

# **“ EVALUACION DE RECUBRIMIENTOS A BASE DE ZINC EN LA ATMOSFERA INDUSTRIAL DE LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS” (PROYECTO PATINA)**

\* M. Huamán M.

\*\* J. Peña E.

## **RESUMEN**

El estudio del comportamiento frente a la corrosión atmosférica, de recubrimientos de zinc sobre acero al carbón bajo diferentes condiciones ambientales. En este proyecto se pretende conocer y evaluar el comportamiento del acero galvanizado en caliente (discontinuo, chapa galvanizada en caliente (continuo senzimir), chapa galvanizada en continuo con aleación de zinc 5% aluminio (galfan), chapa zincada por procedimiento electrolítico (galvanizado en frío) y acero metalizado con zinc en diversas atmósferas naturales como son: rural urbana, costera, industrial y especial.

## **INTRODUCCION**

Es importante mencionar que se ha realizado la exposición a los 42 meses, debido a que en la última reunión se acordó que a los 36 meses se realizará observación para así dar por concluido el proyecto a los 42 meses, que son los resultados expuestos en este trabajo.

Cabe indicar que en este informe se ha dejado de lado a las probetas de Electrozincado puesto que debido a su rápido deterioro se acordó en la reunión de Ecuador dar por terminada las observaciones y resultados a los 24 meses de exposición.

En el siguiente informe se ha presentado los datos de los 12, 24, 36 y los 42 meses para ser analizados en lo concerniente a las fichas técnicas, pérdidas de peso, velocidad de corrosión, análisis de revestimiento y análisis visual de las probetas expuestas.

---

\* Ing. M Huamán, Ingeniero Mecánico, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, 2001

\*\* Ing. J. Peña, Ingeniero Mecánico, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, 1987. Profesor ESPOL desde 1987

## CONTENIDO

### PLANILLAS DE EVALUACION DE RESULTADOS A 42 MESES

REVESTIMIENTO	SIN INCISION	CON INCISION
GALVANIZADO	1ES31 1ES32 1ES33	1EX3
METALIZADO	2ES31	2EX3
SENZIMIR	4ES31 4ES32 4ES33	4EX3
GALFAN	5ES31 5ES32 5ES33	5EX3

### PLANILLA DE EVALUACION

#### A 42 MESES

REVESTIMIENTO	SIN INCISION	CON INCISION
GALVANIZADO	1ES31 1ES32 1ES33	1EX3

**RED PATINA**  
**“ PROTECCION ANTICORROSIVA DE METALES EN LA**  
**ATMOSFERA ”**

**PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS**

**IDENTIFICACIÓN:** 1EX3-1ES31

**EVALUADOR:** Ing. Julián Peña E.

**ESTACIÓN:** Esmeraldas

**NUMERO:**

**Fecha de exposición:** Abril 11, 1.996

**Fecha de Evaluación:** Octubre, 1999

1) FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE  
SUSTRATO  
 SI  NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

4). CORROSION EN LOS BORDES  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hojas anexa

5) EN CASO DE INCISIÓN: CORROSION A PARTIR DE INCISIÓN  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hoja anexa.

6) OTRAS OBSERVACIONES

- La corrosión es más evidente pues se puede apreciar coloración marrón y puntos negros claro que en toda la superficie expuesta. Respecto a la zona con incisión, se aprecia formación de focos de corrosión del metal base.

**PLANILLA DE EVALUACION**

**A 42 MESES**

<b>REVESTIMIENTO</b>	<b>SIN INCISION</b>	<b>CON INCISION</b>
METALIZADO	2ES31	2EX3

**RED PATINA**  
**“ PROTECCION ANTICORROSIVA DE METALES EN LA**  
**ATMOSFERA ”**

**PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS**

**IDENTIFICACIÓN:** 2EX3-2ES3  
**ESTACIÓN:** Esmeraldas  
**Fecha de exposición:** Abril 11, 1.996

**EVALUADOR:** Ing. Julián Peña E.  
**NUMERO:**  
**Fecha de evaluación:** Octubre, 1999

1) FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE  
SUBSTRATO  
 SI  NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

4). CORROSION EN LOS BORDES  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hojas anexa

5) EN CASO DE INCISIÓN: CORROSION A PARTIR DE INCISIÓN  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hoja anexa.

6) OTRAS OBSERVACIONES

- El revestimiento presenta decoloración, tornándose opaco y manchas de color marrón.
- La corrosión del sustrato se ha presentado en formas de manchas oscuras en forma uniforme en toda la superficie.
- Respecto a la zona de incisión, no se manifiesta formaciones de focos de corrosión.
- La decoloración es evidente y se ha tornado mucho mas claro en relación con la testigo.

**PLANILLA DE EVALUACION**

**A 42 MESES**

<b>REVESTIMIENTO</b>	<b>SIN INCISION</b>	<b>CON INCISION</b>
SENZIMIR	4ES31 4ES32 4ES33	4EX3

**RED PATINA**  
**“ PROTECCION ANTICORROSIVA DE METALES EN LA**  
**ATMOSFERA ”**

**PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS**

**IDENTIFICACIÓN:**4EX3-4ES31

**EVALUADOR:** Ing. Julián Peña E.

**ESTACIÓN:** Esmeraldas

**NUMERO:**

**Fecha de exposición:** Abril 11, 1.996

**Fecha de evaluación:** Octubre, 1999

1) FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE  
SUSTRATO  
 SI  NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

4). CORROSION EN LOS BORDES  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hojas anexa

5) EN CASO DE INCISIÓN: CORROSION A PARTIR DE INCISIÓN  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hoja anexa.

6) OTRAS OBSERVACIONES

- La corrosión encontrada en el sustrato se ha incrementado notablemente y la coloración marrón se ha incrementado y es más dominante que los puntos negros.
- No se evidencian daños del sustrato en la zona de incisión.

**PLANILLA DE EVALUACION**

**A 42 MESES**

<b>REVESTIMIENTO</b>	<b>SIN INCISION</b>	<b>CON INCISION</b>
GALFAN	5ES31 5ES32 5ES33	5EX3

**RED PATINA**  
**“ PROTECCION ANTICORROSIVA DE METALES EN LA**  
**ATMOSFERA ”**

**PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS**

**IDENTIFICACIÓN:**5EX3-5ES33

**EVALUADOR:** Ing. Julián Peña E.

**ESTACIÓN:** Esmeraldas

**NUMERO:**

**Fecha de exposición:** Abril 11, 1.996

**Fecha de evaluación:** Octubre, 1999

1) FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE  
SUSTRATO  
 SI  NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO  
 SI  NO

4). CORROSION EN LOS BORDES  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hojas anexa

5) EN CASO DE INCISIÓN: CORROSION A PARTIR DE INCISIÓN  
 SI  NO

En caso afirmativo reportar la forma y detalles en hoja anexa.

6) OTRAS OBSERVACIONES

- La corrosión encontrada en el sustrato se ha incrementado notablemente y presenta zonas de color marrón más acentuadas que las demás.
- No se observa corrosión en la zona de incisión.
- Se nota que ha perdido el brillo y se ha tornado oscura, evidenciando un cambio notable en relación a la superficie no expuesta.

**PERDIDA DE PESO Y DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN**

**DETERMINACIÓN A 12 MESES**

FECHA DE INICIO	Abril 11 de 1996
FECHA DE RETIRO	Abril 11 de 1997
TIEMPO DE EXPOSICIÓN	12 Meses
AREA DE LA MUESTRA	300 cm <sup>2</sup> (ambas caras)

PROBETA	IDENTIFICACION	W <sub>O</sub> (g.)	W <sub>F</sub> (g.)	Δ W (g)	V.corr. (g/Año.cm <sup>2</sup> )
GALVANIZADO	1ES11	157,07	156,64	0,13	0,000433
	1ES12	152,97	152,86	0,11	0,000366
	1ES13	154,68	154,57	0,11	0,000366
					0,000388
ELECTROZINCADO	3ES11	139,8362	137,962	1,8742	0,006247
	3ES12	139,0674	137,2019	1,8655	0,006218
	3ES13	139,5747	137,3491	2,2256	0,007418
					0,006627
SENZIMIR	4ES11	70,2738	70,116	0,1578	0,000526
	4ES12	70,231	70,0681	0,1629	0,000543
	4ES13	70,2643	70,1006	0,1637	0,000545
					0,000538
GALFAN	5ES11	45,5545	45,4433	0,1112	0,000370
	5ES12	44,8892	44,7824	0,1068	0,000356
	5ES13	44,2407	44,1344	0,1063	0,000354
					0,000360

### DETERMINACION A 24 MESES

FECHA DE INICIO	Abril 11 de 1996
FECHA DE RETIRO	Abril 11 de 1998
TIEMPO DE EXPOSICIÓN	24 Meses
AREA DE LA MUESTRA	300 cm <sup>2</sup> (ambas caras)

PROBETA	IDENTIFICACION	W <sub>O</sub> (gr.)	W <sub>F</sub> (gr.)	Δ W (gr.)	V.corr. (g/Año.cm <sup>2</sup> )
GALVANIZADO	1ES21	151,71	151,27	0,44	0,000733
	1ES22	153,25	152,59	0,66	0,001100
	1ES23	154,28	153,75	0,53	0,000883
ELECTROZINCADO	3ES21	140,038	134,0050	6,033	0,010055
	3ES22	137,9464	131,0735	6,8729	0,011454
	3ES23	140,2697	132,7271	7,5426	0,012571
SENZIMIR	4ES21	70,1667	69,7595	0,4072	0,000678
	4ES22	70,2806	69,8721	0,4085	0,000680
	4ES23	69,8860	69,4766	0,4094	0,000682
GALFAN	5ES21	44,7618	44,5526	0,2092	0,000348
	5ES22	43,8595	43,6393	0,2202	0,000367
	5ES23	44,9201	44,7106	0,2095	0,000349
					0,000354

### DETERMINACION A 42 MESES

FECHA DE INICIO	Abril 11 de 1996
FECHA DE RETIRO	Octubre 8 de 1999
TIEMPO DE EXPOSICIÓN	42 Meses
AREA DE LA MUESTRA	300 cm <sup>2</sup> (ambas caras)

PROBETA	IDENTIFICACION	W <sub>O</sub> (g.)	W <sub>F</sub> (g.)	Δ W (g.)	V.corr. (g/Año.cm <sup>2</sup> )
GALVANIZADO	1ES31	151,83	150,86	0,97	0,000923
	1ES32	154,56	153,57	0,99	0,000942
	1ES33	151,71	150,66	1,05	0,001000
					0.000955
SENZIMIR	4ES31	69,9721	69,1907	0,7814	0,000744
	4ES32	69,8278	69,0716	0,7562	0,000720
	4ES33	69,8779	69,0747	0,8032	0,000764
					0.000742
GALFAN	5ES31	44,6787	44,2288	0,4499	0,000428
	5ES32	43,6715	43,2947	0,3768	0,000358
	5ES33	45,4016	44,9772	0,4244	0,000404
					0.000396

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

### **RESPECTO AL COMPORTAMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS EN LA ATMÓSFERA.-**

Al culminar los 42 meses de exposición se procede a la evaluación de las probetas.

#### **A.- Galvanizado.**

- **6 meses:** Se observar la aparición de diminutos puntos de corrosión muy dispersos pero no son muy evidentes, tampoco presenta decoloración.
- **12 Meses:** No presenta gran cambio con la observación anterior la aparición de puntos marrones es evidente pero no de manera relevante.
- **18 Meses:** Con respecto a la observación anterior los cambios no son tan representativos pero no ha variado.
- **24 Meses:** Los puntos marrones son más evidentes en coloración a disminuido un poco su coloración tornándose un poco gris.
- **36 Meses:** Se ha acentuado los puntos marrones y es evidente en toda la probeta la decoloración no representa gran cambio en comparación a la probeta testigo.
- **42 Meses:** Los puntos de color marrón se han presentado de manera más evidente en la superficie expuesta no presenta una decoloración marcada con respecto a la observación anterior.

#### **B.- Metalizado.**

- **6 Meses:** La aparición de puntos marrones, y un cambio de color poco oscura.
- **12 Meses:** Se nota un cambio de tonalidad tornándose un verde oscuro evidente con la observación anterior.
- **18 Meses:** Se nota puntos negros y marrones no en gran proporción y sigue el cambio en la tonalidad la tonalidad tornándose más oscura.
- **24 Meses:** Se puede apreciar que los puntos de corrosión de color marros y negros han tornado la totalidad de la probeta y el verde oscura de la placa es más evidente.
- **36 Meses:** Se puede decir que los puntos se ha generalizado en todo la placa es un verde muy oscuro que puede ser considerada como plomo oscuro.
- **42 Meses:** Se nota la aparición de más puntos grises y marrones, la decoloración no es muy evidente con respecto a la evaluación anterior.

#### **C.- Electrozincado.**

- **6 Meses:** Se puede apreciar la aparición de corrosión del substrato alrededor de la probeta con una medida desde el borde aproximadamente de 7 mm.
- **12 Meses:** La corrosión en los bordes ha aumentado considerablemente y en la parte con incisión se puede apreciar corrosión del substrato alrededor de la misma, además se puede observar la aparición de puntos marrones en el centro de la placa.
- **18 Meses:** La corrosión de los bordes es más evidente y se nota que la corrosión

avanza hacia el centro de la probeta , cabe resaltar el descascaramiento del revestimiento es evidente.

- **24 Meses:** El revestimiento a desaparecido totalmente es decir la corrosión del substrato a cubierto toda la probeta, Cabe recalcar que en la convención de Junio de 1998 la probeta quedó fuera de exposición.

#### **D.- Senzimir.**

- **6 Meses:** La probeta presenta la aparición de puntos marrones en general pero no en gran concentración presentando un poco de decoloración.
- **12 Meses:** Los puntos marrones siguen apareciendo pero no en gran cantidad es decir de manera dispersa la decoloración es poco evidente.
- **18 Meses:** Los puntos marrones se han acentuado pero se puede apreciar que no han aumentado, la decoloración no es muy evidente,
- **24 Meses:** Se nota la aparición también dispersa de puntos marrones, ha tornado una coloración de color de la herrumbre pero no han aumentado en gran cantidad, la decoloración no es tan evidente con relación a la observación anterior.
- **36 Meses:** Los puntos marrones han hecho que se presente alrededor de ellos manchas de herrumbre la tonalidad no presenta un cambio tan drástico con la testigo pero es obvio un oscurecimiento.
- **42 Meses:** Se observa muchos puntos marrones, más que los grises, en toda la parte expuesta.

#### **E.- Galfán.**

- **6 Meses:** La probeta presenta buenas características salvo la aparición de puntos aislados muy dispersos de formación de herrumbre presenta una decoloración en tono plomo claro en comparación al color brillo metálico en comparación del testigo
- **12 Meses:** Los puntos de corrosión han aumentado un poco en dimensión pero no han aumentado pero eso si la coloración se ha hecho más oscura con relación a la observación anterior.
- **18 Meses:** Los puntos ha aumentado de igual manera en forma dispersa pero no de forma concentrada la coloración esta en un color plomo oscuro.
- **24 Meses:** Los puntos se puede notar que han aumentado y se nota la aparición de puntos negros la coloración es evidente que ha tomado un color plomo oscuro.
- **36 Meses:** Se aprecia que los puntos se han generalizado en toda la probeta y que el color se ha tornado de plomo oscuro, ha perdido el brillo metálico en comparación con la probeta testigo.
- **42 Meses:** Los puntos marrones se han presentado en forma de manchas, presenta de otra manera también los puntos de color gris oscuro.

### Análisis Comparativo de los Revestimientos.

Al culminar los 42 meses de observación de los cuatros revestimientos según su comportamiento se los puede calificar en orden descendiente de la siguiente forma:

1. **El Galvanizado** se ha comportado de una manera protectora hacia el sustrato de acero, dejando ver apariciones de diminutos puntos de corrosión del acero a partir del segundo año. Solamente presenta una ligera decoloración en su apariencia sin presentar discontinuidades en su morfología.
2. **El Senzimir** se lo puede calificar como de aceptable resistencia a este medio ambiente durante los cuarentas y dos meses, presenta ligeros brotes de productos de corrosión del sustrato. Presenta mayor grado de decoloración que el galvanizado.
3. **El Metalizado** presenta más corrosión de color negro y marrón respecto al Galvanizado y Senzimir. Su grado de decoloración es mayor en comparación con los anteriores recubrimientos.
4. **El galfán** presenta mayor corrosión que el Metalizado y mayor puntos de corrosión de coloración marrón y negra. Es mas evidente el grado de decoloración y a desaparecido por completo su brillantes a tal punto que ha llegado a tener coloración gris oscura.
5. Cabe indicar que el recubrimiento por **Electrozincado**, tuvo comportamiento protector solamente 24 meses en la exposición medio ambiental, período a partir del cual fue retirado de la fase de prueba por que se evidenciaba deterioro total del sustrato.

## **RESPECTO A LA DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION.**

### **A los 12 meses.-**

1. Al primer año se puede apreciar que los recubrimientos de galvanizado y galfán, tuvieron una menor tasa de corrosión respecto a los otros recubrimientos, siguiendo en secuencia de este comportamiento el senzimir.
2. El electrozincado tuvo una mayor tasa de corrosión en el primer año que los otros recubrimientos.

### **A los 24 Meses.-**

1. El galvanizado presenta una tasa de corrosión en duplicado en comparación a los 12 meses de exposición.
2. A los 24 meses de exposición se puede apreciar un repunte alto de la corrosión del electrozincado a tal punto que por el alto deterioro ha quedado fuera de exposición.
3. El senzimir y el galfán han presentado un ligero repunte de la velocidad de corrosión en comparación a los 12 meses de exposición.

### **A los 42 Meses.-**

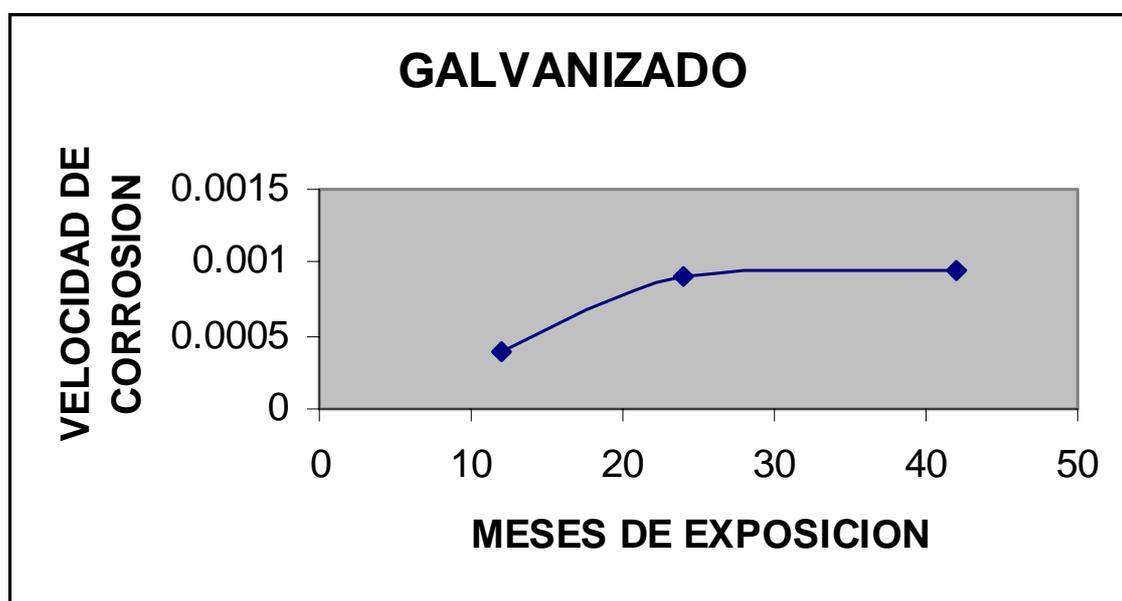
1. En los 42 meses de exposición se nota en el galvanizado un ligero aumento en la velocidad de corrosión de acuerdo con los resultados de los 24 meses, se puede recalcar que a presentado una estabilización.
2. De acuerdo con los resultados 12 y 24 meses se puede notar que el senzimir y galfán a presentado una velocidad de corrosión constante, durante todos los 42 meses de exposición.

En la siguiente página se puede apreciar el comportamiento de la velocidad de corrosión de los recubrimientos en forma individual dentro del período de exposición.

## COMPORTAMIENTO DE LA CORROSION DEL GALVANIZADO

**TABLA I**

	12 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	24 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	42 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )
GALVANIZADO	0.000388	0.000905	0.000955

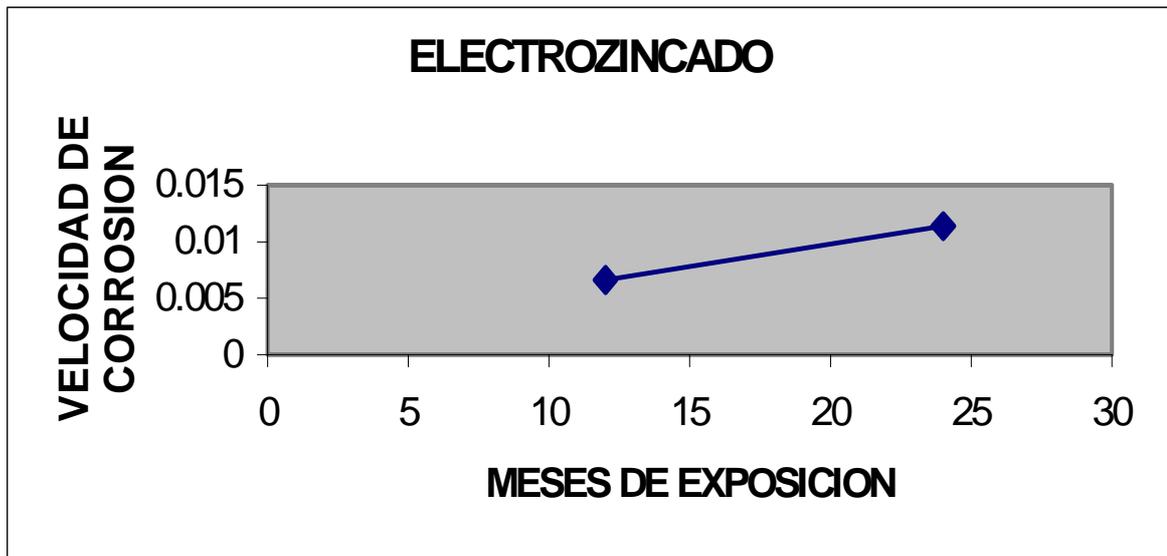


**FIGURA 1**

## COMPORTAMIENTO DE LA CORROSION DEL ELECTROZINCADO

**TABLA II**

	12 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	24 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )
ELECTROZINCADO	0.006627	0.011360



**FIGURA 2**

## COMPORTAMIENTO DE LA CORROSION DEL SENDZIMIR

TABLA III

	12 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	24 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	42 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )
SENDZIMIR	0.000538	0.000680	0.000742

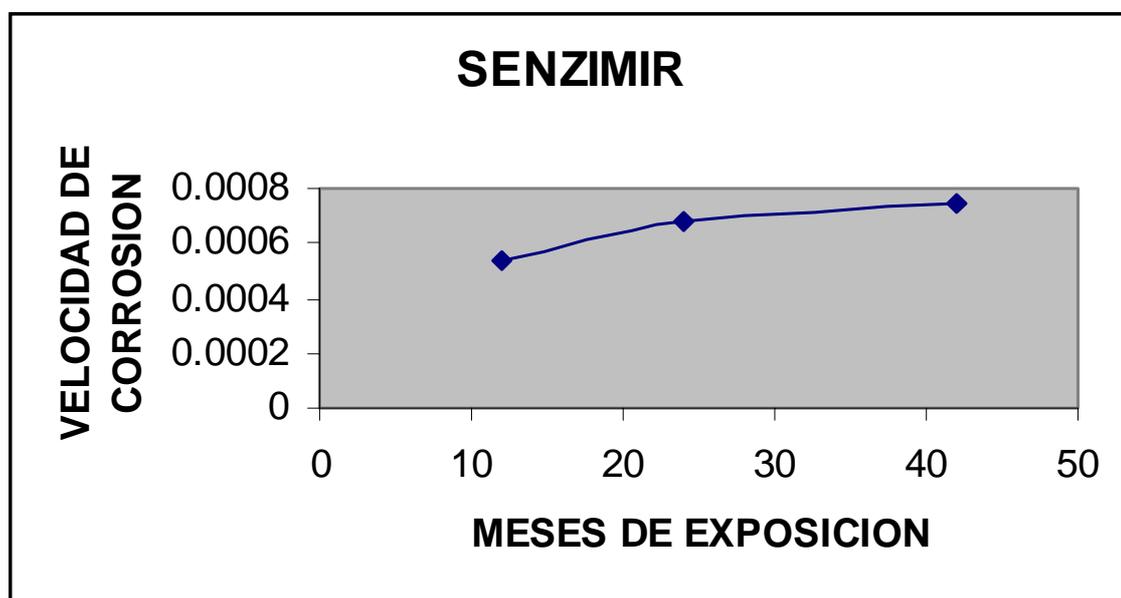


FIGURA 3

## COMPORTAMIENTO DE LA CORROSION DEL GALFAN

TABLA IV

	12 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	24 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )	42 MESES (g/Año.cm <sup>2</sup> )
GALFAN	0.000360	0.000354	0.000396

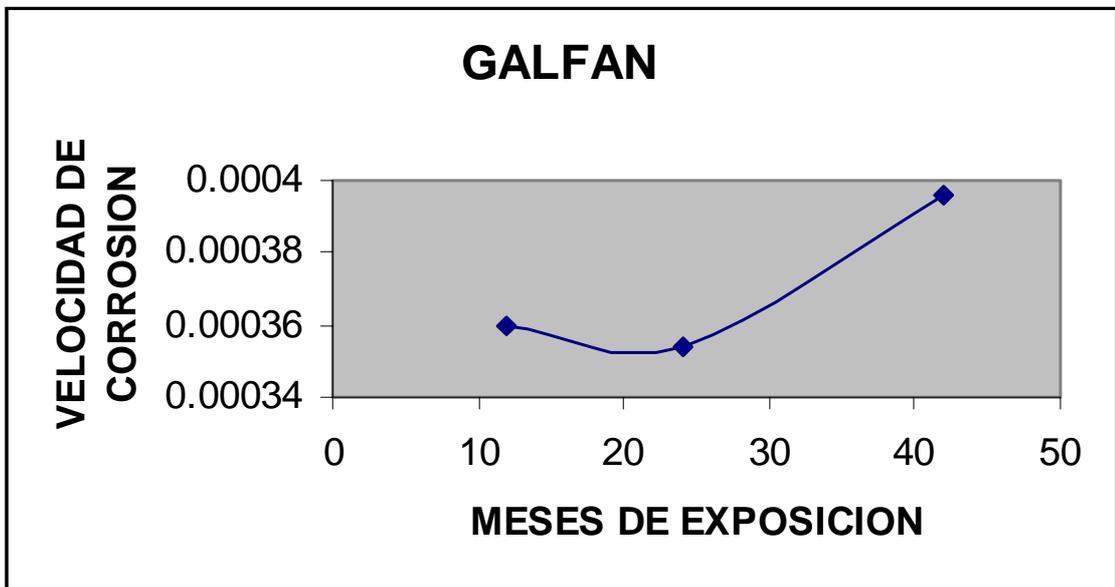


FIGURA 4

## CONCLUSIONES

Se concluye lo siguiente:

1. Al concluir los 42 meses de exposición queda evidenciado que la estación que se utilizó para nuestro estudio dentro de la Refinería Estatal de Esmeraldas, reflejó una atmósfera de tipo agresiva debido a su entorno geográfico y su carácter industrial.
2. El electrozincado resulto ser el recubrimiento a base de zinc más vulnerable con respecto a los otros de este grupo.
3. Los recubrimientos de Metalizado y Galfan presentan decoloración a partir de los 24 meses de exposición.
4. Los recubrimientos que presentan mejor apariencia son el Galvanizado y el Senzimir, los mismos que no presentan cambios levantes en su coloración, hasta los 42 mese de exposición.
5. De acuerdo con los resultados de pérdida de peso y velocidad de corrosión, muestran un buen comportamiento el Galfan y el Galvanizado en su orden, no así el Senzimir que presentan tasas de corrosión un poco más elevadas que los anteriores.
6. Las probetas con incisión se comportaron de la misma manera que las probetas sin incisión (Galvanizado, Metalizado, Senzimir, Galfan), es decir tuvo un buen comportamiento de protección catódica del zinc hacia el acero.

## **REFERENCIAS**

ASM INTERNATIONAL, Metal Handbook, Volumen 5 Surface cleaning, Finishing and Coating, Ninth Edition. pp 450-460.

CYTED, Documento Patina G-3, España, 1996

M. Huamán, “ Evaluación de Recubrimientos a Base de Zinc en la Atmosfera Refinería Estatal Esmeraldas” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001)