

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

### Design and construction of a salt spray (fog) chamber for corrosion test

#### RESUMEN

La cámara de niebla salina es un equipo de laboratorio planteado para realizar ensayos de corrosión de forma acelerada, el cual proporciona una atmósfera corrosiva formada por una niebla salina, controlando las variables que intervienen en este proceso. El diseño se basó en equipos del mismo tipo disponibles en el mercado, empleando los parámetros establecidos en la norma ASTM B117 (1997) “*Salt Spray (fog) Test*”.

**PALABRAS CLAVES:** ASTM B117, Corrosión, Ensayos de Corrosión, Niebla Salina,

#### ABSTRACT

*The chamber of saline fog is laboratory equipment raised to realize accelerated corrosion tests, which provides a corrosive environment formed by a saline fog, controlling the variables that intervene in this process. The design was based on available equipments of the same type on the market, using the parameters established in the norm ASTM B117 (1997) “Salt Spray (fog) Test”.*

**KEYWORDS:** *Salt fog, corrosion tests, corrosion, spray, ASTM B117*

#### 1. INTRODUCCIÓN

A los materiales se les realiza diferentes estudios y análisis para determinar sus características y propiedades y así establecer si son apropiados o no para una aplicación específica. Entre ellos, la resistencia a la corrosión es una propiedad de mucha importancia que se debe tener en cuenta, ya que debido a ella se presentan muchas fallas, como inicios de fracturas, fugas en tanques o conducciones, disminución de resistencia mecánica en estructuras o en partes de máquinas, desviaciones del funcionamiento normal de equipos, contaminación debida a los productos derivados de la corrosión, entre otras. Es aquí donde se hace necesario un estudio sobre este fenómeno para determinar cuál material cumple con las exigencias de diseño y resistencia a la atmósfera o medio ambiente de trabajo que producen y aceleran su degradación, desgaste, cambios en su estructura y propiedades mecánicas afectando su calidad y desempeño. Para lograrlo se han desarrollado durante muchos años gran variedad de procedimientos para estudiar el comportamiento de los materiales frente a la corrosión, siendo uno de los más difundidos el ensayo denominado “*Salt Spray (Fog) Test*” o prueba del spray de sal.

Con este equipo se busca el mejoramiento de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, permitiéndole fortalecer las funciones de docencia, investigación y

#### CARLOS A. ARIAS CÓRDOBA

Ingeniero Mecánico.  
Inspector Montajes Industriales.  
ICONTEC.  
sarygu@hotmail.com

#### ERWIN CALVO HENAO

Ingeniero Mecánico.  
Jefe de Producción.  
CARROCERÍAS SAN LÁZARO.  
erwinc7@hotmail.com

#### JOSE I. OCHOA JARAMILLO

Ingeniero Mecánico.  
Inspector Montajes Industriales.  
ICONTEC.  
jio@utp.edu.co

extensión y en el futuro ofrecer el servicio a la industria regional.

#### 2. CONTENIDO

##### 2.1. Objetivos del proyecto.

- Identificar, medir y controlar las principales variables que intervienen en el proceso, como temperatura, presión, caudal del aire y nivel de líquido.
- Diseñar y construir una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión, con base en los parámetros establecidos en la norma ASTM B117 (1997), y con una autonomía de 5 días.
- Estructurar un manual de procedimientos para el funcionamiento de la cámara de niebla salina para ensayos de corrosión.

##### 2.2. La norma ASTM B117.

De los parámetros establecidos en ella se partió para el diseño del equipo; el procedimiento descrito por esta norma ha sido generalmente aceptada como el método estándar para ensayo de corrosión y es todavía extensamente empleado para probar acabados con pintura y otros tipos de recubrimientos protectores, componentes militares, componentes eléctricos y en

controles de calidad a productos terminados, sin embargo es de aclarar que este método no es aplicable a todo tipo de materiales, en la norma se especifican algunos de los materiales para los que los resultados obtenidos por este método no son adecuados. Generalmente el requerimiento para los resultados de una prueba de este tipo se especifica en número de horas a la falla en la prueba del spray de sal.

### 2.3. Ensayo de corrosión en cámara de niebla salina.

El ensayo de niebla salina consiste en exponer la pieza objeto del ensayo a una niebla salina durante un cierto período de tiempo en el interior de la cámara, bajo condiciones controladas. El tiempo transcurrido desde que se introdujo la pieza o artículo hasta que comienza el ataque de la corrosión, proporciona una medida de la capacidad de resistencia del metal constituyente o del recubrimiento a dicho ataque.

### 2.4. Parámetros de diseño y selección de equipos.

Durante el proceso de diseño y selección de equipos se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Rango de temperatura  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Rango de presión (flujo constante): entre 10 psi y 25 psi, libre de impurezas y aceite.
- Posición de las probetas: entre  $15^{\circ}$  y  $30^{\circ}$  respecto a la vertical.
- Deposition de niebla (condensado): de 1 a 2 ml/h en un área de  $80\text{ cm}^2$ .

- Materiales de construcción inertes, con buena resistencia mecánica para soportar golpes, ser de baja capacidad higroscópica, lavables, resistentes al agente corrosivo.
- Periodo de exposición continuo, con una autonomía de 5 días.
- Ninguna gota de condensado en la tapa puede caer sobre los especímenes, para esto se recomienda un ángulo en el rango de  $90^{\circ}$  y  $125^{\circ}$  entre las caras.
- Pulverización de la mezcla y suministro continuo.
- Hermeticidad en la cámara.
- Suministro de la solución salina por gravedad, y un recipiente con suficiente capacidad para una autonomía de 5 días.
- Un reservorio auxiliar con control de nivel.
- Un sistema de control simple y de fácil mantenimiento.
- Elemento calefactor con buena resistencia a la corrosión.
- Control de temperatura universal de una entrada, con soporte para sonda PT100.
- Equipo para compresión de aire para trabajo pesado.
- Equipo para regulación de presión y mantenimiento de aire comprimido, filtrado de partículas y aceite.
- Dimensiones de la zona de exposición de la cámara  $1\text{ m} \times 0.70\text{ m} \times 0.70\text{ m}$ , (largo, ancho, alto).

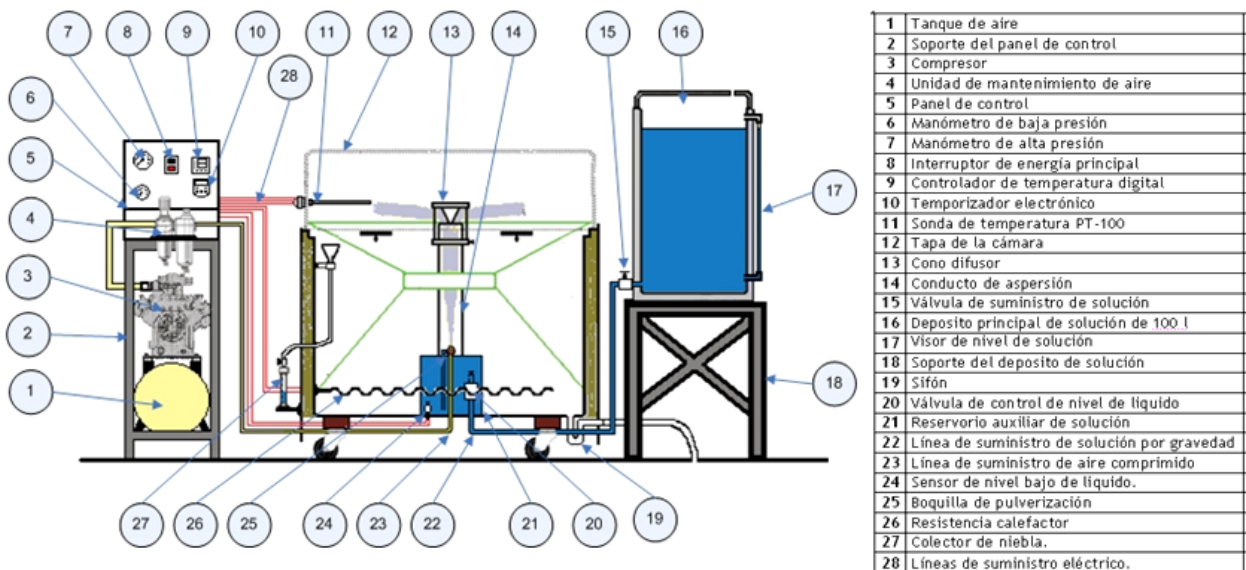


Figura 1. Partes de la cámara de niebla salina diseñada.

- Temporizador para el encendido y apagado del equipo.
- Aislamiento térmico de las paredes de la cámara.
- Sistemas de protección para evitar el daño del equipo debido a niveles altos de temperatura.
- Con condiciones seguras para los operarios.
- Boquillas de pulverización de dos fluidos que sean durables y resistentes al agente corrosivo.
- Un sistema de que permita dirigir y dispersar uniformemente la niebla, y que permita salir solo las partículas de solución mas finas.
- Boquilla(s) de pulverización de dos fluidos (para pulverizar un liquido con aire), de material anticorrosivo, preferiblemente de polímero y que permita obtener tasas de consumo de solución que permitan obtener la tasa de condensado, y la duración del reservorio principal para la autonomía de 5 días.

La boquilla que se seleccionó finalmente fue una adaptada de un “fly” de fumigación.

### 2.5. Esquema del equipo y sus partes.

La figura 1 muestra las partes del equipo como se proyectaron en el diseño.

### 2.6. Sistema de control.

La figura 2 muestra el sistema de control, y en la tabla 1 el significado de los nombres de los componentes. La explicación básica de cómo funciona el sistema es:

Se presiona el **SWITCH ON-OFF (SW)** para energizar el motor (M) del compresor y el temporizador.

Si la presión del depósito de aire está por debajo del límite inferior, el presóstato (S5) energiza el motor hasta que se llegue a la presión máxima; si el depósito de aire se encuentra a una presión superior a la mínima, el compresor estará apagado.

Después de programar los periodos de encendido y apagado, cuando se inicia el de encendido (T1) el temporizador energiza el controlador de temperatura y la entrada del relé que alimenta al calentador.

El controlador de temperatura mide la señal que le envía el sensor de temperatura PT-100. Cuando la temperatura censada es menor o igual al límite inferior de la temperatura de referencia el relé de la salida del controlador de temperatura (K2), cierra el contacto normalmente abierto y éste a su vez energiza la bobina del relé (K3), energizando el calefactor hasta que la temperatura censada alcance el límite superior de la temperatura de referencia, cuando esto sucede, el relé de salida del controlador de temperatura (K2) se desenergiza, dando como resultado el corte de energía a la bobina del relé (K3) que desconecta el calentador,

continuando este ciclo de encendido y apagado del calentador hasta que:

- Se apague el interruptor principal (SW).

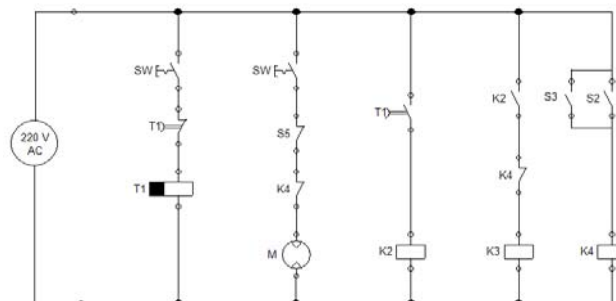


Figura 2. Esquema de circuito de control.

- Se cumpla el tiempo de apagado programado en el temporizador (T1).
- El nivel de líquido (S3) en el reservorio auxiliar esté en su límite inferior.
- El termostato se dispare por un nivel excesivo de temperatura en la cámara debido a un mal funcionamiento o mala configuración del controlador de temperatura.

### 2.7. Etapa de construcción.

Después de haber seleccionado y adquirido los equipos y accesorios necesarios para el desarrollo del proyecto, se

Referencia	Descripción
SW	Interruptor principal ON-OFF
S2	Contacto alarma1 del controlador de temperatura.
S3	Sensor de nivel de líquido del reservorio auxiliar
S5	Presostato del compresor
T1	Relé del Temporizador
K2	Relé de la salida del controlador de temperatura
K3	Relé de control para el calentador
K4	Relé para la desconexión del calentador y el motor del compresor.
M	Motor del compresor de aire.

Tabla 1. Elementos del sistema de control

procedió con la etapa de construcción, la cual estuvo antecedida de un periodo de estudio y experimentación con resinas reforzadas con fibra de vidrio y técnicas de moldeo a mano.



Figura 3. Moldeo a mano de la cámara interna

Al haber adquirido suficiente destreza en la técnica de moldeo a mano, la preparación de moldes y de las resinas, se procedió a fabricar el molde macho sobre el que se moldearía la cámara fabricándolo con una estructura fácil de desarmar en madera, con cubiertas de hard board, luego de preparar la superficie del molde primero con un tapa poros para madera y luego con tres capas de cera desmoldeante, se recortaron los pedazos de la tela de fibra de vidrio, llamada “tela mat” con las formas requeridas para cubrir toda la superficie del molde y se preparo toda la resina que para el procedimiento previamente mezclándola con el disolvente, el talco (carga en forma de polvo para darle mayor rendimiento a la resina) y el tinte blanco, esto se realizo debido a que la aplicación de la resina se debe hacer de forma continua para que quede bien hecha la aplicación.

Catalizando pequeñas cantidades de resina preparada, y aplicándola firmemente con una brocha pequeña (limpiándola bien entre aplicaciones) contra la tela que se ubica sobre el molde y se impregna de forma generosa. Se sigue este procedimiento hasta que se cubre toda la superficie del molde, en las esquinas y los bordes se aplicaron refuerzo aplicando una segunda capa de tela mat y resina, pero teniendo la precaución de aplicarla solo cuando la capa anterior este en lo que se denomina punto de gel, que es cuando se toca con el dedo y se siente pegajosa, pero el dedo no queda untado de resina.

En la parte inferior de la cámara se aplicaron dos refuerzos con cuarterones de madera recubiertos con resina reforzada, para poder sujetar a ellos unas ruedas, y otros dos en la parte trasera para sujetar las bisagras de la tapa.

Pasados dos días se procedió a desmoldear la cámara. Luego se corrigieron las irregularidades de las superficies con masilla para poder aplicar capas de pintura base antes de aplicar una pintura de poliuretano de dos componentes, para darle un buen acabado y darle mayor protección.



Figura 4. Cámara interna antes de ser demoldeada.

El siguiente paso fue fabricar láminas de resina reforzada para armar la tapa de la cámara y el panel de control, realizando además un vaciado de resina transparente entre dos vidrios para emplearla como visor en la tapa.

Terminado el trabajo con la resina se procedió a ensamblar la tapa y a instalarla, continuando con la ubicación de los diferentes accesorios de la cámara.

Se continuó con el ensamblado de la carcasa del panel de control y la estructura metálica que lo soporta, para así instalar y conectar los dispositivos que controlan las variables del sistema y el suministro eléctrico. En la parte inferior de la base del panel de control se situó el compresor y en la parte frontal el sistema de mantenimiento y regulación del aire.

Se procedió luego con la construcción de la base para el reservorio principal, teniendo en cuenta que ésta tuviera la altura suficiente para formar una cabeza de presión estática y así lograr un flujo continuo de solución al reservorio auxiliar.

Por último se ensambló y conectó el sistema de pulverización y dispersión de niebla, que se puede apreciar en la figura 5.

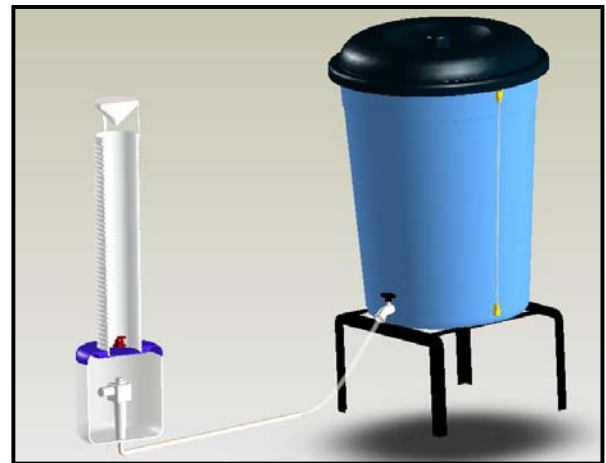


Figura 5. Ensamble y conexión del sistema de pulverización y aspersión.



Figura 6. Cámara de niebla salina completamente ensamblada.

### 2.8. Puesta a punto de la Cámara.

La puesta a punto de este equipo consiste básicamente en la calibración de los instrumentos de medición, de los equipos de control y la realización de una prueba piloto. El procedimiento que se siguió se describe en los siguientes ítems:

- Calibración de la sonda de temperatura.
- Configuración del controlador de temperatura.
- Configuración del temporizador.
- Verificación del control de presión del compresor de aire y la selección de la presión de trabajo del pulverizador.
- Ajustes en la torre de aspersión.
- Consumo de potencia.

Durante esta etapa se realizaron ajustes a la torre de aspersión, para poder obtener las tasas de condensado, y se pudo constatar que la torre de aspersión es un elemento fundamental para que la calidad de la niebla y la cantidad de condensado pueda ser la adecuada. Esto debido a que al pulverizar la solución no toda queda pulverizada finamente, así que la torre se encarga de impedir que estas partículas mas grandes lleguen a caer directamente sobre las probetas, además los “ductos” de aireación que tiene en la parte inferior de la torre permiten que salga mas o menos cantidad de niebla del conducto; esto dependiendo del área de las perforaciones.

El conducto de aspersión también permitió poder emplear la boquilla de pulverización seleccionada, ya que permite que se recirculen las partículas de solución más grandes hacia el interior del reservorio auxiliar, para que sean nuevamente pulverizadas, evitando así que debido a la alta tasa de consumo de solución de la boquilla a la presión seleccionada (20 psi), según se puede apreciar en la tabla 2, el contenido del reservorio principal con capacidad de 100 litros no dure los 5 días necesarios.

Aire		Líquido	Aire		Líquido
Presión [bar]	Caudal [m³/h]	Caudal [l/h]	Presión [PSI]	Caudal [CFM]	Caudal [GPH]
1.0	0.78	3	14	0.46	0.79
1.5	0.84	3.3	21	0.49	0.87
2.0	0.96	4	29	0.56	1.05
2.5	1.02	4.2	36	0.60	1.11
3.0	1.14	4.7	43	0.67	1.24

Tabla 2. Caracterización de los consumos de la boquilla de pulverización empleada en el proyecto.

Variable	Valor
Tiempo	24 horas
Temperatura	35 °C
Probeta 1 lámina de acero AISI 1020 sin recubrimiento	10 cm X 20 cm
Probeta 1 lámina de acero AISI 1020 pintada con aerosol	10 cm X 20 cm
Rango de colectado de niebla	1 ml/h a 2 ml/h
pH de la solución	7
Presión de pulverización	20 psi (138 KPa)
Solución salina al 5 % en masa.	14 l

Tabla 3. Parámetros para realizar la prueba piloto.

Los objetivos de esta prueba fueron verificar:

1. Que el sistema de generación de niebla pulverizara adecuadamente durante el periodo de la prueba y no se obstruyera.
2. Que el sensor de nivel bajo de líquido cumpliera con su función.
3. Que el suministro de agua desde el depósito al reservorio se diera sin ningún problema.
4. Que el control de nivel del reservorio cumpliera su función.
5. Que las desviaciones de la temperatura dentro de la cámara con el modo de control empleado (ON/OFF) se mantuvieran dentro de lo permitido por la norma de referencia, revisando la temperatura cada 15 minutos durante las primeras 2 horas y luego cada 2 horas, hasta acabar la prueba.
6. Verificar si la niebla salina se deposita correctamente o de la forma esperada en los especímenes de prueba.
7. Que no se presenten fugas de niebla por el sello seco de la cámara.
8. Que el material del cual esta construido la resistencia calefactora y la sonda de temperatura no se afectaran con la niebla corrosiva.
9. Que se cumpla el requisito de la cantidad de niebla colectada dentro del rango exigido por la norma de referencia.

### 2.10. Conclusiones y resultados.

- Se logró un equilibrio de las variables a controlar dentro de los rangos permisibles sugeridos por la norma.
- Se logró una homogeneidad de la niebla, con una deposición de condensado que cumple con el parámetro descrito en la norma.
- Se logró una autonomía completa en el funcionamiento de la cámara, la cual fue de 5 días.

### 3. BIBLIOGRAFÍA

- E. Calvo, C. A. Arias, y J. I. Ochoa, “*Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión,*” proyecto para optar al título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Abril de 2007.

ASTM B-117 “*Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*”, ASTM International, 1997.