

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SOBRE SUPERFICIES METÁLICAS DE  
UN PRODUCTO NATURAL CON PROPIEDADES DESENGRASANTES,  
DESOXIDANTES Y PASIVANTES**

**DIEGO ALEJANDRO ORDÓÑEZ RUEDA  
MARYURY BLANCO PAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SOBRE SUPERFICIES METÁLICAS DE  
UN PRODUCTO NATURAL CON PROPIEDADES DESENGRASANTES,  
DESOXIDANTES Y PASIVANTES**

DIEGO ALEJANDRO ORDOÑEZ RUEDA

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

MARYURY BLANCO PAZ

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO

METALURGICO

Director

P.D., M.Sc, Ing. DARIO YESID PEÑA BALLESTEROS

Codirectores

M.Sc. Fis. LUIS CARLOS ROJAS LAURENS

Qco. GIOVANNI JUZGA LEON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2009

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Luis Ferney Vesga López, quien nos acompañó durante gran parte del desarrollo del proyecto por su dedicación, confianza y orientación necesarias para la ejecución de la investigación.

Luis Carlos Rojas Laurens, Co-Tutor del proyecto, por su gran colaboración e interés.

Giovanni Juzga León, porque con sus valiosas orientaciones y aportes contribuyó al desarrollo y feliz culminación de este estudio.

Darío Yesid Peña Ballesteros, Tutor del proyecto, por su colaboración y enseñanzas.

Nuestros compañeros de la CIC, por su interés, apoyo y voz de ánimo constante.

Compañeros de la universidad y amigos que de una u otra forma, con su compañía y fortaleza contribuyeron a alcanzar esta meta.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	2
2.1 Preparación de superficie.....	2
2.2 Limpieza química.....	3
2.3 Limpieza química por método de inmersión.....	3
2.4 Limpieza química por método de fricción.....	3
2.5 Inhibición en chorro húmedo.....	4
2.6 Calidad de la superficie preparada.....	4
2.7 Desempeño de recubrimientos.....	5
<b>3. METODOLOGÍA</b>	
3.1 Estado del Arte.....	5
3.1.1 Revisión de la normatividad.....	5
3.1.2 Procesos de limpieza.....	5
3.1.3 Productos y sectores industriales.....	5
3.2 Limpieza de probetas.....	5
3.2.1 Selección de sustratos.....	5
3.2.2 Oxidación y contaminación de probetas.....	6
3.2.2.1 Oxidación.....	6
3.2.2.2 Engrase.....	6
3.2.3 Ejecución de limpieza.....	6
3.2.3.1 Inmersión.....	6
3.2.3.2 Fricción.....	6
3.2.3.3 Chorro húmedo.....	7



<b>4.1.3</b>				
Pasivación.....				11
<b>4.1.4</b>	Rendimiento	del	producto	
limpiador.....				14
<b>4.2</b>				
Fricción.....				...
...				15
<b>4.2.1</b>	Inspección visual del grado de			
limpieza.....				15
<b>4.2.1.1</b>				
Desoxidación.....				1
				5
<b>4.3</b>	Chorro húmedo de			
arena.....				15
<b>4.4</b>	Evaluación de desempeño de			
imprimantes.....				16
<b>4.4.1</b>	Caracterización inicial de los imprimantes			
aplicados.....				16
<b>4.4.2</b>	Exposición en ambientes			
simulados.....				16
<b>4.4.2.1</b>	Cámara			
salina.....				16
<b>4.4.2.2</b>	Cámara			
húmeda.....				22
<b>4.4.2.3</b>	Cámara de simulación			
marina.....				23

<b>5.</b>	
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>2</b>
4	
<b>6.</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>2</b>
5	

## LISTADO DE FIGURAS

### Pág.

Figura 1. Micrografías SEM y espectro de emisión de rayos x de acero cold rolled sin proceso de limpieza.	11
Figura 2. Micrografías SEM y espectro de emisión de rayos x de acero cold rolled con proceso de limpieza haciendo uso de limpiador natural.	12
Figura 3. Micrografías SEM y espectro de emisión de rayos x de acero cold rolled con proceso de limpieza haciendo uso de producto comercial.	12

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
<b>Gráfica 1.</b> Variación del potencial de circuito abierto (EOC) por inmersión de acero a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural	13
<b>Gráfica 2.</b> Espectros de impedancia electroquímica de acero cold rolled preparado por inmersión a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural	14
<b>Gráfica 3.</b> Resistencia a la transferencia de carga (RCT) de acero preparado por inmersión a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural	14
<b>Gráfica 4.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxifenólico aplicado sobre probetas preparadas mediante chorro húmedo. Exposición en cámara salina	17
<b>Gráfica 5.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante inmersión exposición en cámara salina	18
<b>Gráfica 6.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled (laminado en frío) preparadas mediante inmersión. Exposición en cámara salina	18
<b>Gráfica 7.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina	19
<b>Gráfica 8.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina	19
<b>Gráfica 9.</b> Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamida aplicado sobre probetas de acero galvanizado preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina	20

## LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A.</b> LIMPIEZA QUÍMICA E INHIBICIÓN CHORRO HÚMEDO	28
<b>ANEXO B</b> TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUPERFICIE	29
<b>ANEXO C</b> DESEMPEÑO DE RECUBRIMIENTOS Y CÁMARAS DE SIMULACIÓN	36
<b>ANEXO D</b> METODOLOGÍA	39
<b>ANEXO E</b> SUSTRATOS UTILIZADOS	41
<b>ANEXO F</b> NOMENCLATURA DE CUPONES Y METODOLOGÍAS EVALUADAS	41
<b>ANEXO G</b> ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN INICIAL	46
<b>ANEXO H</b> REGISTRO FOTOGRÁFICO SUPERFICIES PREPARADAS POR INMERSIÓN FRICCIÓN Y CHORRO HÚMEDO	49
<b>ANEXO I</b> RENDIMIENTOS INMERSIÓN	56
<b>ANEXO J</b> ANÁLISIS DE ADHERENCIA CÁMARA SALINA	57
<b>ANEXO K</b> RESULTADOS CÁMARA SIMULACIÓN MARINA Y HÚMEDA	60

## **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SOBRE SUPERFICIES METÁLICAS DE UN PRODUCTO NATURAL CON PROPIEDADES DESENGRASANTES, DESOXIDANTES Y PASIVANTES**

**AUTORES: BLANCO PAZ, Maryury. ORDOÑEZ RUEDA, Diego Alejandro**

### **Resumen**

Palabras Clave: desengrase, desoxidación, pasivación, superficie metálica, producto natural, imprimante.

Por medio de la presente evaluación, se obtuvieron las condiciones de operación de mejor desempeño de un producto natural para los diferentes modos de limpieza entre las cuales se contempló chorro húmedo, fricción e inmersión simulando las condiciones de limpieza para diferentes sectores de la industria entre los cuales se encuentra el sector marino, sector hidrocarburos, sector eléctrico, y sector metalmecánico. Teniendo en cuenta que los productos, usados actualmente para estas actividades de limpieza, son producidos a base de químicos tóxicos, los cuales están clasificados como nocivos tanto para la salud como para el medio ambiente, se ha desarrollado un producto natural, cuyo desempeño fue evaluado y comparado con otros productos alternativos que se encuentran actualmente en el mercado, para así determinar su desempeño técnico (propiedad desengrasante, desoxidante y/o pasivante) y la posibilidad de disminuir el número de productos utilizados en estas actividades de limpieza así como el impacto ambiental asociado a los productos químicos clasificados como tóxicos y que se implementan tradicionalmente en las actividades de limpieza.

La evaluación, se efectuó por métodos tanto electroquímicos como instrumentales y de inspección para evaluar la calidad de la superficie preparada y posteriormente el desempeño de la compatibilidad de las superficies con diferentes imprimantes aplicados por medio de exposición a diferentes ambientes agresivos.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química  
P.h.D., M.Sc, Ing. Darío Peña Ballesteros  
M.Sc. Fis. Luis Carlos Rojas Laurens

**PERFORMANCE EVALUATION ON METALLIC SURFACES OF A NATURAL PRODUCT WITH DEGREASING, DEOXIDIZING AND PASSIVATING PROPERTIES.**

**AUTHORS: BLANCO PAZ, Maryury. ORDOÑEZ RUEDA, Diego Alejandro**  
**Summary**

**Keywords: degreasing, oxidation, passivation, metallic surface, natural product, coating.**

Through this evaluation, were obtained operating conditions for best performance of a natural product made of pineapple, banana, potato, and plants. Different types of cleaning were considered among them were evaluated wet sandblasting, friction and immersion simulating cleaning conditions for different sectors of industry like marine sector, oil sector, electric sector, and metalworking sector, besides different kinds of steel were used like hot rolled and cold rolled steel, galvanized steel and A36 steel. Given that the products currently known as traditional and used for these cleaning activities, are manufactured from toxic chemicals, which are classified as harmful to both health and the environment, a natural product has been developed, whose performance was evaluated and compared with alternative products, to determine its technical performance (property degreasing, pickling and / or passivation) and the possibility of reducing the number of products used in these cleaning activities and the environmental impact associated with chemicals classified as toxic which are traditionally implemented in the cleanup.

Besides the evaluation was made by both electrochemical and instrumental methods and inspection to assess the quality of the prepared surface and also evaluate the performance of the compatibility of the surfaces with different primers applied through exposure to different aggressive environments.

---

\*Final studies work report

\*\*Physical-Chemistry Engineering Faculty. Chemical Engineering School  
P.h.D., M.Sc, Ing. Darío Peña Ballesteros  
M.Sc. Fis. Luis Carlos Rojas Laurens

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad tanto a nivel industrial como a nivel doméstico los productos usados para la limpieza de las superficies metálicas, están fabricados a partir de productos químicos, los cuales en la gran mayoría de los casos poseen componentes que son nocivos para la salud y adicionalmente presentan altas tasas de inflamabilidad. Si bien este tipo de productos tienen un buen desempeño en cuanto al nivel de desengrase y desoxidación se refiere, éstos generan problemas asociados a enfermedades profesionales debido a su constante uso y a la falta de elementos de protección personal (EPP) adecuados. Adicionalmente estos productos generan gran contaminación al ambiente, ya que no son biodegradables.

La aparición de productos naturales que puedan satisfacer estas necesidades (limpieza de superficies) está enmarcada en un gran escepticismo frente al nivel de desempeño que este tipo de productos pueda tener frente a lo que se ha venido usando tradicionalmente. Uno de los grandes problemas a nivel de políticas de empresa en la industria es el “manejo del cambio”, el cual básicamente hace alusión a la dificultad que tienen las personas para cambiar los procesos o productos que han venido usando durante toda su vida. Por esto, se desarrolló un producto a base de componentes naturales, el cual posee la propiedad de remover los óxidos, grasas y manchas sobre metales. Este producto ha sido desarrollado a base de extractos de frutas y vegetales como piña, papaya, banano, toronja, papa, sábila y otros, por tanto, es completamente inofensivo para la salud, que lo hace adecuado para los programas de mantenimiento industrial.

El principal objetivo de este trabajo es evaluar la eficiencia de un producto natural para ser utilizado como desengrasante, desoxidante y/o pasivante de

superficies metálicas. Estas propiedades se evaluaron por medio de técnicas electroquímicas, instrumentales, de inspección y se ratificaron con ensayos de adherencia. Con estos ensayos se observó un alto desempeño de los imprimantes aplicados a las superficies preparadas con el producto natural con respecto a productos comerciales tradicionales, y en el caso de limpieza con chorro húmedo comportamientos superiores a productos comerciales y similares a los de limpieza en ausencia de inhibidor (solo agua).

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Preparación de la superficie**

Para lograr una excelente limpieza sobre la superficie metálica y por ende un buen desempeño del sistema de recubrimiento aplicado es muy importante lograr un nivel de desengrase adecuado y una desoxidación óptima de la superficie. Estos dos procesos (desengrase y desoxidación), habitualmente se han llevado a cabo tanto a nivel industrial como a nivel doméstico con base en productos los cuales generalmente están fabricados a base de compuestos químicos nocivos, que afectan tanto la salud de quien los manipula como el medio ambiente.

### **2.2 Limpieza química**

Generalmente la limpieza química incluye limpiezas con solventes como método de preparación de superficie usado específicamente para la remoción de grasas y aceites (Anexo A).

### **2.3 Limpieza química por método de inmersión**

En este método se utilizan los productos que de acuerdo a las necesidades sean los más eficientes y adecuados. Los productos pueden ser; desde solventes hasta desoxidantes y desengrasantes así como también algunos

tipos de ácidos o soluciones ácidas, etc. la finalidad de este proceso es la de eliminar por completo todos aquellos contaminantes que impidan una buena adherencia al sustrato, tales como aceites, grasa, polvos, gases, humos, etc. la superficie tratada deberá ser perfectamente lavada con agua para eliminar cualquier residuo.

#### **2.4 Limpieza química por método de fricción**

Este tipo de limpieza se destina para áreas pequeñas de poca accesibilidad, ya que es muy lenta. Su gama de limpieza se reduce a costras de pintura, óxido, restos de soldadura, escama de laminación, contaminantes con poca adherencia, etc.

#### **2.5 Inhibición en chorro húmedo**

Evaluación de la capacidad de inhibición en limpieza mediante chorro húmedo arenado (Wetsandblasting) (Anexo A)

#### **2.6 Calidad de la superficie preparada**

La evaluación del desempeño de un producto de limpieza incluye una caracterización detallada de la calidad de la superficie obtenida en términos de eficiencia del poder desoxidante, desengrasante y pasivante. La calidad de la superficie se verifica por determinaciones del grado de limpieza mediante inspecciones visuales que permitan asegurar la no presencia de óxidos y grasas residuales en la superficie. Estas inspecciones se realizan de acuerdo a estándares internacionales desarrolladas por entidades como The Society for Protective Coatings (SSPC), National Association of Corrosion Engineers (NACE), American Society for Testing and Materials (ASTM). Así mismo, se hacen uso de técnicas de técnicas de corriente alterna como la espectroscopia de impedancia electroquímica EIS para la caracterización de la superficie preparada, que al correlacionarlas con técnicas de análisis

microscópico y de análisis químico (SEM, EDAX), establecen la presencia de capas pasivantes, su composición y sus propiedades protectoras (Anexo B).

En cuanto a la evaluación de la compatibilidad de recubrimientos aplicados sobre superficies preparadas superficialmente con limpiadores químicos, generalmente se evalúa el desempeño del recubrimiento al estar expuesto a ambientes agresivos simulados a escala de laboratorio. La exposición en cámara salina hace referencia a un ensayo en niebla salina según ASTM B117-97 "Salt Spray (fog) Test", donde se atomiza continuamente una solución de NaCl, mientras que la exposición en cámara a humedad relativa al 100% hace referencia a un ensayo en niebla húmeda (sin la presencia de sales) según la Norma ASTM D2247-99 Standard Practice for Testing Water Resistance Of. Coatings in 100% Relative Humidity" [21] [22]. Dicha exposición está acompañada de monitoreos a diferentes tiempos encaminados a obtener información sobre el comportamiento de estos recubrimientos en dichos ambientes, y de este modo construir curvas de desempeño del recubrimiento y obtener un concepto de la habilidad del desempeño.

### **2.7 Desempeño de recubrimientos**

El desempeño de un sistema de recubrimientos se desarrolla mediante inspecciones visuales caracterizaciones por espectroscopia de impedancia electroquímica EIS y medición de adherencias.

## **3. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se explica la metodología empleada para la realización de los experimentos electroquímicos, los cuales se llevaron a

cabo en las instalaciones de la corporación para la investigación de la corrosión (C.I.C.) (Anexo D).

### **3.1 Estado del arte**

#### **3.1.1 Revisión de normatividad**

Enmarcado dentro del desarrollo de la revisión bibliográfica se realizó la consulta de la normatividad existente y bajo las cuales están reguladas las diferentes metodologías de preparación de superficies, las cuales definen la terminación deseada, en otros términos el grado de preparación de superficie a alcanzar.

#### **3.1.2 Procesos de Limpieza**

En esta etapa se realiza una revisión de los diferentes procesos de limpieza con el fin de identificar los de mayor uso a nivel industrial, así como las diferentes técnicas de inspección y análisis de la superficie preparada.

#### **3.1.3 Productos y sectores industriales**

De manera similar a las etapas anteriores, se realizó una búsqueda de los diferentes productos comerciales existentes, usados comúnmente en la preparación superficial de sustratos metálicos. La identificación de dichos productos permitirá realizar análisis comparativos de desempeño del producto objeto de estudio en el presente trabajo.

### **3.2 Limpieza de probetas**

#### **3.2.1 Selección de sustratos**

Con el fin de evaluar materiales usados en diferentes industrias del sector productivo se seleccionaron aceros de diferentes categorías (Anexo E), para así aumentar el rango de aplicación del producto natural.

### **3.2.2 Oxidación y contaminación de probetas**

#### 3.2.2.1 Oxidación

La oxidación se realizó sobre probetas de 10cm x 20cm cortadas desde láminas de los aceros contemplados en el presente proyecto. Posteriormente se procedió a realizar la oxidación homogénea a las probetas, mediante exposición a una solución de cloruro de sodio y al medio ambiente.

#### 3.2.2.2 Engrase

Una vez las probetas cupones se oxidaron, se procedió a realizar la contaminación mediante el uso de aceites de tipo industrial, con el fin de simular condiciones de trabajo en las diferentes áreas de la industria.

### **3.2.3 Ejecución de limpieza**

Después de contaminadas las superficies con los óxidos y las grasas se realizó la limpieza de las superficies con cada uno de los métodos de limpieza y a cada una de las diferentes concentraciones propuestas para el producto.

En total se evaluaron 39 tipos de metodologías variando tipo de preparación, material, imprimante aplicado. (Anexo F).

#### 3.2.3.1 Inmersión

El proceso de inmersión se realizó mediante la implementación de diferentes metodologías en las cuales se contempló como factores variables la temperatura, la concentración y el tiempo de inmersión. (Anexo F).

#### 3.2.3.2 Fricción

A nivel general el método de fricción se desarrolló en algunos casos haciendo uso de esponjas abrasivas y en otros casos cepillos metálicos para

diferentes concentraciones de producto. Utilizando productos comerciales se siguieron las recomendaciones dadas por el proveedor, (Anexo F).

#### 3.2.3.3 Chorro húmedo

El proceso de chorro húmedo se realizó haciendo uso de equipos rutinarios para este tipo de procesos, evaluando diferentes concentraciones del producto natural, inhibidores comerciales y realizando el proceso sin presencia de inhibidor. (Anexo F).

### **3.3 Evaluación de desempeño del producto**

#### **3.3.1 Preparación de la superficie**

Una vez las probetas fueron limpiadas con las metodologías propuestas, se realizó una inspección visual detallada. En el caso del poder pasivante se realizaron análisis mediante técnicas electroquímicas y análisis elemental sobre la superficie para verificar la presencia, composición y características de protección de la película pasivante.

##### 3.3.1.1 Oxidación

El poder desoxidante se evaluó mediante inspección visual del área tratada con el producto limpiador, verificando la ausencia de óxidos en la superficie y la estabilidad de la superficie una vez realizado el procedimiento de limpieza.

##### 3.3.1.2 Desengrase

El poder desengrasante del producto limpiador se evaluó acorde a la norma ASTM D6361 “Standard Guide for Selecting Cleaning Agents and Processes”, haciendo uso de una lámpara de luz ultravioleta para iluminar la superficie, y revelar la presencia de trazas de aceites y grasas depositadas en la misma [1].

### 3.3.1.3 Pasivación

La formación de la película pasiva sobre los diferentes sustratos evaluados, se verificó mediante pruebas de análisis elemental sobre cada una de las superficies mediante análisis por EDAX. Adicionalmente se verificó y caracterizó mediante mediciones de potencial de circuito abierto, y espectroscopia de impedancia electroquímica.

## 3.3.2 Productividad

### 3.3.2.1 Análisis de rendimiento

Análisis de rendimiento (Eficiencia por unidad de área) durante la realización de las pruebas de inmersión se llevó un control riguroso del área del sustrato limpia vs volumen de producto utilizado, a partir de dicha información se determinó el rendimiento mediante la siguiente ecuación.

$$Rendimiento = \frac{Area\ Preparada\ (m^2)}{Volumen\ Producto\ (mL)} \quad (1)$$

### 3.3.2.2 Optimización del proceso de limpieza

Se realizaron diferentes metodologías para preparación superficie las cuales fueron descartadas por inspección visual al encontrasen óxidos, impurezas o una superficie poco homogénea en el proceso de pasivado.

## 3.3.3 Compatibilidad sustrato-imprimante

Teniendo en cuenta que el desempeño de cualquier recubrimiento está influenciado principalmente por la calidad de la limpieza de superficies, se realizó la aplicación de un imprimante (recubrimiento) sobre las diferentes probetas previamente tratadas superficialmente haciendo uso del producto limpiador.

Posterior a la aplicación se realizó una caracterización inicial del recubrimiento y luego las probetas recubiertas fueron expuestas a ambientes

agresivos en cámaras de simulación ambiental (salina, humedad relativa al 100% e inmersión marina) [21] [22].

#### 3.3.3.1 Aplicación recubrimiento

Durante la aplicación del imprimante se realizaron diferentes mediciones para garantizar una correcta aplicación de los imprimantes de acuerdo a los parámetros de la NACE, y se contó en todo momento con la asesoría de un inspector de recubrimientos certificado

- Control de calidad

Se realizó control de calidad rutinario de este tipo de procesos, es decir, ajuste y calibración de equipos, uso de mano de obra calificada y un tiempo específico de curado para de esta forma evitar desviaciones e inclusión de variables consecuencia de una mala aplicación.

- Medición de las condiciones ambientales

Se verificaron las condiciones ambientales y se realizaron mediciones de humedad relativa y punto de rocío.

- Medición de espesor de película húmeda

Se hicieron las mediciones de espesores durante el momento de la aplicación para garantizar espesores dentro de intervalos de aceptación.

#### 3.3.3.2 Caracterización inicial

Posterior al tiempo de secado y curado del recubrimiento, se procedió a caracterizar el recubrimiento. Se realizaron ensayos destructivos y no destructivos como Inspecciones visuales medición de hollidays, espesores de película seca, medición adherencias e impedancias de espectroscopia electroquímica [24] [28]. (Anexo G)

### 3.3.3.3 Exposición a ambientes simulados (1500horas)

Para simular un ambiente agresivo y evaluar los diferentes sistemas se usaron tres cámaras de corrosión acelerada cámara húmeda, cámara salina (convencionales) además se diseñó una cámara de simulación marina para este proyecto. (Anexo C).

### 3.3.3.4 Evaluación de desempeño (monitoreos a diferentes tiempos de exposición)

La evaluación de desempeño consistió en monitoreos cada 250 horas en las cuales se desarrollaron inspecciones visuales medidas de resistencia de poro por espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). Tanto al final como al inicio del tiempo de exposición se realizaron pruebas de adherencia para verificar el cambio en la unión del recubrimiento al sustrato por acción de los agentes agresivos [30]. .

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Inmersión

#### 4.1.1 Oxidación y contaminación de probetas

El tratamiento de oxidación y engrase de las probetas permitió obtener superficies con grados de oxidación similares entre sí.

#### 4.1.2 Desoxidación y desengrase

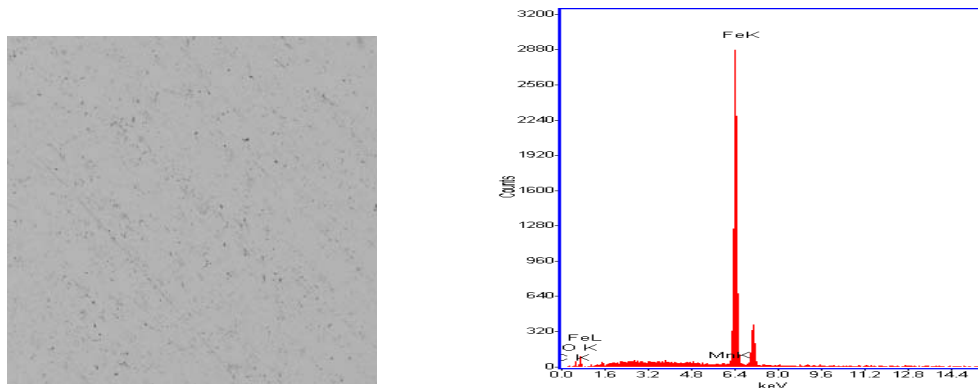
Se tomó un registro fotográfico de las metodologías óptimas de inmersión además de una inspección con luz ultravioleta (Anexo H).

Las metodologías evaluadas a nivel general permiten obtener la remoción total de los contaminantes (óxidos y grasa) presentes en la superficie, al hacer uso del limpiador natural las probetas de acero evidenciaron la

formación de una coloración amarilla, sin embargo, en todos los casos se evidencia el poder desoxidante del producto. La inspección del poder desengrasante se observó en las zonas con y sin inmersión en los productos, dando coloración fluorescente (Anexo H) en la zona contaminada con grasa y coloración oscura en la zona con remoción de grasa, por tanto, la totalidad de las metodologías evaluadas muestran el poder desengrasante del producto natural, el cual es comparable con lo obtenido con los productos comerciales.

#### 4.1.3 Pasivación

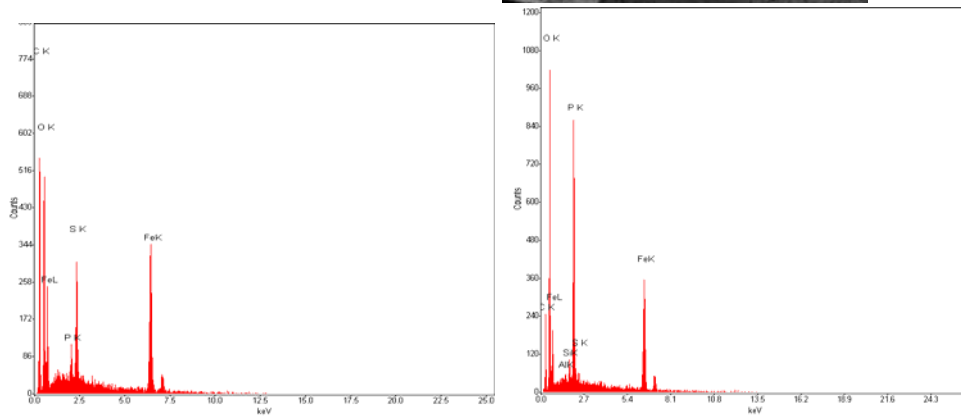
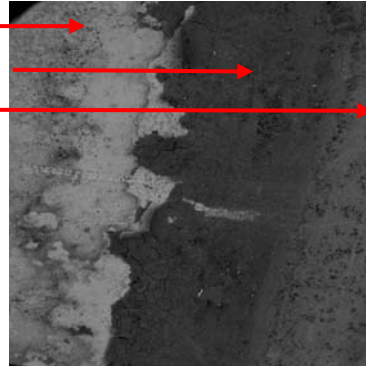
Las superficies antes de ser expuestas a inmersión en los productos de limpieza, se prepararon superficialmente mediante limpieza con lijas y paños abrasivos, posteriormente se realizaron mediciones por microscopia de barrido electrónico acoplado a análisis químico mediante sonda EDAX. Las micrografías en conjunto con los espectros de emisión muestran una superficie homogénea y con ausencia de capas de oxidación del metal [27].



**Figura 1.** Micrografías SEM y Espectro de Emisión de Rayos X de Acero Cold Rolled sin proceso de Limpieza

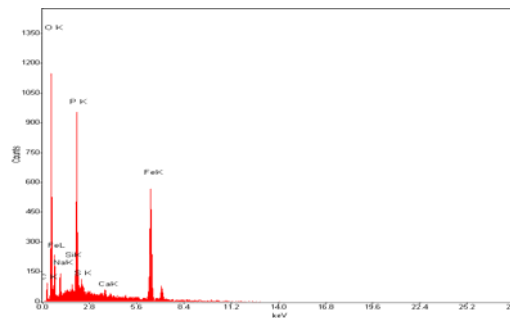
Una vez las superficies fueron inmersas en el producto natural, se evidencia la formación de capas oscuras no homogéneas y de composición rica en azufre y fósforo, así como también zonas sin formación de capas, es decir, zonas de metal desnudo.

- Zona metal desnudo
- Zona rica en fósforo y azufre.
- Zona rica en fósforo.



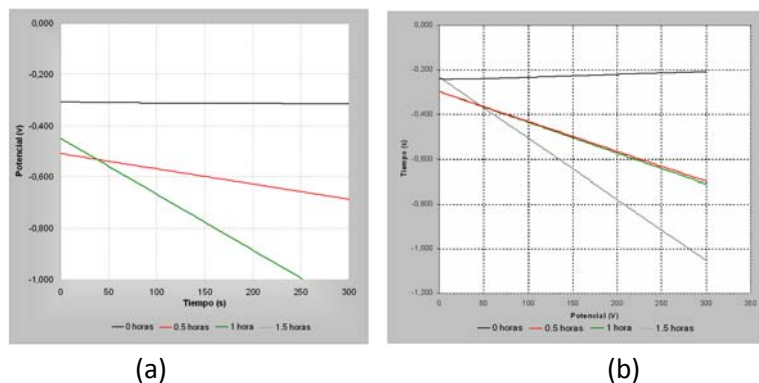
**Figura 2 .** Micrografías SEM y espectro de emisión de rayos x de acero cold rolled con proceso de limpieza haciendo uso de limpiador natural

Por su parte, las superficies inmersas en el producto comercial presentaron zonas puntuales de composición rica en fósforo, y así mismo zonas sin la presencia de capas fosfatizadas.



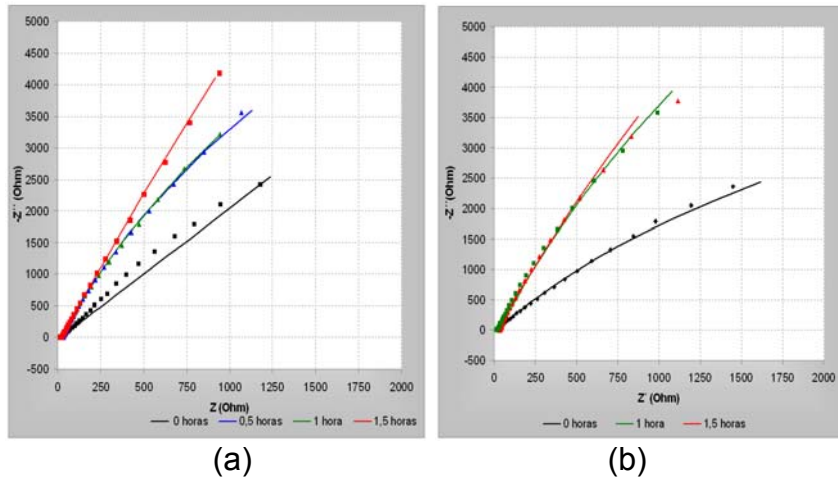
**Figura 3 .** Micrografías SEM y espectro de emisión de rayos x de acero cold rolled con proceso de limpieza haciendo uso de producto comercial

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que el proceso de inmersión con el producto natural genera en la superficie metálica capas, tanto azufradas como fosfatadas, mientras que el producto comercial genera capas fosfatadas. Con el fin de identificar las propiedades de protección de las capas azufradas y fosfatadas formadas por inmersión de acero cold rolled y acero hot rolled en el producto natural, se verificó el comportamiento del potencial a circuito abierto para diferentes tiempos de inmersión. Dicho comportamiento evidencia que el proceso de inmersión conlleva a un cambio en el potencial hacia valores más negativos, lo cual indica que el material se está protegiendo derivado de la formación de dichas capas, es decir son capas de tipo anódico que le proporcionan protección al material[19].

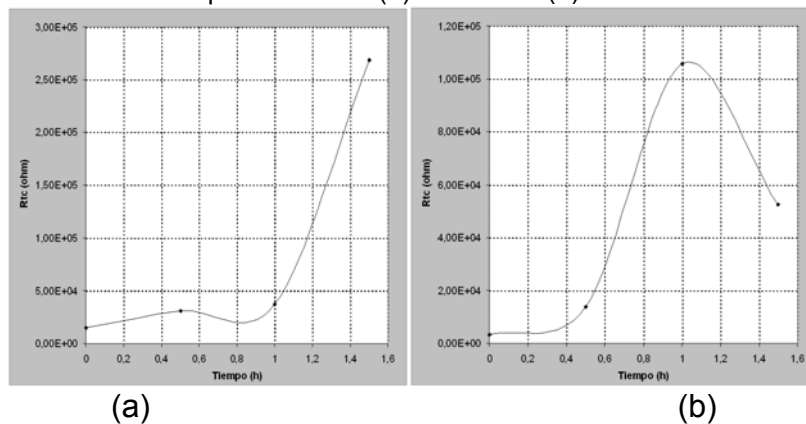


**Gráfica 1.** Variación del potencial de circuito abierto (EOC) por inmersión de acero a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural (a) cold rolled (b) hot rolled

Finalmente, se realizaron espectroscopias de impedancia electroquímica (EIS) para establecer cambios en la resistencia a la corrosión del acero y por ende establecer si el material se protege. El comportamiento se muestra a continuación [23].



**Gráfica 2.** Espectros de impedancia electroquímica de acero cold rolled preparado por inmersión a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural (a) cold rolled (b) hot rolled



**Gráfica 3.** Resistencia a la transferencia de carga (RCT) de acero preparado por inmersión a diferentes tiempos haciendo uso del limpiador natural (a) cold rolled (b) hot rolled

Los espectros de impedancia así como la tendencia observada en la resistencia a la transferencia de carga (incremento en  $R_{tc}$ ) evidencian que tanto el acero cold rolled como el acero hot rolled inmersos en el limpiador natural aumentan su nivel de protección lo cual ratifica lo obtenido en la medición de potencial de circuito abierto.

#### 4.1.4 Rendimiento del producto limpiador

Para los ensayos de limpieza mediante inmersión se determinó la cantidad de producto utilizado para tratar un área determinada, tanto para el proceso

de desoxidación como desengrase, obteniendo los siguientes resultados de rendimiento (superficie preparada sobre volumen de producto).(Anexo I)

## **4.2 Fricción**

### **4.2.1 Inspección visual del grado de limpieza**

#### **4.2.1.1 Desoxidación**

Se realizó con esponjas industriales y realizó una inspección visual a las superficies tratadas. (Anexo H)

Las metodologías de limpieza por fricción evaluadas a nivel general permiten obtener la remoción total de los contaminantes (óxidos y grasa) presentes en la superficie, de manera similar a lo obtenido con productos comerciales. Puede decirse que la eficiencia en la remoción de óxidos y grasa del producto natural es comparable a la de los productos comerciales

### **4.3 Chorro húmedo de arena**

La calidad de la superficie preparada por chorro húmedo de arena, se obtuvo a bajas concentraciones. Además se hicieron mediciones de la estabilidad con el tiempo de dicha superficie.

Las superficies preparadas mediante chorro húmedo con arena sin presencia de inhibidor y del producto limpiador evidencia el proceso de corrosión instantánea característico de dicho proceso. Al utilizar el producto natural en concentraciones de 1:1000 y 1:2000 (Producto natural: agua), para acero de interior de buques como para acero naval respectivamente, se evidencia la capacidad inhibitoria del proceso de corrosión instantánea. Por tanto, se identifica que el producto natural puede igualmente ser utilizado como inhibidor de corrosión en procesos de chorro húmedo (Anexo H).

Con el objetivo de caracterizar esta propiedad de inhibición del producto natural, se realizó el estudio de la estabilidad de la superficie luego del

proceso de limpieza (Anexo H). Puede observarse claramente la inhibición del proceso de corrosión instantánea en presencia del producto limpiador, manteniendo estable la superficie sin presencia de óxidos por tiempos superiores a 20 minutos, y presentando un mejor comportamiento a bajas concentraciones de producto (concentración 1:2000 (producto:agua)).

#### **4.4 Evaluación de desempeño de imprimantes**

##### **4.4.1 Caracterización inicial de los imprimantes aplicados**

Las probetas seleccionadas a exposición fueron sometidas a un control de calidad en relación a sus espesores y presencia de discontinuidades, por tanto, aquellas probetas que presentaron espesores fuera de especificación y discontinuidades no fueron tenidas en cuenta para la exposición en ambientes simulados.

##### **4.4.2 Exposición en ambientes simulados**

###### **4.4.2.1 Cámara Salina**

###### **A. Inspección visual**

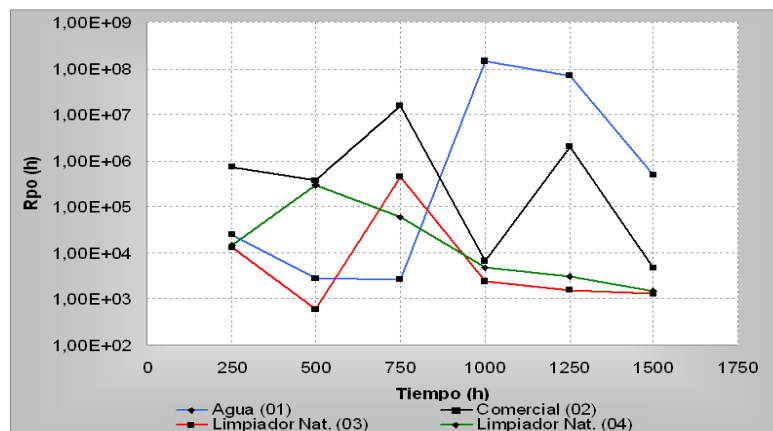
Se realizó cada 250 horas llevando un registro de la degradación del recubrimiento por la exposición a ambientes agresivos (Anexo L)

La inspección visual de los imprimantes aplicados en probetas preparadas superficialmente por fricción, inmersión y chorro húmedo, haciendo uso del producto natural y de productos comerciales, y con exposición en ambiente salino, permite dar las siguientes conclusiones.

En los tres métodos de limpieza, los imprimantes aplicados sobre probetas preparadas con los productos comerciales evidencian mayor presencia de fallas en el recubrimiento (ampollas, levantamiento del imprimante (pérdida de adherencia)) con relación a las presentadas en sobre probetas limpiadas con el producto natural.

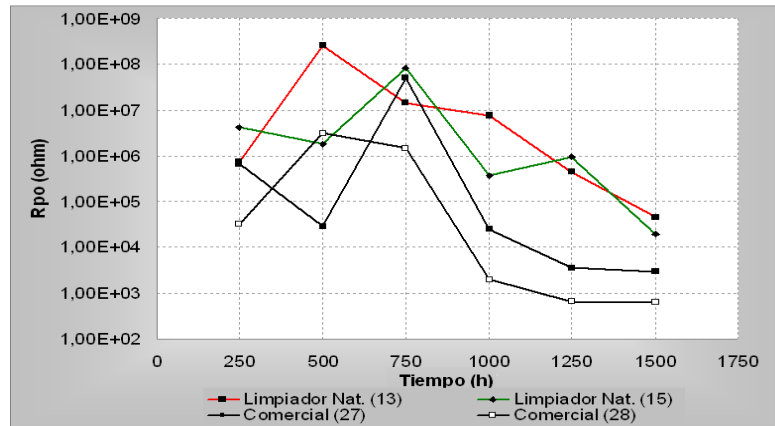
## B. Resistencia de poro (EIS)

A continuación se presenta la variación de la resistencia de poro de los imprimantes aplicados y expuestos a cámara salina.

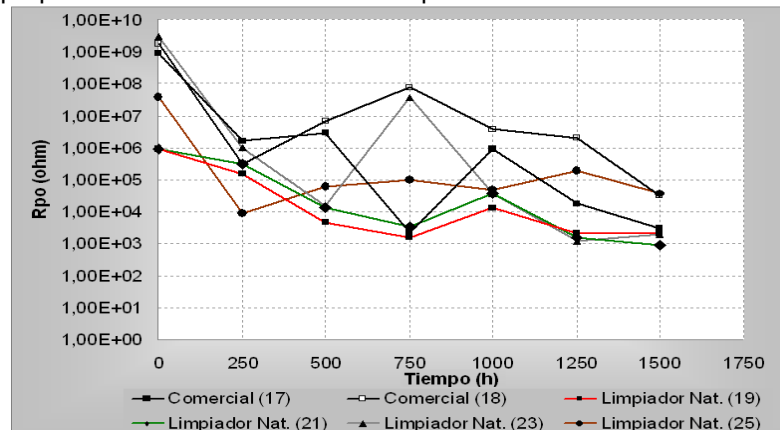


**Gráfica 4 .** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxifenólico aplicado sobre probetas preparadas mediante chorro húmedo exposición en cámara salina

Las probetas preparadas superficialmente mediante chorro húmedo en ausencia de inhibidor y revestidas con imprimante epoxifenólico y bajo condiciones de exposición en cámara salina, muestran un grado de incidencia en la compatibilidad menor en relación a las probetas preparadas en presencia del producto natural y del inhibidor comercial, lo cual indica que la presencia del fenómeno de corrosión instantánea no afecta el desempeño del recubrimiento. Así mismo, la resistencia de poro del imprimante disminuye en menor proporción en los sistemas preparados haciendo uso del producto natural comparado con el producto comercial, lo cual indica un mejor desempeño del recubrimiento en superficies preparadas haciendo uso de métodos de limpieza usando el producto natural.



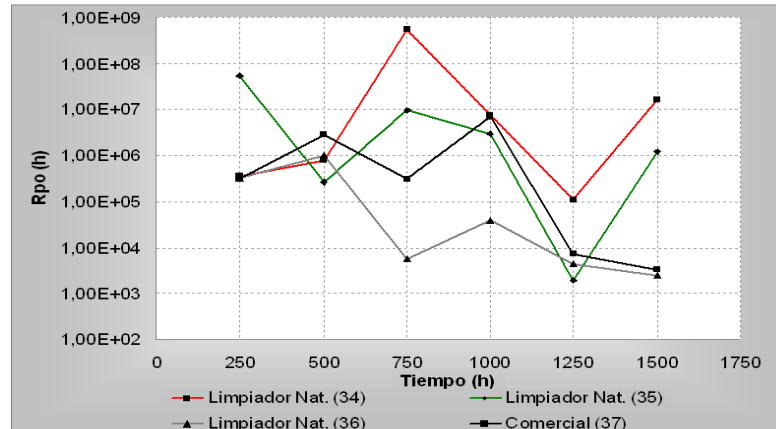
**Gráfica 5.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante inmersión. Exposición en cámara salina



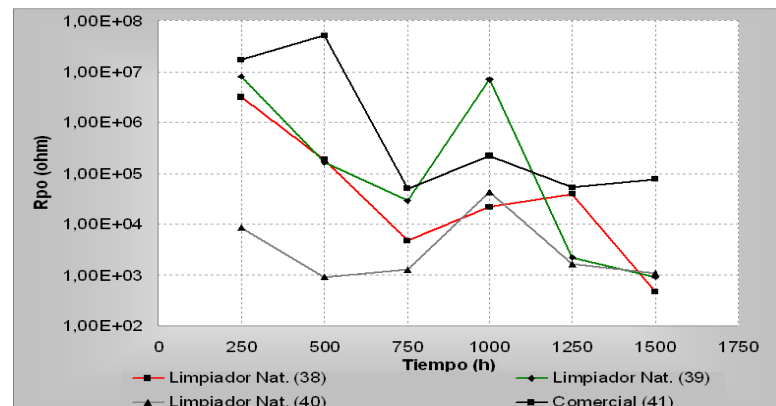
**Gráfica 6.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas mediante inmersión. Exposición en cámara salina

En los procedimientos de limpieza por inmersión de muestras de acero hot rolled y cold rolled, y con imprimante epoxipoliamina y bajo condiciones de exposición en cámara salina, se evidencia al menos que una de las metodologías haciendo uso del producto natural, con un grado de incidencia en la compatibilidad menor en relación a las probetas preparadas en presencia del producto comercial. Esto indica que se obtienen mejores desempeños al haber menor variación entre el valor inicial y final de la resistencia de poro del recubrimiento haciendo uso de métodos de limpieza usando el producto natural. En este orden de ideas, para ambientes

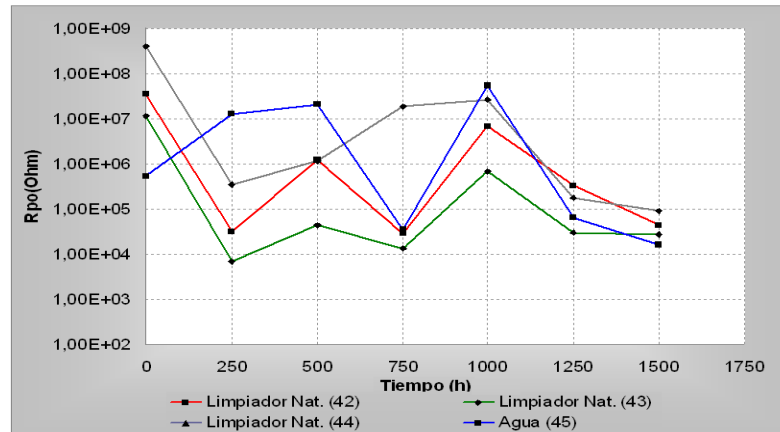
agresivos de alta salinidad se considera un método de limpieza óptimo mediante inmersión el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 13 y la metodología 25 (Anexo F), para acero tipo hot rolled y cold rolled, respectivamente.



**Gráfica 7.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina



**Gráfica 8.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina



**Gráfica 9.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamida aplicado sobre probetas de acero galvanizado preparadas mediante fricción. Exposición en cámara salina

En los procedimientos de limpieza por fricción de muestras de acero hot rolled, y con imprimante epoxipoliamina y bajo condiciones de exposición en cámara salina, se evidencia que la metodología 34 (Anexo F) haciendo uso del producto natural presenta menor disminución en la resistencia de poro lo que indica que se obtienen mejores desempeños del recubrimiento haciendo uso de métodos de limpieza usando el producto natural. En este orden de ideas, para ambientes agresivos de alta salinidad se considera un método de limpieza óptimo mediante fricción para acero hot rolled, el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 34 (Anexo F). En el caso de superficies de acero cold rolled, en todos los casos el desempeño del imprimante es mayor en superficies preparadas con el producto comercial, por tanto, el producto natural afecta ampliamente la compatibilidad del recubrimiento y por ende no se recomienda para aplicaciones en donde se recubra acero cold rolled con recubrimientos tipo epoxipoliamina.

En el caso de superficies de acero galvanizado el proceso de limpieza que menor incidencia genera en la compatibilidad del imprimante con la superficie y por ende en el desempeño del mismo, es el procedimiento desarrollado con agua. En todos los casos, el procedimiento usando el producto natural

presenta disminución alta de la resistencia de poro y por ende disminución en el desempeño del recubrimiento si se compara al encontrado en sistemas preparados con agua.

### C. Adherencia

Se midieron adherencias tanto a probetas fisuradas como no fisuradas corroborando los datos obtenidos de resistencia de poro por EIS para el análisis se tomaron cupones representativos (Anexo J)... Los resultados de adherencia para las probetas preparadas superficialmente mediante chorro húmedo con agua, inhibidor comercial y producto natural y revestidas con imprimante epoxifenólico y bajo condiciones de exposición en cámara salina, confirman que en ausencia de inhibidor la incidencia en la compatibilidad del imprimante se afecta en menor grado en relación a las probetas preparadas en presencia del producto natural y del inhibidor. Así mismo, se confirma lo observado tanto en la inspección visual como en el comportamiento de la resistencia de poro, con lo cual se identifica que la compatibilidad del imprimante es mejor en los sistemas preparados haciendo uso del producto natural comparado con el producto comercial (Anexo J).

La adherencia del imprimante aplicado sobre probetas de acero hot rolled y cold rolled preparadas por inmersión, evidencian la pérdida de compatibilidad del recubrimiento en aquellas superficies preparadas haciendo uso de productos comerciales, y confirman lo observado en la inspección visual y en el comportamiento de la resistencia de poro, donde para ambientes agresivos de alta salinidad se considera el método de limpieza óptimo mediante inmersión, el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 13 y la metodología 25 (Anexo F) para acero tipo hot rolled y cold rolled, respectivamente.

La adherencia de las probetas recubiertas con imprimante epoxipoliamina sobre acero hot rolled preparado superficialmente con los productos comerciales evidencian la pérdida de adherencia del recubrimiento y por ende afectación de la compatibilidad del mismo con la superficie (Anexo J), hecho que es mucho menos significativo en superficies preparadas haciendo uso del producto natural. Lo cual ratifica lo encontrado tanto en la inspección visual como en el comportamiento de la resistencia de poro, donde para ambientes agresivos de alta salinidad se considera un método de limpieza óptimo mediante fricción para acero hot rolled, el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 34 (Anexo F).

Por su parte, para superficies de acero cold rolled, en todos los casos se obtiene pérdida total de la adherencia del imprimante en superficies preparadas con el producto natural, lo cual confirma que el producto natural afecta ampliamente la compatibilidad del recubrimiento, y por ende no se recomienda para aplicaciones en donde se recubra acero cold rolled con recubrimientos tipo epoxipoliamina

En el caso de superficies de acero galvanizado el comportamiento de las adherencias sugiere un ligero aumento en la compatibilidad del imprimante en superficies preparadas con el producto natural, sin embargo, tanto en limpiezas haciendo uso de agua como de productos naturales se evidencia fallas adhesivas del recubrimiento, mostrando problemas de desempeño del recubrimiento al ser aplicado en superficies expuestas a procedimientos de limpieza con el producto natural y con agua.

#### 4.4.2.1 Cámara húmeda

Para el caso de la cámara húmeda los resultados obtenidos por espectroscopia de impedancia, electroquímica así como los de adherencia son similares a los obtenidos en cámara salina (Anexo K)

#### 4.4.2.2 Cámara de simulación marina

Los resultados obtenidos en este tipo de cámara sugieren pequeñas variaciones en el desempeño del recubrimiento además los resultados en los sistemas preparados en ausencia del producto natural (Agua) muestran comportamientos similares y en algunos casos superiores a las limpiezas con el producto natural (Anexo K)

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ El producto natural permite desoxidar y desengrasar muestras de acero de tipo hot y cold rolled, utilizando los diferentes métodos de limpieza, presentando eficiencias similares e incluso mayores a las presentadas por el uso de productos comerciales.
- ✓ El proceso de inmersión en el producto natural conlleva a la formación de capas azufradas y fosfatizadas en la superficie de aceros de tipo hot rolled y cold rolled, favoreciendo que el material se proteja y presente mayor resistencia a la corrosión.
- ✓ El producto natural en procesos de chorro húmedo presenta características óptimas de inhibición del proceso de corrosión instantánea, por lo cual se constituye en un potencial inhibidor de corrosión para procesos de este tipo. La concentración óptima del producto es 1:2000 (producto: agua) para acero naval y 1:1000 para material interior de buques.
- ✓ Al interior de la C.I.C., se consolidaron las bases conceptuales en preparación de superficie mediante limpieza química, haciendo uso de un producto alternativo a los disponibles en el mercado, y por su parte la empresa generadora del producto obtuvo conocimiento de este, además de soporte por parte de una empresa investigadora para su posterior comercialización.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. BARD A., FAULKNER L. "Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications". JOHN WILEY AND SONS INC. Second Edition. USA, 2001.
2. NIÑO C., DÍAZ W. "Evaluación de la Corrosión en Caliente por Métodos Electroquímicos de un Acero AISI 304H en Presencia de Óxido de Níquel como Inhibidor". Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005.
3. PUENTES N., DELGADO F. "Evaluación de la Velocidad de Corrosión en el Refuerzo del Concreto Expuesto a una Solución Poro con Cloruros por medio de Técnicas Electroquímicas". Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009.
4. RODRÍGUEZ F. "Técnicas Electroquímicas de Corriente Directa para la Medición de la Velocidad de Corrosión-Resistencia a la Polarización". Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería Química. UNAM, México.
5. ORAZEM M. E., Tutorial on Impedance Spectroscopy. Paper N° 302. Corrosion/98. 1998.
6. MATEUS M., "Utilización de Técnicas Electroquímicas Aceleradas en el Estudio del Comportamiento de los Recubrimientos Orgánicos Tipo Epóxico Aplicados sobre Acero al Carbono". Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.
7. MENDOZA J., DURÁN R., GENESCÁ J."Espectroscopía de Impedancia Electroquímica en Corrosión". Instituto Mexicano del Petróleo. Facultad de Química UNAM.
8. VESGA F. "Estudio acerca de los Mecanismos de Protección contra la Corrosión de Recubrimientos Orgánicos usando Espectroscopía de

Impedancia Electroquímica EIS". Trabajo de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.

9. COTTIS R., TURGOOSE S. "Electrochemical Impedance and Noise"
10. CASTELLANOS O., RIOS C. "EPMA: Microsonda Electrónica-Principios de Funcionamiento". Revista Colombiana de Tecnología de Avanzada. ISSN: 1692-7257 Volumen 2 Número 6 año – 2005.
11. KENDIG M., MANSFELD F., TSAI S. "Evaluation of Corrosion Behavior of Coated Metals with AC Impedance Measurements". Corrosion, 1982. Vol. 38, N° 9. Pág. 478-485.
12. [https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/GL45C/1/material\\_alumnos/objeto/12326](https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/GL45C/1/material_alumnos/objeto/12326)
13. BASTIDAS J. M. "Técnicas Electroquímicas de Corriente Alterna. Rev. Iberoamericana de Corrosión y Protección (1984). Madrid, Pág. 29-35.
14. LIENING E. L. "Electrochemical Corrosion Testing Techniques". Process Industries Corrosion. Michigan, 1983. Pág. 85-121.
15. JONES D. "Principles and Prevention of Corrosion". Prentice Hall. Segunda edición. USA, 1996.
16. "Methods and Materials" Rev. Anti-Corrosion. Volúmen 34. Número 3. Marzo, 1987.
17. BABOIAN R. "Electrochemical Techniques for Corrosion Engineering". NACE International. Houston, 1986.
18. "Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy". EG & G PRINCETON APPLIED RESEARCH". Pág. 1-11.
19. MANSFELD F., KENDIG M. "Evaluation of Protective Coating with Impedance Measurements". Corrosión, 1985. Pág. 513-536.
20. ASTM D6361 "Standard Guide for Selecting Cleaning Agents and Processes"
21. ASTM B117-97 "Standard Practice for Operating Salt Spray (fog) Apparatus"
22. ASTM D2247-99 "Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity"

23. ASTM A 123 “Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products”
24. ASTM D 5162 “Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive Protective Coating on Metallic Substrates”
25. ASTM D 4541 “Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers”
26. ASTM G85 “Standard Practice for Modified Salt Spray (fog) Testing”
27. Norma ASTM D 2247-99 “Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity”
28. ASTM D 7041 “Standard Practice for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to Ferrous Metals and Nonmagnetic, Nonconductive Coatings Applied to Non-Ferrous Metals”
29. SATO Y. “Mechanism and Evaluation of Protective Properties of Paints. Progress in Organics Coatings”. Vol 9, 1981. Pág. 85-104

## **7. ANEXOS**

### **ANEXO A**

#### **LIMPIEZA QUÍMICA E INHIBICIÓN EN CHORRO HÚMEDO**

##### **Limpieza química**

Tanto a nivel nacional como internacional, a pesar de existir una gran cantidad de productos naturales considerados como biodegradables, no se han realizado numerosos estudios relacionados con el desempeño de un producto 100% natural para la preparación de diferentes superficies.

En el caso de limpieza química el estándar SSPC SP 1 es el método comúnmente utilizado para limpieza con solventes para remover aceites, grasas, polvo, suelo y otros compuestos orgánicos. Dicho estándar define gran variedad de métodos de limpieza, los cuales incluyen métodos de inmersión, aspersion, fricción, entre otros.

##### **Inhibición en chorro húmedo**

A nivel industrial los procesos de limpieza química por lo general están acompañados de procesos de preparación de superficie mucho mas eficientes, como lo son las tecnologías asociadas a chorreado de abrasivos, siendo el chorreado de arena (“sandblasting”) uno de los métodos de mayor uso. Dicho método debido a su impacto ambiental derivado de fenómenos de polución ha sido modificado por métodos alternativos tales como el chorreado húmedo (“wetsandblasting”), el cual es una variación simple del sistema convencional de sandblasting, con la presencia de agua durante el chorreado. Si bien el wetsandblasting es un método eficiente para la remoción de óxidos y recubrimientos antiguos, la limpieza se ve ampliamente

afectada por fenómenos de corrosión instantánea, por lo cual se hace necesario el uso de inhibidores de corrosión que eviten la corrosión instantánea y prolonguen el tiempo en el cual se realice la aplicación de recubrimientos. La problemática del uso de estos inhibidores es la alta toxicidad de los inhibidores y el manejo cuidadoso de los lodos generados, por tanto recientemente se han venido estudiando el uso de inhibidores biodegradables que minimicen el efecto ambiental y en salud ocupacional derivado de labores de wetsandblasting.

## **ANEXO B**

### **TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUPERFICIE**

#### **Análisis elemental de superficie**

##### **SEM-EDAX**

El análisis de microsonda electrónica es una moderna técnica, de gran precisión y sensibilidad, fundamental para el desarrollo de análisis cualitativo y cuantitativo, cuyo principio es bombardear un fino haz de electrones dirigido sobre un espécimen con el fin de medir la longitud de onda e intensidad de los rayos-X característicos emitidos, así como las intensidades de los electrones secundarios y electrones retrodispersados. Los rayos-X característicos generados en la muestra son detectados por espectrómetros dispersores de longitud de onda (WDS) y, por lo tanto, un análisis cualitativo es fácil de obtener identificando las líneas de sus longitudes de onda. [10]

Los análisis realizados mediante microsonda electrónica (EDAX), se emplean fundamentalmente para la determinación de los contenidos de elementos mayoritarios (< 0.1 % en peso) de fases sólidas, utilizando un haz de electrones analítico de un ancho que puede llegar a ser del orden de 12  $\mu\text{m}$ , lo que implica que la cantidad de muestra a analizar es extremadamente

pequeña. Los rayos X secundarios generados, se analizan conforme a su longitud de onda dispersiva (WDX), y, al contrastar las intensidades obtenidas con la de una serie estándar, se consigue tener un análisis cuantitativo de las concentraciones de los diferentes elementos químicos. [12]

Otra posibilidad que brinda, es la de realizar análisis mediante la medida de la energía dispersiva de rayos X (EDX). En este caso se cuantifica la energía generada, en lugar de la intensidad, permitiendo una determinación simultánea de los elementos presentes en la muestra. Este segundo modo de análisis es más rápido pero menos preciso que el basado en la medida de las longitudes de onda dispersivas (WDX). [19]

Cuando se quiere polarizar un electrodo, se debe tener una señal de excitación eléctrica que al inducirla permita medir la corriente y el potencial. El potencial se mide con respecto al electrodo de referencia, mientras que la corriente es aquella que circula entre el contraelectrodo y el electrodo de trabajo. Esto proporciona una serie de parámetros de los cuales es conveniente realizar un monitoreo para hacer los cálculos respectivos.

Estas técnicas incluyen curvas de resistencia a la polarización (LPR), extrapolación tafel, Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS) y ruido electroquímico. Su principal característica es que se pueden utilizar para monitorear el proceso en línea y proveer información instantánea acerca de la velocidad de corrosión, el tipo de corrosión y mediante los gráficos de nyquist, si el proceso es controlado por transferencia de carga, difusión o adsorción.

### **Potencial de circuito abierto [2]**

Es el comportamiento a través del tiempo, del potencial del metal con respecto a un electrodo de referencia dentro del fluido de prueba, sin aplicar ninguna señal externa. Esta prueba es de gran interés para determinar el tiempo necesario de estabilización del potencial y además, permite apreciar cual es la estabilidad del sistema en general. Los resultados obtenidos son útiles para determinar la factibilidad de otras pruebas electroquímicas con el fin de encontrar velocidades y mecanismos de corrosión.

### **Espectroscopía de impedancia electroquímica**

La electroquímica suministra una herramienta denominada espectroscopía de impedancias para valuar el comportamiento de materiales en ambientes corrosivos mediante la interpretación aproximada de los resultados. Los análisis de circuitos eléctricos se han usado de forma generalizada para determinar la resistencia a la polarización asociada con los materiales inmersos en un ambiente industrial corrosivo; en estos casos no se requiere para la interpretación del modelo de una descripción exacta de los sistemas físicos, la evaluación de la resistencia a la corrosión es suministrada por un parámetro simple extraído de los datos y el análisis, y se fundamenta para predecir su desempeño en la correlación entre la pérdida de peso y la inspección visual. [5]

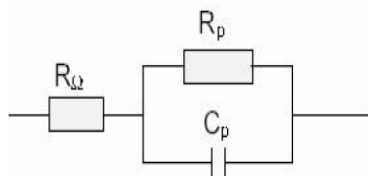
Una segunda aproximación involucra la regresión de modelos de circuitos eléctricos análogos a los datos, generalmente, su reconstrucción se basa en criterios intuitivos para asociar elementos capacitivos y resistivos del circuito con los fenómenos físicos del sistema. Para el caso de un metal recubierto, una resistencia y una capacitancia son asignadas al metal expuesto y otras al recubrimiento. Estas aproximaciones han sido ampliamente usadas para la evaluación de los datos de impedancia de un gran número de sistemas; sin embargo, surge un cuestionamiento: los modelos de espectroscopía de

impedancia no son únicos y requieren de medidas independientes para verificar los modelos utilizados. [6]

En la medida de impedancia la práctica mas comúnmente utilizada consiste en someter un electrodo a una variación sinusoidal del voltaje a varias frecuencias, generalmente cerca del potencial de corrosión. El potencial aplicado es dividido por sus medidas de corriente. Los datos obtenidos de las medidas de impedancia son interpretados basados en una amplia variedad de modelos de circuitos eléctricos equivalentes. [6]

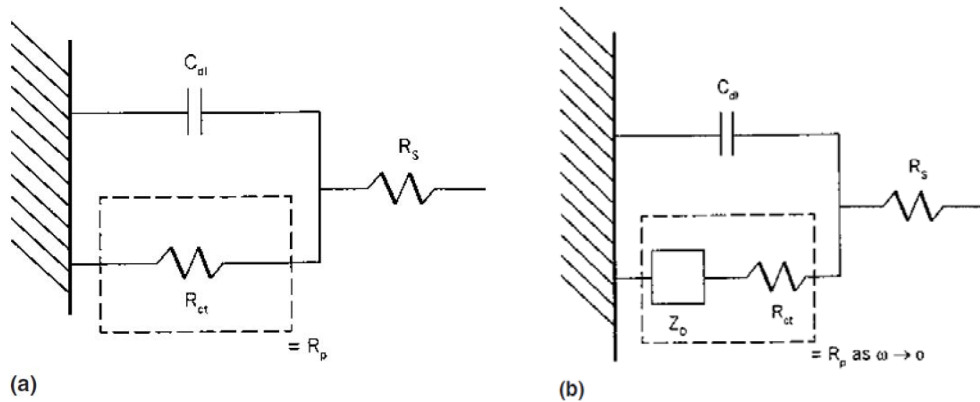
### **Circuitos eléctricos equivalentes [3, 7, 8]**

Un circuito equivalente es una combinación de elementos pasivos (resistencias, capacitancias, inductores y otras formas de impedancia distribuidas), que dan la misma respuesta, a toda frecuencia, de una celda de corrosión. Cuando el análisis de los datos de EIS se realiza mediante un ajuste de los datos experimentales a un circuito eléctrico equivalente, se obtienen valores de diferentes parámetros eléctricos. Estos valores son utilizados para obtener información tanto de velocidades como de mecanismos de corrosión. En la figura. Se observa un circuito eléctrico equivalente que modela el proceso de corrosión característica de un metal sin recubrimiento. Este circuito, conocido como circuito de Randles consta de una resistencia de la solución en serie con un circuito RC, y esta compuesto de la resistencia a la polarización del material y la capacitancia de la doble capa eléctrica.



**Figura. 1** Circuito equivalente de un metal sin recubrimiento

En sistemas reales, los datos de EIS representados en un diagrama de Nyquist, suelen mostrar una cierta depresión. A fin de ajustar espectros de EIS con depresión a un circuito eléctrico equivalente, suelen usarse “elementos de fase constante-CPE”. Un CPE es en realidad, una expresión matemática que representa varios elementos eléctricos

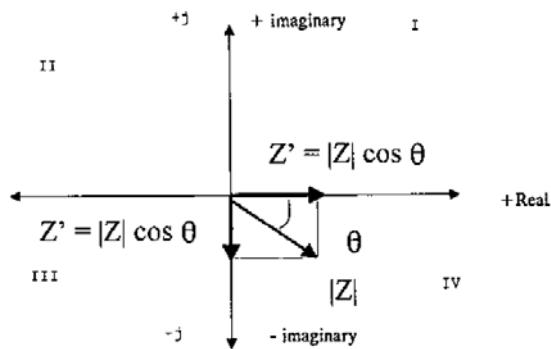


**Figura. 2.** Modelos de Circuitos Eléctricos Equivalentes comúnmente usados para representar una interfase electroquímica en corrosión.

Los recubrimientos orgánicos exhiben comportamientos capacitivos, normalmente en el rango de altas frecuencias ( $10^3$  a  $10^5$  Hz). Si el metal llega a estar expuesto al electrolito a través de porosidades, o en general por algún rompimiento del recubrimiento orgánico protector, la corrosión del metal se inicia y la interfase metal-electrolito responde como un circuito resistor-capacitor, el cual es normalmente observado en la región de bajas frecuencias ( $10^{-3}$  a  $10^1$  Hz).

### Gráfico de Nyquist [3, 8, 9]

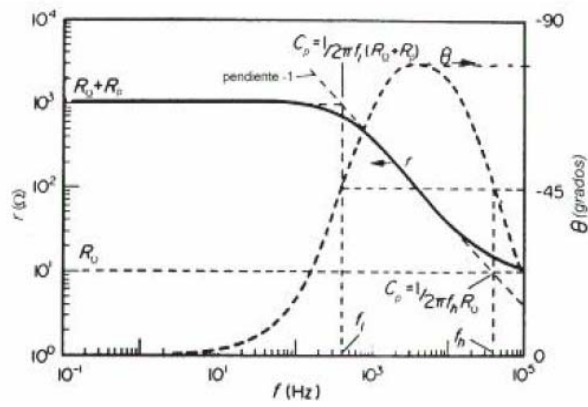
Este tipo de gráfico, también conocido con gráfico en el plano complejo, como se observa en la Figura 3 corresponde a graficar  $-Z''$  contra  $Z'$ . El gráfico de Nyquist permite identificar diferentes parámetros obtenidos en el ensayo de espectroscopía de impedancias, por ejemplo, se puede obtener la resistencia a la polarización del material en estudio  $R_p$ , la capacitancia de la interfase estudiada  $C_{dl}$ , la resistencia de electrolito  $R_s$ . A partir de dichos parámetros, se pueden hacer comparaciones y estimaciones del comportamiento de cierto material, frente a la corrosión.



**Figura. 3.** Sistema de coordenadas cartesianas con notación imaginaria mostrando in vector impedancia  $Z$  y con sus componentes real e imaginaria,  $Z'$  y  $Z''$ , y el ángulo de fase  $\theta$ .

### Gráfico de Bode [3, 8, 9]

A diferencia de los gráficos de Nyquist, las representaciones de Bode contienen toda la información de un ensayo de EIS, ya que las frecuencias se identifican claramente. La figura 5 representa un diagrama de bode característico de un metal sin recubrimiento.



**Figura. 4.** Gráfico de bode característico de un metal sin recubrimiento

## **ANEXO C**

### **DESEMPEÑO DE RECUBRIMIENTOS Y CÁMARAS DE SIMULACIÓN**

#### **Desempeño de recubrimientos**

La inspección visual está relacionada con la identificación de deterioros o defectos en el recubrimiento, por tanto vale la pena dar una descripción de algunos de los defectos típicamente encontrados en los recubrimientos.

**Ampollamiento:** Este defecto se asocia a diferentes problemas en el recubrimiento, sin embargo ha sido demostrado que el ampollamiento ocurre en áreas localizadas donde la adherencia es baja. Aunque el ampollamiento puede ser iniciado por varias causas, fundamentalmente es originado por la presencia de contaminantes tales como sales disueltas, humedad y otro tipo de material indeseado, en la interfase sustrato metálico-recubrimiento.

**Arrugamiento:** Generalmente ocurre cuando el recubrimiento aplicado es de un espesor mayor al máximo permisible, lo cual se traduce en el hinchamiento del recubrimiento donde la superficie de éste se expande más rápidamente durante el periodo de secado, que en el cuerpo del recubrimiento.

**Agrietamiento:** Rotura en el recubrimiento debido al envejecimiento prematuro, al desgaste por la acción atmosférica y/o a la acción de esfuerzos superiores a los máximos permisibles. Este defecto se manifiesta normalmente como grietas que se extienden al sustrato.

**Cuarteamiento:** Consiste en la presencia de grietas de tipo aleatorio o con geometrías definidas, ocasionadas por envejecimiento prematuro, al desgaste por la acción atmosférica y/o a la acción de esfuerzos superiores a los máximos permisibles. Estos agrietamientos no alcanzan a extenderse al

sustrato metálico, y normalmente son los defectos previos al proceso de agrietamiento.

### **Cámaras de simulación (1500horas)**

- **Cámara Salina:** El ensayo en Cámara Salina se considera aceptable y hace referencia a un ensayo en niebla salina según los lineamientos de la Norma ASTM G85 “Standard Practice for Modified Salt Spray (fog) Testing”, donde se atomiza continuamente una solución de Cloruro de Sodio (NaCl). El dispositivo de atomización no debe estar dirigido directamente a las muestras y debe garantizar una atomización uniforme en el ambiente confinado en la cabina. Las muestras están colocadas de tal manera que no tienen contacto entre ellas y las gotas de condensado no caigan sobre las mismas. Además, se encuentran puestas en un ángulo de 60° a 75° y el ensayo debe interrumpirse solamente para los casos en que es estrictamente necesario por logística operacional para retirar temporal o definitivamente, o adicionar probetas. La cámara salina utilizada para este ensayo es un equipo Atlas CSF 850 y la disposición de los cupones se muestra a continuación.



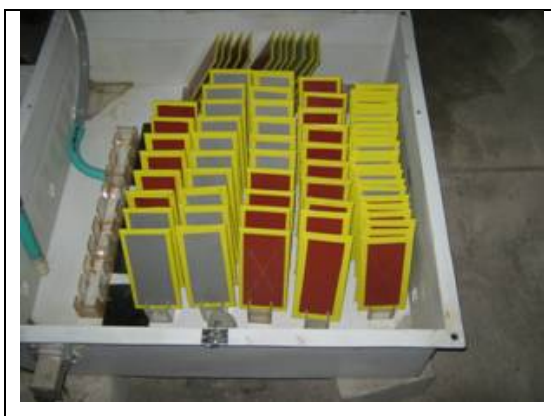
**Figura 1.** Cámara salina de los cupones para evaluación de compatibilidad imprimante.

- Cámara a humedad relativa al 100%. En este caso los recubrimientos son sometidos a la acción de un ambiente que simula el fenómeno corrosivo de una atmósfera a humedad relativa del 100%, o al menos superior a la humedad relativa crítica, que para nuestra ubicación geográfica es el 80%, y que representa la condición suficiente para que el aire atmosférico disponga de un camino iónicamente conductor a través de la película de un recubrimiento que se encuentra aplicado a un sustrato metálico. La realización de este ensayo se lleva a cabo acorde los lineamientos de la Norma ASTM D2247-99 Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity”, y se utilizó un equipo Atlas CSF 850, y la disposición de los cupones se muestra a continuación.



**Figura 2.** Cámara a humedad relativa del 100% de los cupones para evaluación de compatibilidad imprimante

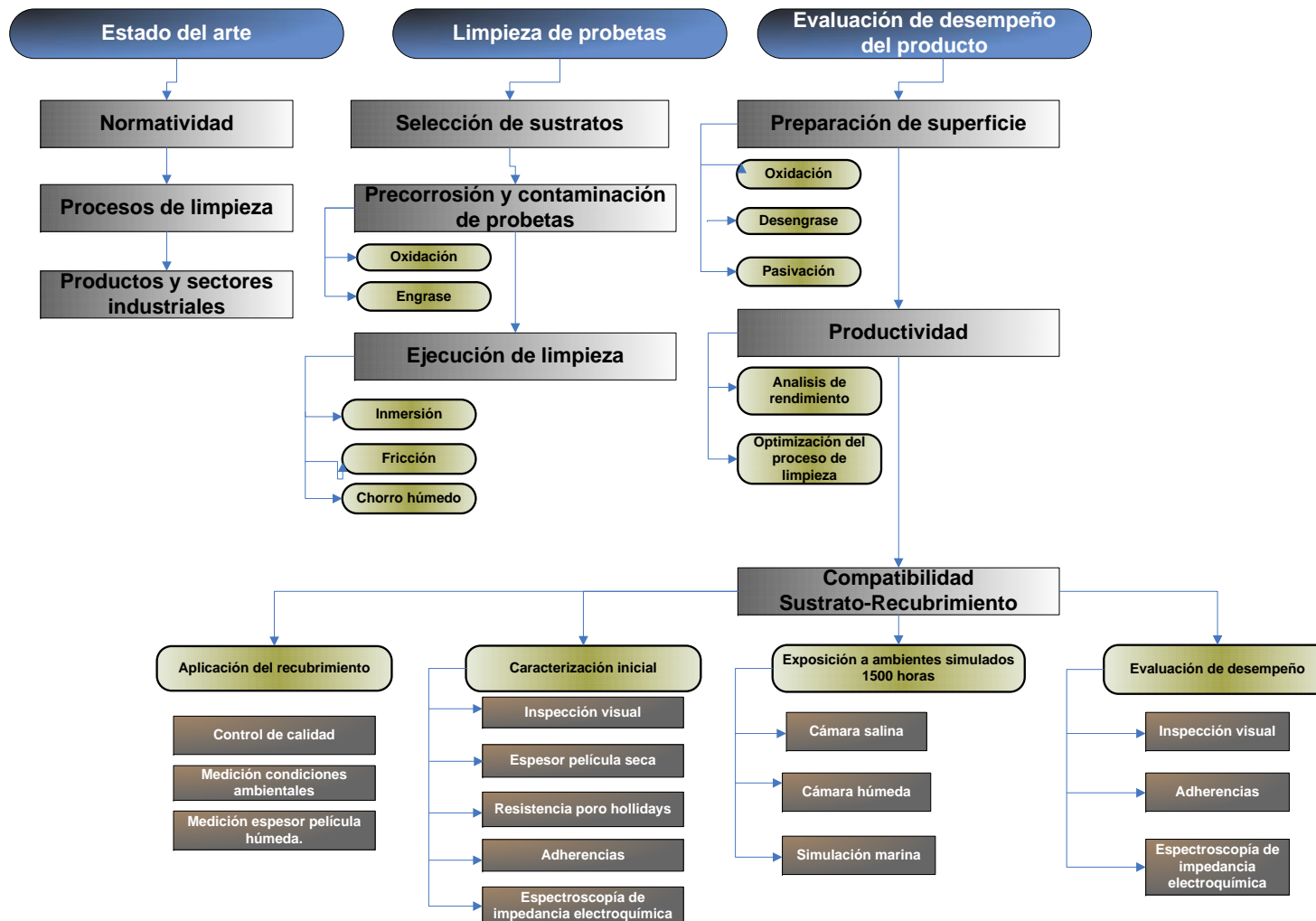
- Cámara de Inmersión marina. Con el fin de simular las condiciones agresivas del mar, se expusieron las probetas recubiertas a inmersión en una salmuera con cloruro de sodio al 5%. Para simular las condiciones lo mas cercanamente real al proceso al cual están expuestos las láminas de embarcaciones donde tenemos zonas inmersas y zonas sin contacto directo con el medio marino, se adecuo una bomba de recirculación que possibilitaba subir y bajar el nivel de la solución, por tanto, las probetas estuvieron expuestas tanto a inmersión parcial como completa.



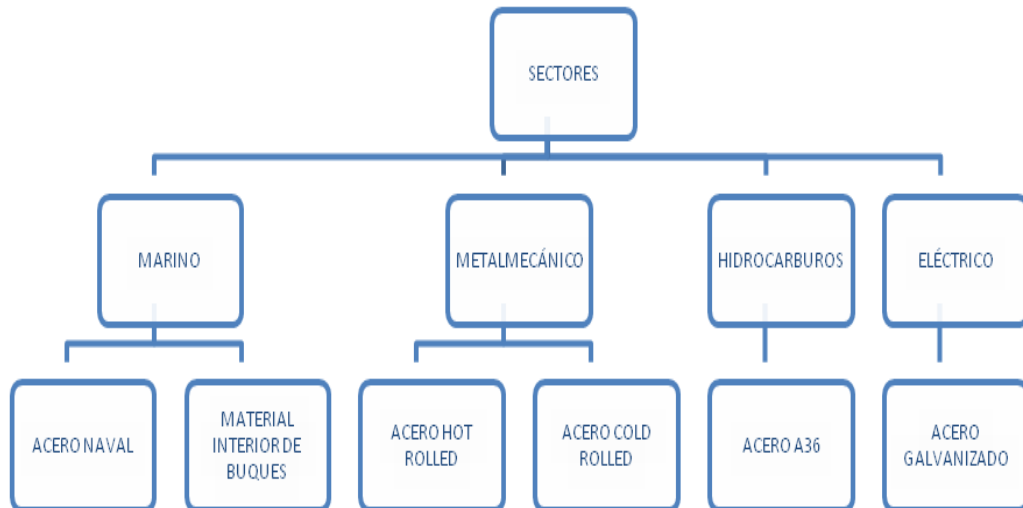
**Figura 3.** Ensayo en cámara de inmersión marina de los cupones para evaluación de compatibilidad imprimante.

## **ANEXO D METODOLOGIA**

# METODOLOGÍA



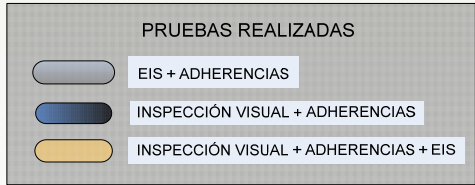
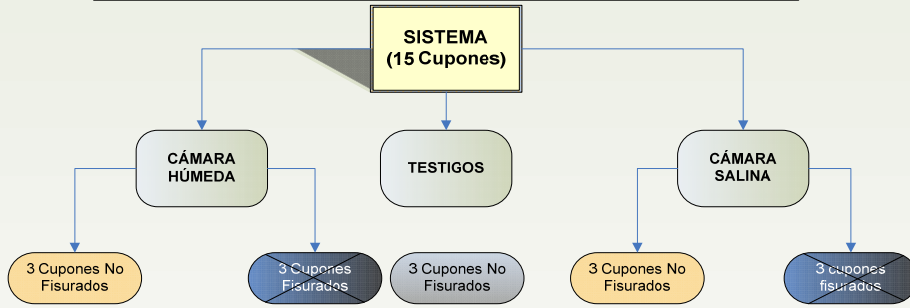
**ANEXO E**  
**SUSTRATOS**  
**SELECCIONADOS**



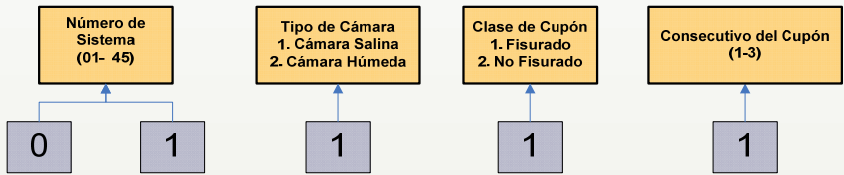
**ANEXO F**  
**NOMENCLATURA DE CUPONES Y METODOLOGIAS EVALUADAS**

# CUPONES UTILIZADOS POR SISTEMA

30/09/2009



## NOMENCLATURA DE CUPONES



Sistema	Material	Preparación	Producto	Imprimante	Concentración	Temperatura	Tiempo	Sector
01	A36	Chorro Húmedo	Agua	Epoxifenólico	N/A	Ambiente	N/A	Tanques
02	A36	Chorro Húmedo	Comercial	Epoxifenólico	1:50	Ambiente	N/A	
03	A36	Chorro Húmedo	Natural	Epoxifenólico	1:25	Ambiente	N/A	
04	A36	Chorro Húmedo	Natural	Epoxifenólico	1:50	Ambiente	N/A	
05	Mat Int Buques	Chorro Húmedo	Natural	Epoxipoliamina	1:1000	Ambiente	N/A	Marino
06	Mat Int Buques	Chorro Húmedo	Natural	Orgánico Rico en Zinc	1:1000	Ambiente	N/A	
07	Mat Int Buques	Chorro Húmedo	Agua	Orgánico Rico en Zinc	N/A	Ambiente	N/A	
08	Mat Int Buques	Chorro Húmedo	Agua	Epoxipoliamina	N/A	Ambiente	N/A	
09	Acero Naval	Chorro Húmedo	Agua	Epoxipoliamina	N/A	Ambiente	N/A	
10	Acero Naval	Chorro Húmedo	Natural	Epoxipoliamina	1:2000	Ambiente	N/A	
11	Acero Naval	Chorro Húmedo	Agua	Orgánico Rico en Zinc	N/A	Ambiente	N/A	
12	Acero Naval	Chorro Húmedo	Natural	Orgánico Rico en Zinc	1:2000	Ambiente	N/A	
13	Hot Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:5 / 1:5	60°C	10 y 20 min	Metalmecánico
15	Hot Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:7/1:7	60°C	20 y 20 min	
17	Cold Rolled	Inmersión	Comercial	Epoxipoliamina	30-60g/l/33-42g*lt	55°C/50°C	10min/10min	
18	Cold Rolled	Inmersión	Comercial	Epoxipoliamina	30-60g/l/1:5 agua	55°C/50°C	10min/25min	

Sistema	Material	Preparación	Producto	Imprimante	Concentración	Temperatura	Tiempo	Sector
19	Cold Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:7/1:300	60°C	10 y 10 min	
21	Cold Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:7/1:300	60°C	10 y 15 min	
23	Cold Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:7/1:300	60°C	15 y 10 min	
25	Cold Rolled	Inmersión	Natural	Epoxipoliamina	1:7/1:300	60°C	15 y 15 min	
27	Hot Rolled	Inmersión	Comercial	Epoxipoliamina	30-60g/lit/33-42g*lit	55°C/50°C	20min/10min	
28	Hot Rolled	Inmersión	Comercial	Epoxipoliamina	30-60g/lit/1:5 agua	55°C/50°C	20min/25min	
29	A36	Fricción	Natural	Orgánico Rico en Zinc	1:7	Ambiente	N/A	Tanques
30	Acero Naval	Fricción	Natural	Orgánico Rico en Zinc	1:10	Ambiente	N/A	Marino
31	Acero Naval	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:10	Ambiente	N/A	
32	Mat Int Buques	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:7	Ambiente	N/A	
33	Mat Int Buques	Fricción	Natural	Orgánico Rico en Zinc	1:7	Ambiente	N/A	
34	Hot Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:3	Ambiente	N/A	Metalmecánico
35	Hot Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:5	Ambiente	N/A	
36	Hot Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:7	Ambiente	N/A	
37	Hot Rolled	Fricción	Comercial	Epoxipoliamina		Ambiente	N/A	
38	Cold Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:5	Ambiente	N/A	
39	Cold Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:7	Ambiente	N/A	
40	Cold Rolled	Fricción	Natural	Epoxipoliamina	1:10	Ambiente	N/A	
41	Cold Rolled	Fricción	Comercial	Epoxipoliamina		Ambiente	N/A	
42	Acero Galvanizado	Fricción	Natural	Epoxipoliamida	1:3	Ambiente	N/A	Eléctrico
43	Acero Galvanizado	Fricción	Natural	Epoxipoliamida	1:5	Ambiente	N/A	
44	Acero Galvanizado	Fricción	Natural	Epoxipoliamida	1:7	Ambiente	N/A	

Sistema	Material	Preparación	Producto	Imprimante	Concentración	Temperatura	Tiempo	Sector
45	Acero Galvanizado	Fricción	Agua	Epoxipoliamida	N/A	Ambiente	N/A	

## ANEXO G

### ENSAYOS CARACTERIZACIÓN INICIAL

- **Inspección visual**

Con el objeto de establecer la presencia de defectos y/o productos de corrosión, bajo las condiciones iniciales y luego de ser sometidos a la exposición en cámara salina. La inspección visual esta acompañada de un registro fotográfico que le da el soporte de veracidad a dicha inspección.

- **Medición Espesor Película Seca**

Aplicado por método no-destrutivo según los lineamientos de la norma ASTM A 123 Numeral 7: Tests Methods Magnetic Thickness Measurements, enfocado a establecer la consistencia respecto del espesor del recubrimiento y definir la condición de referencia fundamental del mismo, para efectos de establecer la uniformidad del recubrimiento aplicado.

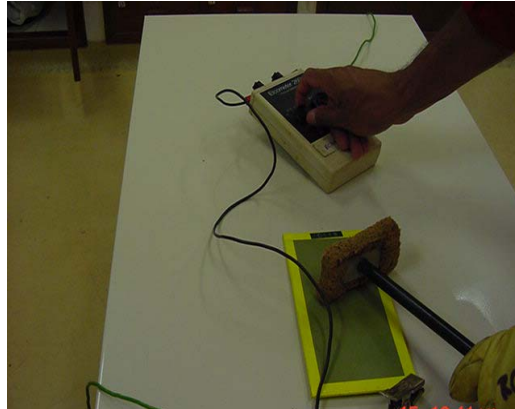


**Figura 1.** Medida de espesores de película seca

- **Discontinuidad poros por medición de holliday.**

Su objetivo es detectar eléctricamente discontinuidades pequeñas o defectos en sistemas de recubrimientos no conductores. Este ensayo se realiza según la Norma **ASTM D 5162**, siguiendo el método de esponja a bajo

voltaje y corriente directa, probetas con discontinuidades fueron repintadas o en el peor de los casos usadas como testigos de cada sistema.



**Figura 2.** Determinación de Hollidays

- **Medición de Adherencias.**

La prueba se realiza según norma **ASTM D 4541**, método de pull-off, utilizando un equipo adhesión tester mecánico y un pegante cuyo genérico es cianoacrilato. Es una prueba destructiva que permite evaluar la fuerza con la cual un recubrimiento se adhiere al sustrato, y en que forma posibles interferencias en al superficie afectan dicha unión



**Figura 3.** Medida de la Adherencia del Recubrimiento

- **Espectroscopia de Impedancia electroquímica.**

La espectroscopía de Impedancias electroquímica ofrece una herramienta no destructiva para evaluar la degradación de un sistema de recubrimiento expuesto a un ambiente corrosivo. Con este fin, se mide la capacidad que tiene el sistema para impedir el paso, a través la película protectora, de agentes agresivos que deterioren por corrosión la estructura, esta medida se denomina resistencia de poros y es directamente proporcional al estado del Imprimante.









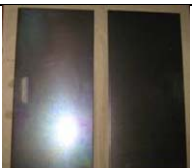













**Figura 4.** Medida de resistencia de poro por espectroscopia de impedancia electroquímica

## ANEXO H



### REGISTRO FOTOGRÁFICO SUPERFICIES PREPARADAS POR INMERSIÓN, FRICCIÓN Y CHORRO HÚMEDO















#### Registro fotográfico superficies preparadas por inmersión

Metodología	Condición final	Condición final (con lámpara uv)
Limpiador natural (13)		
Limpiador natural (15)		
Comercial (27)		
Comercial (28)		
Comercial (17)		
Comercial (18)		

Metodología	Condición final	Condición final (con lámpara uv)
Limpiador natural (19)		
Limpiador natural (21)		
Limpiador natural (23)		
Limpiador natural (25)		

**Registro fotográfico superficies preparadas por fricción**










Metodología	Condición final	Condición final (con lámpara uv)
Limpiador nat. (34)		

Metodología	Condición final	Condición final (con lámpara uv)
Limpiador nat. (35)		
Limpiador nat. (36)		
Comercial (37)		
Limpiador nat. (38)		
Limpiador nat. (39)		
Limpiador nat. (40)		
Comercial (41)		

Metodología	Condición final	Condición final (con lámpara uv)
Limpiador nat. (42)		
Limpiador nat. (43)		
Limpiador nat. (44)		
Agua (45)		





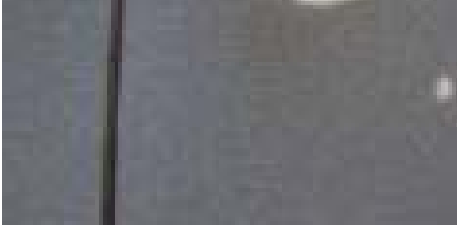
**Estabilidad de las superficies preparadas por chorro húmedo**



Tiempo	Agua	Limpiador natural	
		1:1000	1:2000
5 min.			

20 min.			
60 min.			
100 min.			

## Registro fotográfico superficies preparadas por chorro húmedo

Metodología	Preparación de superficie
Agua (1)	
Inhibidor comercial (2)	
Producto natural (3)	
Producto natural (4)	
Producto natural (5)	

Metodología	Preparación de superficie
Producto natural (6)	
Agua (7)	
Agua (8)	
Agua (9)	
Producto natural (10)	

Metodología	Preparación de superficie
Agua (11)	
Producto natural (12)	

## ANEXO I

### Rendimientos obtenidos de la limpieza por inmersión

Sustrato	Concentración (cm <sup>3</sup> producto/cm <sup>3</sup> Agua)	Rendimiento (cm <sup>2</sup> metal/cm <sup>3</sup> producto)
Baño desengrasante		
Hot rolled	1:5	3,96
Cold rolled	1:7	5,30
Baño desoxidante		
Hot rolled	1:5	2,55
Cold rolled	1:300	151,9

## ANEXO J

### ANALISIS ADHERENCIAS CAMARA SALINA

**Tabla 1.** Resultados de adherencia imprimante epoxifenólico aplicado sobre probetas preparadas por chorro húmedo y expuestas en cámara salina

Adherencia agua (1)	Adherencia producto comercial (2)	Adherencias limpiador natural (4)

**Tabla 2.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas por inmersión y expuestas en cámara salina

Adherencia producto comercial (27)	Adherencias limpiador natural (13)

**Tabla 3.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas por inmersión y expuestas en cámara salina

Adherencia producto competencia (17)	Adherencias limpiador natural (25)
	

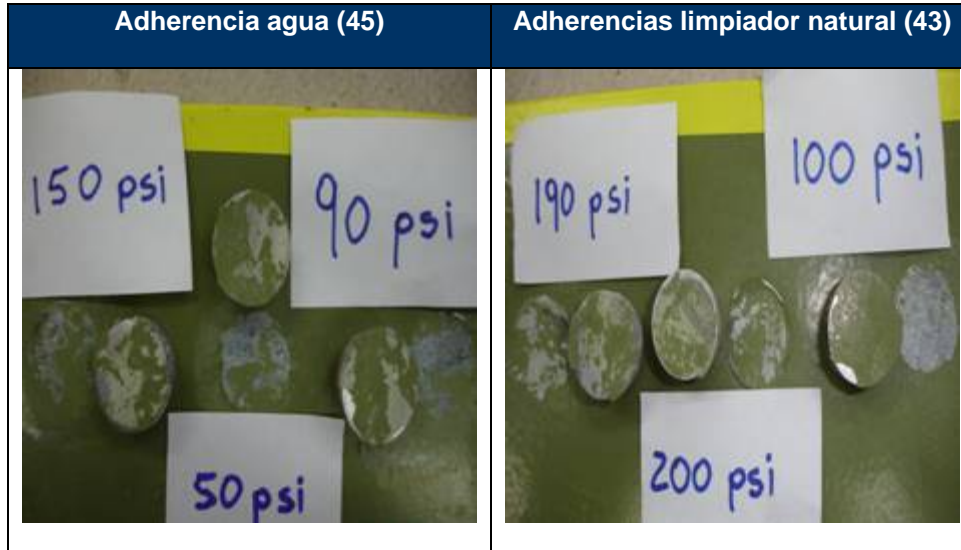
**Tabla 4.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas por fricción y expuestas en cámara salina

Adherencia producto competencia (37)	Adherencias limpiador natural (34)
	

**Tabla 5.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas por fricción y expuestas en cámara salina



**Tabla 6.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamida aplicado sobre probetas de acero galvanizado preparadas por fricción y expuestas en cámara salina



## ANEXO K

















### RESULTADOS CÁMARAS HÚMEDA Y MARINA

#### Cámara de inmersión marina














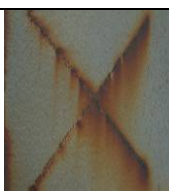
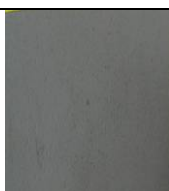

##### A. Inspección visual

A continuación se presentan registros fotográficos representativos de las diferentes metodologías evaluadas.

**Tabla 1.** Registro fotográfico probetas de acero de interior de buques preparadas por chorro húmedo y expuestas en cámara de inmersión marina

Metodología	Fisurados		No fisurados	
	Registro inicial	Registro final	Registro inicial	Registro final
Limpiador nat. (05)				
Limpiador nat. (06)				
Agua (07)				
Agua (08)				

**Tabla 2.** Registro fotográfico probetas de acero naval preparadas por chorro húmedo y expuestas en cámara de inmersión marina.

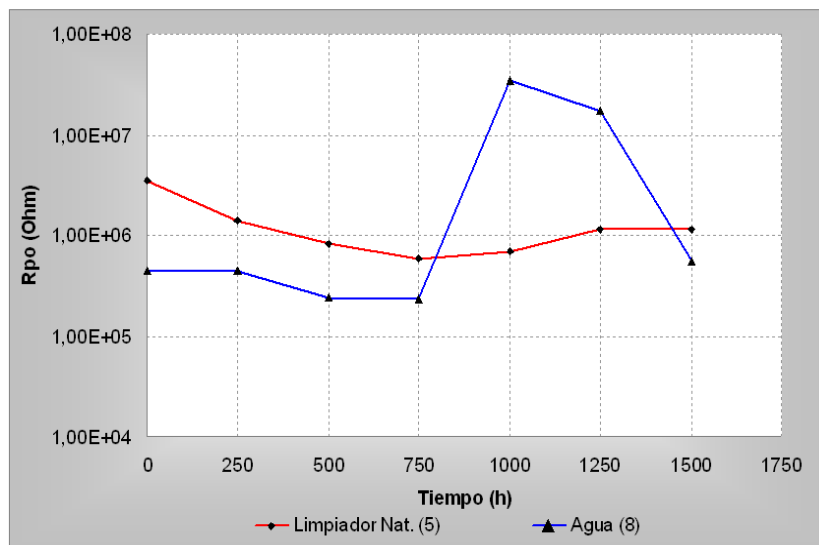
Metodología	Fisurados		No fisurados	
	Registro inicial	Registro final	Registro inicial	Registro final
Limpiador nat. (10)				
Limpiador nat. (12)				
Agua (09)				
Agua (11)				

La inspección visual de los imprimantes aplicados en probetas preparadas superficialmente por chorreado húmedo, haciendo uso del producto natural y de productos comerciales, y con exposición en ambiente de inmersión marina, permite dar la siguiente apreciación.

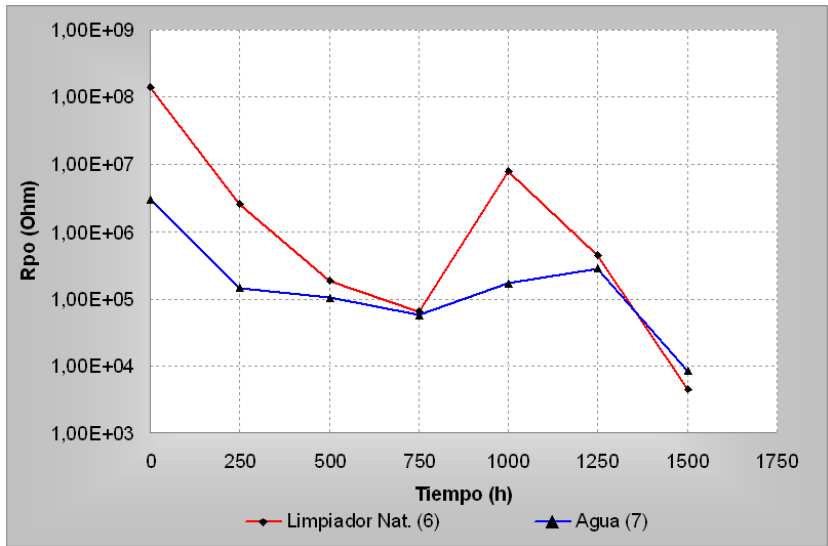
En las limpiezas tanto con agua como con el producto natural se evidencia que los imprimantes no sufren daños significativos, por lo cual no hay incidencia alguna en el desempeño del recubrimiento aplicados sobre dichas probetas.

## B. Resistencia de poro (EIS)

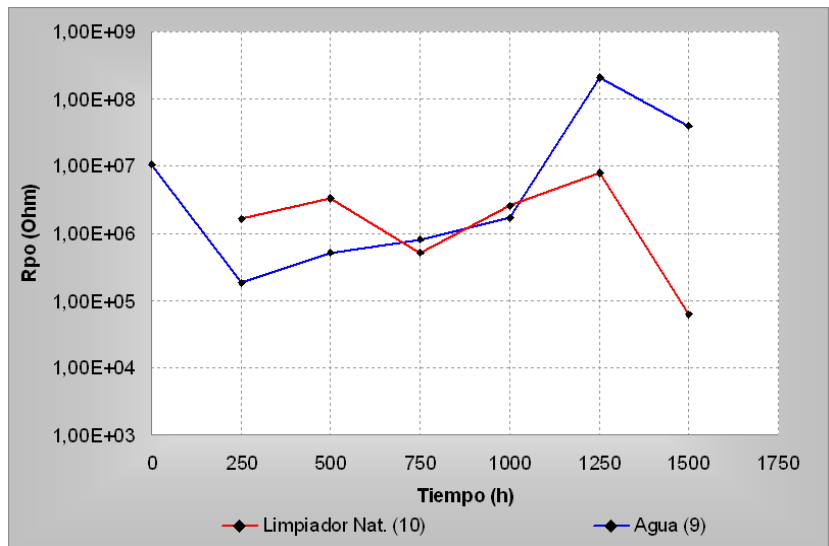
A continuación se presenta la variación de la resistencia de poro de los imprimantes aplicados y expuestos a cámara salina.



**Gráfica 1.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero de interior de buques preparadas mediante chorro húmedo. Exposición en cámara de inmersión marina



Grafica 2. Variación de la resistencia de poro del imprimante orgánico de zinc aplicado sobre probetas de acero interior de buques preparadas mediante chorro húmedo. Exposición en cámara de inmersión marina



**Grafica 3.** Variación de la resistencia de poro del imprimante orgánico de zinc aplicado sobre probetas de acero naval preparadas mediante chorro húmedo. Exposición en cámara de inmersión marina


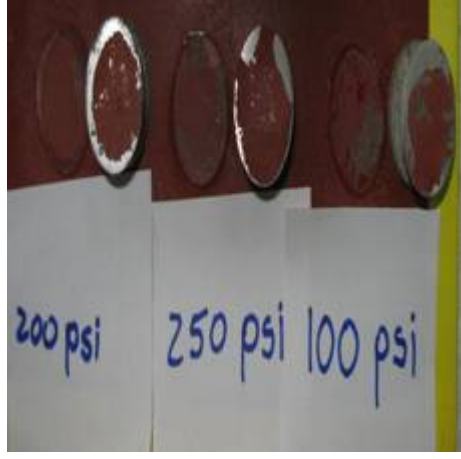

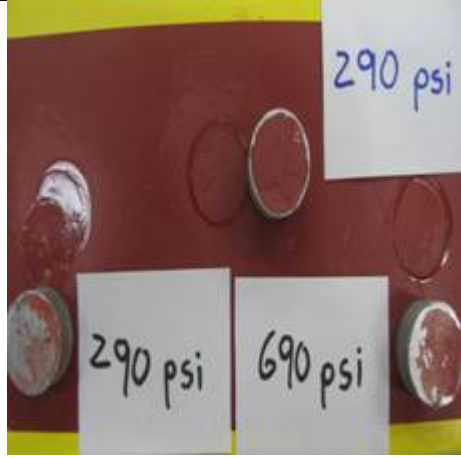
A nivel general, tanto para acero naval como para acero de interior de buques, el comportamiento en la resistencia de poro de los imprimantes

aplicados sobre superficies preparadas superficialmente por chorreado húmedo en ausencia del producto natural sugiere un desempeño similar y en algunos casos ligeramente superior al obtenido en presencia del producto natural, además se ve que la resistencia de poro no es fuertemente influenciada por el medio agresivo.





C. Adherencia

A continuación se presentan registros fotográficos representativos de las adherencias obtenidas para las probetas recubiertas y tratadas con las diferentes metodologías de limpieza.

**Tabla 3.** . Resultados de Adherencia Imprimante Epoxipoliamina Aplicado Sobre Probetas de Acero de Interior de Buques y Acero Naval Preparadas por Chorro Húmedo y Expuestas en Cámara de Inmersión marina.

Adherencia agua (8)	Adherencias limpiador natural (5)
	
Adherencia agua (9)	Adherencias limpiador natural (10)
	

**Tabla 4.** Resultados de adherencia imprimante orgánico de zinc aplicado sobre probetas de acero de interior de buques y acero naval preparadas por chorro húmedo y expuestas en cámara de inmersión marina

Adherencia agua (7)	Adherencias limpiador natural (6)
	
Adherencia agua (11)	Adherencias limpiador natural (12)
	

A nivel general, tanto para acero naval como para acero de interior de buques, el comportamiento en la adherencia de los imprimantes sugiere comportamientos similares tanto para los procedimientos haciendo uso del producto natural como para agua, sin obtener incidencia significativa en la compatibilidad del recubrimiento con la superficie.

## RESULTADOS OBTENIDOS CAMARA HÚMEDA

Cámara a Humedad relativa al 100%

### A. Inspección visual

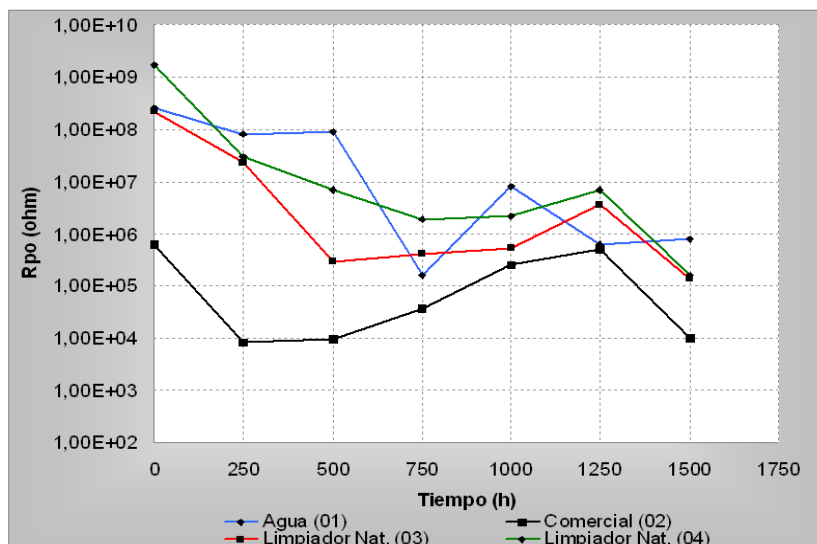
La inspección visual de los imprimantes aplicados en probetas preparadas superficialmente por fricción, inmersión y chorreado húmedo, haciendo uso del producto natural y de productos comerciales, y con exposición en ambiente salino, permite dar las siguientes apreciaciones.

En los tres métodos de limpieza, los imprimantes aplicados sobre probetas preparadas con los productos comerciales evidencian mayor presencia de fallas en el recubrimiento (ampollas, levantamiento del imprimante (perdida de adherencia)) en relación a las presentadas en imprimantes aplicados sobre probetas limpiadas con el producto natural.

A diferencia de lo observado en la inspección visual y EIS de cámara salina, el desempeño de los imprimantes es mayor en probetas preparadas mediante fricción al ser comparadas por preparación mediante inmersión.

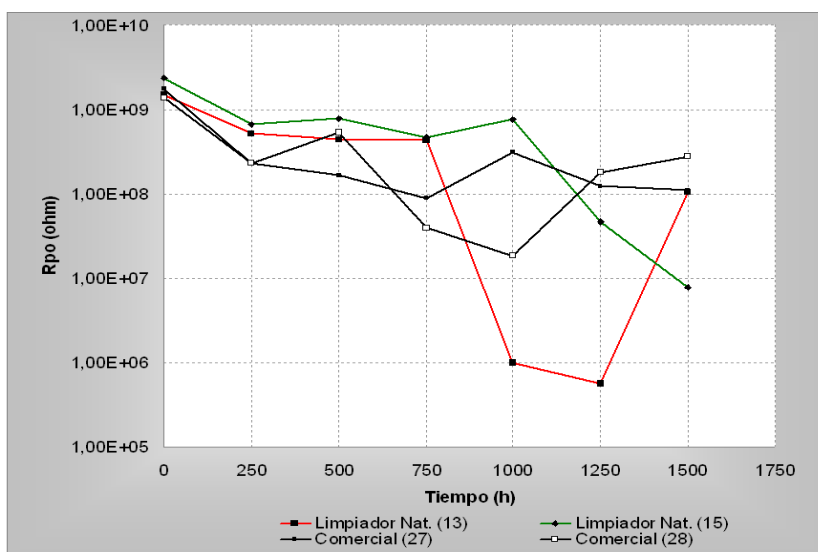
### B. Resistencia de poro (EIS)

A continuación se presenta la variación de la resistencia de poro de los imprimantes aplicados y expuestos a cámara salina.

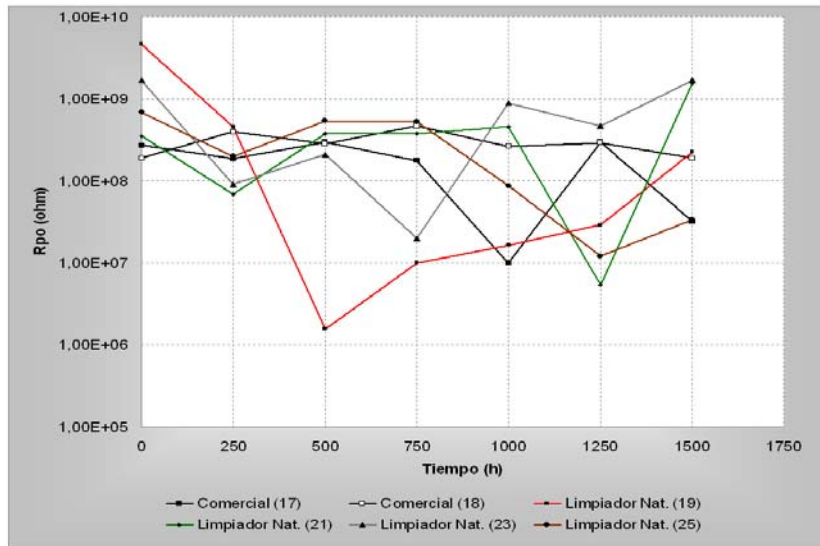


**Gráfica 4.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxifenólico aplicado sobre probetas preparadas mediante chorro húmedo. Exposición en cámara húmeda

Las probetas preparadas superficialmente mediante chorro húmedo en presencia del inhibidor comercial y revestidas con imprimante epoxifenólico y bajo condiciones de exposición en cámara a humedad relativa al 100%, muestran un grado de incidencia en la compatibilidad menor en relación a las probetas preparadas en presencia del producto natural y en grado similar a lo obtenido en ausencia del inhibidor (solo agua).

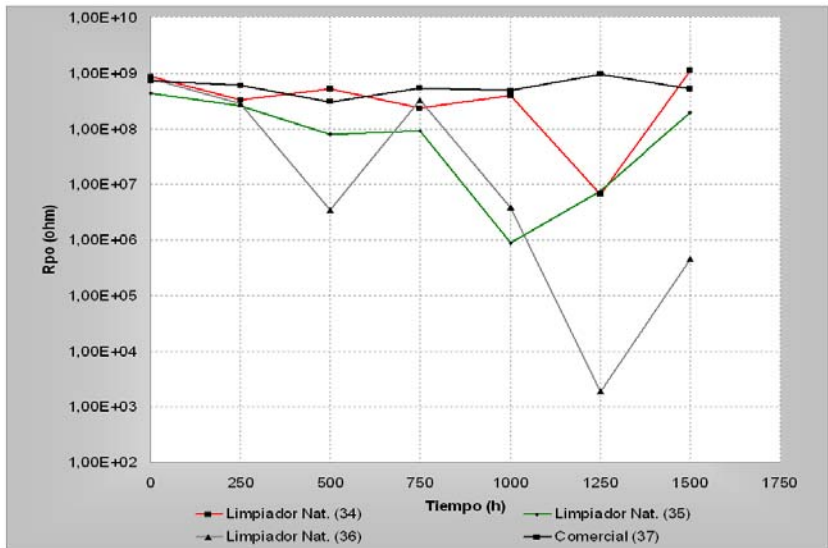


**Gráfica 5.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante inmersión. Exposición en cámara húmeda

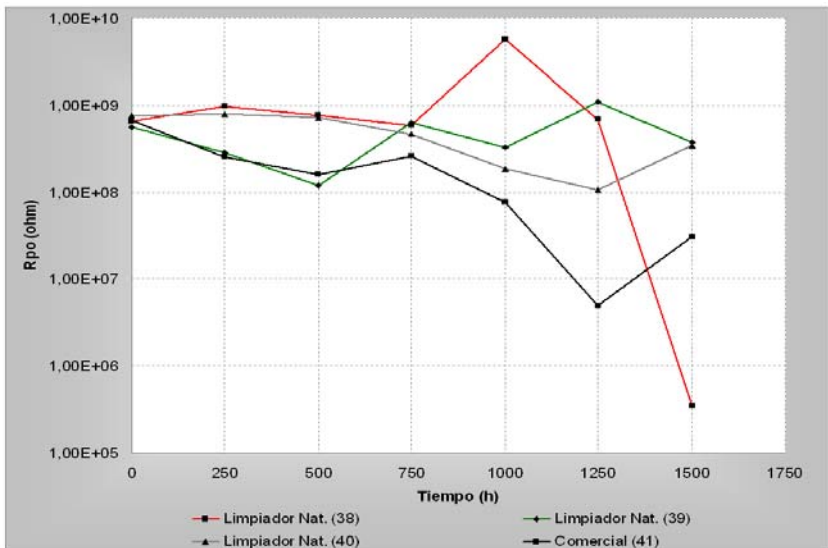


**Gráfica 6.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas mediante inmersión. Exposición en cámara húmeda

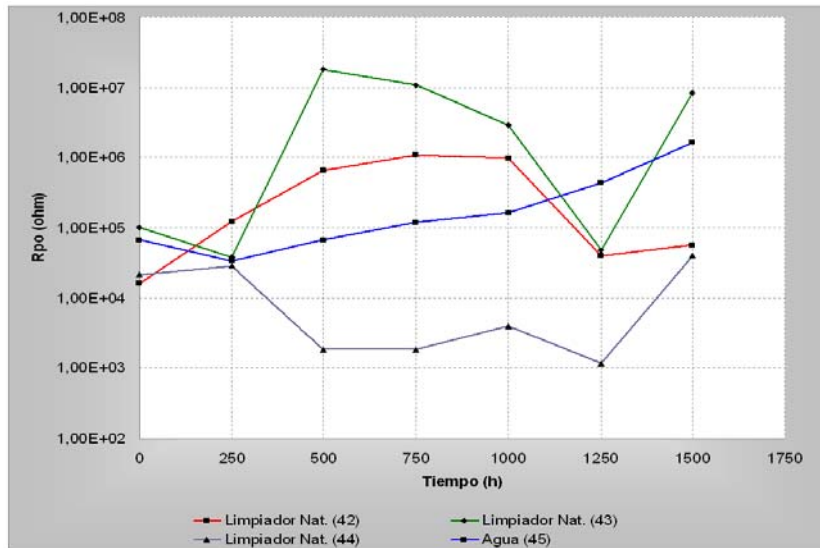
En los procedimientos de limpieza por inmersión de muestras de acero hot rolled y cold rolled, y con imprimante epoxipoliamina y bajo condiciones de exposición en cámara a humedad relativa al 100%, se evidencia al menos una de las metodologías haciendo uso del producto natural con un grado de incidencia en la compatibilidad menor o similar en relación a las probetas preparadas en presencia del producto comercial, lo cual indica que se obtienen mejores desempeños del recubrimiento haciendo uso de métodos de limpieza usando el producto natural. En este orden de ideas, para ambientes agresivos de alta humedad se considera un método de limpieza óptimo mediante inmersión el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 13 y la metodología, para acero tipo hot rolled y cold rolled, respectivamente.



**Grafica 7.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara húmeda



**Gráfica 8.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas mediante fricción. Exposición en cámara húmeda



**Grafica 9.** Variación de la resistencia de poro del imprimante epoxipoliamida aplicado sobre probetas de acero galvanizado preparadas mediante fricción. Exposición en cámara húmeda

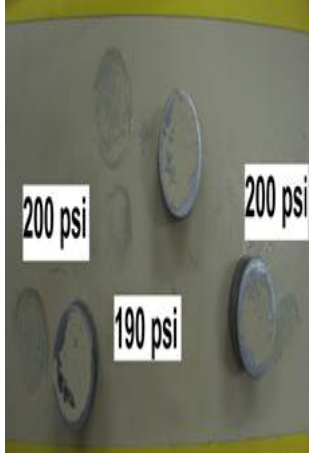

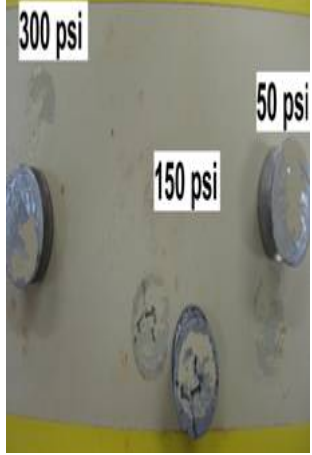
En los procedimientos de limpieza por fricción de muestras de acero hot rolled y cold rolled (graficas 13 y 14), y con imprimante epoxipoliamina y bajo condiciones de exposición en cámara a humedad relativa al 100%, se evidencia al menos una de las metodologías haciendo uso del producto natural con un grado de incidencia en la compatibilidad menor en relación a las probetas preparadas en presencia del producto comercial, lo cual indica que se obtienen mejores desempeños del recubrimiento haciendo uso de métodos de limpieza usando el producto natural. En este orden de ideas, para ambientes agresivos de alta humedad se considera un método de limpieza óptimo mediante fricción el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 34 y la metodología 39, para acero tipo hot rolled y cold rolled, respectivamente.

En el caso de superficies de acero galvanizado el proceso de limpieza que menor incidencia genera en la compatibilidad del imprimante con superficie y por ende en el desempeño del mismo, son los procedimientos desarrollados con agua y con el producto natural bajo las condiciones de la metodología 43.

### C. Adherencia

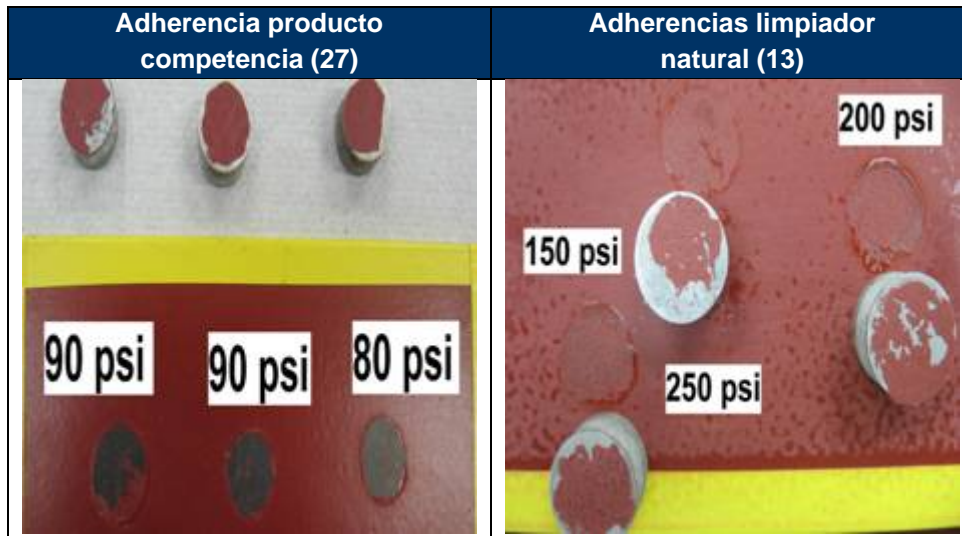
A continuación se presentan registros fotográficos representativos de las adherencias obtenidas para las probetas recubiertas y tratadas con las diferentes metodologías de limpieza. .

**Tabla 5.** Resultados de Adherencia Imprimante Epoxifenólico Aplicado Sobre Probetas Preparadas por Chorro Húmedo y Expuestas en Cámara Húmeda

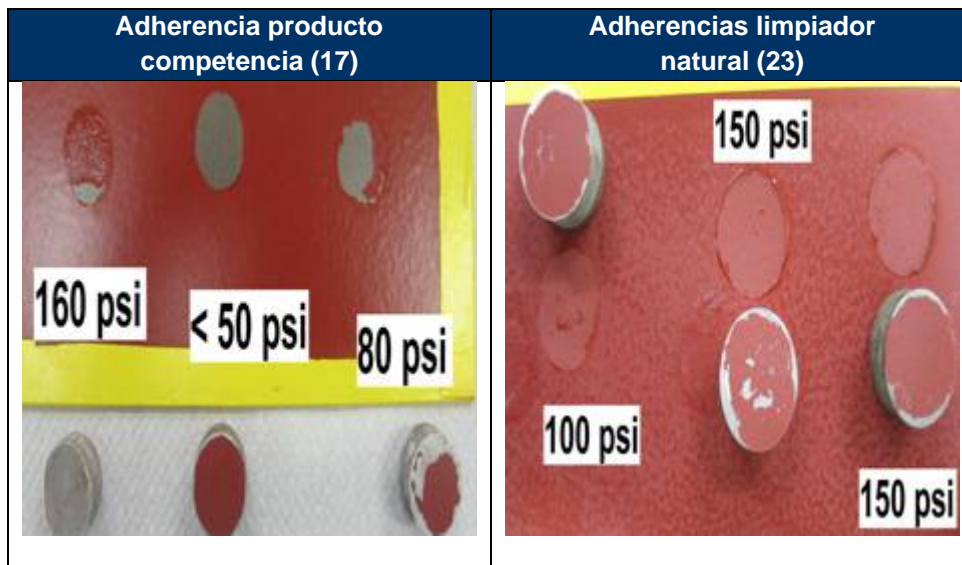
Adherencia agua (1)	Adherencia producto competencia (2)	Adherencias limpiador natural (4)
		

Los resultados de adherencia para las probetas preparadas superficialmente mediante chorreado húmedo con agua, inhibidor comercial y producto natural, y revestidas con imprimante Epoxifenólico y bajo condiciones de exposición en Cámara humedad relativa del 100%, confirman un correcto desempeño del recubrimiento en superficies preparadas con los diferentes productos de limpieza y así mismo con agua, por lo cual no se evidencia incidencia alguna en la compatibilidad del imprimante. Sin embargo, se evidencia un comportamiento ligeramente superior en el procedimiento haciendo uso del producto comercial.

**Tabla 6.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas por inmersión y expuestas en cámara húmeda



**Tabla 7.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas por inmersión y expuestas en cámara húmeda.



La adherencia del imprimante aplicado sobre probetas de acero hot rolled y cold rolled preparadas por inmersión, evidencian la pérdida de compatibilidad del recubrimiento en aquellas superficies preparadas haciendo uso de productos comerciales, y confirman lo encontrado en la inspección visual y en el comportamiento de la resistencia de poro, donde para ambientes

agresivos de alta salinidad se considera un método de limpieza óptimo mediante inmersión, el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 13 (Anexo G) y la metodología 23 (Anexo G), para acero tipo hot rolled y cold rolled, respectivamente.

**Tabla 81.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero hot rolled preparadas por fricción y expuestas en cámara húmeda



**Tabla 9.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamina aplicado sobre probetas de acero cold rolled preparadas por fricción y expuestas en cámara húmeda



**Tabla 10.** Resultados de adherencia imprimante epoxipoliamida aplicado sobre probetas de acero galvanizado preparadas por fricción y expuestas en cámara húmeda



La adherencia de las probetas recubiertas con imprimante epoxipoliamina sobre acero hot rolled preparado superficialmente con los productos comerciales evidencian pérdida de adherencia del recubrimiento y por ende afectación de la compatibilidad del mismo con la superficie, hecho que es mucho menos significativo en superficies preparadas haciendo uso del producto natural. Lo cual ratifica lo encontrado tanto en la inspección visual como en el comportamiento de la resistencia de poro, donde para ambientes agresivos de alta humedad se considera un método de limpieza óptimo mediante fricción para acero hot rolled, el uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 34.

Por su parte, en el caso de superficies de acero cold rolled, para los procedimientos con el producto natural bajo las condiciones de las metodologías 38 y 39 se evidencian baja pérdida de compatibilidad del recubrimiento, dando resultados comparables al producto comercial, lo cual confirma que el producto natural no afecta ampliamente la compatibilidad del recubrimiento y por ende puede aplicarse en procesos donde se recubre acero cold rolled con recubrimientos tipo epoxipoliamina.

En el caso de superficies de acero galvanizado recubiertas con imprimante epoxipoliamida el comportamiento de las adherencias sugiere una compatibilidad del imprimante superior en superficies preparadas haciendo uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 44. Adicionalmente, el procedimiento haciendo uso del producto natural bajo las condiciones de la metodología 43, presenta resultados similares a los obtenidos con el producto comercial y se convierte en una metodología igualmente óptima para este tipo de limpiezas