

## “Aleaciones especiales aplicables a las condiciones ambientales en la zona del puerto de guayaquil”

Luis Fabián Ramírez Montenegro<sup>1</sup>, Ignacio Wiesner Falcón <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico. 2009; Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción – Escuela Superior Politécnica del Litoral.

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico; Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción – Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, Postgrado México, UNAM – Politécnico de México, Investigador Visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil, Profesor de ESPOL desde 1975 Campus Politécnico Prosperita Km. 30.5 Vía Perimetral – Guayaquil, Ecuador, [intramet@hotmail.com](mailto:intramet@hotmail.com).

### Resumen

*Se han realizado ensayos de corrosión acelerado en cámara de niebla salina a fin de conocer el grado de agresividad que poseen las aguas contaminadas del estero salado en la zona del puerto marítimo y en especial en la base sur de la Armada ecuatoriana sobre los materiales metálicos, donde es conocido que se presentan grandes problemas de corrosión ambiental no solo su condición marina, sino también porque se ha verificado que el Ph del agua del estero es inferior a 7 y se ha modificado por la contaminación industrial lo cual provoca el fallo de los materiales resistentes a los ambientes marinos. El objetivo de la presente tesis fue realizar un estudio de la corrosión de los materiales de ingeniería más conocidos para determinar la velocidad de deterioro de los mismos. Los metales seleccionados para su evaluación en una cámara de niebla salina estándar que usa la especificación ASTM B117 son: Bronce al aluminio, Acero Inoxidable AISI 304, Acero Inoxidable AISI 306, Acero Inoxidable 406, Latón y el denominado Silver Brass o bronce Cupro – Niquel (Cu -30%Ni).*

**Palabras Claves:** Corrosión marina, cámara de niebla salina, aceros Inoxidables, aleaciones, ASTM B117, AISI 304, AISI 306, parámetros, ensayos.

### Abstract

*There have been accelerated corrosion tests in salt spray chamber in order to know how aggressively they possess the polluted salt marsh in the seaport area and especially in the southern base of the Ecuadorian Navy on metal materials, where it is known that there are large environmental corrosion problems not only their marine condition, but also because it was verified that the pH of the water of the estuary is less than 7 and has been modified by industrial pollution which leads to failure of materials resistant to marine environments. The objective of this thesis was a study of the corrosion of engineering materials known to determine the rate of deterioration of them. The metals selected for evaluation in a standard salt spray chamber using the ASTM B117 specification are: Aluminum bronze, Stainless Steel AISI 304 Stainless Steel AISI 306 Stainless Steel 406, Brass and Brass or bronze called Silver Cupro - Nickel (Cu 30% Ni).*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de está relacionado con problemas inherentes a la corrosión de los materiales y aleaciones industriales en la zona del puerto de Guayaquil donde el grado de contaminación del agua es elevado.

Conocedores que en la base sur de la Armada Nacional ya se han reportado muchos casos en que los materiales de piezas y componentes metálicos tienen un periodo de vida útil inferior al promedio de los índices en ambientales salinos o condiciones de mar, se han realizado acciones para identificar el problema. Con esta premisa la Armada realizó monitoreo de las aguas del Salado y el Estero Del Muerto desde hace 10 años y el resultado es que la contaminación ha modificado las condiciones del PH del agua durante la temporada de verano hasta niveles de acidez del orden de 6.7 lo cual explica el mayor grado de agresividad del medio sobre los materiales metálicos y no metálicos.

Se construyó una cámara de niebla salina con especificaciones de la ASTM con mandos automatizados para hacer ensayos de sobre 200 horas de duración y se monitoreó el deterioro de los materiales por medio de fotografía digital. Los ensayos en la cámara se hicieron con dos experimentos: agua bajo las condiciones de la norma y agua tomada del puerto en las peores condiciones, finalmente se reportó el material menos atacado por dichas atmósferas y por este medio se encontró la mejor aleación para equipos tales como bombas de uso múltiple y otros equipos que deben trabajar en esos ambiente.

### **Grado de contaminación de aguas del salado y estero muerto.**

El estero El Muerto es un ramal del Estero Salado, a cuyas riberas se

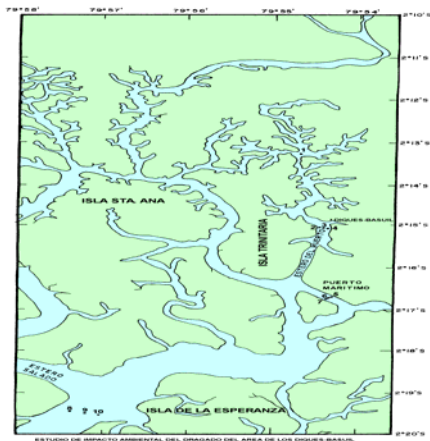
asienta la parte Sur-suroeste de la ciudad de Guayaquil, tiene aproximadamente 200m de ancho y 9 Km de longitud, recibe la influencia de la porción superior del Estero Salado al Nor-noroeste de la ciudad, así como de los ramales exteriores del mismo. Es la vía de acceso a las instalaciones del Puerto marítimo de Guayaquil, Dique naval, Fertisa y Cartonera, razón por la cual sufre constantes y periódicos dragados

El Estero El Muerto es un ramal del estuario del río Guayas y sus aguas bañan el sector Sur Oeste de la ciudad.

El área circundante pertenece al tipo de costas de configuración irregular, muy baja, donde existe un equilibrio inestable entre la sedimentación y la circulación oceánica, con tendencia a la deposición. Podemos definir las como costas de estuario porque presentan una mezcla de ambiente marino y fluvial.

La vegetación predominante está constituida por manglares lo cual le brinda, a la zona un aspecto de gran pantano; entre las raíces, quedan atrapados los sedimentos en los que se desarrollaban, hasta hace algunos años, infinidad de especies marinas, especialmente moluscos y crustáceos, las cuales, por efectos del agudo deterioro que ha ocasionado la contaminación producida por los desechos ciudadanos, ha desaparecido casi completamente. El origen del Estero se debe al aporte sedimentario del Río Guayas, el mismo que presenta un cauce cuya altura es mayor que la del primero.

La baja salinidad observada se debe a que las corrientes de marea empujan las aguas procedentes de la descarga fluvial del Guayas, de donde se deduce que puede existir un relleno indirecto por sedimentos aportados por el Río a través del canal de Cascajal al sur.



## MATERIALES MÁS USADOS PARA CORROSIÓN MARINA

En esta parte de nuestro trabajo discutiremos paso a paso los procesos por el cual haremos una preselección de los materiales idóneos para minimizar los efectos de la corrosión en la zona el puerto de la armada de la base sur considerando los aspectos tales como resistencias de los materiales a diferentes formas de corrosión, formas de fallas de los materiales, efecto económico.

De nuestra investigación realizada para llevar a cabo este trabajo se puede decir que no hay un método patrón o un modo preferido para evaluar un determinado material en un señalado ambiente puesto que la naturaleza no se comporta en forma uniforme teniendo variables tales como: temperatura, velocidad, lluvias, contaminación con productos contaminantes, niveles de tensión .

Para conocer la resistencia que tienen los materiales a este medio debemos conocer las condiciones de operación de los equipos y el ambiente corrosivo, por lo que tomaremos muestras de agua para ser llevado al instituto de ingeniería química y realizarle un analisis químico y conocer su nivel de pH.

Al no haber un método o una forma convencional para efectuar un ensayo de corrosión, el régimen que escogeremos para este trabajo será según nuestra finalidad. La prueba escogida para este trabajo será una prueba de corrosión en laboratorio denominado test de niebla salina el cual simula el ambiente de estudio en diferentes metales llevando un control estricto diario del comportamiento o cambio que se dan en los materiales de ensayos (perdida de espesor, grado de porosidad y apariencia), donde la selección caerá sobre el material que sea mecánicamente adecuado. Los más comúnmente usado y aceptados test de niebla salina en los Estados Unidos son los métodos en los estándares que ofrece la ASTM B117 y G85.

Otro factor importante para llevar a cabo esta selección de materiales es el diseño el cual me define el proceso de manufactura de las piezas como por ejemplo en la armada hay lanchas contra incendios que usan unas bombas las cuales tiene sus volutas e impulsores fabricados de material monel el cual fue fabricado mediante el proceso de fundición así mismo abran otros tipos de elementos que requieran de soldar, maquinar etc, lo cual implica un punto clave en la selección del material si se quiere controlar la agresividad de la corrosión. Pues bien, considerando estos aspectos tenemos una lista de materiales muy variada de entre materiales ferrosos y no ferrosos, aleaciones termoplásticos, vidrio, resinas etc

Para nuestro trabajo de test de niebla salina utilizaremos la norma ASTM B117 (apéndice). Quien nos dará las indicaciones de los detalles a seguir para conseguir los resultados deseados.

Siguiendo el proceso de evaluación los materiales seleccionados serán sometidos a la prueba de laboratorio donde sabremos el grado de aceptación de cada material considerado, la consecuencia de pensar que un material es no idóneo y

el aprovechamiento del tiempo para conocer ciertas características o grado de aceptación que no se conoció en ciertos materiales.

Pues bien! Luego de conocer los diversos materiales aplicables para ambientes marinos con sus características tales como: maquinado, soldabilidad, formas de manufactura, transferencia de calor, conductividad eléctrica, máximas esfuerzos, temperaturas de operación. Citamos una tabla la cual nos proporciona datos importantes del grado de aceptación o desempeño que tienen los materiales frente a: medios no oxidantes o reductores (soluciones acidas, neutras y alcalinas), líquidos sean estos medios oxidantes y aguas naturales (agua dulce y salada ya sea estático o turbulento) y por ultimo gases generados en los medios industriales

**PROPIEDADES GENERALES DE CORROSIÓN**

La importancia de los datos sobre la resistencia a la corrosión para efectos prácticos en la industria se hace apremiante, debido a los altos costos asociados al mantenimiento de componentes de máquinas y estructuras. Se recurre entonces a los ensayos acelerados de corrosión, los cuales suministran valiosa información para crear programas preventivos y de mantenimiento.

Los ensayos de laboratorio, llamados también ensayo rápidos se efectúan tratando de exagerar las condiciones de exposición que se presentan en servicio. Entre los ensayos de laboratorio se encuentran los siguientes:

**Inmersión total o parcial:** Este ensayo suele utilizarse para producir condiciones naturales que se dan en ambientes corrosivos.

**Ensayos de Simulación Atmosférica:** Son aquellos ensayos de laboratorio que se usan para producir tipos de corrosión que se dan al exponer las aleaciones a los distintos tipos de atmósferas en su uso normal.

**Exposición a Vapores Nítricos:** Consiste en colocar las probetas suspendidas sobre un Erlenmeyer de cuello largo lleno parcialmente de ácido nítrico a 50°C. Este método se ha empleado principalmente para evaluar la resistencia de algunos cromados y latones a ciertas atmósferas altamente corrosivas.

**Parámetros de construcción de la cámara salina**

Las medidas de la cámara salina se deben ajustar las normas ASTM B117 (apéndice 3) que señalan las condiciones de exposición en la zona de trabajo de la cámara.

**PARAMETROS DE DISEÑO DE CAMARA DE NIEBLA SALINA**

Geometría del espacio interior	Temperatura °C	Humedad relativa %	Atomización
Tamaño mínimo recomendado 15 pies cúbicos, las muestras se cuelgan en las gancheras entre 15° - 30° paralelas al flujo horizontal de la niebla, el techo deberá poseer una inclinación no inferior a 30° respecto a la horizontal	33,3 a 37	95 a 98	Precipitación de la niebla en un área de 80 centímetros cuadrados por cada hora de atomización continua de solución salina al 5% de cloruro de sodio disuelto en agua destilada.

### Geometría de la Cámara

La cabina deberá ser de tamaño suficiente para probar adecuadamente el número deseado de partes sin aglomerarlas. Para tal efecto la norma ASTM B117 (apéndice 3) establece que la capacidad mínima de la cabina pequeña sea de 0.43 metros cúbicos. La cámara debe hacerse con materiales inertes como plástico, vidrio o piedra, pero se construye preferiblemente de metal y se recubre con un material resistente a la solución salina. Para este proyecto se han establecido las dimensiones que aparecen en la tabla

Ancho	50 cm
Largo	100 cm
Alto hasta la parte más baja del techo	73 cm
Alto hasta la parte más alta del techo	98 cm
Inclinación del techo	45 °

### Canal de cierre de la cámara

La función de este canal es no permitir la evasión de vapores generados durante y después del ensayo; está ubicado exactamente en la parte superior de las paredes exteriores de la cámara y unido a la cabina inferior normal.

### Sistema de generación de niebla

Este modelo consta de un recipiente aislado térmicamente en el que se colocan unos soportes porta probetas. Pero para que éste produzca los resultados esperados es necesario implementar un

sistema de suministro que permita generar la niebla que establece la norma.



Basados en la norma ASTM B117 se procedió al la construcción del equipo, equipo que nos brindaría un ambiente altamente corrosivo el cual esta controlado por temperatura, humedad, concentración de cloruro de sodio. A este ambiente ingresarán aleaciones metálicas que tienen buen desempeño en ambientes corrosivos, los cuales fueron preseleccionados de los diferentes materiales de apoyos que se consultaron, las muestras permanecerán en la cámara un periodo de 200 horas en la cual se llevara un control o monitoreo de los cambios que se vayan dando según el avance del tiempo. Se están preparando dos muestras por cada aleación, la primera etapa consiste en hacer el estudio o monitoreo de las muestras con la solución tomada del estero salado, y la otra etapa consiste en exponer las muestras a la solución que establece la norma ASTM B117, culminado el periodo de prueba de realizaran análisis comparativos según establece la norma en base al deterioro sufrido por las muestras.

Para identificar las muestra una con respecto a otra con una marquilla de les coloco identificación además con

esta identificación se evita escribir todo el nombre del metal

### IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES QUE INGRESAN EN PRIMERA ETAPA

MUESTRA	CODIGO
Bronce-Al	0A
AISI 304	1A
Hierro gris	2A
Latón	3A
AISI 306	4A
AISI 406	5A
Silver Brass	7A

### IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES QUE INGRESAN EN SEGUNDA ETAPA

MUESTRA	CODIGO
Bronce-Al	0X
AISI 304	1X
Hierro gris	2X
Latón	3X
AISI 306	4X
AISI 406	5X
Silver Brass	7X

Para recoger muestra de agua del estero se siguió la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo. Para este caso se consideró profundidad del estero, el área de estudio o donde se desenvuelven los equipos y maquinarias, Movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del estero, estación (invierno o verano),

Considerando estas variantes y con la ayuda de personal de la armado se tomaron las muestras en envases limpios e inertes los mismo que fueron llevados al instituto de ingeniería química de la ESPOL para realizar un análisis del PH y se determino que el pH en el lugar de estudio es de 6.7.

La preparación de las probetas consistió en obtener la muestra de los materiales seleccionados y prepararlos con superficies pulidas a través del método de que consiste en utilizar lijas de carburo de silicio que van desde la No. 100 hasta la fina No.1200, de tal manera que se puedan eliminar todos los óxidos, luego de este proceso se procedió a pesar cada muestra metálica (pesea digital), para dejar asentado con que peso ingresa.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha descrito las muestras ingresan a la cámara de niebla salina expuestas a dos soluciones (agua estándar, agua del Estero Salado). La permanencia de las muestras en la cámara fué de 200 horas, los controles efectuados durante la permanencia fue el peso de cada una a la entrada de la cámara luego se llevara una hoja de control en la cual se anotaran los cambios que sufren las muestras, las observaciones hechas en esta hoja de control serán diarias o en acuerdo a las anomalías superficiales que presenten las muestras y acompañando esta información se tomaron fotos para visualizar los cambios y que luego fueron interpretados conjuntamente con la hoja de control. Las muestras ingresan el 24 de febrero 2006, éstas están identificadas con el código X (figura 2.4). Las muestras estarán expuesta a una solución estándar que consiste en agua destilada 95 % en peso mas cloruro de sodio al 5 % en peso durante un periodo de 200 horas consecutivas es decir que el proceso termino el 4 de marzo del 2006,

16h00. Ingresadas las muestras se realiza el control de las muestras con el siguiente cronograma de inspección.

### CRONOGRAMA DE INSPECCIÓN

Fecha	Acciones a Realizar
24-Feb-06	ingresan muestras 8:00 a.m.
25-Feb-06	se toma nota de los cambios y fotos
26-Feb-06	se toma nota de los cambios
27-Feb-06	se toma nota de los cambios y fotos
28-Feb-06	se toma nota de los cambios y fotos
02-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos
04-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos; finaliza proceso 4:00 p. M.

**Resultados obtenidos con el agua del estero salado.** Las muestras ingresan el 07 Marzo 2006 8:00 a.m., Las muestras están identificada con el código A. Las muestras estarán expuesta a una solución que fue tomada del estero salado, obedeciendo las normas para este tipo de muestreo, durante un periodo de 200 horas consecutivas es decir que el proceso termino el 15 de Marzo del 2006 4:00 p.m. Durante la permanencia de las muestras en la cámara de niebla salina se lleva un control escrito de los cambios que están sufriendo las muestras.

fecha	observaciones
07-Mar-06	Ingresan muestras 8:00 a.m. A las 2:00 p.m. se realiza las primeras observaciones
08-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos
09-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos
10-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos
12-Mar-06	se toma nota de los cambios
14-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos
15-Mar-06	se toma nota de los cambios y fotos; finaliza proceso 4:00 p. M.

### Calculo de perdida de masa de las muestras por efecto de la corrosión

Una vez que se ha terminado el periodo de exposición de las muestras se realiza el cálculo de la perdida de masa por efecto de la corrosión, para lo cual se pesaron las muestras antes y después del periodo de prueba. Para obtener el resultado después de salida las muestras se realiza una limpieza de los productos o efectos de la corrosión aplicando soluciones químicas, donde el tipo de solución que se use depende de la composición del material (apéndice 2I)

Una vez realizada la limpieza de las muestras y obteniendo el resultados de las pesas procedemos al cálculos del mpy.

Culminado las 400 horas de trabajo neto experimentando con siete materiales industriales todos con alguna característica positiva que lo hace acreedor a resistente a la corrosión se procede al analiza de la bitácora de datos mas un control de peso es decir un comparativo de pesos antes de someterlo al proceso de corrosión acelerado vs a la salida previo a una limpieza de la superficie aplicando las recomendaciones de la norma ASTM B 117 (apéndice 1) y las sustancia química mediante el apéndice 2 .

### CALIFICACIÓN DE MATERIALES QUE PARTICIPARON EN LA PRUEBA

MUESTRA	CALIFICACIÓN
Bronce-Al	Regular
AISI 304	Regular
Hierro Gris	Malo
Latón	Malo
AISI 306	Regular
AISI 406	Excelente
Silver Brass	Excelente

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Después de haber ensayado los materiales en dos condiciones de niebla: estándar con solución salina y agua del estero salado se concluye que:

1. El agua del estero salado efectivamente posee más poder corrosivo que el agua estándar.
2. Que los materiales ordinarios sufren ataques corrosivos a un tiempo relativamente corto con relación al bronce Cu-30%Ni.
3. Otro material que también es resistente a las condiciones extremas del agua del estero salado es el SAE 406.

Se recomienda lo siguiente:

1. Para futuras adquisiciones de equipos o maquinarias que vayan a tener algún tipo de contacto con las aguas de este punto de la Armada del Ecuador se considere dentro del diseño el tema del Ph ácido del estero salado.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. BABOIAN ROBERT, NACE Corrosion Engineer's Reference Book, third edition published, by NACE INTERNACIONAL 1440 south creek, Houston.
3. PERRY ROBERT, Manual del ingeniero químico, séptima edición, 4To volumen , editorial Mc Graw Hill.
4. CALERO, L. Y R. Casanova, Evaluación de algunos parámetros Fisicoquímicos y sustancias contaminantes en el Pacifico Colombiano. BOLETIN CIENTIFICO.
5. CORONEL, V. Y M. VALENCIA, Condiciones Geoquímicas del Estero El Muerto. INOCAR. INFORME TECNICO. 1976
6. INOCAR, Taller regional sobre evaluación del impacto ambiental producido por un desarrollo portuario. Informe técnico. División de Química.1988.
7. INOCAR, Algunas características químicas de las aguas del estero del muerto, Informe técnico, 1988.
8. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, Registro oficial de la ley de aguas, N° 204, 1989.
9. INOCAR, Estudio de la Calidad de las aguas del Estero del Muerto en base a la concentración del oxígeno disuelto, 1987.