre cuando áreas discretas del material sufren un ataque rápido mientras la mayoría de la superficie adyacente permanece virtualmente inafectada. Tal localización de los procesos de corrosión anódica y catódica es caracterizada por la relación del área superficial (S_a/S_c) para estos dos procesos. Donde S_a y S_c son las áreas de reacción anódica y catódica. La relación S_a/S_c o el grado de localización pueden ser una importante manera de manejar todos los problemas localizados de corrosión porque una situación de corrosión corresponde igualmente a una corriente absoluta anódica o catódica.

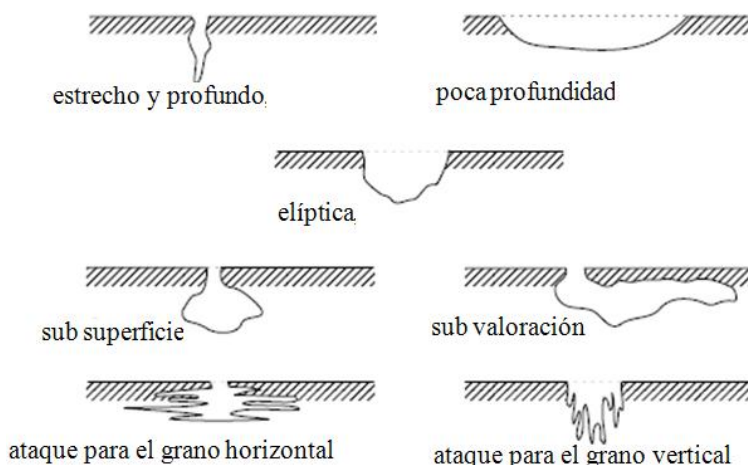


Fig. 1.8. Tipos de picaduras (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo): estrecho y profundo, poca profundidad, elíptica, sub superficie, sub valoración, ataque para el grano horizontal y ataque para el grano vertical.

Microambientes corrosivos juegan un papel en la iniciación y propagación de las picaduras por corrosión y son complicados de predecir. Aparte de la localizada pérdida de espesor, las picaduras pueden ser perjudiciales cuando son combinados con esfuerzos en el material. Fatiga y corrosión bajo tensión pueden iniciar o ser la base para la corrosión por picaduras.

1.4.3 Corrosión por grietas

Es una forma localizada de corrosión asociada con una solución estancada de tipo microambiental. Tales microambientes estancados tienden a ocurrir en grietas (blindando áreas) tales como las que se forman en juntas, arandelas, materiales de aislamiento, cabezas de tornillo, depósitos superficiales, revestimientos desprendidos, hilos, articulaciones y abrazaderas. Porque la difusión del oxígeno hacia las grietas está restringida, una celda de aireación diferencial es establecida entre la grieta (microambiente) y la superficie externa (macroambiente). La reacción de la reducción catódica del oxígeno no puede ser sostenida en el área de la grieta, dándole un carácter anódico en la celda de concentración. Este

desbalance anódico puede dar origen a la creación de una condición de ambiente altamente corrosivo en la grieta, que conduce más a la disolución del metal. La formación de un ambiente ácido junto a una alta concentración de iones de cloruro tal como se presenta en la Fig.1.9.

La corrosión filiforme está cercanamente relacionada con los ataques en las grietas. Esto ocurre bajo películas protectores como lacas, las cuales son caracterizadas por un rastro de productos de corrosión interconectados. La corrosión activa ocurre en la cabeza del filamento, donde un microambiente corrosivo está establecido, donde el rastro de la cola es en gran medida inactivo tal como se presenta en la Fig. 1.10, incluso cuando la corrosión filiforme es frecuentemente en gran medida un problema cosmético, la impecable apariencia de un producto puede ser muy importante, un ejemplo de ello es la industria de la comida empacada. El daño por corrosión debido a grietas en las juntas del fuselaje de una aeronave se ha convertido en un problema mayor de seguridad. Particularmente después del accidente de la aeronave de Aloha Airlines en 1988. Donde el daño por corrosión en el fuselaje de la aeronave es un ejemplo de la corrosión atmosférica.

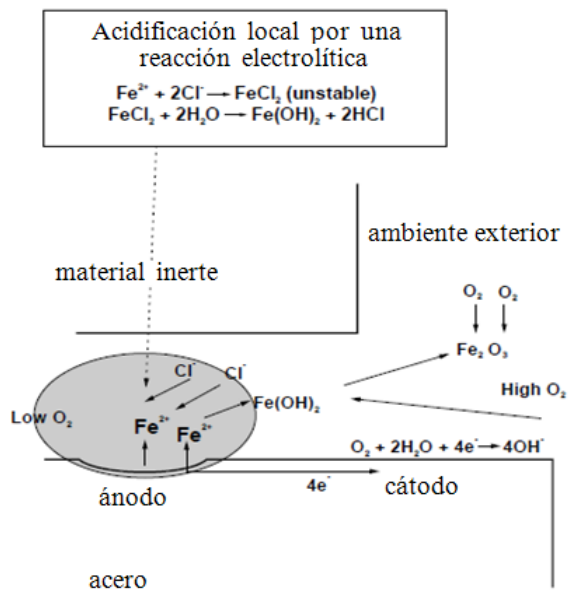


Fig. 1.9. Microambiente de corrosión por grieta generada por el desbalance anódico en el material. Arriba se presenta la reacción de acidificación del electrolito.

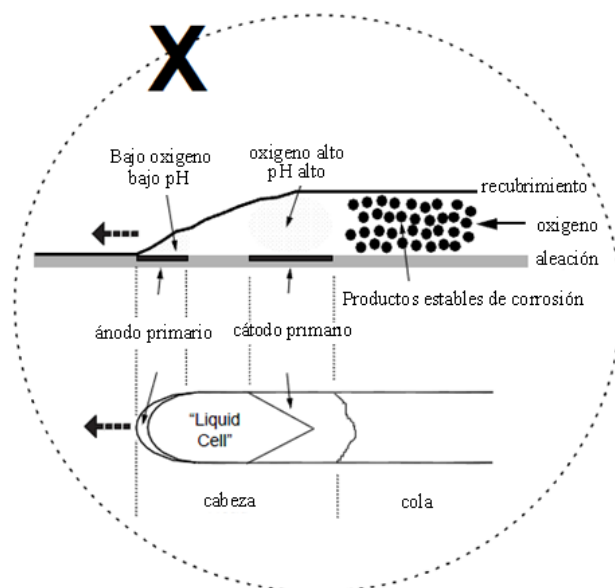


Fig. 1.10. Representación esquemática del microambiente creada por una corrosión filiforme.

1.4.4 Corrosión galvánica

Ocurre cuando distintos materiales metálicos se ponen en contacto en presencia de un electrolito. Tal daño puede ocurrir entre metales puros, aleaciones y otros materiales conductores como el carbón o el grafito. Una celda de corrosión electroquímica es establecida por las diferencias de potencial de corrosión de los diferentes materiales. El material con potencial de corrosión más noble se transforma en el cátodo de la corrosión, el de potencial de corrosión menos noble es consumido por una disolución anódica. La relación de área de los dos materiales distintos es extremadamente importante, si la relación del área de la superficie del ánodo hacia el cátodo (S_a/S_c) es pequeña, la corriente galvánica puede ser concentrada sobre una pequeña área anódica. El grado de corrosión visible como el espesor perdido por tiempo puede llegar a ser muy alta para el ánodo. Un ejemplo de ello son los remaches de aluminio usado en laminas de acero, los remaches se pueden corroer extremadamente rápido tal como se ilustra en la Fig.1.11.

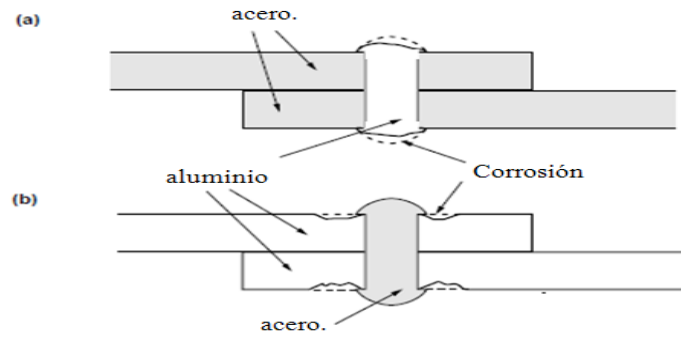


Fig. 1.11. Corrosión galvánica en láminas acopladas con remaches, (a) con láminas de acero y remaches de aluminio y (b) laminas de aluminio y remaches de acero.

Un sitio muy conocido que ha sido objeto de corrosión galvánica severa en la historia es “La Estatua de la Libertad” de New York, USA, tal como se ilustra en la Fig. 1.12.

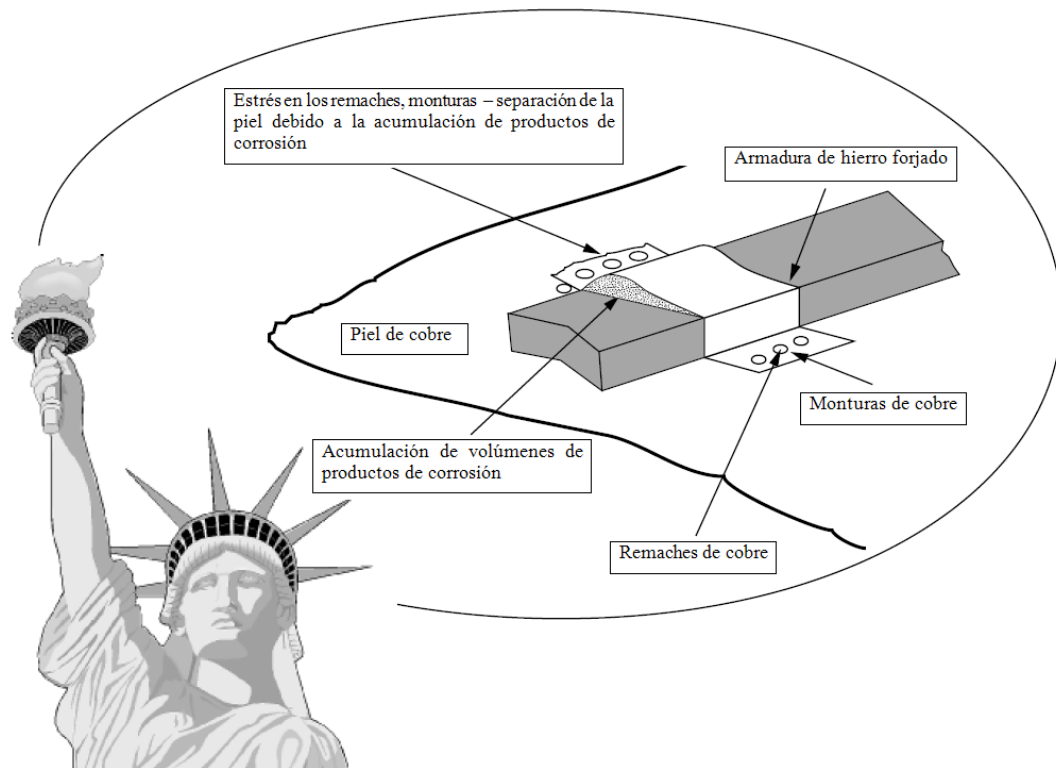


Fig. 1.12. Corrosión galvánica presente en “La Estatua de la Libertad” en New York, USA.

La serie galvánica Fig. 1.13, presenta los rangos de nobleza relativa de algunos materiales en agua de mar. La serie no entregan ninguna información del grado del ataque de corrosión. Además la posición relativa de los materiales puede cambiar en otros ambientes. Es importante destacar que los efectos pueden manifestarse no solo a nivel macroscópico sino también en la micro estructura del material. Fases y precipitados se someterán en una disolución anódica bajo efectos micro galvánicos, la corrosión galvánica aun ocupa un lugar importante en numerosas fallas.

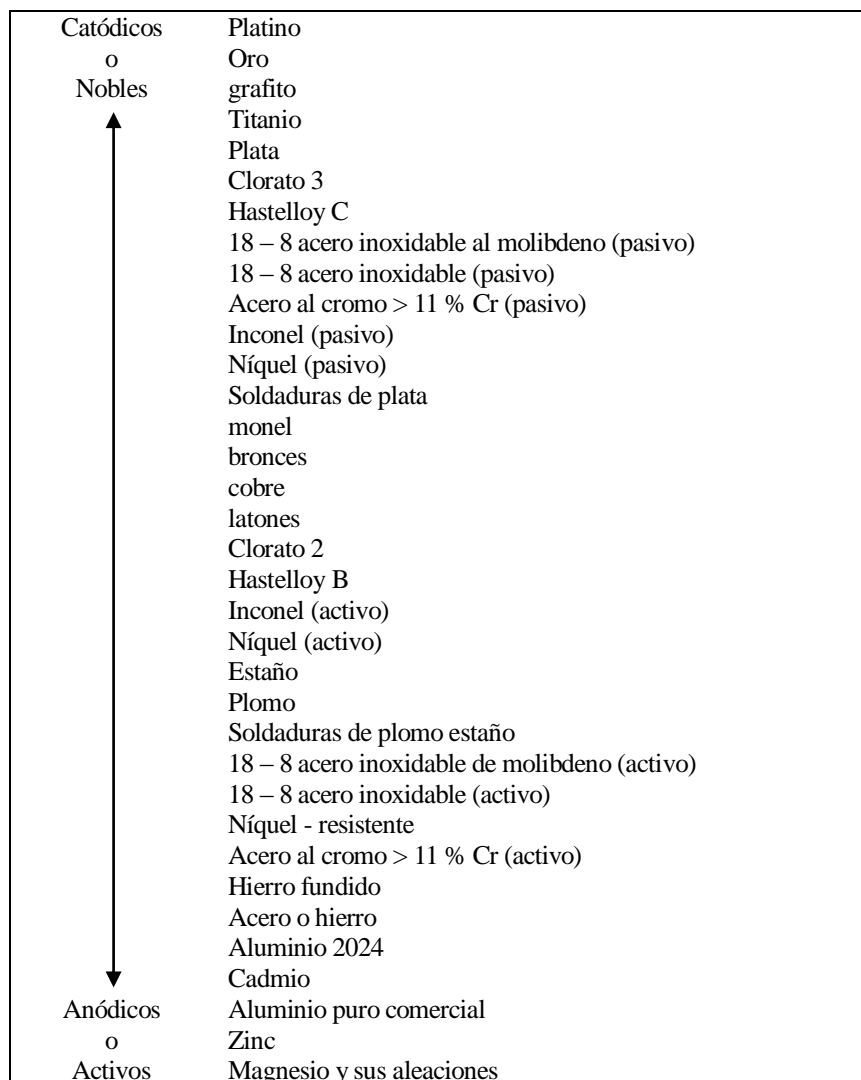


Fig. 1.13. Serie galvánica de algunos metales y aleaciones comerciales en agua de mar.

1.4.5 Corrosión por un ambiente agrietador (EC)

Es una forma muy localizada de corrosión ya que esta solo se presenta en el inicio de la grieta, la propagación depende del tipo de ambiente. El inicio de la grieta consume un 90% de la vida del componente. La complejidad intrínseca de las situaciones conducen a diferentes formas de EC, los parámetros que conducen a esta clase de problemas a menudo son descritos en términos cualitativo en la Tabla 1.1, en la cual se presentan factores que contribuyen a una de tres formas de EC, estas son: Corrosión bajo esfuerzo (SCC), Corrosión por fatiga y Fragilización por hidrogeno. La SCC es el agrietamiento inducido por una influencia combinada del esfuerzo por tensión y un medio corrosivo. El impacto del SCC en un material parece caer entre el agrietamiento seco y el umbral de fatiga de un material Fig. 1.14, el esfuerzo requerido puede ser aplicada en forma directa o en forma residuales. Deformación en frio o conformado, soldadura, tratamientos térmicos, mecanizado y rectificado pueden introducir tensiones residuales. A menudo la magnitud e importancia de algunos esfuerzos residuales son subestimadas. Los esfuerzos residuales creados como resultado de las operaciones de soldadura tienden a acercarse al límite elástico.

La acumulación de productos de corrosión en espacios confinados también puede generar esfuerzos significativos y no deberán ser pasadas por alto. La SCC usualmente ocurre en ciertas aleaciones específicas, ambientes y tensiones combinadas, y fueron observadas en aleaciones de aluminio, usualmente muy dependientes de la orientación de los granos, mayormente en las superficies remanentes que no han sido atacadas pero con grietas finas penetrando el material. En la microestructura estos pueden tener una morfología intergranular o transgranular. La Fragilización por hidrógeno algunas veces es clasificada separadamente del SCC. Esta se refiere a la Fragilizacion y al consiguiente incremento en el

riesgo de agrietamiento debido a la absorción de hidrógeno en la estructura del material. La reducción catódica del agua para formar hidrógeno es una fuente potencial de Fragilización. En la práctica materiales usados por su fuerza son los más susceptibles a sufrir problemas de SCC donde algunos elementos del ambiente los vuelven más vulnerables. Tal vulnerabilidad existe para aceros inoxidable cuando iones de cloruro están presentes en el ambiente, incluso a muy bajas concentración. Desafortunadamente, el término acero inoxidable muchas veces es interpretado literalmente. Ingenieros estructurales necesitan ser prevenidos que los aceros inoxidables no son ciertamente inmunes a los daños por corrosión y pueden ser particularmente susceptibles a daños por corrosión localizados y SCC.

Tabla 1.1 Características de factores que generan ambientes agrietadores

Factor	Corrosión bajo esfuerzo (SCC)	Corrosión por fatiga	Agrietamiento inducido por hidrógeno
Esfuerzo	tensión Estático	Cíclica + Tracción	Tracción
Corrosión Acuosa	Específica a la Aleación	cualquiera	cualquiera
Incremento de la Temperatura	Acelera	Acelera	< ambiente: incrementa
Metal Puro	Resistente	Susceptible	Susceptible
Morfología de la Grieta	Transgranular Intergranular Ramificada	Transgranular Desramificada Despuntada	Transgranular Intergranular Desramificada Punta Afilada
Productos de Corrosión en Grietas	Ausentes	Presentes	Ausentes
Aspecto Superficial de las Grietas	Tipo Hendidura	Marcas de Playa y/o Estrías	Tipo Hendidura
Polarización Catódica	Suprimida	Suprimida	Acelerada
Cercanía del Esfuerzo Máximo	Sensible pero de menor importancia	Acelera	Acelera

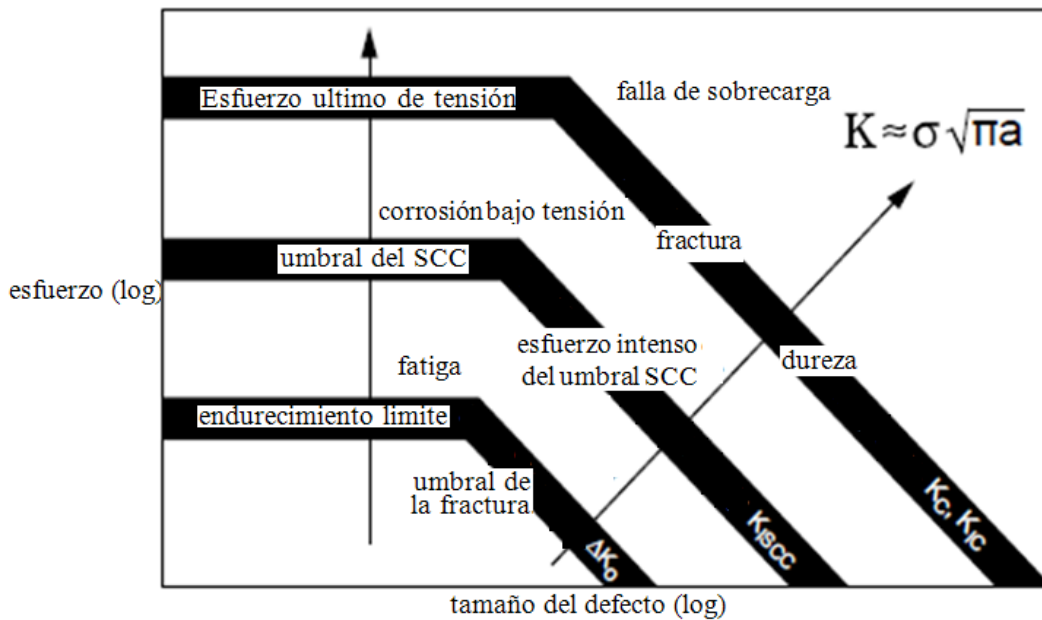


Fig. 1.14. Modos de falla entre el umbral de fatiga, el umbral de tensión y la fractura.

1.4.6 Corrosión Intergranular

La microestructura de los metales y aleaciones está hecha de granos, separados por fronteras de granos. La corrosión intergranular está localizada atacando las fronteras de granos o inmediatamente adyacentes a las fronteras de grano mientras el resto de granos o núcleos están inafectados. Esta forma de corrosión es usualmente asociada con efectos de segregación química (las impurezas tienen la tendencia de enriquecer la frontera de grano) o específicamente precipitados en las fronteras de grano. Dichas precipitaciones pueden producir zonas de reducida resistencia a la corrosión en los granos vecinos más próximos. Un ejemplo clásico es la sensibilización de los aceros inoxidable. En las fronteras de granos se forman precipitados ricos en cromo conduciendo a una disminución local de cromo inmediatamente adyacente a los precipitados, dejando estas áreas vulnerables a ataques corrosivos de ciertos electrolitos. Este problema a menudo se manifiesta en las zonas afectadas por el calor de las soldaduras, donde el ciclo térmico de la soldadura produce una estructura sensible, en la Fig. 1.15 se observa este ejemplo.

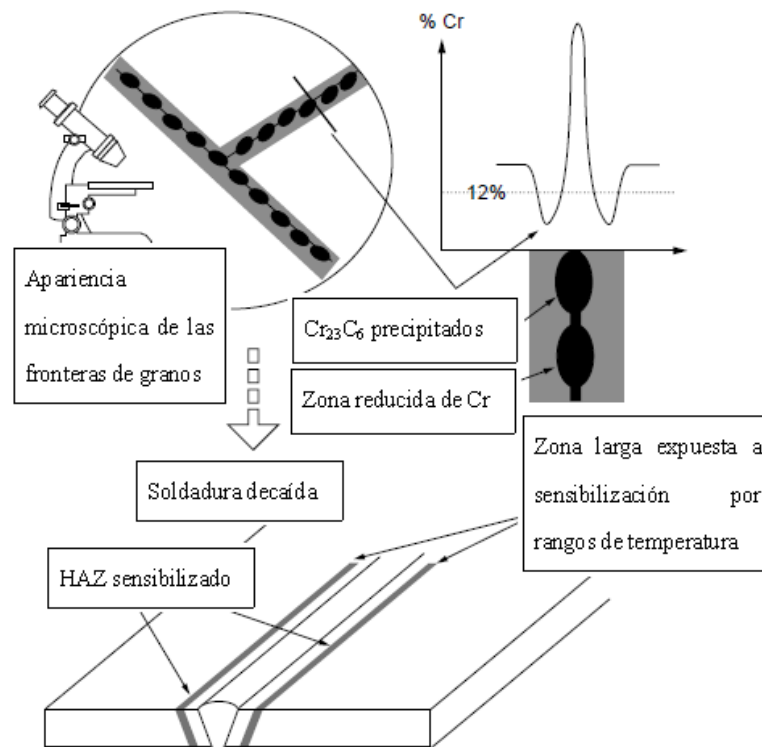


Fig. 1.15. Sensibilización del acero inoxidable en una Zona de Afectada por Calor (ZAC).

1.4.7 Corrosión por exfoliación

Es una forma adicional de corrosión intergranular asociada a aleaciones de aluminio de alta resistencia. Aleaciones que tuvieron que haber sido extruida o trabajadas de otra forma en gran medida, con una microestructura de largos granos aplanados, son particularmente susceptibles a estos daños. Productos de corrosión construidos a lo largo de estas fronteras de grano ejercen presión entre los granos y el resultado final es un efecto de levantamiento o de exfoliación. El daño a menudo inicia en los extremos de grano de los bordes trabajados, agujeros o ranuras y posteriormente progresan hacia la sección entera.

1.5 Protección contra la corrosión ^[4]

Fractura, desgaste y corrosión son los tres mecanismos promotores de defectos superficiales que justifica la agrupación de todos aquellos modos y procesos que tratan de modificar las superficies para proveerlas de aquellas características que permitan adecuarlas a las solicitaciones del servicio. Entre ellos se presentan los siguientes:

- Modificación de la composición química superficial por deposición a alta temperatura: como es el caso de la cementación, nitruración y de otros combinados. Estos procesos mejoran la tenacidad y dureza del metal pero no ayudan a combatir la corrosión en ellos por lo cual no serán expuestos en este trabajo.
- Granallado (Shot peening): se modifica el estado de acritud y de esfuerzos de la capa superficial, para mejorar sus respuestas a fatiga y corrosión bajo tensiones de las piezas.
- Recubrimiento de las piezas por deposición de metales en estado líquido: lo que da lugar productos galvanizados, estañados, aluminados, etc, de singular importancia para la protección contra la corrosión.
- Recubrimientos superficiales de metales por deposición en baños electrolíticos, con los que se obtienen productos electrocincados, niquelados, cromados etc, de conocida aplicación tanto para fines decorativos como de resistencia a la corrosión.
- Recubrimientos cerámicos y metálicos por proyección térmica a través de técnicas de aplicación eléctrica o plásmica, con lo que se mejora tanto la resistencia a la corrosión como al desgaste.
- Recubrimientos anódicos en metales pasivables: como el caso del aluminio por el que se incrementa su resistencia a la picadura
- Recubrimientos orgánicos y organometálicos: reconocido como pinturas, destinados a mejorar la resistencia a la corrosión bien de las superficies de los materiales en general y también de otros recubrimientos mencionados con anterioridad.

1.5.1 Granallado (Shot Peening)

El Granallado (Fig. 1.16) es un tratamiento mecánico superficial que consiste en el lanzamiento de pequeñas bolas sobre la superficie a tratar, creando deformaciones plásticas locales. El impacto de cada bola deforma una capa superior del metal formando una zona deformada plásticamente y una zona subsuperficial con esfuerzos residuales, que obligan, posteriormente, a comprimir a la zona deformada. De este modo queda la superficie con tensiones de compresión. La aplicación continuada de impactos de bolas, granalla, determina una capa externa en las piezas con esfuerzos residuales de compresión, y un endurecimiento en la subcapa, que reportan incrementos importantes en la resistencia y en rozamiento adhesivo.

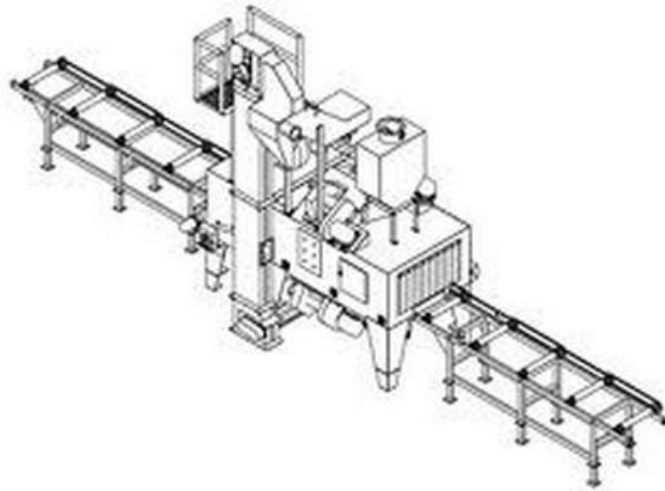


Fig. 1.16. Esquema del proceso de Granallado.

El fenómeno de corrosión bajo tensión se disminuye por la acción de los esfuerzos residuales de compresión como consecuencia de la disminución o anulación de los esfuerzos máximos de tracción. Pues los esfuerzos de tracción tienen mayor influencia para potenciar los procesos de corrosión.

1.5.2 Recubrimientos metálicos por inmersión en caliente

Un modo para aprovechar la alta resistencia mecánica de materiales como el acero, en ambientes calificados como corrosivos, es su protección superficial con otros metales con comportamiento más resistentes a esos ambientes corrosivos. Uno de los métodos económicos y de gran aplicación industrial es el de inmersión del acero en un baño líquido de un metal protector, el tiempo necesario para permitir el proceso de difusión y, por lo tanto, la adherencia de la capa de recubrimiento que queda después de su solidificación. Los metales o aleaciones de recubrimiento deben cumplir los requisitos siguientes:

- Pasivación en el ambiente corrosivo.
- Posibilidad para formar aleación con el acero mediante difusión a las temperaturas del proceso.

Los metales que cumplen con estos requisitos son variados. En el caso del acero se puede citar el cinc, aluminio, y cadmio como más electronegativos, y el estaño, níquel, cobre, cromo etc. como menos electronegativos. El mecanismo de protección contra la corrosión es diferente según su nivel electronegativo. Los más electronegativos que el acero lo protegen por protección catódica: así el recubrimiento transforma en ánodo las partes descubiertas, poros o ralladuras, de la superficie de acero, Fig. 1.17a. Los menos electronegativos que el acero lo protegen por efecto barrera, Fig. 1.17b, quedando como ánodo los poros o rallas que pueden aparecer en el proceso y requiriendo actuaciones adicionales que inhiban el proceso corrosivo en el acero. Al recubrir el acero con cinc presenta mayor resistencia a la corrosión en los medios atmosféricos y acuosos como el agua.

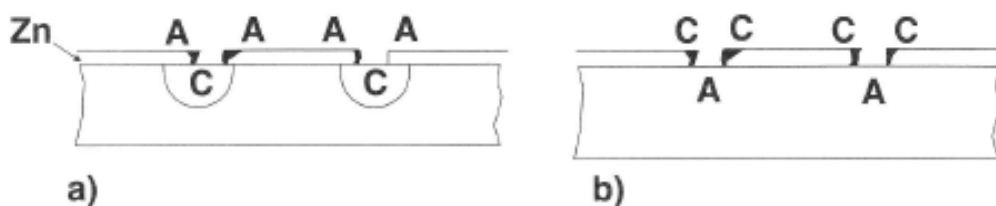
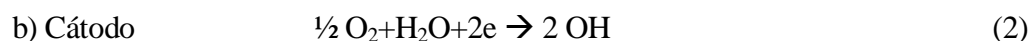
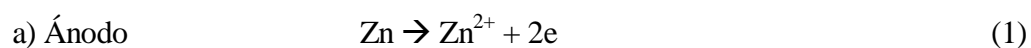


Fig. 1.17. a) Protección catódica de una capa de cinc, b) protección por efecto barrera.

Los productos de su corrosión, normalmente hidróxidos y carbonatos básicos de cinc, forman una barrera adherente, insoluble, y poco porosa; características resistentes en los óxidos hidratados que se forman en la corrosión del hierro y el acero, que son floculantes, poco adherentes y no forman una verdadera barrera aislante que impida el contacto del metal subyacente con el medio ambiente. En segundo lugar el recubrimiento galvanizado se comporta como la parte anódica de la pila de corrosión que se ataca preferentemente, protegiendo al hierro catódicamente. Esto significa que los recubrimientos galvanizados proporcionan también protección en aquellas zonas en donde el recubrimiento no exista, por deterioro mecánico o cualquier defecto del mismo, siempre que estas zonas no tengan más de 3 mm de espesor. La atmósfera rural es la menos agresiva por ser la más pura, ya que como casi únicos contaminantes son los productos de putrefacción de la materia orgánica, bicarbonato, amoníaco y alguno óxido de nitrógeno. Le siguen en corrosividad las atmósferas urbanas ya que sus principales contaminantes son el polvo que retiene la humedad y los productos de combustión, óxidos de azufre, carbono y nitrógeno, luego las atmósferas marinas que tienen como contaminantes, los cloruros y el elevado grado de humedad. Finalmente las atmósferas más agresivas son las industriales, ya que están normalmente contaminadas con productos agresivos tales como dióxido de azufre, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros contaminantes propios de cada tipo de industria, que al disolverse en el agua de lluvia, o de condensación, originan soluciones muy agresivas.

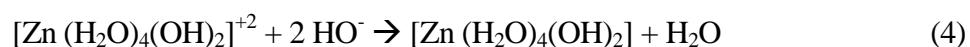
La velocidad de corrosión de los recubrimientos de cinc en contacto con la mayoría de las aguas naturales se debe a que los productos de corrosión que se forman en las primeras fases del proceso de ataque se constituyen un depósito insoluble, compacto y adherente, que forma una barrera que la aísla del contacto con el medio acuoso. La explicación de los procesos que tienen lugar con el agua dulce dan las siguientes expresiones:



Parece ser que despu\u00e9s se produce la hidrataci\u00f3n de los iones Zn^{2+}



Que finalmente acaban formando hidr\u00f3xido de zinc hidratado por iones hidr\u00f3xido de agua:



Este hidr\u00f3xido de zinc hidratado, que precipita como producto primario en estado amorfo, se transforma progresivamente por la acci\u00f3n del \u00e1cido carb\u00f3nico disuelto en agua en un carbonato b\u00e1sico de zinc, normalmente el pentacinc – hexahidroxidicarbonato que forma una capa protectora insoluble, adherente e impermeable:



Este aparente sencillo mecanismo de autoprotección del cinc o de los recubrimientos de zinc sobre el acero es, sin embargo, bastante más complicado en la práctica, debido a que las aguas naturales nunca son puras. Por una parte el agua de lluvia llega al suelo saturada de nitrógeno, oxígeno y cierto contenido de anhídrido carbónico. Por otra parte el agua que fluye sobre la corteza terrestre arrastra productos de la erosión del terreno, sustancias vegetales en descomposición, y diversos materiales en estado coloidal o suspensión. A su vez, el agua que se filtra a través del suelo se enriquece con las sales del terreno. Por ello el comportamiento de los recubrimientos galvanizados en contacto con las diferentes aguas dulces naturales dependerá en gran medida del modo en que las distintas sustancias contenidas en los mismos afectan a la naturaleza y estabilidad de las películas pasivantes, que se forman como consecuencia del proceso inicial de corrosión del zinc.

1.5.3 Recubrimientos por Electrodeposición

Este es un proceso alternativo al cubrimiento de las superficies metálicas no pasivables por metales que cumplieran el objetivo de la prevención contra la corrosión bien por el efecto de protección catódica o bien por el efecto barrera. Los componentes básicos de éste procesos son:

- a) Un baño electrolítico; el cual actúa como conductor iónico y contiene una sal conductora, compuesta por el metal a depositar en forma soluble y otros aditivos con funciones específicas.
- b) El cátodo a recubrir, que constituye el producto.
- c) El ánodo, el cual es el material que se puede disolver.
- d) Una fuente de corriente continua, controlable en voltaje e intensidad.

Los procesos pueden diseñarse en régimen continuo, bandas de chapa, o un régimen discontinuo, si bien los principios y mecanismos son idénticos. De forma general el proceso de electrodeposición consiste en la reducción de un catión metálico, oxidado, del baño electrolítico y su deposición sobre la pieza que constituye el cátodo:



El comportamiento de los ánodos es fundamental para el buen funcionamiento de un proceso de electrodeposición. En lo posible, suelen utilizarse ánodos solubles que, por oxidación, dan lugar a los cationes del metal a depositar manteniendo su concentración constante. Para obtener una buena respuesta, el proceso de disolución del metal debe localizarse en el intervalo de potenciales de la zona activa de la correspondiente curva de polarización, debiendo obviarse el desplazamiento hacia la zona de pasivación. Los ánodos deben diseñarse para producir un mínimo de productos de oxidación indeseables. En ciertos casos, ya sea por imposibilidad de uso del proceso de oxidación del metal o sea, simplemente, por presentar mejores prestaciones, se utilizan ánodos inertes, Titanio, Acero inoxidable, en los que se producen las reacciones anódicas. El baño electrolítico está compuesto por una cierta cantidad de especies químicas siguientes:

- a) Electrolito: Está compuesto por uno o varias especies en elevadas concentraciones para asegurar una elevada conductividad del baño y regular el pH, imprescindible en aquellos procesos en los que se produzca de hidrógeno y/o oxígeno en los electrodos.
- b) Los iones metálicos: El metal a depositar está presente en la disolución como catión simple, o en forma compleja, en concentraciones suficientemente elevadas para asegurar un adecuado paso de corriente.

- c) Agentes complejantes: El uso de complejantes favorece un desplazamiento catódico de los potenciales de deposición y ayuda a prevenir posibles reacciones entre el catión metálico y el metal del sustrato.
- d) Aditivos orgánicos: Se introducen una amplia gama de compuestos orgánicos en bajas concentraciones para modificar la estructura, la morfología y las propiedades del depósito.

1.5.4 Anodizado

La protección anódica está fundamentada en la pasivación de un metal cuando se le somete a un potencial más positivo que el de corrosión, E° . Para ciertos metales y electrolitos sucede lo indicado en la Fig. 1.18. Al aumentar el potencial, U° , aumenta fuertemente la oxidación hasta alcanzar una intensidad máxima, i_{crit} . A partir de este punto y para pequeños incrementos de U° la densidad de corriente disminuye hasta la i pasiva, i_{ps} , que indica unos bajos valores de corrosión. Este bajo nivel de oxidación se mantiene para valores de la tensión mayores a U_p , pero no tanto para llegar a la destrucción de la capa pasiva, transpasiva. El acero puede protegerse anódicamente por los iones sulfúrico, fosfórico o álcalis; pero no con los iones cloro. Sin embargo el titanio puede protegerse por los iones de cloro.

El proceso por el que se consigue la protección anódica se denomina anodizado, siendo el que se aplica al aluminio uno de los más significados. Las capas de óxido de aluminio, por procedimientos electrolíticos, o de anodizado, presentan una gran resistencia a la corrosión y constituyen una base excelente para una posterior coloración.

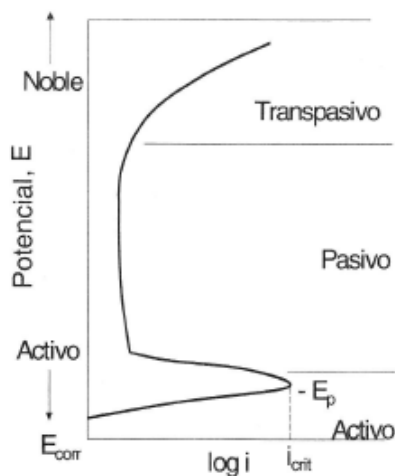


Fig. 1.18. Curvas potencioestáticas de oxidación anódica.

1.5.5 Procesos para obtención de recubrimientos por proyección térmica (termorociado)

Comprende un grupo de procesos por los cuales se recubre un sustrato por un material metálico o cerámico que se deposita en estado fundido. El recubrimiento así obtenido puede dar al sustrato óptimas resistencias superficiales al desgaste y/o a la corrosión. Las aplicaciones de este proceso son muy variadas, tanto polvos metálicos como cerámicos que recubren superficies generalmente metálicas, destinados a mejorar su resistencia a la corrosión y la resistencia al desgaste. Así se aplican, a piezas de bombas hidráulicas, camisas, ejes, pistones, etc. Sin olvidar aplicaciones destinadas a la recuperación de piezas que han sobrepasado los límites del desgaste admisible.

El proceso de proyección térmica tiene sus antecedentes en la técnica de soldadura oxiacetilénica destinado al corte de productos férricos, sí bien con el objetivo contrario: incorporar a las superficies seleccionadas de un recubrimiento, cerámico o metálico, adherido por mecanismos similares a los procesos de soldeo. El fundamento de los procesos para obtención de recubrimientos a superficies es:

Tabla 1.2. Componentes que conforman una pintura.

Componente	Estado físico del componente
Aglutinante o resina, vehículo no volátil.	Líquida
Disolvente, vehículo volátil.	Líquida
Pigmento o mezcla de pigmentos	Sólida

Naturalmente, la pintura líquida suele contener otros constituyentes, llamados secundarios, aunque no por ello carentes de importancia, que se adicionan con fines específicos, como los diluyentes, plastificantes, materiales de relleno, colorantes, etc. El componente formador de la película o aglutinante, frecuentemente de naturaleza orgánica, decide en gran medida las propiedades básicas, físicas y químicas de la pintura. El proceso de curado, o formación de la película sólida, puede obedecer a mecanismos distintos, e incluso a una combinación de ellos, que determina el grado de compatibilidad entre ellos. Los principales mecanismos son:

- Oxidación. La película se forma como resultado de la reacción del aglutinante de la pintura con el oxígeno del aire, polimerización autooxidante. Pertenecen a esta categoría las pinturas basadas en aceites secantes o resinas alcídicas modificadas con aceite.
- Evaporación. El formador de película, resina, queda sobre la superficie una vez el disolvente de la película líquida depositada ha escapado a la atmósfera. Son ejemplos de este mecanismo las lacas nitrocelulósicas, vinílicas, acrílicas, derivados del caucho, etc.
- Condensación. El polímero se forma debido por la reacción de dos o más componentes de la pintura, no siendo ninguno de ellos, por sí mismo, formador de película. Las pinturas epoxídicas pertenecen a esta categoría.

- Coalescencia. La película sólida se cuando el material dispersante abandona la película líquida. El dispersante es usualmente el agua, aunque también puede serlo un disolvente débil. Los recubrimientos más comunes son los denominados, látex, siendo las emulsiones acrílicas y las vinil-acrílicas los tipos genéricos de mayor utilización.

Los recubrimientos de pintura tratan de impedir, o al menos frenar, el proceso corrosivo del sustrato metálico por alguno, o algunos, de los siguientes mecanismos:

- Efecto barrera. La película de pintura limita el acceso a la superficie del metal de las especies químicas presentes en el electrolito, agua, oxígeno, iones, etc. Se está actuando sobre el ánodo de la pila de corrosión. En la práctica las películas de pintura no son totalmente permeables al agua y al oxígeno de modo que la reacción catódica y anódica del proceso de corrosión puede suceder.
- Efecto inhibidor. Las películas de pintura pueden contener en su formulación pigmentos inhibidores de la corrosión, de modo que cuando el electrolito difunde a través del recubrimiento hacia el metal y se crean las condiciones propicias para que se verifique el proceso de corrosión aquellas especies inhibidoras incrementan la polarización de los ánodos y los cátodos, reduciendo por lo tanto la magnitud del fenómeno corrosivo.
- Efecto de protección catódica. Ciertas pinturas están formuladas basándose en pigmentos metálicos, usualmente cinc, que actúan como ánodo en beneficio del soporte metálico que actúa de cátodo.

Tabla 1.3. Grado de compatibilidad entre pinturas comúnmente aplicadas: compatibles (C), incompatibles (NR) y tolerables, (C*).

Pintura de acabado		Oxidación					Evaporación del disolvente			Polimerización			
		Oleoresinosa	Alcídica	Con silicona	Fenólica	Epoxi Ester	Acrílicas	Vinílicas	Clorocaucho	Epoxi	Epoxi-Alquitrán	Poliuretano	Poliéster
Imprimación o Resina existente	Oleoresinosa	c	c	c	c	c	c*	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Alcídica	c	c	c	c	NR	c*	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Con silicona	c	c	c	c	NR	c*	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Fenólica	c	c	c	c	c	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Epoxi Ester	c	c	c	c	c	NR	NR	x	NR	NR	NR	NR
Evaporación del disolvente	Acrílicas	c	c	c	c	c	c	c	c	NR	NR	NR	NR
	Vinílicas	c	c	c	NR	NR	c*	c	c	NR	NR	NR	NR
	Clorocaucho	c	c	c	c	c	c*	NR	c	NR	NR	NR	NR
	Bituminosas	NR	NR	NR	NR	NR	c*	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Polimerización	Epoxi	NR	NR	NR	NR	c*	NR	c	NR	c*	c*	c*	c*
	Epoxi-Alquitrán	NR	NR	NR	NR	c*	NR	NR	NR	c*	c*	NR	NR
	Epoxi rica en cinc	NR	NR	NR	NR	c	NR	c	c*	c*	NR	p	NR
	Poliuretano	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	c*	NR	c*	c
	Poliéster	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	c*	NR	c*	c*
	Inorgánica de cinc	NR	NR	NR	NR	c*	c*	c*	NR	c*	c*	p	NR

1.5.7 Procesos de deposición en fase de vapor

Los procesos de deposición en fase vapor tienen como objetivo depositar sobre el sustrato una película delgada del recubrimiento a partir de sus vapores, tras un proceso de condensación. Las aplicaciones de los depósitos en fase vapor son muy numerosas tanto en piezas de microelectrónica, contactos óhmicos, barreras de difusión, aislamiento, como aplicaciones tribológicas resistentes al desgaste, nitruros de titanio, alúmina, nitruros complejos, o, también, aplicaciones de resistencia a la corrosión.

Los procesos de deposición en fase de vapor pueden analizarse en tres etapas principales que dan lugar a múltiples variantes en los procesos. Las etapas son:

- Creación la fase vapor de la especie del recubrimiento.
- Transporte desde la fuente al sustrato.
- Deposición y crecimiento del recubrimiento en el sustrato.

En líneas generales pueden distinguirse dos familias dominantes de los procesos de deposición:

- Los basados en fenómenos físicos: Las variantes apoyadas en diferenciados fundamentos físicos más usuales en estos procesos de deposición son los de pulverización y los de evaporación. Con ellos se alcanzan espesores de capa que oscila entre 25 a 100 μm , y se aplican a especies inorgánicas, metales, aleaciones y mezclas, y también a algunas especies orgánicas.

- Los fundamentados en reacciones químicas: Se definen como los procesos en los que los productos reaccionantes en fase vapor se conducen a la cámara de reacción y mediante su activación, por medio del calor, del plasma o del láser, en la proximidad del sustrato, se produce la reacción y se deposita el producto sobre el mismo sustrato. Se depositan películas muy uniformes y de baja porosidad aún con las formas complejas de mismo. Después de la deposición los productos de reacción son extraídos de la cámara.

1.6 Ensayos de corrosión ^[5]

En el campo práctico del uso de los materiales se presentan daños de menor o mayor importancia causados por acciones químicas, bajo condiciones frecuentemente incontrolables, de diferente naturaleza y gran cantidad de aspectos. Para explicar las causas de los daños, son apropiados los ensayos de corrosión bajo condiciones conocidas y reproducibles, con una elección bien determinada e intencionalmente limitada de los factores decisivos del proceso de corrosión.

En general, los ensayos pueden ser naturales o de laboratorio. Los primeros son aquellos en los que la pieza a ensayar están sometidos directamente a las condiciones de ataque que se encuentran naturalmente en la práctica. Los ensayos de laboratorio, son ensayos realizados bajo condiciones de ataque regulables y logrados artificialmente. Su diferencia es que en los ensayos de laboratorio se emplean probetas pequeñas bien definidas y la composición y la calidad del medio agresivo pueden ser seleccionados. Los resultados de los ensayos naturales solo se obtienen en general, después de largos periodos de tiempo. Las condiciones de ataque son muchas veces variables y no controlables. Por su larga duración no siempre es posible acudir a estos ensayos.

1.6.1 Ensayos naturales

Son los que permiten el estudio más exacto de un material o del efecto protector de una medida determinada. Son la base de todos los ensayos de corrosión. En los ensayos naturales sólo se obtendrán resultados claros después de largos períodos de tiempo, es decir cuando hayan podido entrar en juego los factores acelerantes e inhibidores.

- Ensayos en la atmósfera: para el conocimiento fundamental de la atmósfera es necesario apreciar los siguientes agentes modificativos: irradiación solar, radiación del suelo, temperatura del aire, humedad, precipitaciones, viento, impurezas, entre otras. Además de las variaciones con las estaciones del año y las situaciones del lugar de ensayo. Hay que elegir el sitio de tal forma que existan en todos los puntos iguales condiciones atmosféricas y que no se encuentren perturbaciones debidas a humos, gases residuales, entre otras. Es muy importante la forma de colocación de las probetas, las cuales deben de estar en contacto con clavos y otras piezas metálicas; lo conveniente es fijar las probetas por un solo punto y dejarlas colgando libremente. Para poder comparar los resultados de los ensayos es también conveniente no solo realizar el ensayo de corrosión, sin controlar los factores importantes, siguiendo continuamente, por ejemplo humedad relativa, temperatura, contenido de gases agresivos entre otras.
- Ensayos en el agua o en el mar: los factores modificativos son menos. En estas condiciones puede tener mucha importancia la disposición de las probetas, debido a que muchas veces hay que tomar en consideración las corrientes intensas de agua que pueden arrastrarlas o perderlas. En la exposición al agua de mar un factor importante es el secado y humedecimiento alternativo de las probetas por el flujo y reflujo de la marea.

- Ensayos en el suelo: solo se puede formar un juicio decisivo sobre la corrosión de los materiales metálicos enterrados cuando los ensayos se ejecutan bajo las mismas circunstancias de la práctica, es decir, ajustando la calidad de los materiales y el medio agresivo a las condiciones de servicio. Para evitar dispersiones es necesario no ensayar ni tubos ni cables de menos de 1m de longitud. Los cuerpos huecos deben taponarse por ambos extremos. Para poder tener en cuenta el curso temporal del ataque es necesario emplear un gran número de probetas análogas, las cuales se van enterrando con el transcurso del tiempo y por lo menos dos cada vez. Con ello se provoca una alteración que debe mantenerse lo más pequeña posible. Es de gran importancia el contacto del agua del suelo con la probeta, por lo que es conveniente que una serie de probetas se encuentren sobre el suelo y otra segunda sumergida completamente en el mismo.

1.6.2 Ensayos de laboratorio

Uno de los fines más importantes de los ensayos de corrosión en el laboratorio es la limitación de las acciones atmosféricas, puesto que son las que afectan con máxima frecuencia en el tiempo de vida de los materiales. En el laboratorio no es posible tener en cuenta todas las variaciones, pues ello exigirá un número enorme de ensayos.

- Ensayos de niebla: para reproducir en el laboratorio la humectación de los objetos por la niebla, se emplean los dispositivos de pulverización con aire a presión para pulverizar la solución agresiva, de forma que actúe sobre las probetas en forma de finísimas gotas.
- Ensayos de inmersión alterna: los efectos de humedecimiento y secado, que en la atmosfera pueden darse por ejemplo a causa de la lluvia, se producen en el laboratorio mediante ensayos de inmersión alterna, las probetas se someten en ellos durante un

cierto tiempo el efecto de la inmersión en agua o en alguna solución acuosa y luego a una extracción lenta para que puedan secarse en el aire. Según las acciones que se desea imitar se emplean como medios agresivos el agua destilada, agua de grifo o soluciones al 3% de NaCl las pérdidas por evaporación se compensan con la adición de agua destilada.

- Ensayos de inmersión continua: para establecer el comportamiento de los materiales frente a las soluciones acuosas se emplean en el laboratorio los ensayos de inmersión continua. Las soluciones agresivas suelen estar contenidas en vasijas de vidrio y las probetas se mantienen suspendidas dentro de dichas vasijas de vidrio. Solo cuando es necesario evitar el efecto del oxígeno contenido en el aire se ensaya con vasijas cerradas. Lo más sencillo es colgar las probetas de horquillas de vidrio o de plástico. En los ensayos normales las probetas están totalmente sumergidas de tal forma que el nivel del líquido este aproximadamente 30 mm por encima del borde superior de la probeta. Para ello es necesario garantizar en un líquido en reposo con una distribución homogénea oxígeno. En ciertos casos también es deseable comprobar la corrosión en línea de contacto solución - aire. En este caso se recomienda ejecutar una serie especial de ensayos en los que por la aireación diferencial se formen pilas locales sobre la superficie de la pila.
- Métodos electroquímicos: la corrosión en soluciones acuosas es un proceso electroquímico. Como consecuencia de esto se nota la importancia de la electroquímica en los procesos de corrosión. Es lógico que por ello se empleen con frecuencia estos diseños, además tienen la ventaja de permitir obtener resultados en el laboratorio en periodos de tiempo corto y que afinando los métodos a medida, se pueden simular, explicar y comprobar muchas veces los procesos de corrosión. De los resultados de tales ensayos han resultado muchas veces procedimientos de protección eficaces. Hay que

tener en cuenta que estos ensayos exigen una aplicación muy correcta, ejecución especializada y que para que sus resultados puedan aplicarse con utilidad, es requisito poseer conocimientos especializados. Entre los ensayos que se realizan pueden citarse:

- Medidas de potencial contra tiempo.
- Medidas de la intensidad de corriente contra tiempo.
- Medidas de potencial / corriente contra tiempo.

1.6.3 Obtención de resultados en ensayos de corrosión

Los resultados de ensayos de corrosión se evidencian a partir de las variaciones de la superficie del material y el agente corrosivo.

- La superficie del metal: la observación a simple vista de la superficie del metal que se corroe es el método más racional y sencillo, por lo tanto el más frecuentemente empleado para juzgar sobre la corrosión. Con tal observación se presta atención, a la forma y la cantidad en que los productos de la corrosión se han depositado sobre las superficies, si la corrosión transcurre sin formación de productos sólidos o si los daños producidos sobre la superficie son grietas, fisuras. Como es natural se tiene que fijar si el ataque es uniforme o localizado con picaduras. Cuando la corrosión es localizada podemos estimar el grado de corrosión por la magnitud y la distribución de los lugares corroídos.
- Investigaciones microscópicas de la superficie: en las investigaciones modernas se han empleado las observaciones en campo claro y en campo oscuro, la iluminación oblicua y el contraste de fase puede ser de mucha utilidad el empleo de luz polarizada o ultravioleta.

- Investigaciones de las superficies con microscopio electrónico: el microscopio electrónico se ha empleado con éxito para el estudio de los procesos de oxidación y es de gran utilidad para casos de exigencias grandes y para reconocer las más pequeñas diferencias locales de la calidad superficial.

- Reconocimiento de defectos superficiales, grietas: en la corrosión se producen con frecuencia defectos superficiales cuyo reconocimiento es importante para juzgar el proceso de ataque. Los defectos resultan más perjudiciales en el uso, por lo que respecta a las sollicitaciones mecánicas, las grietas que muchas veces no se descubren a simple vista. Para comprobar su existencia se han desarrollado una serie de ensayos no destructivos. Como los más conocidos se pueden citar:
 - Humectación con líquidos volátiles.
 - El empleo de materiales fluorescentes.
 - El empleo de polvos magnéticos
 - Indicadores radiactivos y los ultrasónicos.

- Determinación de las variaciones de peso: en la mayoría de los ensayos de corrosión se mide la magnitud por las variaciones de peso en las probetas. Para ellos es necesario conocer el peso y las dimensiones de las probetas cubiertas por los productos de corrosión. Para encontrarlo se secan las probetas a 150°C y se enfrían, después se pesan. Solo una vez hecho esto se elimina la capa de los productos de corrosión procurando que no se ataque el metal y como control se someten al mismo tratamiento las probetas con y sin ensayo de corrosión. Para eliminar la capa de productos de corrosión se pueden emplear varios métodos:

- Limpieza manual mecánica: la remoción se hace con la simple aplicación de un paño remojado en algún solvente, más la utilización de algún instrumento abrasivo como una escobilla de acero o papel de lija.
 - Decapado mecánico: se realiza mediante chorro de arena de cuarzo, mediante granalla u otros similares.
 - Decapado químico: consiste en remover mediante la utilización de sustancias químicas, normalmente ácido clorhídrico, el óxido y otras impurezas
-
- Determinación de la disminución del espesor: la característica más sencilla de determinar es la disminución del espesor. En el caso de ataque uniforme la disminución del espesor se puede calcular a partir de la pérdida de peso. Se construye una tabla con las relaciones entre la pérdida de peso en $[g/m^2]$ por día y disminución de espesor en $[mm/año]$.
 - Determinación de la naturaleza, profundidad del ataque y de las variaciones de estructura: el examen metalográfico de las probetas pulidas, cortadas normalmente a la superficie corroída de la pieza, permiten una observación muy buena del proceso de corrosión. Para evitar que en la preparación se altere el borde correspondiente a la superficie, suele ser necesario el montaje de la probeta, en resinas artificiales. Actualmente se ha permitido el empleo de polvo de diamante para pulir muestras de aleaciones corroídas o con cascarilla.

1.7 Reseña histórica del ensayo de niebla salina

La corrosión de los metales es un fenómeno que causa grandes pérdidas monetarias anualmente en el mundo. Por eso es común que para determinar los materiales más rentables a usar en un ambiente corrosivo, los fabricantes rutinariamente prueban materias primas,

ensambles parciales, artículos terminados y analicen al azar muestras de producción. La prueba de niebla salina fue inventada en 1914 por el entonces director de la “National Bureau of Standards” el Ingeniero J. A. Capo, quien buscando una prueba que reprodujera los efectos de las condiciones del mundo real pero de forma acelerada y con variables controladas, se percató que el agua de mar pulverizada corroía más rápido de lo normal, el resultado después de variaciones y modificaciones al ensayo original de niebla salina fue la creación de la norma ASTM B117 – 1939. Durante la década de los cuarenta las cámaras para realizar estos ensayos fueron muy empleadas, y se presentaron numerosos problemas. Muchos usuarios decían que la operación de estas cámaras estaba sujeta a la interpretación del usuario y que varios factores críticos no fueron definidos en la norma. Después de la finalización de la primera guerra mundial y el surgimiento de la sociedad de consumo se empezó a demandar una mejor calidad de los productos, extendiéndose el empleo de este tipo de ensayos. Luego de esto la prueba sufrió numerosas correcciones, modificaciones y estandarizaciones hasta que eventualmente en 1955 fue refinada hasta donde era posible.

En muchos artículos, de la década del 50 y la principal discusión se centraba en que los ensayos de niebla salina no eran reproducibles y que los resultados eran inconsistentes. La ASTM “American Society for Testing and Materials” y numerosos grupos industriales se dedicaron a trabajar en la solución del problema, pero nuevamente otro inconveniente hizo retroceder la investigación detectándose contradicciones en pruebas realizadas a parachoques y partes plateadas de cromo, hallando diferencias de 22 a 296 horas en presentar corrosión para partes plateadas de iguales características, esta investigación la realizó un grupo de científicos australianos. Debido a estos resultados se determinó que la prueba de niebla salina era ineficaz en partes cromadas, haciendo que la idea de la corrosión acelerada fuera nuevamente revisada.

Por ese tiempo una nueva prueba, la “Copper Accelerated Salt Spray Test (CAAS)” fue desarrollada y adoptada por la ASTM para ensayos de parte cromo-plateadas de aleaciones de zinc, finalmente se dio como resultado que la prueba de niebla salina no es un ensayo reproducible para este tipo de recubrimientos, debido a que la solución salina empleada no afecta de la misma forma a varias capas del mismo modo. Los recubrimientos de sacrificio como el del zinc son capaces de ser correlacionadas en horas en la prueba de niebla salina, mientras las películas orgánicas permanecen impenetrables durante cientos de horas y fallan desastrosamente poco después de que la barrera superficial es vulnerada. Otros estudios han llegado a la conclusión que la ASTM B117 no proporciona una prueba buena para los recubrimientos con aleaciones de aluminio o falla en la predicción de los efectos de la composición en recubrimientos de aleaciones de zinc-aluminio sobre el acero rolando en frío. Otra necesidad creciente de ensayos de corrosión fue por parte de la industria automotriz para probar las superficies pintadas de los automóviles.

En la ejecución de las pruebas uno de los problemas reportados fue que cuando un material pintado es evaluado usando la prueba de niebla salina, no existe ninguna exposición a la luz ultravioleta, que es una causa común del deterioro de las pinturas y bases. Esta es una omisión seria, ya que los mecanismos de falla que finalmente hacen que la hoja de acero pintada se deteriore no son típicamente incluidos como condiciones en la prueba de spray salino. Se podría listar muchos motivos por los cuales no se guarda una relación entre los resultados obtenidos por la prueba de la niebla salina con las condiciones de exposición en condiciones reales. Varios de los inconvenientes más significativos con la prueba son:

- La superficie de los especímenes de prueba es constantemente mojada, sin pasar por ciclos secos y esto no pasa en el campo.
- La temperatura de la cámara de prueba esta a una temperatura elevada y constante

(35 °C), que aumenta el agua, el oxígeno y el transporte de iones en comparación con lo ocurrido en el campo.

- El contenido de cloruro es muy alto (5%), impidiendo al zinc formar una película pasiva que es lo que ocurre en el campo.
- Las condiciones de la cámara son condiciones insólitas y severas que raramente ocurren durante la intemperie.

Muchos usuarios debido a mayores exigencias o requerimientos para sus productos o materias primas se han cambiado de la norma ASTM B117 a otras normas de ensayos que cumplen con sus características, pero con modificaciones para hacerlas más adecuadas a necesidades específicas. Las pruebas de corrosión cíclicas parecen reflejar el mundo real mucho mejor que la prueba de niebla salina, las investigaciones parecen indicar que la corrosión no puede ser acelerada a una relación mayor de 10:1 sin perder resultados significativos. Esto significa que una prueba de corrosión de 5 años no podría ser hecha en menos de 6 meses.

El desarrollo reciente en el intento de reproducir las verdaderas pruebas mundiales de 6 meses en condiciones de laboratorio ha producido resultados razonables y la investigación sigue el mejoramiento de esta idea. Varios tipos y las condiciones de pruebas de corrosión cíclicas están siendo probados hoy. Las muestras pasan a través de ciclos de caliente/frío, sal/agua y luego son evaluados sus cambios de aspecto y peso para llegar a correlaciones entre tiempo y condiciones de exposición con niveles de corrosión.

A pesar de los innumerables estudios efectuados con otras pruebas y mejoras realizadas al ensayo de niebla salina descrito por la norma ASTM B117, los resultados obtenidos siguen arrojando datos muy claros de gran ayuda al sector industrial y científico

determinado de cierta forma el comportamiento de los metales en atmosferas corrosivas o en su ambiente de servicio lográndose de una manera rápida y aproximada cuantificar su resistencia a la falla frente al fenómeno de la corrosión. En el desarrollo científico de la prueba de niebla salina se ha logrado identificar claramente las aplicaciones para las cuales se puede emplear con resultados satisfactorios y confiables así como áreas en las cuales este ensayo no es aplicable. La calidad y la reproducibilidad de las pruebas de niebla salina dependen directamente de un respeto riguroso de los parámetros de ensayo, descritos en particular por la norma ASTM B117. El ensayo de niebla salina según el estándar ASTM B117 se puede emplear:

- Si un producto o espécimen de prueba requiere pasar una cierta especificación.
- Si se desea aumentar su credibilidad teniendo los resultados de la prueba.
- Si se requiere comprender como se comporta el producto en un ambiente corrosivo
- Si se requiere probar distintos tipos o espesores de recubrimiento para seleccionar la más adecuada para una aplicación.
- Si se requiere medir la resistencia a la corrosión relativa de materiales estrechamente relacionados.
- Para calificación de proceso y aceptación de calidad.
- Porque es aplicable a metales/aleaciones y sus recubrimientos.
- Si se requiere proveer un ambiente corrosivo controlado que representa el tipo de condiciones atmosféricas marinas aceleradas.
- La reproducibilidad de resultados puede ser afectada por el tipo de espécimen, por detalles en la condición de superficie circundante del espécimen, criterios de evaluación, variables de operaciones y el tipo de la cámara de prueba.
- La correlación de los resultados de la prueba con el desempeño en servicio, solo puede ser considerada si es apoyado por resultados de exposiciones atmosféricas en condiciones de servicio a largo plazo.

- Los resultados de resistencia a la corrosión de la niebla salina tienden a diferir de la resistencia a otros medios, y para ellos se diseñan pruebas alternativas.

La Tabla 1.4 muestra como se clasifican los materiales o productos que requieren del ensayo de niebla salina:

Tabla 1.4. Clasificación industrial de productos que requieran la prueba de niebla salina.

Materiales y/o superficies.	Productos o elementos que requieren la prueba de niebla salina.
Materiales arquitectónicos y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Pinturas interiores, exteriores y barnices. • Acabados orgánicos e inorgánicos. • Materiales de construcción
Materiales automotores / materiales de transporte y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Pinturas y barnices. • Acabados brillantes
Superficies resistentes a la corrosión	<ul style="list-style-type: none"> • Capas protectoras y revestimientos • Acabados plateados y pintados
Materiales aeroespaciales/ militares y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Pinturas y capas • Materiales de construcción • Herramientas y componentes
Materiales marítimos y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Pinturas y recubrimientos • Acabados galvanizados
Sistema eléctrico, electrónicos y competencia	<ul style="list-style-type: none"> • Motores interruptores y relés • Transformadores y suministros de energía • Tarjetas de circuitos impresos y ensamblajes

1.8 Resumen de la norma ASTM B117 “Salt Spray Test”

En la norma ASTM B 117 se describen las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente de niebla salina. Por consiguiente no prescribe el tipo de espécimen de prueba o periodos de exposición a ser usados para un producto específico, ni la interpretación que se le daría a los resultados. A continuación se presentan los parámetros principales que exige la norma para la construcción del equipo:

- El aparato requerido para la exposición de la niebla salina consiste en una cámara sellada que contenga la niebla, un contenedor para almacenar la solución salina, un suministro de aire comprimido apropiadamente acondicionado (libre de aceite y partículas), uno o varios inyectores que atomizan la solución salina, apoyos para los especímenes de prueba, elementos calefactores para la cámara y medios necesarios para el control de la temperatura.
- No se permite que el condensado formado en la superficie de la tapa de la cámara caiga sobre los especímenes de prueba.
- Las gotas de la solución será tal que no sea afectado por la niebla corrosiva.
- Todo el agua usada para en la práctica deberá cumplir con el tipo IV de agua según la especificación ASTM D1193. Este no se aplica al agua corriente de chorro.
- A menos que se especifique lo contrario, los especímenes serán apoyados o suspendidos entre 15° y 30° de la vertical y preferentemente paralela a la dirección principal del flujo de la niebla en la cámara, basada sobre la superficie dominante que será probada.
- Los especímenes no se pondrán en contacto el uno con el otro o ni con otro material metálico ni con cualquier otro material capaz de actuar como un fieltro.
- Cada espécimen será colocado para permitir la circulación libre de la niebla sobre todos los especímenes.
- La solución salina de un espécimen no debe gotear sobre los otros especímenes.

- El abastecimiento de aire comprimido al inyector o inyectores para atomizar la solución salina deberá estar libre de aceite y suciedad y deberá ser mantenida entre 10 psi y 25 psi (69kpa/m² y 172Kpa/m²).
- La temperatura en la zona de exposición de la cámara de niebla salina será mantenida en 35 °C con una tolerancia de +1.1 °C o -1.7 °C (95 °F, +2 °F, -3 °F). el valor de la temperatura se debe poder ver sin que la cámara sea abierta, para evitar falsas lecturas.
- Se deben colocar al menos dos colectores de niebla limpia dentro de la zona de exposición de tal forma que no caigan gotas de los especímenes o de otra fuente, dentro del área de colección. Los colectores deben ser colocados en la proximidad de los especímenes de prueba, uno cercano a cualquier inyector y otro más apartado de los inyectores, la niebla deberá ser tal que para cada 80 cm² de área de recolección horizontal será colectado en cada uno de 1.0 ml a 2.0 ml de la solución por hora basada en un promedio de funcionamiento de la cámara de al menos 16 horas. La concentración de cloruro de sodio de la solución colectada será $5 \pm 1\%$ de peso. El pH de la solución colectada será de 6.5 a 7.2.
- El inyector o los inyectores deben ser dirigidos de tal manera que la niebla sea dispersa de forma que ninguna partícula pulverizada impregne directamente a los especímenes de prueba.
- Se debe cuidar que en la línea de solución que alimenta las boquillas, tengan filtros adecuados para evitar que se obstruyan.
- La cámara debe estar construía de forma que durante las pruebas permanezca sellada, para que no se afecten otros equipos y muebles con la niebla.
- El flujo de aire hacia las boquillas debe permanecer constante durante toda la prueba, a excepción que interrupciones cortas esporádicas para inspeccionar, reajustar o quitar especímenes de prueba, comprobar y rellenar la solución en el embalse.

1.9 Características comunes del equipo empleado en la realización del ensayo de corrosión por niebla salina

El equipo empleado para este propósito se le conoce como cámara de niebla salina. En la Fig. 1.20 se representa un esquema básico de la cámara. A continuación se describirán los componentes comúnmente encontrados en este tipo de equipo.

- 1) El panel de instrumentos: en la consola se centralizan todas las operaciones (instrucciones, ajustes, controles y sistemas de seguridad) que son controlados por un microprocesador digital y se muestran sobre el panel la información de las variables y configuraciones. Haciéndole más fácil al usuario el manejo del equipo y el control de las variables. Este tipo de instrumentos pueden ser más o menos sofisticados dependiendo de la calidad del equipo, y del precio del mismo. Dentro de las variables que pueden manejar los instrumentos de control pueden ser:
 - Humedad
 - pH
 - Temperatura
 - Presión
 - Caudal
 - Nivel
 - Tiempo
- 2) Tanque de solución: su función es contener la solución corrosiva con la que se genera la niebla, y de su capacidad de almacenamiento depende el tiempo máximo que puede durar el ensayo sin requerir la preparación de más solución. Un parámetro básico es que para pruebas de corta duración se instalan tanques incorporados a la cámara con una capacidad máxima de 60 galones (227 litros) para 72 horas de operación. Para pruebas de mayor duración, normalmente se emplean tanques auxiliares externos, algunas

capacidades para estos tanques empleados comúnmente se presentan en la tabla 1.5, comúnmente estos depósitos se equipan con un sistema de control de nivel que indica mediante la alarma al operario cuando el nivel de solución es bajo, para que sea reabastecido de solución.

Tabla 1.5. Capacidades típicas de tanques para la solución salina.

Capacidad (US Gal)	Capacidad (Litros)
7	26
11	41
16	61
22	82
40	151
60	227
105	400
264	1000

- 3) Torre de dispersión central: la solución es filtrada en la base de la torre para evitar los sólidos contenidos y luego es llevada por un conducto a un pulverizador (spray) por un flujo de aire ajustable. El pulverizador que se encuentra en la parte superior de la torre, y su altura se puede ajustar para asegurar que la niebla se distribuya homogéneamente, y el cuerpo de la torre se encarga de evitar que las gotas grandes caigan sobre las probetas como se presenta en la Fig. 1.21, en la base de la torre está un reservorio auxiliar de solución, que es alimentado desde el tanque principal y este posee una válvula con control de nivel, debido a que es de mucha importancia para el funcionamiento del equipo que éste permanezca constante.

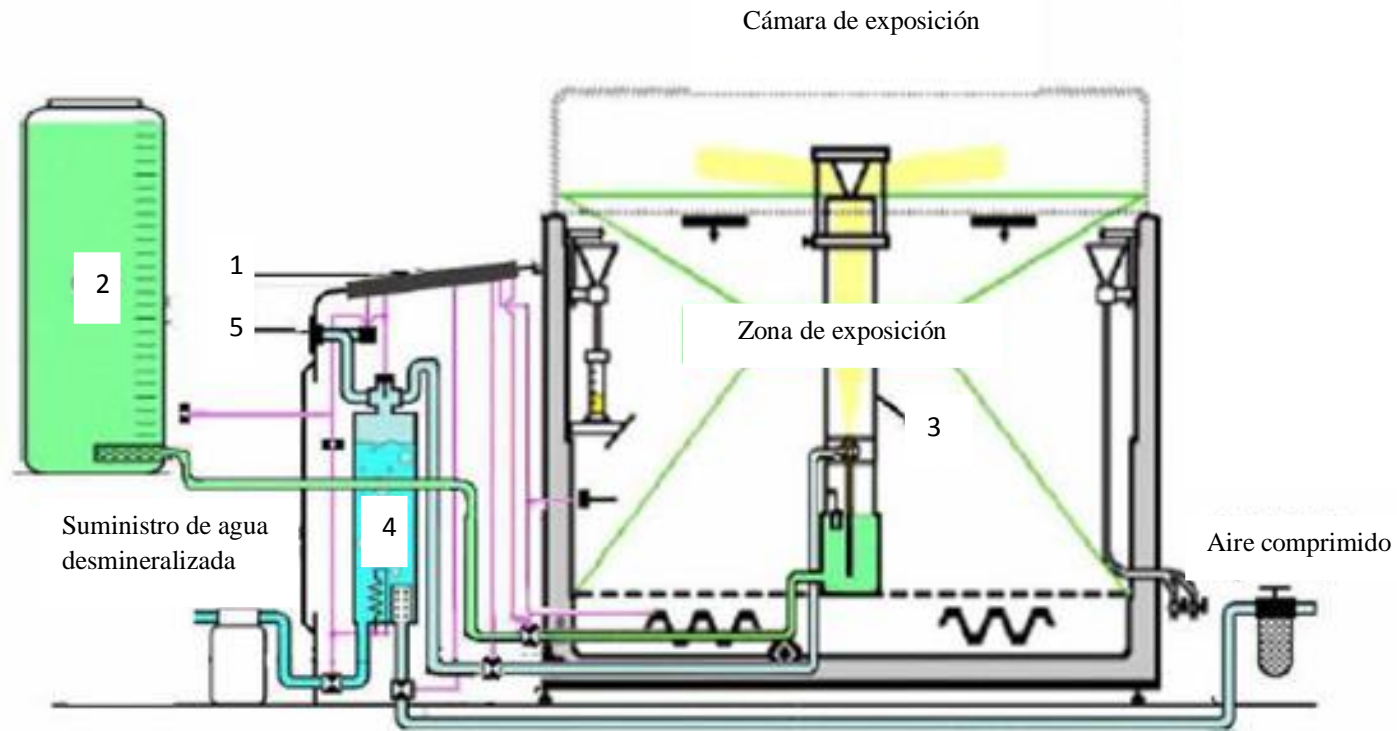


Fig. 1.20. Esquema de una cámara de niebla salina, 1) panel de instrumentos, 2) tanque de solución, 3) torre de dispersión, 4) saturador, 5) manómetro.

- 4) Saturador (humidificador): el objetivo de este dispositivo es incrementar la humedad del aire comprimido a valores de hasta el 100% y subirle la temperatura. Esto se logra haciendo pasar el aire limpio, previamente filtrado a través de un volumen de agua caliente (burbujeo) quitándole humedad y calor a la misma. El saturador debe permanecer con un nivel de agua desmineralizada constante, así que se le provee de un sistema de control de nivel automático, y además se le adiciona un dispositivo de seguridad que suspende el calentamiento cuando este excede los límites de temperaturas.
- 5) El manómetro: este presenta permanentemente la medida de la presión del aire comprimido que se suministra al spray.

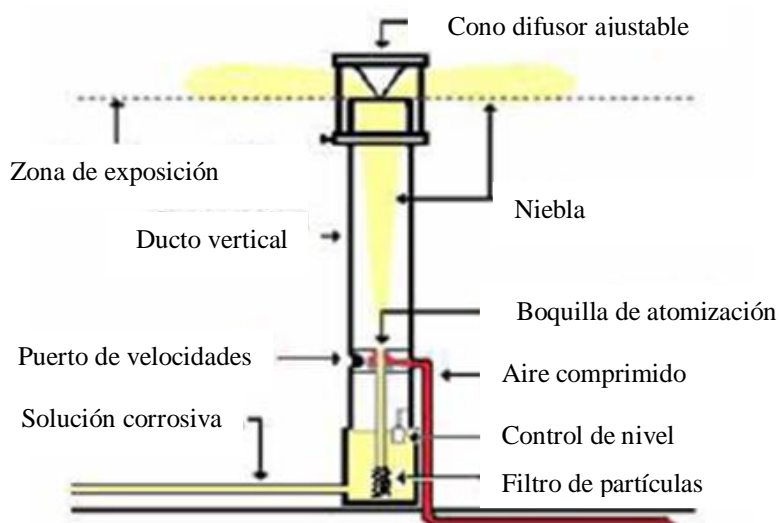


Fig. 1.21. Partes de la torre de aspersión.

- 6) Conducto de aireación: este permite la evacuación de la niebla corrosiva al exterior del laboratorio o del sitio donde se tenga el equipo para evitar que se afecten los equipos aledaños
- 7) Conducto de desagüe (sifón): su función es evacuar el condensador y el agua del lavado de la cámara.

- 8) Atomizador o pulverizador: en este tipo de atomizador la energía cinética conferida a un gas, en este caso aire se utiliza para la desintegración de la solución salina. El principio de funcionamiento de este tipo de atomizadores se basa en los esfuerzos de corte que se desarrollan en la interfaz entre el gas y el líquido. La atomización se lleva a cabo alimentando el líquido junto con una corriente de aire a alta velocidad dentro de un espacio circular llamado cámara de mezclado. El orificio de salida de la cámara de mezclado es conocido como orificio de descarga. El flujo en dos fases que se forman cuando los dos fluidos involucrados en la atomización interactúan dentro de la cámara de mezclado y se conduce hacia el orificio de descarga. una porción del líquido se desintegra en pequeñas gotas dentro de la cámara de mezclado y la otra parte sale del orificio de descarga en forma de una lámina delgada de líquido, la cual se rompe en pequeñas partes que posteriormente forman gotas de varios tamaños creando la niebla.

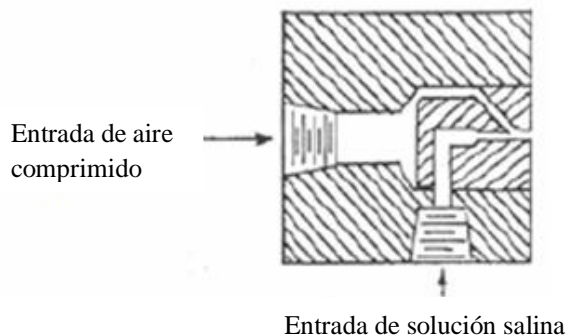


Fig. 1.22. Esquema básico de un atomizador.

- 9) Cubierta: muchos de los equipos que se encuentran en el mercado poseen una cubierta (tapadera) transparente para poder tener una inspección visual de lo que ocurre dentro de la cámara y el progreso de la corrosión en las muestras. La cubierta debe estar provista de un sello hermético que puede ser húmedo o seco para evitar los escapes.

- 10) Cámara de exposición: comúnmente se fabrica de resina poliéster con un acabado suave y reforzado con fibra de vidrio. También, se fabrican de otros materiales, pero todos ellos deben cumplir con la característica de no corroerse fácilmente, y poder resistir variaciones repetidas de humedad y temperatura. La cámara debe poseer un sistema de calefacción con un control de temperatura que permita mantener una temperatura constante, uniforme y con sistema de seguridad. La cámara debe poseer un aislamiento térmico en sus paredes que minimice las pérdidas de calor hacia el exterior, el piso de la cámara debe tener una inclinación para evitar que se formen charcos, y que el condensado pueda ser evacuado por el sifón.

2.0 DISEÑO DE LA CAMARA^[6]

En este capítulo del trabajo se desarrolla el proceso de selección y diseño de elementos y/o materiales que se usaran en la construcción de la cámara de nebulización, se detallan algunas características o consideraciones usadas por el diseñador, esquemas ilustrativos que presentan las dimensiones y formas de los elementos así como también una breve explicación de su función dentro de todo el conjunto que lo compone, basándose siempre en las condiciones establecidas por la ASTM en su norma B-117.

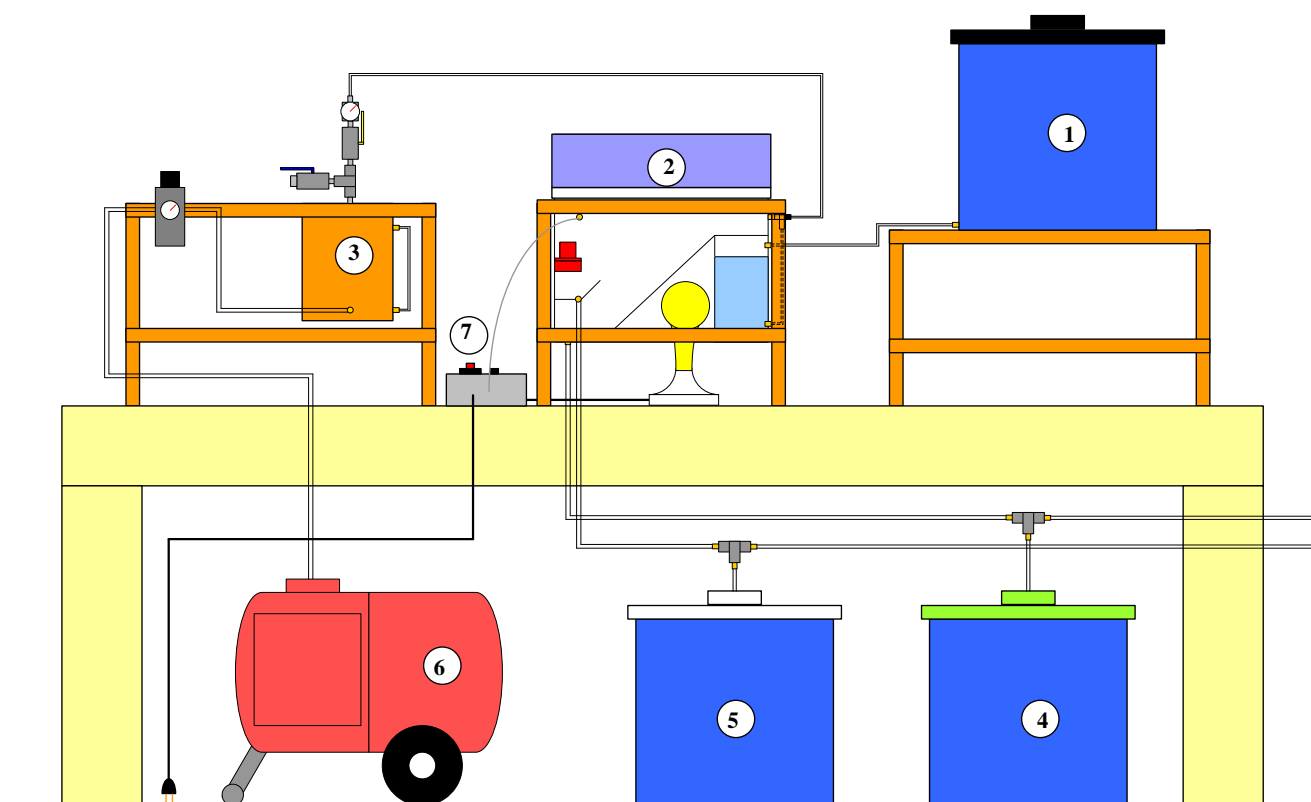


Fig. 2.1. Esquema de conjunto de la cámara de niebla salina y sus elementos. 1-tanque de solución salina, 2-cámara de niebla salina, 3-sistema de suministro de aire, 4-tanque de recuperación de agua salina, 5-tanque de recolección de agua salina sucia, 6-compresor, 7-sistema de control de temperatura

2.1 Consideraciones de diseño

Las consideraciones de inicio para el diseño de la cámara de niebla salina fueron:

- El diseño debe respetar las restricciones y condiciones establecidas por la norma B-117 “Salt spray (Fog) test” de la ASTM.
- La duración máxima de los ensayos realizados por el equipo serán 7 días, parámetro elegido condiciones establecidas por la norma B-117 “Salt spray (Fog) test” de la ASTM.
- Disponibilidad de suministro eléctrico, de aire y drenaje.
- El equipo debe ser estéticamente adecuado
- Debe ser práctico en su uso y al mismo tiempo didáctico
- El equipo debe ser capaz de operar con la mínima asistencia humana durante el tiempo que durara el ensayo.
- Dimensiones de cámaras existentes en el mercado.
- El equipo deberá ser lo más económico posible sin perder su funcionalidad.

2.1.1 Cámara de niebla salina

Esta es la parte del equipo que estará sometida al ambiente corrosivo, alta humedad y a cambios de temperatura. Las consideraciones a tomar en cuenta para la selección del material de construcción de la cámara son: resistencia a la corrosión, impermeabilidad, bajo índice de absorción de agua, acabado superficial liso, resistencia a impactos que podrían producirse dentro y/o fuera de la cámara, visibilidad, operatividad a la temperatura de trabajo ($35\text{ }^{\circ}\text{C} + 1.1 - 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$) y a la temperatura máxima que se encontrará dentro de ella (80°C). Comúnmente se fabrican de resina poliéster con un acabado suave y reforzado con

fibra de vidrio aunque la norma B-117 de la ASTM no es rígida y permite la elección de otros materiales siempre y cuando cumplan con las condiciones que la norma establece. Para este diseño se selecciono el vidrio, debido a sus características positivas ideales para el proyecto a pesar de tener otras características negativas.

Entre las características positivas están

- Bajo costo
- No reacciona con otros elementos
- Soporta la temperatura de trabajo (35 °C)
- Impermeable
- Baja conductividad térmica
- Visualmente ideal para uso didáctico

Entre las características negativas están

- Fragilidad
- Maquinabilidad complicada

Tabla 2.1. Propiedades generales del vidrio

densidad	2500 kg/m ³ .
peso	2.5 kg/m ² por cada milímetro de espesor.
Punto de ablandamiento	730 °C, aproximadamente.
Conductividad térmica	1.05 w/mK. La transmitancia térmica $C = 1/r$. W/m ² K.
Coefficiente de dilatación lineal	9×10^{-6} °C, para vidrio entre 20 °C y 220 °C.
dureza	6 a 7 en la escala de Mohs.
Modulo de Young	720 000 kg/cm ²
Coefficiente de poisson	0.22 a 0.23
Resistencia química	Resistente a todos los agentes químicos excepto acido Hidrofluorídrico y a alta temperatura el acido fosfórico
Resistencia mecánica	Esfuerzos de tracción: 300 a 700 kg/cm ² . Esfuerzos de compresión: 10 000 700 kg/cm ² .
Modulo de rotura	Vidrios recocidos 350 a 550 kg/cm ² Vidrios templados 1850 a 2100 kg/cm ²
Modulo de trabajo	Vidrio recocido carga momentánea 170 kg/cm ² Vidrio recocido carga permanente 60 kg/cm ² Vidrio templado 500 kg/cm ²

Para el dimensionamiento de la cámara de niebla salina se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Especificaciones de dimensiones de cámaras existentes en el mercado.
- Tamaño y tipo de probetas a usar dentro de la cámara.
- Tipo de sello seleccionado de la cámara para proteger a otros equipos de la niebla
- Tipo de soportes seleccionado para el porta probetas, se eligió una estructura de vidrio horizontal con paneles verticales colocados equidistantes entre si
- Tipo de evacuación de condensado limpio, se eligió un sistema de rampa que redirigirá el condensado hacia el drenaje ubicado en el lado izquierdo de la cámara.
- Cubierta de la cámara, por el tipo de material seleccionado se decidió por una cubierta en forma una “V” invertida con una abertura de 125°, la que permite que el condensado fluya a través de las paredes hacia el piso
- Tanque auxiliar de solución salina, se eligió adosarla a la pared derecha de la cámara de modo que permita la creación de la rampa que dirige el condensado al drenaje y de la cámara seca que contiene al elemento calefactor
- Atomizador, se selecciono una “T” de plástico y se situó por encima del tanque auxiliar de modo que la niebla salina se proyecte en dirección de las probetas
- Elemento sensor de temperatura, se eligió un termostato que trabaja a 35 °C, con un intervalo de 0 a 99 °C para cumplir con la norma B-117 de la ASTM
- Elemento calefactor, se eligió usar un foco incandescente de alta potencia (300 W) debido a que soporta mejor el desgaste que sufrirá al estar encendiéndose y apagándose frecuentemente durante el ensayo
- Marco estructural, se diseño un armazón rígido constituido por barras cuadradas de 1 pulg y 0.06 in de espesor (chapa 16)

La cámara está constituida por paneles de vidrio de 5 mm de espesor, los cuales forman paredes, repisas, piso, techo, rampas o reservorios dentro de la cámara. Una tubería flexible de drenaje por donde el condensado de la solución salina cae hacia un depósito recolector y el aire excedente es evacuado fuera de la habitación. Un sistema de control de la temperatura dentro de la cámara que permite mantener una temperatura de trabajo de $35\text{ }^{\circ}\text{C} + 1.1\text{ }^{\circ}\text{C} - 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, constituido por un termostato, un térmico para la protección del sistema, un switch para conectar y desconectar el voltaje y un elemento calefactor (foco incandescente). Un sistema de alimentación de solución salina a través de un reservorio auxiliar dentro de la cámara de niebla salina, dicha solución salina es la utilizada para crear la niebla salina. Un sistema de suministro de aire y un atomizador el cual se encarga de producir la niebla salina. Un techo en forma una “V” invertida con un ángulo de apertura de 125° que conduce a la niebla condensada hacia las paredes de la cámara para que se deslicen hacia el drenaje en piso de la cámara de corrosión. Por un porta probetas que se encarga de proveer de un apoyo para las muestras que se ocupan en el ensayo de corrosión y por una marco estructural para la cámara, con la que se le pretende dar rigidez a la cámara, seguridad al desplazarla y protección contra pequeños movimientos o golpes ocasionales que puedan surgir durante su operación.

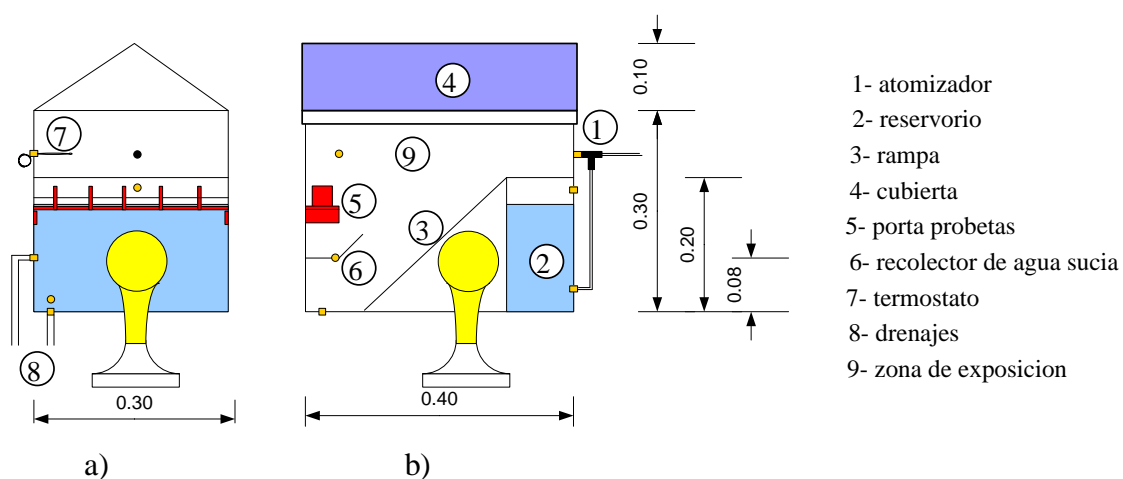


Fig. 2.2. Esquema y dimensionamiento de la cámara de niebla salina a) vista lateral derecha b) vista frontal

2.1.2 Sistema de generación de niebla salina

Este sistema está constituido por los siguientes elementos: un tanque auxiliar de agua salina, un atomizador, línea de suministro de aire húmedo a presión, línea de suministro de agua salina. El reservorio está conectado al tanque principal mediante una manguera flexible transparente que lo alimenta de solución salina también el atomizador está conectado a la línea de aire que sale del humidificador y a la línea de solución salina que sale del reservorio. Este grupo de elementos son los encargados de generar la niebla salina e introducirla dentro de la zona de exposición de la cámara, el aire de atomización es distribuido hacia el atomizador en el cual se produce un vacío que genera la succión de la agua salina la cual transforma en niebla salina cuando pasa por el atomizador, esta se proyecta la zona de exposición dentro de la cámara de ensayos de corrosión. Para el atomizador se selecciono una “T” para usos neumáticos para manguera de 4 mm debido a que su interior es similar a un Venturi que es lo que provoca la succión de la solución salina, además que resiste la corrosión debido a que es de plástico y es fácil su instalación.

Para el dimensionamiento del tanque auxiliar se tomó en cuenta los siguientes factores:

- Especificaciones sobre dimensiones de cámaras existentes en el mercado.
- Tamaño de la zona de exposición
- Elemento seleccionado para atomizar la solución salina
- Funcionalidad y practicidad didáctica del reservorio, de modo que se puedan apreciar todos los fenómenos posibles presentes en el proceso de atomización.
- Ubicación de la alimentación de solución salina
- Ubicación de la alimentación del aire de atomización

Para la selección del atomizador se consideraron los siguientes factores:

- Tamaño de la partícula generada, en el intervalo de (1 – 14 μm)
- Espectro de atomización de cono lleno
- Que el material de fabricación sea de plástico, bronce naval o acero inoxidable
- Angulo de pulverización entre 10 y 60 °
- Capaz de manejar caudales bajos a presiones bajas (1 l/h entre 10 – 25 psi)

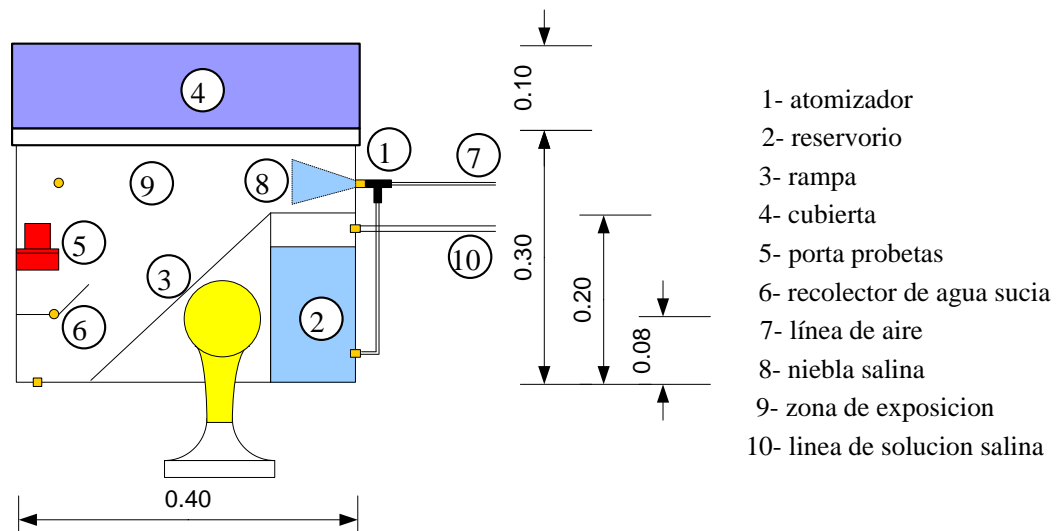


Fig. 2.3. Esquema y dimensionamiento del reservorio y el atomizador

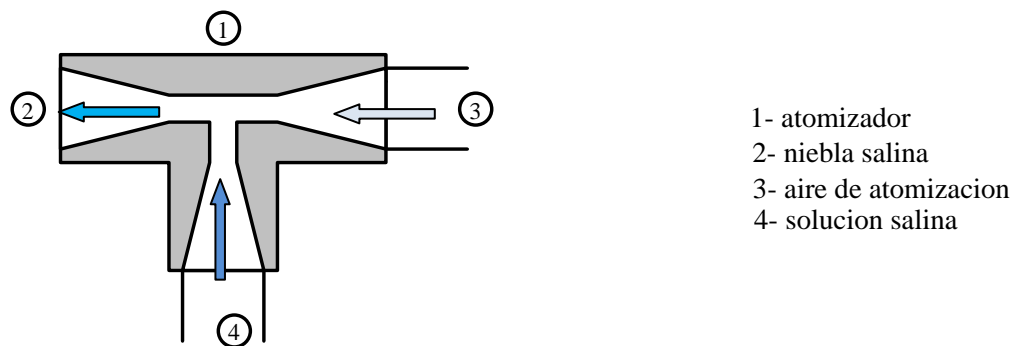


Fig. 2.4. Esquema del atomizador seleccionado.

2.1.3 Marco estructural de la cámara de niebla salina

Esta parte del equipo mantendrá la integridad estructural de la cámara y de la cubierta, logrará dar seguridad cuando se requiera desplazarla, introducir las probetas, y de golpes causados por un descuido o accidente. Construida con tubo cuadrado de acero de 1 pulg, 0.06 in de espesor y un soporte de platina de acero de 1/8 in, ambos materiales se encuentran en cualquier ferretería y se puede soldar casi con cualquier tipo de equipo para soldar, cuando se unen entre si la estructura gana una gran resistencia y estabilidad, su costo es relativamente bajo comparándolo con otros materiales y estéticamente no obstruye la visibilidad de la cámara ni la del proceso que se desarrolla dentro de ella. Para formar el marco de la base y la tapadera se cortaran los extremos de los ángulos a 45° de modo que ambos ángulos se ensamblen perfectamente y se repetirá hasta formar un marco completo, con la platina se formara un rectángulo que se soldara al marco inferior de la estructura, las dimensiones de la estructura metálica son: L=45 cm, A=35 cm, H= 35 cm. Por ultimo se usara tubo cuadrado de acero también para los soportes verticales de la estructura. La estructura metálica será pintada con 2 capas de anticorrosivo gris y 3 capas de pintura naranja. Para la selección del material del marco estructural se consideraron los siguientes factores:

- Bajo costo
- Alto grado de rigidez estructural
- Tamaño de la cámara
- Tamaño de la cubierta removible
- Resistente a cambios de temperatura y/o humedad en el ambiente
- Disponibilidad en ferretería
- Facilidad para ser soldada

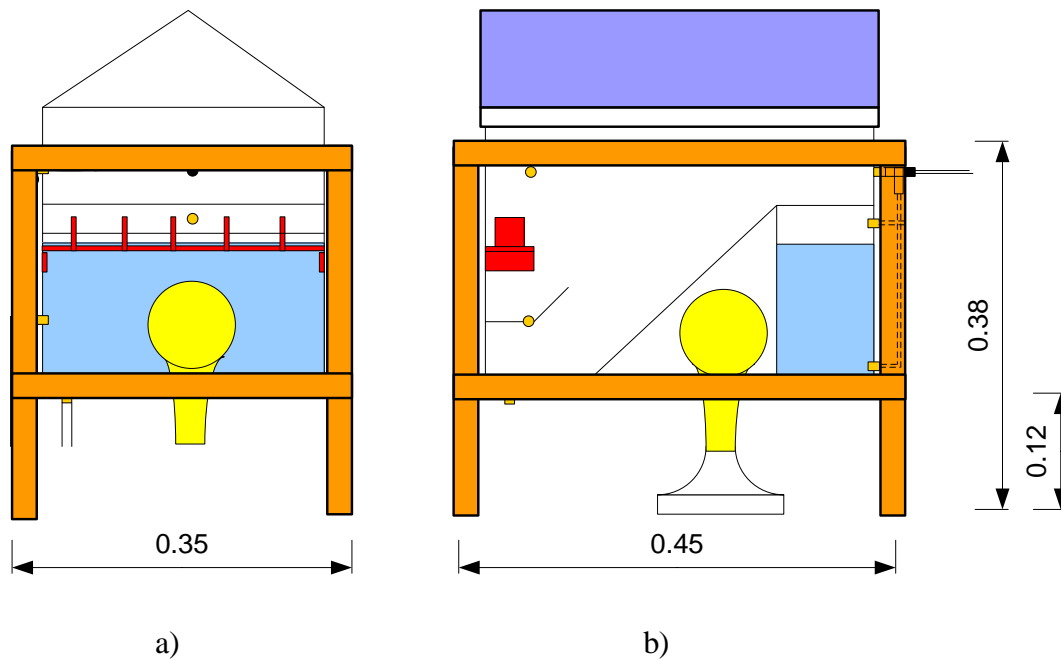


Fig. 2.5. Marco estructural de la cámara de niebla salina a) vista lateral derecha b) vista frontal

2.1.4 Sistema de control de temperatura

Existen varias formas de lograr este control de temperatura para la cámara, se opto por escoger entre dos de ellos y al final se selecciono el más adecuado usando un método de ponderación en base a los criterios de: funcionalidad, costo de adquisición, facilidad de operabilidad, mantenimiento y estética. Ver tabla 2.2, opción 1 consta de: 1 switch ON/OFF que opera a 110 V, un termostato industrial con ancho de banda de temperatura de 0 hasta 99 °C, el cual opera a 110 V con su relay respectivo y un bombillo incandescente de 300 W / 110 V. opción 2 es tecnológicamente mejor y consta de: 1 switch ON/OFF que opera a 110 V, una termocupla con rango de trabajo de 0 hasta 100 °C, un control electrónico de temperatura que opera a 110 V, un relay y un bombillo incandescente de 300 W / 110 V. En ambos casos el elemento sensor se encuentra dentro de la cámara y se activa mediante un switch que conecta y desconecta el dispositivo, el

elemento calefactor es controlado por el elemento sensor a través del relay el cual esta normalmente cerrado y cuando el elemento sensor detecta la temperatura deseada lo abre desconectando el elemento calefactor. El bombillo se encuentra entre el panel inferior de la cámara, la pared del reservorio y la rampa de recolección de condensado. Los circuitos están conectados en la caja de térmicos.

Tabla 2.2 Tabla ponderización de criterios de selección

Método de ponderación		
Criterio	Opción 1	Opción 2
Funcionalidad	8	10
Costo de adquisición	10	5
Facilidad de operatividad	10	8
Mantenimiento	10	8
Estética	8	10
total	46	41

Se selecciono la opción 1 como sistema de control de temperatura, por ser la más práctica, económica y por no tener ningún inconveniente en cumplir con las condiciones que la norma ASTM B117 establece para dicho control.

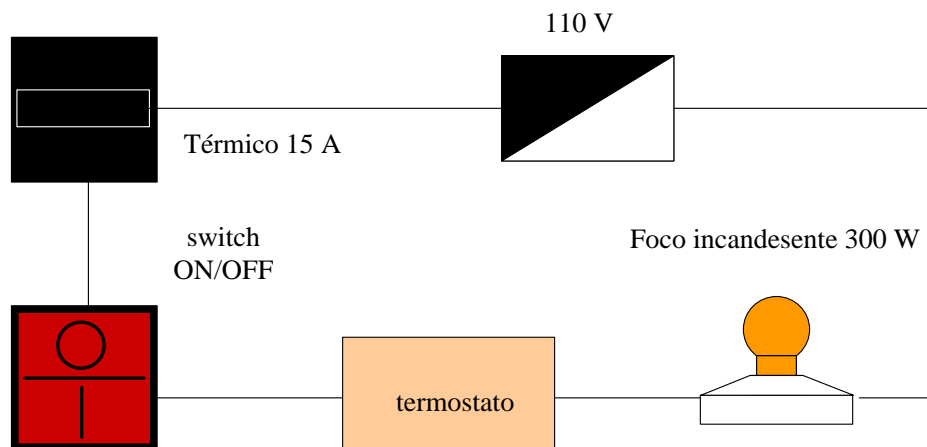


Fig. 2.6. Diagrama del circuito eléctrico del sistema de control de temperatura.

2.1.5 sistema de suministro de aire de atomización

Sistema clave en el funcionamiento del equipo y uno de los que exige el cumplimiento de varias condiciones que establece la norma ASTM B117. El sistema debe garantizar que el aire suministrado este libre de aceite y libre de partículas suspendidas, para esto se eligió utilizar un Filtro Regulador (FR). La norma también exige que el aire se deberá humidificar hasta un valor superior al 95 % de humedad relativa por lo que se eligió usar un humidificador construido a partir de un bloque cilíndrico de acero de $D=17$ cm. y $H=22$ cm, 1 tapa cilíndrica de $D=17$ cm y 1 tapa de 22 cm x 22 cm, se colocó el FR por encima del punto mas alto del humidificador para evitar retorno de agua del humidificador. La presión de trabajo se regulara directamente con la válvula reguladora del FR y se verificara su valor con un manómetro. El sistema completo estará colocado en una estructura metálica hecha de tubo cuadrado de 1 in y chapa 16 cuyas dimensiones son; $L=50$ cm, $A=22$ cm, $H=38$ cm. La estructura metálica será pintada con 2 capas de anticorrosivo gris y 3 capas de pintura naranja. El humidificador deberá poseer una válvula de llenado/vaciado de líquido o aire.

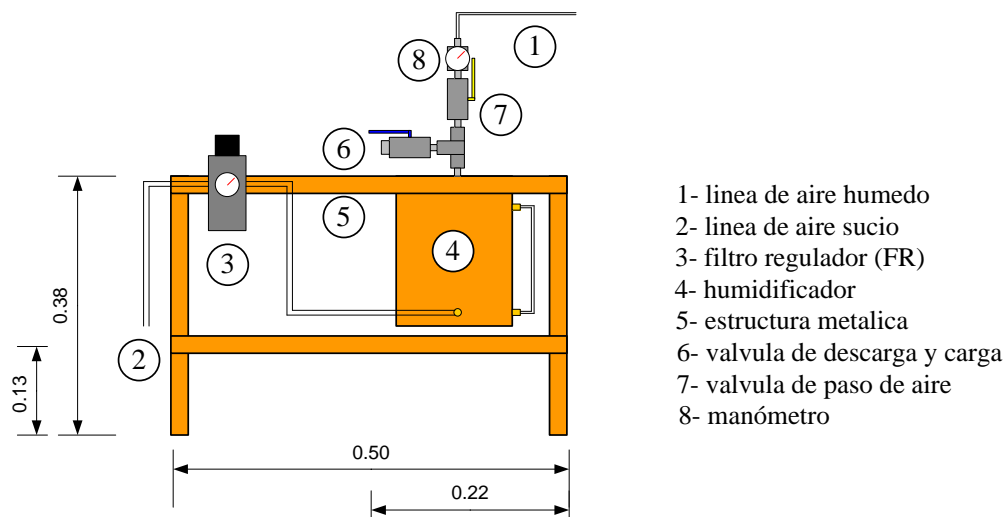


Fig. 2.7. Diagrama del sistema de suministro de aire

2.1.6 Sistema de suministro de solución salina

Este sistema es el que alimenta el proceso de generación de niebla salina, ya que es el que provee de solución salina al reservorio de la cámara de niebla salina por medio de la gravedad, este sistema esta constituido por un marco estructural de tubo cuadrado de acero de 1 pulg , 0.06 pulg de espesor, cuyas dimensiones son: L=60 cm, A=50 cm, H=33 cm y 2 barras de soporte en el marco superior de 45 cm cada una con una separación entre si de 18 cm, un tanque D= 37 cm, H=35 cm y manguera flexible que es lo que conecta al reservorio de la cámara de niebla salina con el tanque de suministro de solución salina. La estructura metálica será pintada con 2 capas de anticorrosivo gris y 3 capas de pintura naranja

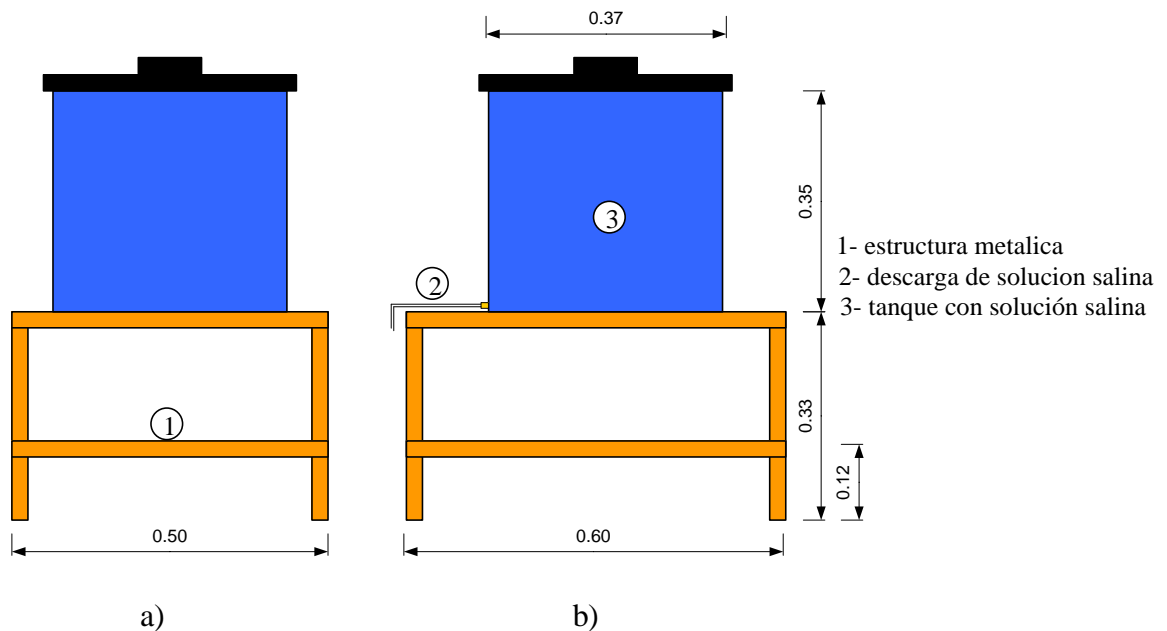


Fig. 2.8. Diagrama del sistema de suministro de solución salina a) vista lateral derecha
b) vista frontal

2.1.7 Diseño del portaprobetas

Este elemento es el que sostiene a las piezas dentro de la niebla salina, se decidió usar vidrio debido a sus características idóneas para el proyecto. El elemento consiste en una lámina de vidrio de 5 mm de espesor y de 29 cm. de largo la cual es usada como base y piezas horizontales de vidrio de 5 mm de espesor y 2.5 cm. de largo y piezas verticales de vidrio de 5 mm de espesor y 4 cm. de alto y otras de 2 cm. de alto que dispuestas en un arreglo específico permiten que las probetas que se usan en los ensayos se sitúen en un ángulo de 30° respecto a la vertical tal como lo establece la norma B117. Dentro de la cámara de niebla salina estarán dispuestos dos apoyos de vidrio donde el porta probetas se colocara durante la realización de los ensayos

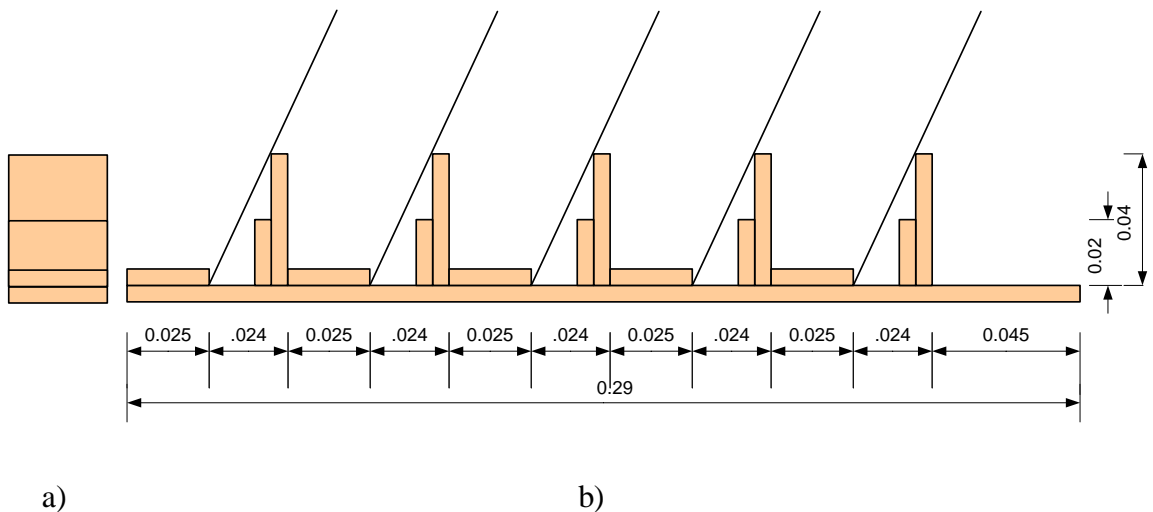


Fig. 2.9. Esquema del diseño del porta probetas a) vista lateral izquierda del portaprobetas b) vista frontal del portaprobetas

2.2 Cálculos, formulas y esquemas importantes

2.2.1 Transferencia de calor del bombillo hacia la cámara

Tabla 2.3 Datos transferencia de calor del bombillo hacia la cámara

Espesor del vidrio (x)	5 mm o 0.005 m
Conductividad térmica del vidrio (k)	0.78 W/m °C
Temperatura interna (T ₂)	35° C
Coefficiente de transferencia de calor (h ₁ , h ₂)	4.5 W/m ² °C
Constante de Stefan Boltzman	5.669 X 10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴
Flujo de calor (Q)	270 W
Área del panel (A)	0.084 m ²
Densidad del agua (ρ)	1 g/ cm ³
Calor específico del agua (C _p)	1 cal/g °C
Volumen de agua en la cámara de niebla (V)	m ³

Sabiendo que el flujo de calor usando 1 foco de 300 W es de 270 W debido a su eficiencia de 10%. Y que la radiación de un cuerpo está sujeta a la constante de Stefan Boltzman.

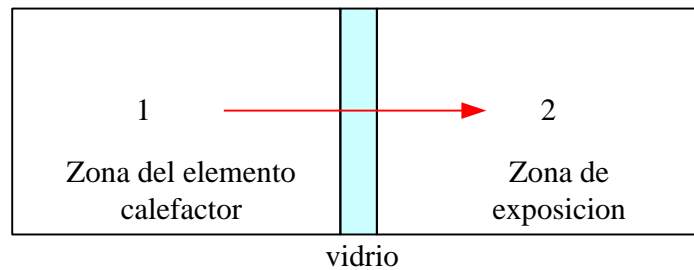


Fig. 2.10. Esquema de la transferencia de calor del foco incandescente hacia la cámara.

$Q =$ Calor de conducción y convección + conducción por radiación – pérdida por niebla salina

$$Q = (T_1 - T_2 / (1/h_1A + x/kA + 1/h_2A)) + \sigma A (T_1^4 - T_2^4) - \rho V C_p (T_1 - T_2)$$

$$270 = ((T_1 - 35) / (1 / (4.5 * 0.084) + 0.005 / (0.78 * 0.084) + 1 / (4.5 * 0.084))) + (5.669 \times 10^{-8} * 0.084 * (T_1 + 273)^4 - 308^4) - 1 * 0.00261 * 1 * (218.82 - T_2)$$

$$T_1 = 219.01^\circ\text{C}$$

2.2.2 Transferencia de calor del bombillo al agua del reservorio

Tabla 2.4. Datos para la transferencia de calor del bombillo al agua del reservorio

Espesor del vidrio (x)	5 mm o 0.005 m
Conductividad térmica del vidrio (k)	0.78 W/m °C
Temperatura interna (T ₁)	219.01° C
Coefficiente de transferencia de calor aire (h ₁)	4.5 W/m ² °C
Coefficiente de transferencia de calor del agua (h ₂) ^[7]	55 W/m ² K (ligero movimiento)
Constante de Stefan Boltzman	5.669 X 10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴
Flujo de calor (Q)	270 W
Área del panel (A)	0.02 m ²

Conociendo que el flujo de calor usando 1 foco de 300 W es de 270 W debido a que los focos incandescentes convierten el 90% en calor y solo el 10 % en luz. Y que la radiación de un cuerpo está sujeta a la constante de Stefan Boltzman el resultado es el siguiente.

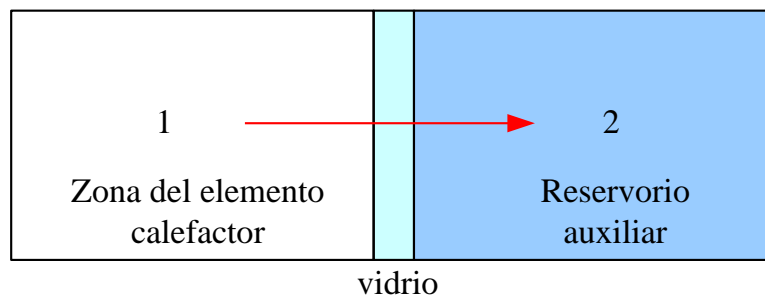


Fig. 2.11. Esquema de la transferencia de calor de los focos incandescentes hacia la cámara.

$$Q = (T_1 - T_2 / (1/h_1A + x/kA)) + (T_1 - T_2 / (1/h_2A)) + \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

$$270 = ((219.01-T_2)/(1/(4.5*0.02)+0.005/(0.78*0.02)))+(219.01-T_2)/(1/(55*0.02))+(5.669$$

$$X 10^{-8}*0.02*((219.01+273)^4 - (T_2+273)^4))$$

$$T_2 = 38.59^\circ\text{C}$$

Lo que nos comprueba que el diseño cumple con la norma establecida por la norma ASTM B-117 sobre la temperatura del reservorio ya que es ligeramente superior a la del interior de la cámara de niebla salina.

2.2.3 Transferencia de calor de la cámara hacia el exterior

Tabla 2.5. Datos para la transferencia de calor de la cámara hacia el exterior

Espesor del vidrio (x)	5 mm o 0.005 m
Conductividad térmica del vidrio (k)	0.78 W/m °C
Temperatura interna cámara (T ₁)	35° C
Temperatura externa de la cámara (T ₂)	27° C
Coefficiente de transferencia de calor (h ₁ , h ₂)	4.5 W/m ² °C
Área total de los paneles hacia el exterior (A)	0.287 m ²

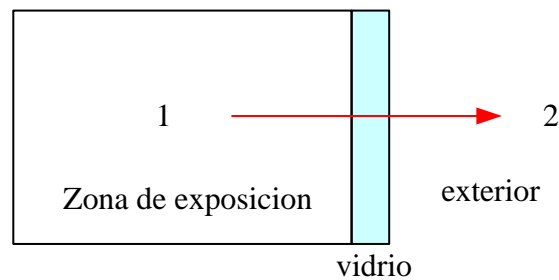


Fig. 2.12 Esquema de la transferencia de calor de la zona de exposición al exterior.

$$Q = (T_1 - T_2) / (1/h_1A + x/kA + 1/h_2A)$$

$$Q = ((219.01-27)/(1/(4.5*0.287)+0.005/(0.78*0.287)+1/(4.5*0.287)))$$

$$Q = 122.28 \text{ W}$$

Lo que significa que la cámara de niebla salina solo logra mantener un 54.73% del calor generado por el foco debido a que los 122.28 W equivalen al 45.27% del total. Por lo que la potencia real transmitida hacia la cámara de niebla salina es de 147W

2.3 Presupuesto general del proyecto ^{[8] [9] [10] [11]}

Tabla 2.6. Presupuesto total del proyecto

Artículo	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
Termostato regulable análogo 0– 90 ° C (servielectric)	1 u	26.00	26.00
NaCl (droguería san roque)	4 lb	1.50	6.00
“T” galvanizada rosca 1/4” (indelpin)	4 u	3.50	15.00
Mini FR (filtro regulador) 1/4 ” rosca npt (indelpin)	1 u	36.16	36.16
Manómetro 200 psi tubería de 1/4 “ (indelpin)	1 u	11.50	11.50
Válvula de bola rosca 1/4 (indelpin)	2 u	6.22	12.48
Vidrios (tornolara)	-	-	58.70
Agua desmineralizada (vidri)	12 gal	1.50	18.00
Alambre eléctrico THHN 14 (vidri)	10 m	0.36	3.60
Pistola para silicona en tubo (vidri)	1 u	5.00	5.00
Caja para térmicos de 2 espacios (vidri)	1 u	13.00	13.00
Permatex silicón rojo (vidri)	2 tubos	5.00	10.00
Manguera vinil 4 mm (indelpin)	2 m	0.56	1.12
Manguera de vinil de 3/8 de in (indelpin)	5 m	2.70	13.50
Cable vulcan (vidri)	2 m	1.14	2.28
Toma macho 114OB/kob57 (vidri)	1	0.27	0.27
Niple de bronce rosca 1/4 (indelpin)	4 u	1.13	4.52
Racor recto rosca 1/4 , manguera 4 mm (indelpin)	4 u	1.47	6.08
Racor recto rosca 1/4 , manguera 3/8 de in (indelpin)	14 u	2.35	32.90
“T” plastico, rosca lateral 1/8, manguera 4 mm (indelpin)	1 u	2.77	2.77
Bushing de bronce, rosca 1/4 – 1/8 (indelpin)	1 u	0.74	0.74
Switch 10a/125v on/off ec2604 (vidri)	1 u	0.99	0.99
espejo (tornolara)	1 u	2.00	2.00
Vidrio reflejante (tornolara)	1 u	4.50	4.50
Recipientes plásticos con tapadera	3 u	12.00	36.00
Tubo industrial cuadrado chapa 16 1 in (vidri)	2 pza	6.50	13.00
Platina de hierro (vidri)	1 pza	2.00	2.00
Cilindro acero 1045 (Don Emilio)	1 pza	25.00	25.00
Vaivén magnético de tacto 79463 (vidri)	1 u	0.60	0.60
Placa acero 1045 (Don Emilio)	2 pieza	12.00	24.00
Anticorrosivo estructural (vidri)	1 gal	17.00	17.00
Pintura peninsular látex (vidri)	1 gal	14.00	14
Brocha de cerda mango plástico de 3” (vidri)	2 u	1.85	3.70
Térmico de 15 A (vidri)	1 u	4.00	4.00
Electrodo para tubo cuadrado chapa 16 de 1 in	-	-	10.00
Empaques de goma	12	0.50	6.00
Socket de porcel.k118/ed062p e-27 (vidri)	1 u	0.49	0.49
Foco claro 300 w sylvania (vidri)	1 u	3.80	3.80
otros	-	-	50.00
Total	-	-	496.69

3.0 PRACTICAS DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE CORROSIÓN

Este capítulo nos explica los pasos a seguir para emplear de una manera segura y adecuada la cámara de niebla salina, además de los pasos para una correcta preparación de muestras, toma de datos e interpretación de los mismos. Ya que también se encuentra dentro este capítulo 5 diferentes métodos empleados en la industria para caracterizar los datos obtenidos al realizar un ensayo de corrosión

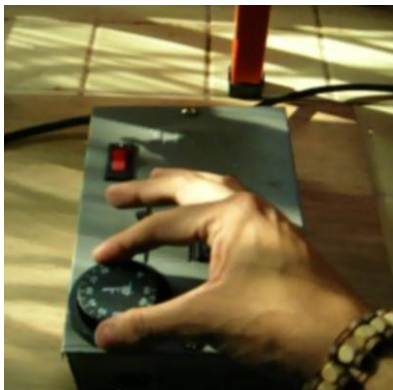



3.1 Uso de la cámara de niebla salina

1. Conectar el enchufe del sistema de control de temperatura al tomacorriente (fase A) y realizar una pequeña prueba del funcionamiento del sistema, calibrando el termostato a 30 °C, luego conectar el switch y luego manipular manualmente el termostato bajando el valor de temperatura calibrado hasta que el foco se apague
2. Conectar la alimentación de aire ya sea utilizando el compresor de la escuela o utilizando uno portátil
3. Si se utiliza un compresor portátil, conectar el enchufe del compresor a un tomacorriente, asegurándose que el tomacorriente sea alimentado con una fase distinta (fase B) al tomacorriente usado para energizar el sistema de control de temperatura, y así evitar que este último se quemara
4. Preparar la solución salina al 95 – 1 % en masa de agua desmineralizada y 5 + 1 % en masa de NaCl con un 99.95 % de pureza
5. Verter la solución salina preparada en el tanque principal de solución salina

6. Agregar agua desmineralizada al humidificador a través de la válvula de alivio de presión de aire comprimido (azul) que se encuentra encima del humidificador, hasta que el nivel alcance la mitad de su altura
7. Verificar que estén bien hechas todas las conexiones neumáticas y eléctricas
8. Verificar que el nivel de solución salina alcanzado en el reservorio sea al menos de la mitad
9. Verificar que la válvula de alivio de presión de aire comprimido (azul) se encuentre cerrada
10. Verificar que la válvula de paso de aire comprimido (amarilla) se encuentre cerrada
11. Verificar que los manómetros se encuentren en buen estado
12. Una vez verificadas todas las conexiones y parámetros para el funcionamiento del equipo, se realiza una pequeña prueba de operación en conjunto, encendiendo el compresor y regulando el flujo de aire en el FR hasta alcanzar una presión de 20 PSI en el manómetro de salida situado antes de la válvula de paso de aire (amarilla).
13. Una vez alcanzado ese valor abrir gradualmente la válvula de paso de aire comprimido (amarilla) y corroborar que se este produciendo niebla salina dentro de la cámara, una vez verificado la formación de niebla dentro de la cámara se regula nuevamente la presión en el FR hasta alcanzar una presión de 15 PSI en el manómetro de salida, pasado un minuto se cierra nuevamente la válvula de paso de aire comprimido
14. destapar la cámara, seleccionar las probetas a ensayar previamente limpiadas y colocarlas sobre el portaprobetas que se encuentra dentro de la cámara, luego tapar nuevamente la cámara

15. Realizar el ensayo de corrosión por niebla salina, asegurándose de verter nuevamente en el tanque principal de solución salina el condensado limpio reciclado
16. Finalizar el ensayo, desenergizar todo el equipo cerrando todas las válvulas y desactivando el switch que controla el sistema de control de temperatura y liberando el aire atrapado en el humidificador a través de la válvula de alivio de presión de aire comprimido (azul).
17. Destapar la cámara, sacar las probetas y tapar nuevamente la cámara
18. Limpiar y guardar el equipo de ensayo de corrosión por niebla salina

Tabla. 3.1. Pasos a seguir para el uso de la cámara de niebla salina.

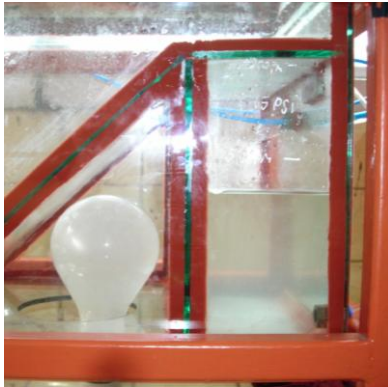
 <p>Paso 1</p>	 <p>Paso 2</p>
 <p>Paso 4</p>	 <p>Paso 5</p>



Paso 6



Paso 7



Paso 8



Paso 9



Paso 10



Paso 11



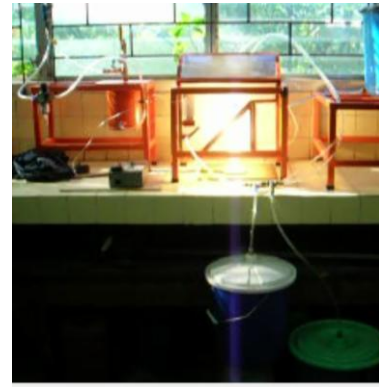
Paso 12



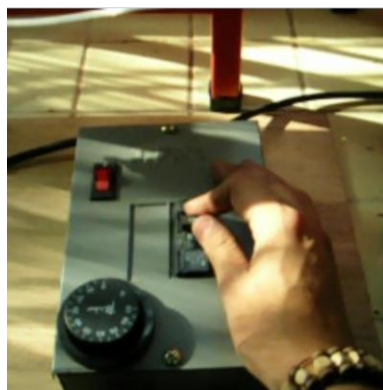
Paso 13



Paso 14



Paso 15



Paso 16



Paso 17

3.2 Toma de datos del ensayo de corrosión^[12]

Los ensayos dentro de una cámara de niebla salina pueden durar desde 3 días (72 horas) hasta 7 días (168 horas) por lo que para la toma de datos se establece la periodicidad o intervalo de tiempo al cual se anotaran los efectos ocasionados por la niebla salina en las probetas.

Dentro de los efectos que se pueden determinar o calcular tenemos:

- Grado de corrosión del metal
- Grado de degradamiento de un recubrimiento protector no metálico
- Peso perdido de un material metálico debido a la corrosión
- Cambios en la conductividad eléctrica de un metal
- Cambios en la resistencia a la tracción de un metal

3.2.1 Dimensión, forma y marcado de las probetas

No existe una norma estándar que regularice las dimensiones y el tamaño de las probetas ya que el tamaño y la forma varían de acuerdo a la finalidad de la prueba, la naturaleza del material el equipo que se utilice, aunque se recomienda que exista una relación grande de superficie a masa y una relación pequeña de área del borde con respecto al área total.

Para una correcta identificación de las probetas es necesario marcarlas de modo que permita llevar un control de los resultados, los métodos más usados son: marcado

con sello o estencil, grabado químico, grabado eléctrico, grabado químico, perforación de agujeros, también se puede usar cables plásticos como marcas

3.2.2 Preparación de la superficie

Cuando realizamos pruebas de corrosión para predecir el comportamiento de un metal o un recubrimiento en un determinado ambiente, la superficie de las probetas deberá ser semejante a los usados en los procesos o servicios, asimismo es muy importante que las probetas no presenten raspaduras ya que esos sitios son objetivo de ataques preferenciales cuando se hacen los ensayos de laboratorio. Por lo que será muy importante que antes de realizar un ensayo de niebla salina, nos aseguremos que la superficie de las probetas sea la ideal realizando tratamientos de limpieza como: un tratamiento químico, eliminación electroliza o esmerilado con una lija fuerte en el caso de los metales de modo que se homogenice la superficie de las muestras ver Fig. 3.1. Si el recubrimiento es no metálico (pinturas) se deberá realizar un tratamiento de limpieza no agresivo como la limpieza con paños húmedos con una mezcla de agua y alcohol



a)



b)

Fig. 3.1. Limpieza de probetas metálicas a) antes de limpieza b) después de limpieza

3.3 Interpretación de resultados

Existen varias maneras de caracterizar los resultados obtenidos durante un ensayo de niebla salina a continuación se describirán los mas comunes

3.3.1 Grado de corrosión del metal

Esta puede resultar ser la mas difícil de obtener pero a su vez es la que puede resultar de mayor importancia para quien realiza el ensayo. Esta técnica permite predecir la vida útil que tendrá un material al interactuar con el ambiente en análisis, además que los datos obtenidos en el permitirá gestionar el mantenimiento adecuado en el tiempo correcto

El único inconveniente que tiene esta técnica es que resulta necesario contar con una base de datos de vida útil de algún metal en el ambiente real donde encontrara el metal que se desea analizar, ya que se necesita extrapolar los datos obtenidos en el ambiente controlado de la cámara de niebla salina con el dato del ambiente real para determinar las relaciones entre los metales a ensayar, debido a que existe una relación proporcional entre si.

A continuación se detallara los pasos para realizar la extrapolación de datos en donde “B” representa al material del cual se conoce el tiempo que tarda en corroerse en el ambiente real de trabajo, y los materiales “a, b, c, d, e” representan un grupo de materiales que se desean evaluar dentro de la cámara de niebla salina donde “b” representa al mismo material del cual está hecho “B”. El tiempo que tarda en aparecer las primeras marcas de corrosión en “B” está representado por “tB1”, el tiempo que

tarda en aparecer las primeras marcas de corrosión en las probetas, están representadas por “ta1, tb1, tc1, td1, te1”, el tiempo que tarda la corrosión en cubrir un 10% de la probeta está representado por “ta2, tb2, tc2, td2, te2”, el tiempo que tarda la corrosión en cubrir un 20% de la probeta está representado por “ta3, tb3, tc3, td3, te3”. Debido a que los comportamientos son proporcionales entre si, utilizando una simple regla de 3 podemos afirmar lo siguiente:

El tiempo que tardara en aparecer la corrosión en el material “a” en el ambiente real será

$$tA1 = (ta1 \times tB1) / tb1$$

El tiempo que tardara la corrosión en cubrir el 10% del material “a” en el ambiente real será

$$tA2 = (ta2 \times tA1) / ta1$$

El tiempo que tardara la corrosión en cubrir el 20% del material “a” en el ambiente real será

$$tA3 = (ta3 \times tA1) / ta1$$

Podemos afirmar lo mismo para los materiales “c, d, e”

3.3.2 Grado de degradamiento de un recubrimiento protector no metálico

Esta técnica es similar a la del grado de corrosión, solo que esta se aplica a recubrimientos de tipo no metálicos. Esta técnica permite predecir la vida útil que tendrá un recubrimiento no metálico al interactuar con el ambiente en análisis, además que los datos obtenidos en el permitirá gestionar el mantenimiento adecuado en el tiempo correcto

Al igual que en la técnica de grado de corrosión, también resulta necesario contar con una base de datos de vida útil de algún recubrimiento no metálico en el ambiente real donde encontrara el recubrimiento que se desea analizar, ya que se necesita extrapolar los datos obtenidos en el ambiente controlado de la cámara de niebla salina con el dato del ambiente real para determinar las relaciones entre los recubrimientos a ensayar, debido a que existe una relación proporcional entre si.

A continuación se detallara los pasos para realizar la extrapolación de datos en donde “B” representa al recubrimiento del cual se conoce el tiempo que tarda en generarse burbujas y cascaramiento en el ambiente real de trabajo, y los materiales “a, b, c, d, e” representan un grupo de recubrimientos que se desean evaluar dentro de la cámara de niebla salina donde “b” representa al mismo recubrimiento del cual está hecho “B”. El tiempo que tarda en generarse burbujas y cascaramiento en “B” está representado por “tB1”, el tiempo que tarda la corrosión en aparecer en los espacios sin recubrir en “B” esta representado por “tB2”, el tiempo que tarda en generarse burbujas y cascaramiento en las probetas, están representadas por “ta1, tb1, tc1, td1, te1”, el tiempo que tarda la corrosión en aparecer en los espacios sin recubrir de la probeta está representado por “ta2, tb2, tc2, td2, te2”. Debido a que los comportamientos son proporcionales entre si, utilizando una simple regla de 3 podemos afirmar lo siguiente:

El tiempo que tardara en aparecer la corrosión en el material “a” en el ambiente real será

$$tA1 = (ta1 \times tB1) / tb1$$

El tiempo que tardara la corrosión en cubrir el 10% del material “a” en el ambiente real será

$$tA2 = (ta2 \times tB2) / tb2$$

Podemos afirmar lo mismo para los materiales “c, d, e”

3.3.3 Peso perdido de un material metálico debido a la corrosión

Esta es una técnica fácil de realizar, consiste en pesar las probetas antes de realizar la prueba, luego ir sacando una probeta en cada periodo de tiempo estipulado, limpiándola y pesándola. De modo que se puede caracterizar por medio de una tabla la relación de la pérdida de material con la del tiempo de ensayo y la corrosión sufrida por la pieza

3.3.4 Cambios en la conductividad eléctrica de un metal

Esta técnica consiste en medir la conductividad eléctrica antes y después de realizar el ensayo ya que debido a la corrosión y la pérdida de material que pueda tener la pieza su conductividad eléctrica se vera alterada de modo que se puede caracterizar por medio de una tabla la relación de los cambios en la conductividad eléctrica del material con la del tiempo de ensayo y la corrosión sufrida por la pieza

3.3.5 Cambios en la resistencia a la tracción de un metal

Esta técnica consiste en medir la resistencia a la tracción de una probeta del material metálico a ensayar y luego del ensayo medir la resistencia a la tracción de otra probeta de modo que se puede caracterizar por medio de una tabla, la relación de la

perdida en la resistencia a la tracción del material con la del tiempo de ensayo y la corrosión sufrida por la pieza

Estas son algunas de las técnicas mas usadas para la caracterización de los resultados obtenidos en los ensayos de niebla salina, en la literatura se nombran unos cuantos mas pero debido a su complejidad o su costo se consideraron poco útiles para nuestro estudio^[VII]

3.4 Laboratorio de ensayo de corrosión

Los laboratorios de ensayos de corrosión se pueden apreciar en el anexo al final de este informe.

3.5 Limpieza de la cámara de niebla salina después de realizado un ensayo

1. Retirar todas las probetas y el portaprobetas.
2. Retirar el sistema calefactor de la cámara (bulbo del termostato, foco incandescente, caja de control)
3. Vaciar todos los tanques con solución salina (tanque de solución salina, tanque de reciclado de condensado limpio, tanque de condensado sucio)
4. Vaciar el humidificador a través del racor de la manguera de entrada de aire
5. Desconectar todas las mangueras y enjuagarlas
6. Lavar con agua todos los tanques que contuvieron solución salina
7. Extraer la solución salina restante del reservorio, enjuagar y volver a extraer
8. Lavar el interior de la cámara salina y su tapadera con agua
9. Guardar y empaquetar los componentes del equipo de niebla salina

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una cámara que recrea un ambiente de niebla salina para ensayos de corrosión, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos planteados inicialmente en este trabajo de graduación, cuyas especificaciones son:
 - ✓ Temperatura de la cámara durante el ensayo de 35 °C
 - ✓ Niebla salina condensada y recolectada con pH de 7.1
 - ✓ Niebla salina esparcida en forma cónica
 - ✓ Techo o cubierta en forma de V invertida con ángulo de 125° de abertura
 - ✓ Cámara hecha en vidrio de 5 mm de espesor
 - ✓ Termostato de banda ancha (0 – 99 °C)
 - ✓ Dimensiones de la cámara, L = 40 cm, A = 35 cm y H = 40 cm
 - ✓ Tanques de solución salina, reciclado y condensado sucio
 - ✓ Portaprobetas de vidrio
 - ✓ Cantidad máxima de probetas simultáneamente bajo ensayo de 5 de L = 10 cm, A = 4 cm y H = 0.05 cm o 3 de L = 15 cm, A = 4 cm y H = 0.05 cm
- Las guías de laboratorios presentan una serie de pasos para la realización de ensayos en la cámara de niebla salina, dichas guía fue elaboradas tomando como referencia la norma de la ASTM B117.

RECOMENDACIONES

- Reemplazar el humidificador existente por uno hecho en acero inoxidable o aluminio. O colocar una película protectora e inerte tipo parafina dentro del humidificador para evitar su deterioro
- Se deberá adicionar una válvula anti retornó de líquidos a la entrada de aire del humidificador de modo que se pueda garantizar que no llegue bajo ninguna forma agua desmineralizada al FR y al compresor
- Se deberá cambiar el foco incandescente de 300 W por uno de al menos de 400 W de modo que la temperatura de control que puede alcanzar el sistema este por encima del valor mínimo de 33.3 °C
- Para convertir el sistema de semi-automático a un sistema totalmente automático se deberá un sistema de bombeo: comprendido por una bomba de impulso y de plástico o acero inoxidable y tubería de PVC o manguera flexible de vinilo
- Se deberá fabricar un cronometro especial que permita observar con certeza el tiempo total que lleva el ensayo tanto en días, horas como también en minutos para poder construir graficas mas certeras

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wikipedia, la enciclopedia libre (2012). Corrosión
Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>
- [2] Roberge, Pierre R (2000). Handbook of Corrosion Engineering. New York: McGraw-Hill, pág. 3 - 5
- [3] Roberge, Pierre R (2000). Handbook of Corrosion Engineering. New York: McGraw-Hill, pág. 332 - 352
- [4] Giménez, Carlos Ferrer, y Borrás, Vicente Amigo (2005). Tecnología de materiales. (1ª .ed.) México: Alfaomega, pág. 475 – 550
- [5] Arias Córdoba, Carlos Andrés, y Henao, Erwin Calvo, y Ochoa Jaramillo, José Ignacio (2007). Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión. pág. 30- 48
- [6] ASTM (2003). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, ASTM B117 – 03
- [7] Scribd. Practica # 6 “Transferencia de calor”. Disponible:
<http://es.scribd.com/doc/18463341/6-TRANSFERENCIA-DE-CALOR>
- [8] Servielectric Industrial S.A. de C.V., sitio web, Disponible:
www.servielectric.com.sv
- [9] Indelpin S.A. de C.V., sitio web, Disponible:
<http://www.grupodelpin.com/sal/inicio.php>
- [10] Electrolab Medic S.A. de C.V., sitio web, Disponible:
www.electrolabmedic.com.sv

- [11] Almacenes Vidri S.A. de C.V., sitio web, disponible:
<http://www.vidri.com.sv/>
- [12] ASTM (2003). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, ASTM G1 - 03

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
ASIGNATURA: _____
CICLO _____, **AÑO** _____

**LABORATORIO N° 1: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CORROSIÓN
DEL METAL O DEL RECUBRIMIENTO METÁLICO A TRAVÉS DE UN
ENSAYO DE CORROSIÓN EN UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

Nombre del catedrático de la asignatura: _____

Nombre del Instructor del laboratorio: _____

Nombre de los alumnos : _____

Introducción

Corrosión es la tendencia general que tienen las aleaciones metálicas ferrosas a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de película verde en el cobre y sus aleaciones (bronces, latones). Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los

materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.).

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión como: la explosión en las alcantarillas, accidentes de aviones y barcos, caída de edificios entre otros.

La norma ASTM B117 describe las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente salino dentro de una cámara. La calidad y la reproducibilidad de las pruebas de niebla salina dependen directamente de un respeto riguroso de los parámetros de ensayo, descritos en particular por la norma ASTM B117

Objetivo general del laboratorio

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca el proceso de corrosión de los metales y sus aleaciones debido al ambiente salino

Objetivos específicos

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los mecanismos bajo los cuales ocurre la corrosión
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los elementos que forman parte de un sistema de cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los pasos para el uso de la cámara de niebla salina para realizar un ensayo de corrosión por niebla salina

Equipo a utilizar

- Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión
- Peachimetro
- Compresor de aire de la escuela de Ingeniería Mecánica

Procedimiento del ensayo

1. Seleccionar los materiales de las probetas a ensayar, donde una es de un material del cual se conoce su vida útil en el ambiente de trabajo al cual se quieren evaluar los demás materiales, para establecer la proporcionalidad entre ellas.
2. Marcar las probetas a ensayar dentro de la cámara de niebla salina, de modo que se pueda conocer a que material pertenece aunque tenga daños por la corrosión.
3. Limpiar las probetas antes de que comience el ensayo y ubicarlas sobre el portaprobetas dentro de la cámara de niebla salina, abriendo y cerrando la cámara adecuadamente, realizando un lijado manual para los de tipo metálico y para los no metálicos usando un paño con agua y alcohol.
4. Encender el compresor de aire, habilitar las válvulas de paso de aire hacia el FR.
5. Agregar agua desmineralizada en el humidificador a través de la válvula de purga (válvula azul) colocada sobre el mismo, usando el embudo hasta que llegué hasta la mitad del recipiente, verificándolo a través del nivel de manguera en el.

6. Preparar la solución salina con 95% en peso de agua desmineralizada y 5% en peso de NaCl al 99% de pureza, medir su pH con el peachimetro y verter en el tanque de solución salina.
7. Conectar el enchufe del sistema de control, introducir el bulbo del sensor dentro de la cámara, setear el termostato a 33 °C, subir el térmico de protección y accionar el switch de encendido, verificando el encendido del foco incandescente
8. Abrir el paso de aire a través del FR girando la perilla reguladora hasta que en el manómetro a la salida del humidificador marque una presión de 13 a 14 PSI con el compresor en ciclo de paro.
9. Abrir el paso de aire a través de la válvula de salida (válvula amarilla) del aire humidificado y comenzar a realizar el ensayo tomando nota de la hora y fecha en la cual se comenzó.
10. Tomar anotaciones cada 3 horas del estado visual de las probetas y del progreso de la corrosión en las probetas llenando la tabla 1 reutilizando la solución salina reciclada si es necesario
11. Al terminar el ensayo en la cámara de niebla salina, cerrar todas las válvulas de paso de aire, apagar el interruptor de encendido del sistema de control y desconectarlo, luego liberar el aire atrapado en el humidificador a través de la válvula de purga y vaciar el agua desmineralizada de el para que no le provoque daños internos al humidificador.
12. por ultimo limpiar y guardar el equipo de cámara de niebla salina y completar el análisis, los cálculos y sacar la conclusión del ensayo

Toma e interpretación de los datos en el ensayo de la cámara de niebla salina

Tabla 1. Porcentaje de corrosión presente en las probetas metálicas o con recubrimientos metálicos

Probetas metálicas sin o con recubrimientos metálicos							
		% de corrosión presente en las probetas, en los intervalos de tiempo					
Probetas	Tiempos	0h	3h	6h	12h	15h	Según las h que dure el ensayo
	a						
b							
c							
d							
e							

Reporte

1. Construir la grafica del comportamiento de las probetas al ambiente corrosivo dentro de la cámara
2. Usando las ecuaciones de proporcionalidad construir un cuadro que muestre el comportamiento proporcional de los materiales ensayados en el ambiente real de trabajo del material patrón

$$tA1 = (ta1 \times tB1) / tb1 \quad \text{ecuación de proporcionalidad (1)}$$

$$tA2 = (ta2 \times tA1) / ta1 \quad \text{ecuación de proporcionalidad (2)}$$

tA1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “a” en el ambiente real

ta1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “a” dentro de la cámara

tB1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “b” en el ambiente real

tb1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “b” dentro de la cámara

tA2 = tiempo al cual existe un % X de corrosión en el material “a” en el ambiente real

ta2 = tiempo al cual existe un % X de corrosión en el material “b” dentro de la cámara

3. Construir una grafica del comportamiento proporcional que tendrían los materiales de las probetas en el ambiente real de trabajo
4. Expresar sus conclusiones respecto a los diferentes materiales ensayados en base al rendimiento que tendrían en el ambiente real

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
ASIGNATURA: _____
CICLO _____, **AÑO** _____

**LABORATORIO N° 2: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DEGRADACIÓN
DE UN RECUBRIMIENTO NO METÁLICO A TRAVÉS DE UN ENSAYO DE
CORROSIÓN EN UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

Nombre del catedrático de la asignatura: _____

Nombre del Instructor del laboratorio: _____

Nombre de los alumnos : _____

Introducción

Corrosión es la tendencia general que tienen las aleaciones metálicas ferrosas a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de película verde en el cobre y sus aleaciones (bronces, latones). Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los

materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.).

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión como: la explosión en las alcantarillas, accidentes de aviones y barcos, caída de edificios entre otros.

La norma ASTM B117 describe las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente salino dentro de una cámara. La calidad y la reproducibilidad de las pruebas de niebla salina dependen directamente de un respeto riguroso de los parámetros de ensayo, descritos en particular por la norma ASTM B117

Objetivo general del laboratorio

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca el proceso de corrosión de los metales y sus aleaciones, además del proceso de degradación que sufren los recubrimientos no metálicos debido al ambiente salino

Objetivos específicos

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los mecanismos bajo los cuales ocurre el degradamiento de los recubrimientos y la posterior corrosión de los metales
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los elementos que forman parte de un sistema de cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los pasos para el uso de la cámara de niebla salina para realizar un ensayo de corrosión por niebla salina

Equipo a utilizar

- Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión
- Peachimetro
- Compresor de aire de la escuela de Ingeniería Mecánica

Procedimiento del ensayo

1. Seleccionar los materiales de las probetas a ensayar, donde una es de un material del cual se conoce su vida útil en el ambiente de trabajo al cual se quieren evaluar los demás materiales, para establecer la proporcionalidad entre ellas.
2. Marcar las probetas a ensayar dentro de la cámara de niebla salina, de modo que se pueda conocer a que material pertenece aunque tenga daños por la corrosión.
3. Limpiar las probetas antes de que comience el ensayo y ubicarlas sobre el portaprobetas dentro de la cámara de niebla salina, abriendo y cerrando la cámara adecuadamente, realizando un lijado manual para los de tipo metálico y para los no metálicos usando un paño con agua y alcohol.
4. Encender el compresor de aire, habilitar las válvulas de paso de aire hacia el FR.
5. Agregar agua desmineralizada en el humidificador a través de la válvula de purga (válvula azul) colocada sobre el mismo, usando el embudo hasta que

llegué hasta la mitad del recipiente, verificándolo a través del nivel de manguera en el.

6. Preparar la solución salina con 95% en peso de agua desmineralizada y 5% en peso de NaCl al 99% de pureza, medir su pH con el peachimetro y verter en el tanque de solución salina.
7. Conectar el enchufe del sistema de control, introducir el bulbo del sensor dentro de la cámara, setear el termostato a 33 °C, subir el térmico de protección y accionar el switch de encendido, verificando el encendido del foco incandescente
8. Abrir el paso de aire a través del FR girando la perilla reguladora hasta que en el manómetro a la salida del humidificador marque una presión de 13 a 14 PSI con el compresor en ciclo de paro.
9. Abrir el paso de aire a través de la válvula de salida (válvula amarilla) del aire humidificado y comenzar a realizar el ensayo tomando nota de la hora y fecha en la cual se comenzó.
10. Tomar anotaciones cada 3 horas del estado visual de las probetas y del progreso del degradamiento en ellas llenando la tabla 1 y el grado de corrosión en ellas en la tabla 2 reutilizando la solución salina reciclada si es necesario
11. Al terminar el ensayo en la cámara de niebla salina, cerrar todas las válvulas de paso de aire, apagar el interruptor de encendido del sistema de control y desconectarlo, luego liberar el aire atrapado en el humidificador a través de la válvula de purga y vaciar el agua desmineralizada de el para que no le provoque daños internos al humidificador.
12. por ultimo limpiar y guardar el equipo de cámara de niebla salina y completar el análisis, los cálculos y sacar la conclusión del ensayo

Toma e interpretación de los datos en el ensayo de la cámara de niebla salina

Tabla 1. Porcentaje de burbujas o descascaramiento presente en las probetas con recubrimientos no metálicos

Probetas con recubrimientos no metálicos						
	% de burbujas o descascaramiento presente en las probetas, en los intervalos de tiempo					
Tiempos Probetas	0h	3h	6h	12h	15h	Según las h que dure el ensayo
a						
b						
c						
d						
e						

Tabla 2. Porcentaje de corrosión presente en las probetas con recubrimientos no metálicos

Probetas con recubrimientos no metálicos						
	% de corrosión presente en las probetas, en los intervalos de tiempo					
Tiempos Probetas	0h	3h	6h	12h	15h	Según las h que dure el ensayo
a						
b						
c						
d						
e						

Reporte

1. Construir la grafica del comportamiento de las probetas al ambiente corrosivo dentro de la cámara
2. Usando las ecuaciones de proporcionalidad construir un cuadro que muestre el comportamiento proporcional de los materiales ensayados en el ambiente real de trabajo del material patrón

$$tA1 = (ta1 \times tB1) / tb1 \quad \text{ecuación de proporcionalidad (1)}$$

$$tA2 = (ta2 \times tA1) / ta1 \quad \text{ecuación de proporcionalidad (2)}$$

tA1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “a” en el ambiente real

ta1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “a” dentro de la cámara

tB1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “b” en el ambiente real

tb1 = tiempo al cual aparece la corrosión en el material “b” dentro de la cámara

tA2 = tiempo al cual existe un % X de corrosión en el material “a” en el ambiente real

ta2 = tiempo al cual existe un % X de corrosión en el material “b” dentro de la cámara

3. Construir una grafica del comportamiento proporcional que tendrían los materiales de las probetas en el ambiente real de trabajo
4. Expresar sus conclusiones respecto a los diferentes materiales ensayados en base al rendimiento que tendrían en el ambiente real

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
ASIGNATURA: _____
CICLO _____, **AÑO** _____

**LABORATORIO N° 3: EFECTO DE LA CORROSIÓN POR NIEBLA SALINA
SOBRE LA VELOCIDAD DE DESGASTE EN UN METAL SIN O CON
RECUBRIMIENTO METÁLICO O NO METÁLICO**

Nombre del catedrático de la asignatura: _____

Nombre del Instructor del laboratorio: _____

Nombre de los alumnos : _____

Introducción

Corrosión es la tendencia general que tienen las aleaciones metálicas ferrosas a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de película verde en el cobre y sus aleaciones (bronces, latones). Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los

materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.).

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión como: la explosión en las alcantarillas, accidentes de aviones y barcos, caída de edificios entre otros.

La norma ASTM B117 describe las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente salino dentro de una cámara. La calidad y la reproducibilidad de las pruebas de niebla salina dependen directamente de un respeto riguroso de los parámetros de ensayo, descritos en particular por la norma ASTM B117

Objetivo general del laboratorio

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca el proceso de corrosión de los metales y sus aleaciones y el degradamiento de los recubrimientos no metálicos y sus efectos

Objetivos específicos

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los mecanismos bajo los cuales ocurre pérdida de peso en los materiales metálicos debido a la corrosión, ya sea con revestimiento metálico o con revestimiento no metálico
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los elementos que forman parte de un sistema de cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los pasos para el uso de la cámara de niebla salina para realizar un ensayo de corrosión por niebla salina

Equipo a utilizar

- Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión
- Peachimetro
- Compresor de aire de la escuela de Ingeniería Mecánica

Procedimiento del ensayo

1. Seleccionar el material de las probetas a ensayar, donde conocemos su desempeño en el ambiente de trabajo tanto sin o con recubrimiento metálico y/o con recubrimiento no metálico
2. Marcar las probetas a ensayar dentro de la cámara de niebla salina, de modo que se pueda conocer a que material pertenece aunque tenga daños por la corrosión.
3. Pesar las probetas para conocer al final del ensayo el peso total perdido durante el ensayo debido a la corrosión
4. Limpiar las probetas antes de que comience el ensayo y ubicarlas sobre el portaprobetas dentro de la cámara de niebla salina, abriendo y cerrando la cámara adecuadamente, realizando un lijado manual para los de tipo metálico y para los no metálicos usando un paño con agua y alcohol.
5. Encender el compresor de aire, habilitar las válvulas de paso de aire hacia el FR.

6. Agregar agua desmineralizada en el humidificador a través de la válvula de purga (válvula azul) colocada sobre el mismo, usando el embudo hasta que llegué hasta la mitad del recipiente, verificándolo a través del nivel de manguera en el.
7. Preparar la solución salina con 95% en peso de agua desmineralizada y 5% en peso de NaCl al 99% de pureza, medir su pH con el peachimetro y verter en el tanque de solución salina.
8. Conectar el enchufe del sistema de control, introducir el bulbo del sensor dentro de la cámara, setear el termostato a 33 °C, subir el térmico de protección y accionar el switch de encendido, verificando el encendido del foco incandescente
9. Abrir el paso de aire a través del FR girando la perilla reguladora hasta que en el manómetro a la salida del humidificador marque una presión de 13 a 14 PSI con el compresor en ciclo de paro.
10. Abrir el paso de aire a través de la válvula de salida (válvula amarilla) del aire humidificado y comenzar a realizar el ensayo tomando nota de la hora y fecha en la cual se comenzó.
11. Extraer una probeta cada 8 horas o según el tiempo indicado por el instructor, limpiarla, pesarla y anotar en la tabla el nuevo peso de la probeta. Además del porcentaje de corrosión presente en ella al momento de extraerla de la cámara de niebla salina llenando la tabla 1 para materiales metálicos y la tabla 2 para materiales con recubrimientos no metálicos donde también se anotara el porcentaje de burbujas o descascaramiento presente en la probeta al momento de extraerla, reutilizar la solución salina reciclada si es necesario
12. Al terminar el ensayo en la cámara de niebla salina, cerrar todas las válvulas de paso de aire, apagar el interruptor de encendido del sistema de control y desconectarlo, luego liberar el aire atrapado en el humidificador a través de la válvula de purga y vaciar el agua desmineralizada de el para que no le provoque daños internos al humidificador.

13. por ultimo limpiar y guardar el equipo de cámara de niebla salina y completar el análisis, los cálculos y sacar la conclusión del ensayo

Toma e interpretación de los datos en el ensayo de la cámara de niebla salina

Tabla 1. Pesos de las probetas y porcentaje de corrosión presente en las probetas al momento de la extracción durante el ensayo de niebla salina

Probetas metálicas o con recubrimientos metálicos						
Probetas	control	“a1”	“a2”	“a3”	“a4”	“a5”
Pesos						
% de corrosion						

Tabla 2. Pesos de las probetas, porcentaje de burbujas o descascaramiento y porcentaje de corrosión presente en las probetas al momento de la extracción durante el ensayo de niebla salina

Probetas con recubrimientos no metálicos						
Probetas	control	“a1”	“a2”	“a3”	“a4”	“a5”
Pesos						
% de burbujas o descascaramiento						
% de corrosion						
Tipo de recubrimiento no metálico						

Reporte

1. Construir la grafica de la relación perdida de peso de material metálico contra el tiempo dentro de la cámara
2. Construir la grafica de la relación de la perdida de peso del material metálico contra el porcentaje de corrosión presente en la probeta
3. Construir la grafica de la relación de la perdida de peso del material metálico contra el porcentaje de burbujas o descascaramiento presente en el recubrimiento de la probeta
4. elabore sus conclusiones

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
ASIGNATURA: _____
CICLO _____, **AÑO** _____

**LABORATORIO N° 4: EFECTO DE LA CORROSIÓN POR NIEBLA SALINA
SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN UN METAL SIN O CON
RECUBRIMIENTO METÁLICO**

Nombre del Catedrático de la asignatura: _____

Nombre del Instructor del laboratorio: _____

Nombre de los alumnos : _____

Introducción

Corrosión es la tendencia general que tienen las aleaciones metálicas ferrosas a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de película verde en el cobre y sus aleaciones (bronces, latones). Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.).

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión como: la explosión en las alcantarillas, accidentes de aviones y barcos, caída de edificios entre otros.

La norma ASTM B117 describe las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente salino dentro de una cámara. La calidad y la reproducibilidad de las pruebas de niebla salina dependen directamente de un respeto riguroso de los parámetros de ensayo, descritos en particular por la norma ASTM B117

Objetivo general del laboratorio

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca el proceso de corrosión de los metales y sus aleaciones sus efectos

Objetivos específicos

- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los mecanismos bajo los cuales ocurre pérdida de conductividad eléctrica en los materiales metálicos o con revestimientos metálicos debido a la corrosión
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los elementos que forman parte de un sistema de cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión
- Que el estudiante de Ingeniería Mecánica conozca los pasos para el uso de la cámara de niebla salina para realizar un ensayo de corrosión por niebla salina

Equipo a utilizar

- Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión
- Peachimetro
- Compresor de aire de la escuela de Ingeniería Mecánica

Procedimiento del ensayo

1. Seleccionar el material de las probetas a ensayar, donde conocemos su desempeño en el ambiente de trabajo tanto sin o con recubrimiento metálico
2. Marcar las probetas a ensayar dentro de la cámara de niebla salina, de modo que se pueda conocer a que material pertenece aunque tenga daños por la corrosión.
3. Medir la conductividad eléctrica de cada probeta para conocer al final del ensayo la pérdida de conductividad eléctrica del material durante el ensayo debido a la corrosión
4. Limpiar las probetas antes de que comience el ensayo y ubicarlas sobre el portaprobetas dentro de la cámara de niebla salina, abriendo y cerrando la cámara adecuadamente, realizando un lijado manual para los de tipo metálico y para los no metálicos usando un paño con agua y alcohol.
5. Encender el compresor de aire, habilitar las válvulas de paso de aire hacia el FR.
6. Agregar agua desmineralizada en el humidificador a través de la válvula de purga (válvula azul) colocada sobre el mismo, usando el embudo hasta que

llegué hasta la mitad del recipiente, verificándolo a través del nivel de manguera en el.

7. Preparar la solución salina con 95% en peso de agua desmineralizada y 5% en peso de NaCl al 99% de pureza, medir su pH con el peachimetro y verter en el tanque de solución salina.
8. Conectar el enchufe del sistema de control, introducir el bulbo del sensor dentro de la cámara, setear el termostato a 33 °C, subir el térmico de protección y accionar el switch de encendido, verificando el encendido del foco incandescente
9. Abrir el paso de aire a través del FR girando la perilla reguladora hasta que en el manómetro a la salida del humidificador marque una presión de 13 a 14 PSI con el compresor en ciclo de paro.
10. Abrir el paso de aire a través de la válvula de salida (válvula amarilla) del aire humidificado y comenzar a realizar el ensayo tomando nota de la hora y fecha en la cual se comenzó.
11. Extraer una probeta cada 8 horas o según el tiempo indicado por el instructor, limpiarla, medir su conductividad eléctrica y anotar en la tabla su nuevo valor de conductividad eléctrica. Además del porcentaje de corrosión presente en ella al momento de extraerla de la cámara de niebla salina llenando la tabla 1, reutilizar la solución salina reciclada si es necesario
12. Al terminar el ensayo en la cámara de niebla salina, cerrar todas las válvulas de paso de aire, apagar el interruptor de encendido del sistema de control y desconectarlo, luego liberar el aire atrapado en el humidificador a través de la válvula de purga y vaciar el agua desmineralizada de el para que no le provoque daños internos al humidificador.
13. por ultimo limpiar y guardar el equipo de cámara de niebla salina y completar el análisis, los cálculos y sacar la conclusión del ensayo

Toma e interpretación de los datos en el ensayo de la cámara de niebla salina

Tabla 1. Pesos de las probetas y porcentaje de corrosión presente en las probetas al momento de la extracción durante el ensayo de niebla salina

Probetas metálicas o con recubrimientos metálicos						
Probetas	control	“a1”	“a2”	“a3”	“a4”	“a5”
Conductividad eléctrica						
% de corrosión						

Reporte

1. Construir la grafica de la relación perdida de conductividad eléctrica del material metálico o con revestimiento metálico contra el tiempo dentro de la cámara
2. Construir la grafica de la relación de la perdida de conductividad eléctrica del material metálico o con revestimiento metálico contra el porcentaje de corrosión presente en la probeta
3. Elabore sus conclusiones