T
671.73
MOR
c2

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

"Evaluación de Recubrimientos a Base de Aluminio en Atmósfera Industrial de la Refinería Estatal Esmeraldas"

(PROYECTO PATINA)

TESIS DE GRADO

ESPOL
POLITECNICA DEL LITORAL
CIB - ESPOL

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA MECANICA

Presentada por:

Evelyn Magaly Moreta Tomsich

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2000

ESPOL
CIB
D-20382

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Evaluación de Recubrimientos a Base de Aluminio en Atmósfera Industrial de la Refinería Estatal Esmeraldas"
(PROYECTO PATINA)

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA MECANICA

Presentada por:

Evelyn Magaly Moreta Tomsich

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2000

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Julián Peña, Director de Tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

A mi familia por su comprensión y apoyo durante todo este tiempo de estudio.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS SOBRINAS

AL AMOR DE MI VIDA

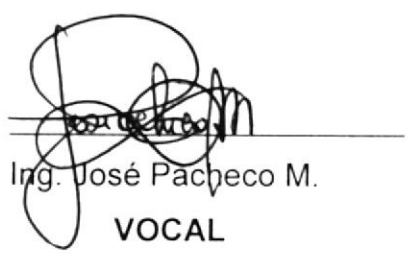
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.

DECANO DE LA FIMCP

Ing. Julián Peña E.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. José Pacheco M.

VOCAL

Ing. Omar Serrano V.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

EVELYN MAGALY MORETA TOMSICH

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad continuar con la evaluación de la corrosión atmosférica del acero con diversos recubrimientos metálicos, dentro de las instalaciones de la Refinería Estatal de Esmeraldas; investigación que comenzó con el Proyecto MICAT en 1.994 en toda la región Iberoamericana, con metales desnudos expuestos en el mismo tipo de atmósfera industrial.

El desarrollo de este proyecto permite evaluar la mayor cantidad de parámetros experimentales de protección anticorrosiva en este tipo de medio agresivo, tales como tipos y mecanismos de corrosión, productos de corrosión, factores ambientales, y obtener resultados reales que lleven al análisis del mejoramiento del tipo de protección aplicado en el acero base para sus aplicaciones posteriores.

Para conseguir los resultados finales, la metodología de evaluación se realiza durante y después de la exposición a la atmósfera, tanto en Ecuador como en toda la Red Iberoamericana de Corrosión Atmosférica que cuenta con la participación de 14 países.

En este proyecto se ha evaluado la protección anticorrosiva durante 42 meses de exposición de probetas con recubrimientos a base de aluminio,

iniciándose en Abril de 1.996 en la estación de Esmeraldas en la Refinería Estatal.

En su primera parte este trabajo presenta consideraciones generales de los diferentes tipos de recubrimiento que han sido evaluados en base aluminio, tales como:

1.- Aluminizado en caliente

2.- Metalizado con Aluminio

3.- Metalizado con Aluminio y Zinc

4.- Galvalume

Constan el proceso de manufactura, aplicaciones en la industria y comparaciones con otros recubrimientos metálicos.

La segunda parte es un análisis o desarrollo experimental con una metodología establecida y un cronograma semestral de actividades, tales como evaluación visual y evaluación fotográfica de las probetas expuestas, ensayos metalográficos, medición de espesores, velocidad de corrosión, y pérdida de peso de las probetas retiradas anualmente.

En la tercera parte se realizará un análisis de resultados al final del tiempo de exposición e incluirá un análisis comparativo del comportamiento de los diversos recubrimientos evaluados dentro de la Refinería Estatal de

ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
CIB - ESPOL

Esmeraldas con respecto a otras atmósferas de los países que han contribuido con su trabajo experimental. Todas las evaluaciones se realizan empleando normas internacionales tales como la ISO 4542, ISO 8407, ISO 2178, ISO 1463, ya establecidas.

Al final del trabajo se presentan ampliamente las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del tiempo de exposición, con la finalidad de analizarlas conjuntamente obteniendo así resultados prácticos para aplicaciones en la industria.

ESPOL
POLITECNICA DEL LITORAL
CIB - ESPOL

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN II

INDICE GENERAL III

SIMBOLOGIA IV

INDICE DE FIGURAS V

INDICE DE TABLAS VI

INTRODUCCION 1

I. ENTORNO GENERAL DEL PROYECTO MICAT/PATINA 3

1.1. Aspectos del Proyecto PATINA en Ecuador 5

1.2. Consideraciones generales del recubrimiento a base de aluminio como protección anticorrosiva del acero 8

1.3 Procesos de manufactura y aplicación de los diferentes tipos de recubrimiento a base de aluminio 9

1.4. Comportamiento atmosférico en la Refinería Estatal Esmeraldas 12

1.5. Metodología de evaluación 14

1.5.1. Inspección visual 18

1.5.2. Medición de espesores 18

1.5.3. Velocidad de corrosión 20

1.5.4. Ensayos metalográficos 21

II. FASE EXPERIMENTAL DE EXPOSICION ATMOSFERICA 23

2.1. Identificación de probetas 25

2.2. Parámetros iniciales de probetas con recubrimiento a base de aluminio 27

2.3. Cronograma de actividades 39

2.4. Probetas aluminizadas en caliente 40

2.4.1. Planillas de resultados 41

2.4.2. Medición de espesores 49

2.4.3. Ensayos metalográficos 50

2.5. Probetas metalizadas con aluminio 51

2.5.1. Planillas de resultados 52

2.5.2. Medición de espesores 61

2.5.3. Ensayos metalográficos 62

2.6. Probetas metalizadas con aluminio y zinc 63

2.6.1. Planillas de resultados 64

2.6.2. Medición de espesores 73

2.6.3. Ensayos metalográficos 74

2.7. Probetas galvalume 75

2.7.1. Planillas de resultados 76

2.7.2. Medición de espesores 76

2.7.3. Velocidad de corrosión 76

2.7.4. Ensayos metalográficos 76

III. EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO A BASE DE ALUMINIO 87

3.1. Aluminizado en caliente 87

3.2. Metalizado con aluminio 90

3.3. Metalizado con aluminio y zinc 92

3.4. Galvalume 94

3.5. Análisis comparativo entre estos recubrimientos 96

3.6. Análisis comparativo respecto a otros países 100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 127

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ESPOL
CIB - ESPOL

SIMBOLOGIA

° C	Grado Centígrado
° F	Grado Farenheit
μ m	Micras
cm	Centímetro
CP	Puntos de medición
ΔW	Variación de Peso
Wf	Peso final
Wi	Peso inicial
$\underline{r}$	Velocidad de corrosión
r	Velocidad de corrosión media
W	Peso
t	Tiempo
A	Area
T	Temperatura
RH	Humedad Relativa
TOW	Tiempo de Humedad

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1.1 Estaciones de Ensayo participantes en el Proyecto PATINA 4
Figura 1.2 Ruta Crítica – Probetas sin Incisión 15
Figura 1.3 Ruta Crítica – Probetas con Incisión 16
Figura 1.4 Ruta Crítica – Probetas Galvalume sin Incisión 17
Figura 1.5 Esquema patrón para selección de valores CP 19
Figura 1.6 Sección transversal de incisión para Metalografía 22
Figura 1.7 Zona B en incisión para Metalografía 22
Figura 2.1 Instalación del Panel de Exposición en la Refinería Estatal Esmeraldas 24
Figura 2.2 Identificación de Probetas 26
Figura 2.3 Metalografía de la Probeta Aluminizada en caliente AD, al inicio del Proyecto, 100 X 28
Figura 2.4 Metalografía de la Probeta Metalizada con Aluminio BD, al Inicio del Proyecto 100 X 31
Figura 2.5 Metalografía de la Probeta Metalizada con Aluminio/Zinc CD, al inicio del Proyecto 100 X 34
Figura 2.6 Metalografía de la Probeta Galvalume DD, al inicio del Proyecto, 100 X 37
Figura 2.7 Cronograma de Actividades 39
Figura 2.8 Probeta Testigo AD7, Aluminizado en caliente 42
Figura 2.9 Probeta Aluminizada en caliente, AD1, 12 meses 43
Figura 2.10 Probeta Aluminizada en caliente, AD2, 24 meses 45
Figura 2.11 Probeta Aluminizada en caliente, AD3, 36 meses 47
Figura 2.12 Metalografía Incisión, AD1, 100 X 50
Figura 2.13 Metalografía Incisión, AD2, 100 X 50
Figura 2.14 Probeta Testigo BD7, Metalizado con Aluminio 53
Figura 2.15 Probeta Metalizada con Aluminio, BD1, 12 meses 54
Figura 2.16 Probeta Metalizada con Aluminio, BD2, 24 meses 56
Figura 2.17 Probeta Metalizada con Aluminio, BD3, 36 meses 58
Figura 2.18 Probeta Metalizada con Aluminio, BD6, 42 meses 60
Figura 2.19 Metalografía Incisión, BD1, 100 X 62

Figura 2.20 Metalografía Incisión, BD2, 100 X 62
Figura 2.21 Probeta Testigo CD7, Metalizado con Aluminio/Zinc 65
Figura 2.22 Probeta Metalizada con Aluminio/Zinc, CD1, 12 meses 66
Figura 2.23 Probeta Metalizada con Aluminio/Zinc, CD2, 24 meses 68
Figura 2.24 Probeta Metalizada con Aluminio/Zinc, CD3, 36 meses 70
Figura 2.25 Probeta Metalizada con Aluminio/Zinc, CD6, 42 meses 72
Figura 2.26 Metalografía Incisión, CD1, 100 X 74
Figura 2.27 Metalografía Incisión, CD2, 100 X 74
Figura 2.28 Probeta Testigo DD4, Galvalume 77
Figura 2.29 Probeta Galvalume, DD1, 12 meses 78
Figura 2.30 Probeta Galvalume, DD2, 24 meses 80
Figura 2.31 Probeta Galvalume, DD3, 36 meses 82
Figura 2.32 Probeta Galvalume, DD11, 42 meses 84
Figura 2.33 Metalografía Incisión, DD1, 100 X 86
Figura 2.34 Metalografía Incisión, DD2, 100 X 86
Figura 3.1 Curva de la Velocidad de Corrosión 99

ÍNDICE DE TABLAS

Pag.

Tabla I	Clasificación Atmosférica en Estaciones de Ensayo	13
Tabla II	Métodos de Eliminación de Productos de Corrosión	21
Tabla III	Valores de Espesores Iniciales para Probetas Aluminizadas en Caliente	29
Tabla IV	Valores de Espesores Iniciales para Probetas Metalizadas con Aluminio	32
Tabla V	Valores de Espesores Iniciales para Probetas Metalizadas Con Aluminio/Zinc	35
Tabla VI	Valores de Espesores Iniciales para Probetas Galvalume	38
Tabla VII	Identificación de Probetas Aluminizadas en Caliente	40
Tabla VIII	Planilla de Evaluación de Resultados para Aluminizado en Caliente	41
Tabla IX	Planilla de Evaluación de Resultados para Aluminizado en Caliente	44
Tabla X	Planilla de Evaluación de Resultados para Aluminizado en Caliente	46
Tabla XI	Planilla de Evaluación de Resultados para Aluminizado en Caliente	48
Tabla XII	Medición de Espesores en Probetas sin Incisión	49
Tabla XIII	Identificación de Probetas Metalizadas con Aluminio	51
Tabla XIV	Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio	52
Tabla XV	Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio	55
Tabla XVI	Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio	57
Tabla XVII	Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio	59
Tabla XVIII	Medición de Espesores en Probetas sin Incisión	61
Tabla XIX	Identificación de Probetas Metalizadas con Aluminio Zinc	63

Tabla XX Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio/Zinc 64
Tabla XXI Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio/Zinc 67
Tabla XXII Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio/Zinc 69
Tabla XXIII Planilla de Evaluación de Resultados para Metalizado con Aluminio/Zinc 71
Tabla XXIV Medición de Espesores en Probetas sin Incisión 73
Tabla XXV Identificación de Probetas Galvalume 75
Tabla XXVI Planillas de Evaluación de Resultados para Galvalume 76
Tabla XXVII Planillas de Evaluación de Resultados para Galvalume 79
Tabla XXVIII Planillas de Evaluación de Resultados para Galvalume 81
Tabla XXIX Planillas de Evaluación de Resultados para Galvalume 83
Tabla XXX Medición de Espesores en Probetas sin Incisión 85
Tabla XXXI Pesos Probetas Galvalume 85
Tabla XXXII Velocidad de Corrosión Probetas Galvalume 99

INTRODUCCION

Está generalmente admitido que los costos directos que la corrosión metálica provoca en un país suponen entre el 2 y el 4% del producto interno bruto (PIB). Considerando que más del 80% de las superficies metálicas se encuentran expuestas al aire libre es lógica la afirmación que la corrosión atmosférica representa entre el 30 y el 50% de dichos costos.

Un componente metálico podrá alcanzar una prolongada vida en servicio bajo condiciones de exposición en la atmósfera únicamente si resiste la acción de este medio. Por lo que un requisito para aplicaciones prácticas es la utilización de materiales que resistan la acción corrosiva de la atmósfera o que se hallen protegidos de ella por recubrimientos metálicos.

Algunos materiales metálicos muestran un alto grado de estabilidad en la atmósfera. El aluminio desarrolla espontáneamente películas delgadas y protectoras de óxido.

Este estudio se realizó en la Refinería Estatal Esmeraldas donde se tiene una atmósfera industrial agresiva, ya que existe emanación de sulfuros, y consiste en el análisis de probetas protegidas con recubrimiento metálico a base de aluminio expuestas durante 42 meses, con inspecciones visuales

periódicas y sus respectivas evaluaciones de laboratorio con el material retirado.

Con este trabajo se persigue obtener un patrón de comparación del comportamiento de este recubrimiento a base de aluminio expuesto para una atmósfera industrial, que en nuestro país es el sector más afectado con el ataque corrosivo en estructuras metálicas.

Al realizar el estudio dentro de la Refinería Estatal Esmeraldas se tiene el beneficio de contar con una de las atmósferas industriales más críticas dentro del país, debido al manejo que allí existe de petróleo y sus derivados.

CAPITULO 1

1. ENTORNO GENERAL DEL PROYECTO MICAT / PATINA.

En el proyecto XV.1 del CYTED, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, "Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica (**MICAT**)", se desarrollaron experimentos que han permitido conocer las agresividades atmosféricas existentes en la Región Iberoamericana, información que ha sido obtenida a lo largo de la vida de ese proyecto mediante la experimentación en una red de 72 estaciones de ensayo diseminadas a lo largo y ancho de los 14 países participantes incluyendo: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, México, Panamá, Perú, Portugal, Uruguay y Venezuela, como se observa en la Figura 1.1.

FIGURA 1.1. ESTACIONES DE ENSAYO PARTICIPANTES EN EL PROYECTO PATINA

Este proyecto se desarrolló mediante la exposición de muestras de acero desnudo en diversos tipos de atmósferas, como: rural, urbana, industrial, marina, costera y especial.

1.1. Aspectos del Proyecto PATINA en Ecuador.

Dentro de este Programa Iberoamericano, se desarrolla un proyecto denominado PATINA, el cual es una continuación del proyecto MICAT donde también forman parte los 14 países mencionados anteriormente.

El tema de este proyecto es de protección anticorrosiva de metales expuestos a la atmósfera. Dentro de este proyecto PATINA hay seis grupos de trabajo, divididos de acuerdo con los diferentes tipos de materiales estudiados. Estos materiales son los siguientes:

- Acero al carbono y acero - zinc con pintura convencional (Grupo 1)
- Acero al carbono y acero - zinc con pintura de nueva tecnología (Grupo 2)
- Recubrimientos a base de zinc (Grupo 3)
- Recubrimientos a base de aluminio (Grupo 4)

- Recubrimientos sobre aluminio (Grupo 5)
- Pintura para banda continua (Grupo 6)

El Grupo 4 en Ecuador, en la Refinería Estatal de Esmeraldas, estudia y verifica el desempeño y comportamiento de los recubrimientos a base de aluminio y sus aleaciones, y está compuesto por 11 países que poseen estaciones atmosféricas de ensayos en diferentes ambientes localizados en las siguientes ciudades:

- A - Cuzco (Perú) - atmósfera rural
- B - São Paulo (Brasil) - atmósfera urbana
- C - La Paz (Bolivia) - atmósfera urbana
- D - Esmeraldas (Ecuador) - atmósfera industrial
- E - Bahía Solano (Colombia) - atmósfera marina
- F - Cojimar (Cuba) - atmósfera costera
- G - Colón (Panamá) - atmósfera marina
- H - La Voz (Venezuela) - atmósfera especial
- I - Arenal (Costa Rica) - atmósfera especial
- J - Cuernavaca (México) - atmósfera rural
- K - Limón (Costa Rica) - atmósfera costera
- L - El Pardo (España) - atmósfera rural

La atmósfera de La Voz es considerada especial por presentar alta pérdida de material debido a la salinidad y abrasión por vientos, y la estación de Arenal por estar en las proximidades de un volcán activo.

Los materiales estudiados son placas de acero al carbono (10 cm x 15 cm) recubiertos con aluminio y aleaciones de aluminio, en especímenes en forma de placas planas, llamadas cuerpos de prueba o probetas. Los recubrimientos de aluminio y sus aleaciones fueron aplicados sobre acero a través de los siguientes procesos, con sus respectivos espesores:

- A - Aluminio aplicado por inmersión en caliente, 40 μm.
- B - Aluminio aplicado por aspersión térmica y sellado, 150 μm.
- C – Aleación de aluminio – zinc (85% de zinc y 15% de aluminio) aplicado por aspersión térmica, 150 μm.
- D – Galvalume (aleación Al/Zn - 55% Al, 1.6% Si y Zn (bal)), aplicado por inmersión, 20 μm.

Los cuerpos de prueba de acero revestidos con aluminio y sus aleaciones fueron expuestos para evaluar su comportamiento en las diferentes atmósferas.

1.2. Consideraciones generales del recubrimiento a base de aluminio como protección anticorrosiva del acero.

El recubrimiento de metal protector como el aluminio, es un método para minimizar la corrosión. El recubrimiento de aluminio protege al acero del ataque formando una barrera muy resistente entre la atmósfera corrosiva y el acero. El óxido de aluminio que se forma en la superficie del aluminio es altamente resistente en un gran rango de ambientes.

En algunos ambientes agresivos que contienen cloro, donde se rompe la barreara del óxido de aluminio, el aluminio, como el zinc, puede también proteger electroquímicamente al acero de la oxidación.

La corrosión atmosférica de láminas de acero con recubrimiento de aluminio es un proceso electroquímico complejo que incluye numerosas reacciones, las cuales por su naturaleza y extensión dependen del tipo de esquema del recubrimiento, medio ambiente y tiempo de exposición. Los principales componentes atmosféricos que reaccionan con los recubrimientos son básicamente el SO_2, NO_x y H_2S en medios ambientes urbanos e industriales.

Las propiedades del acero con recubrimiento de aluminio son beneficiosas para productos que requieren ventajas tales como una buena resistencia a la corrosión, brillo metálico, alta reflectividad y buena conductividad térmica. Para productos sin oxidar de bajo costo, este recubrimiento proporciona propiedades mecánicas como formabilidad y soldabilidad del acero en partes donde se pueden aplicar acabados a las superficies de aluminio.

Los productos de acero con recubrimiento a base de aluminio se usan exitosamente en ambientes corrosivos y oxidantes en los cuales los rangos de temperatura de exposición al aire libre van de 1.150° C (2.100° F).

1.3. Procesos de manufactura y aplicación de los diferentes tipos de recubrimiento a base de aluminio.

Los revestimientos de aluminio se producen en general por medios mecánicos. Los métodos de aplicación del recubrimiento de aluminio incluyen los siguientes:

- Inmersión continua en caliente
- Difusión en láminas
- Proceso de agregado

- Aspersión térmica
- Revestimiento inoxidable
- Deposición química o al vacío de vapor
- Deposición de vapor de hierro,
- Electrodeposición
- Electrofóresis.

La selección del método se determina de acuerdo al rendimiento requerido del recubrimiento, del uso específico del producto con recubrimiento, tamaño y forma del producto, volumen de producción y costo.

Sin embargo, se profundizará en los métodos más comunes y que son los utilizados en los cuerpos de prueba a ser expuestos.

Inmersión continua en caliente

Este es un proceso en el cual se aplica un recubrimiento protectivo de aluminio al acero, sumergiéndolo en un baño de fundición del metal protector. El acero recubierto por inmersión resiste la corrosión atmosférica de modo admirable. Su aspecto áspero y poco atractivo restringe su uso. Sus aplicaciones típicas se dan en

una amplia variedad de productos industriales, agrícolas y de consumo, como por ejemplo interiores de hornos, parrillas para barbacoa, amortiguadores automotrices, secadores agrícolas de cosecha, paneles para cubiertas, entre otros.

Aspersión térmica y sellado

Este es un proceso de deposición del recubrimiento metálico, conocido también como metalizado, en el cual el aluminio se rocía sobre el substrato preparado para formar el recubrimiento. El metal a rociar está originalmente en forma de alambre o polvo. Después se aplica el sellado del recubrimiento para prolongar su vida y para propósitos decorativos, generalmente se lo aplica en dos capas.

Algunas de las ventajas de este proceso son: capacidad de aplicar apreciablemente recubrimientos con mayor espesor que los obtenidos por inmersión, excelente pintabilidad, no tiene distorsión por calor durante el proceso de aplicación, no necesita condiciones de curación, y la capacidad de aplicación del recubrimiento en campo. Este tipo de recubrimiento ofrece años de protección en aplicaciones marinas e industriales. Sus

aplicaciones típicas incluyen torres de televisión, antenas, radares, boyas, torres metálicas, tanques de almacenamiento para combustible y otros líquidos, pasos peatonales ente otros.

1.4. Comportamiento atmosférico en la Refinería Estatal Esmeraldas.

La atmósfera del sitio de prueba es caracterizada con datos meteorológicos y de contaminación atmosférica. El primero incluye básicamente la temperatura (T), humedad relativa (RH) del aire o lluvia. Estos parámetros son registrados en su misma estación o en la estación metereológica cercana. Los termohidrogramas registrados se usan para calcular el tiempo de humedad (TOW), lo cual es la fracción del año en la cual RH $\geq$ 80% y T > 0° C. Las tasas de deposición de SO_2 y cloro se miden con la norma ISO 9225 (ASTM G 91). Los porcentajes de corrosión de los especímenes de acero, zinc, aluminio y cobre también fueron obtenidos.

No fue posible obtener los datos de los índices metereológicos, de contaminación y de corrosión para todos los sitios de exposición, pero si se incluyen los datos para la Refinería Estatal Esmeraldas.

Pero con los datos disponibles fue posible clasificar las diferentes atmósferas como lo señala el estándar ISO 9223. Esta clasificación fue hecha de dos formas:

- Basado en el tiempo de los valores de humedad, índice de deposición del SO_2, y el índice de deposición del cloro.
- Basado en los valores de los índices de corrosión del acero, zinc, aluminio o cobre.

La Tabla I presenta las diferentes clasificaciones de los sitios atmosféricos.

TABLA I

CLASIFICACION ATMOSFERICA EN ESTACIONES DE ENSAYO

Sitio	Clasificación basada en los valores del tiempo de humedad, índice de deposición del SO2, e índice de deposición del Cloro		Clasificación basada en los índices de corrosión del metal	
	Metal de referencia	Clasificación	Metal de referencia	Clasificación
Cuzco rural	Acero al carbono	C1	Acero al carbono	C1
	Cobre	C1	Cobre	C2
	Zinc	C1	Zinc	C2
	Aluminio	C1	Aluminio	C2
La Paz urbana	Acero al carbono	C2 a C3	Acero al carbono	C3
	Cobre	C3	Cobre	C2
	Zinc	C3	Zinc	C3
	Aluminio	C3	Aluminio	C2
Esmeraldas urbana	Acero al carbono	C1	Acero al carbono	C2
	Cobre	C1	Cobre	C2
	Zinc	C1	Zinc	C2
	Aluminio	C1	Aluminio	C2
Limon marina	Acero al carbono	C1	Acero al carbono	C4
	Cobre	C1	Cobre	
	Zinc	C1	Zinc	C4
	Aluminio	C1	Aluminio	C3
Arenal especial	Acero al carbono	C1	Acero al carbono	C4
	Cobre	C1	Cobre	
	Zinc	C1	Zinc	C4
	Aluminio	C1	Aluminio	C3

1.5. Metodología de evaluación.

Se evaluarán las siguientes probetas:

- 6 probetas de cada revestimiento (excepto galvalume), siendo 3 con incisión y 3 sin incisión. En cada inspección serán retiradas 2 probetas, siendo 1 con incisión y 1 sin incisión.

- 12 probetas de galvalume, siendo 9 sin incisión y 3 con incisión. En cada una de las tres primeras inspecciones serán retiradas 4 probetas, siendo 3 sin incisión y 1 con incisión.

Las inspecciones previstas en el estudio serán después de 1, 2, y 3 años de exposición, de acuerdo al cronograma de exposición, del cual se hablará más adelante.

Cada año serán retiradas las probetas previstas y su comportamiento se evaluará con inspección visual, pérdida de peso y de espesor, de acuerdo con las rutas críticas o flujogramas respectivos, los cuales constan en la figura 1.2, 1.3 y 1.4. Estas rutas críticas corresponden respectivamente a las probetas sin incisión, las probetas con incisión y las probetas sin incisión que serán evaluadas en lo que se refiere a pérdida de peso (galvalume).

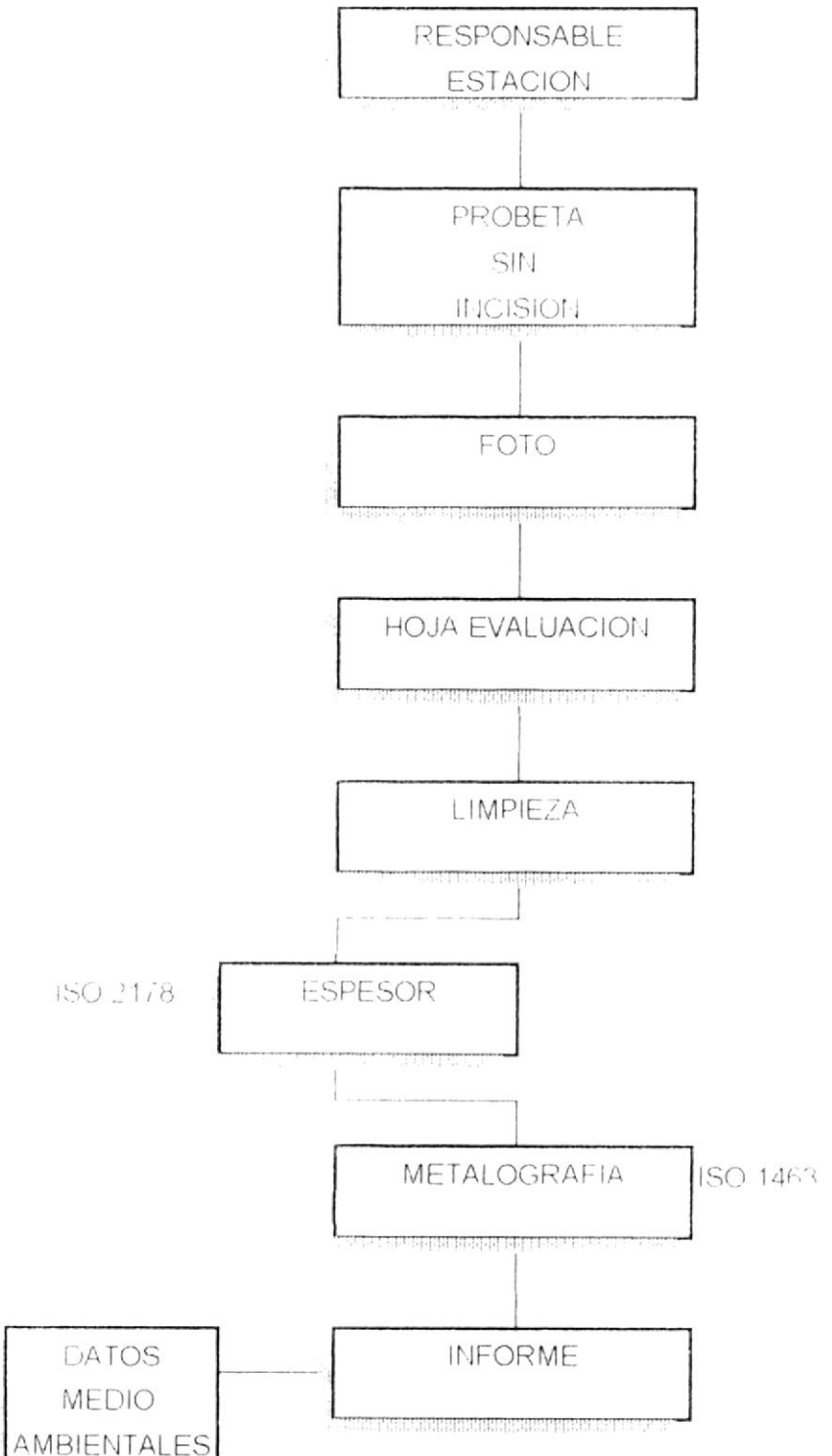


FIGURA 1.2. RUTA CRITICA – PROBETAS SIN INCISION

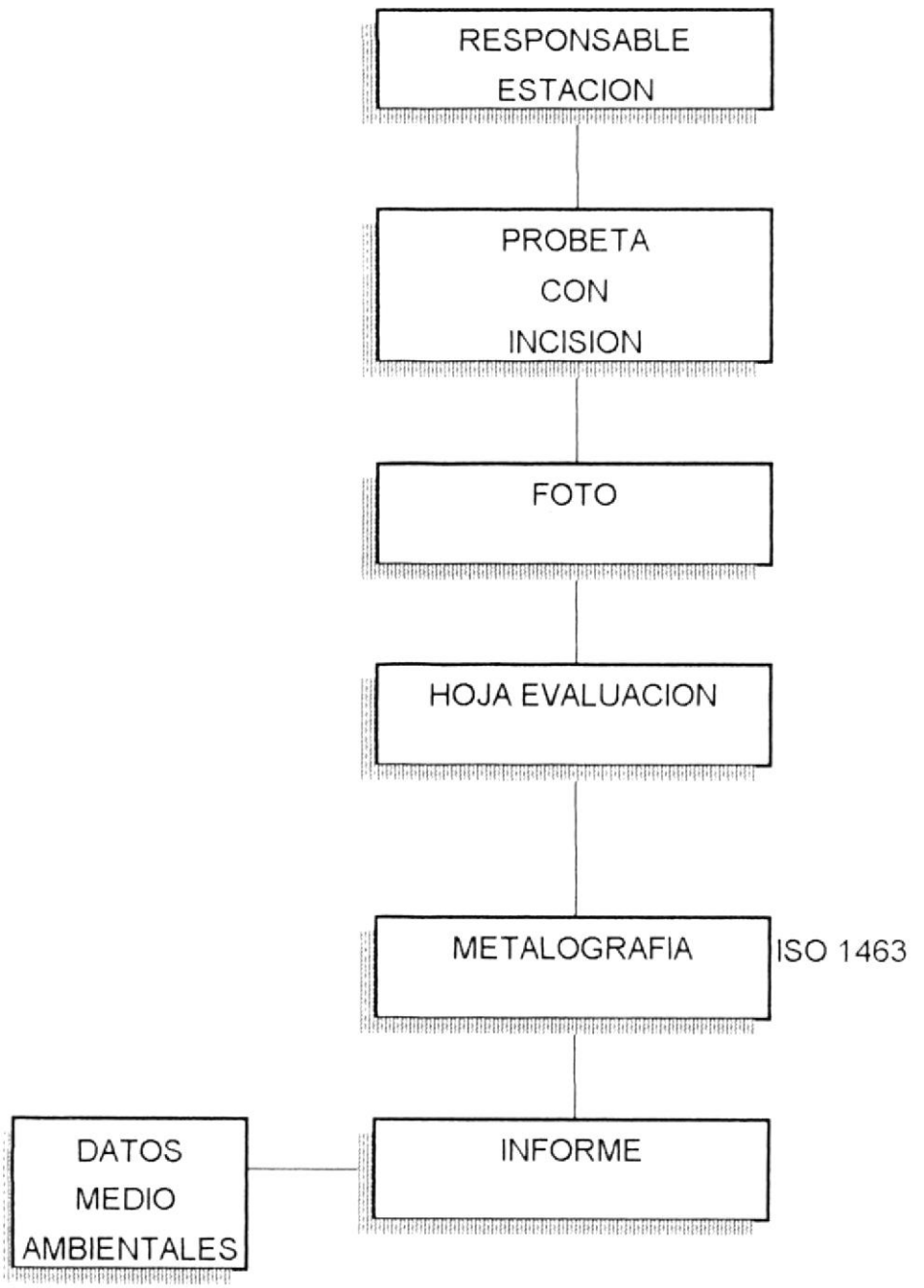


FIGURA 1.3. RUTA CRITICA – PROBETAS CON INCISION

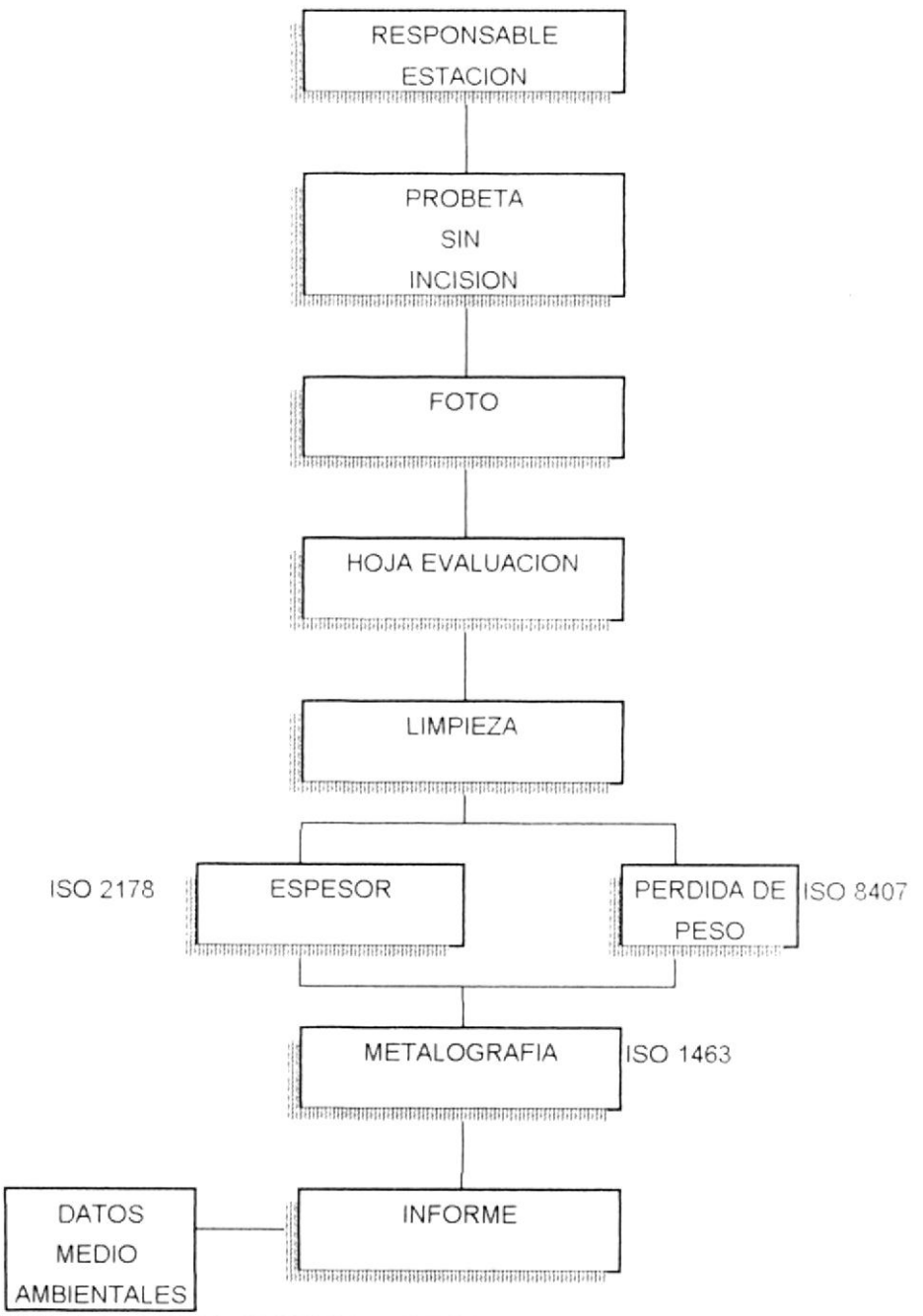


FIGURA 1.4. RUTA CRITICA – PROBETAS GALVALUME SIN INCISION

1.5.1. Inspección visual.

En cada inspección visual se presentará una planilla de evaluación para cada tipo de recubrimiento. En esta inspección se examinará el estado del recubrimiento metálico en la superficie de probeta, en las proximidades de la incisión y en las proximidades de los bordes, así como también el estado del acero base en la incisión y en los bordes.

Se procederá a realizar una limpieza a las probetas con agua destilada y se tomarán fotos para cada probeta de cada uno de los revestimientos que van a ser retiradas.

1.5.2. Medición de espesores.

Se realizará la medición de espesores a todas las probetas retiradas sin incisión. Más adelante se presentarán los datos de espesores iniciales y finales de las probetas, expresados en μm, clasificados según su tipo de recubrimiento.

La medición de espesores se realizará mediante la Norma ISO 2178. La figura 1.5 muestra la selección de los puntos CP, que servirán de patrón para la obtención de datos.

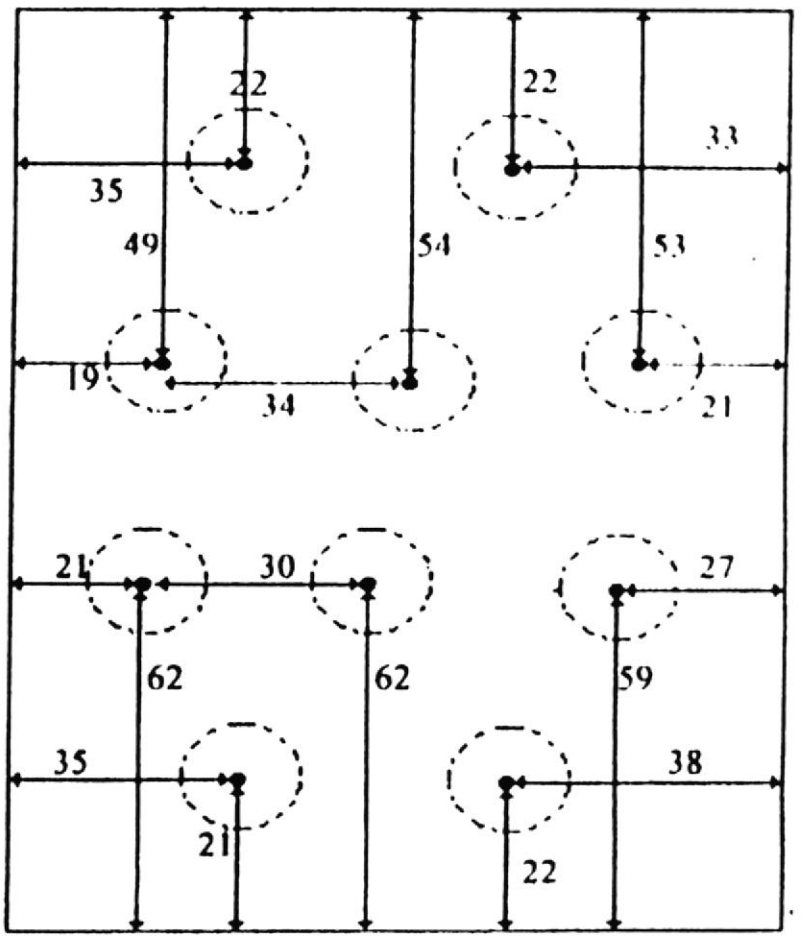


FIGURA 1.5. ESQUEMA PATRON PARA SELECCIÓN DE VALORES CP

1.5.3. Velocidad de corrosión.

Se realizará el análisis de la velocidad de corrosión de las probetas de galvalume sin incisión, obteniendo los datos de pérdida de peso de las probetas retiradas. Se presentarán así mismo los datos de masas iniciales y finales expresados en Δw.

Las fórmulas para el cálculo son:

$$\Delta w = w_i - w_f \qquad ec(1)$$

$$r = \frac{w}{t * A} \qquad ec(2)$$

En la Tabla II se observan los métodos de eliminación de productos de corrosión o decapado para el recubrimiento de aluminio, de los cuales se utilizó el método designado como C.1.2, para cada análisis de pérdida de peso.

TABLA II
METODOS DE ELIMINACION DE PRODUCTOS DE CORROSION

DESIGNACION	PRODUCTOS QUIMICOS	TIEMPO (minutos)	TEMPERATURA
C.1.1	50 ml. de ácido fosfórico 20 gr. de trióxido de cromo (CrO_3) Agua destilada hasta completar	5 a 10	90° C Ebullición
C.1.2	100 ml. ácido nítrico (HNO_3)	1 a 5	20 a 25° C

1.5.4. Ensayos metalográficos.

Los ensayos metalográficos se realizarán sólo en las probetas retiradas con incisión, de acuerdo a la Norma ISO 1463, que indica que la metalografía debe hacerse de una sección transversal, ver figura 1.6 y 1.7. Así también se presentarán las fotos de metalografías iniciales y finales a 100 aumentos en la zona de la incisión de la sección transversal.

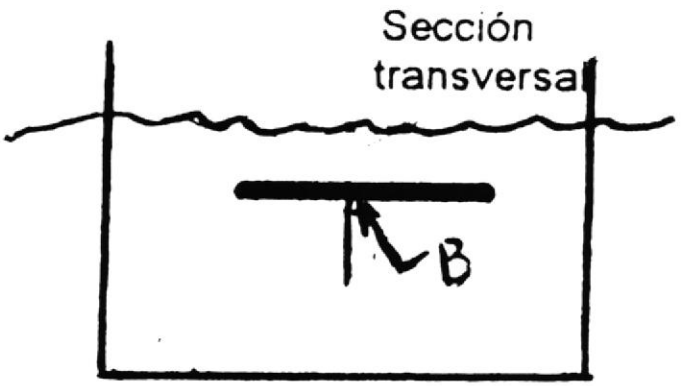


FIGURA 1.6. SECCION TRANSVERSAL DE INCISION PARA METALOGRAFIA

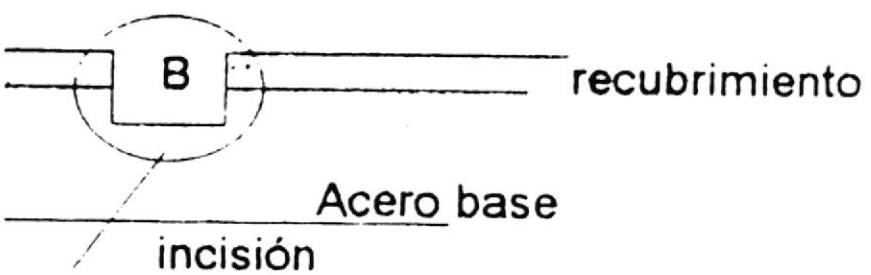


FIGURA 1.7. ZONA B EN INCISION PARA METALOGRAFIA

CAPITULO 2

2. FASE EXPERIMENTAL DE EXPOSICIÓN ATMOSFERICA.

Para la fase experimental del proyecto se escogió una atmósfera industrial altamente corrosiva, ya que es uno de los ambientes más agresivos que existe en este país. Con este fin todas las evaluaciones se desarrollaron en la Refinería Estatal de Esmeraldas, donde se evidencia alta emanación de sulfuros y cloros, ambos perjudiciales para los diferentes tipos de recubrimiento a analizar.

Las probetas se colocaron en un panel de exposición con aislante de porcelana a 30 grados con respecto a la horizontal, en un espacio físico dentro de la Refinería Estatal Esmeraldas asignado para el proyecto, como se observa en la figura 2.1.

FIGURA 2.1. INSTALACION DEL PANEL DE EXPOSICION EN LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS

2.1. Identificación de probetas.

Las probetas fueron identificadas por un sistema alfa numérico de acuerdo con el material, la estación y el número de probeta, conforme se muestra en la figura 2.2:

Donde el material se clasifica de acuerdo al tipo de recubrimiento:

- A - Aluminizado en caliente
- B - Metalizado con Aluminio
- C- Metalizado con Aluminio / Zinc
- D - Galvalume

Y la probeta se clasifica de la siguiente forma:

- 1 al 8 para aluminizado y metalizado (1, 2, 3 y 7 con incisión y 4, 5, 6 y 8 sin incisión).
- 1 a 14 para galvalume (1, 2, 3 y 4 con incisión y 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 sin incisión).

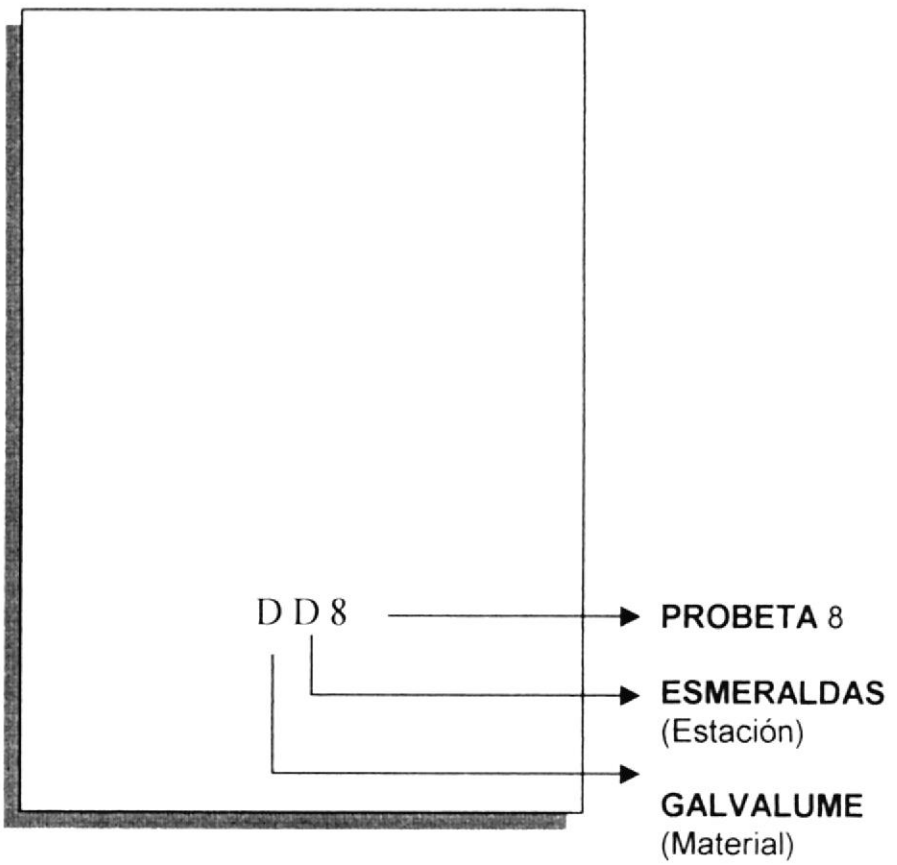


FIGURA 2.2. IDENTIFICACION DE PROBETAS

2.2. Parámetros iniciales de probetas con recubrimiento a base de aluminio.

Probetas aluminizadas en caliente

Los especímenes fueron tomados de planchas con recubrimiento, por lo que sus bordes no fueron protegidos. Un especimen fue analizado metalográficamente, presentando un recubrimiento uniforme conforme se muestra en la figura 2.3. Su composición es de una capa intermetálica de aluminio/hierro, seguida de una capa de puro aluminio.

Otro parámetro analizado inicialmente fue el espesor, cuyos datos se muestran en la Tabla III. Entre sus características, ofrece protección catódica solo en ambientes en los cuales el aluminio se mantiene en su estado activo, como los ambientes altamente contaminados con cloro.

En ambientes en donde el aluminio se mantiene en estado pasivo, trabaja como un recubrimiento noble, por lo que se corroerá en los bordes desprotegidos.

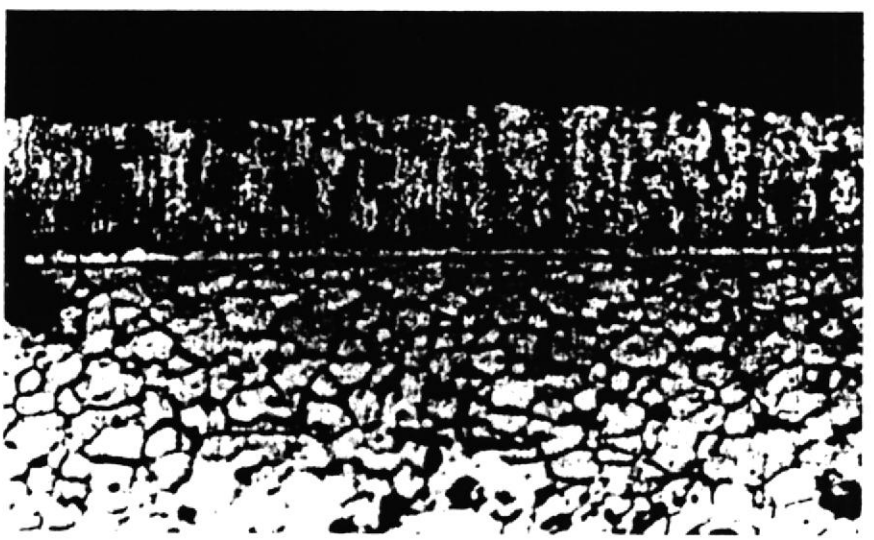


FIGURA 2.3. METALOGRAFIA DE LA PROBETA ALUMINIZADA EN CALIENTE AD, AL INICIO DEL PROYECTO, 100 X

TABLA III

VALORES DE ESPESORES INICIALES PARA PROBETAS ALUMINIZADAS EN CALIENTE

IDENTIFICACION		CP	VALORES DE ESPESORES (um)										X(um)
Aluminizado en caliente	AD1	a	46	39	42	45	38	43	43	40	38	38	38,95
		b	40	36	35	36	37	35	36	37	37	38	
	AD2	a	39	36	38	41	41	41	41	42	40	42	41,55
		b	43	39	51	42	43	42	44	38	45	43	
	AD3	a	35	36	38	37	38	35	39	46	39	37	40,05
		b	47	43	35	33	51	47	46	44	43	32	
	AD4	a	46	43	41	41	40	39	38	39	44	31	39,85
		b	38	37	39	36	39	41	44	39	41	41	
	AD5	a	43	39	36	39	63	32	43	44	49	40	40,90
		b	42	42	35	38	36	42	36	37	42	40	
	AD6	a	39	31	42	39	35	38	36	42	36	42	40,05
		b	39	49	46	42	42	33	43	35	45	47	
	AD7	a	46	47	51	53	45	44	47	54	47	54	46,40
		b	42	44	45	51	40	45	41	46	46	40	
	AD8	a	47	48	49	43	48	46	45	46	45	51	47,20
		b	52	60	48	47	32	52	49	50	41	45	

Probetas metalizadas con Aluminio

Los especímenes fueron obtenidos individualmente, por lo que sus bordes fueron protegidos. Metalográficamente presenta un recubrimiento altamente rugoso, típico del proceso manual del metalizado por aspersión térmica, como se muestra en la Figura 2.4. Su composición es de puro aluminio. Los datos de espesores iniciales se muestran en la Tabla IV.

Su característica es que ofrece protección catódica en ambientes en los cuales el aluminio se mantiene en su estado activo, como los ambientes altamente contaminados con cloro.

En ambientes en donde el aluminio se mantiene en estado pasivo, el acero del substrato se corroe, contaminando el electrolito en los poros con iones de hierro, los que rompen la capa pasiva y comienza la corrosión. Debido a esto, este tipo de recubrimiento es sellado con resina vinílica para su comercialización.

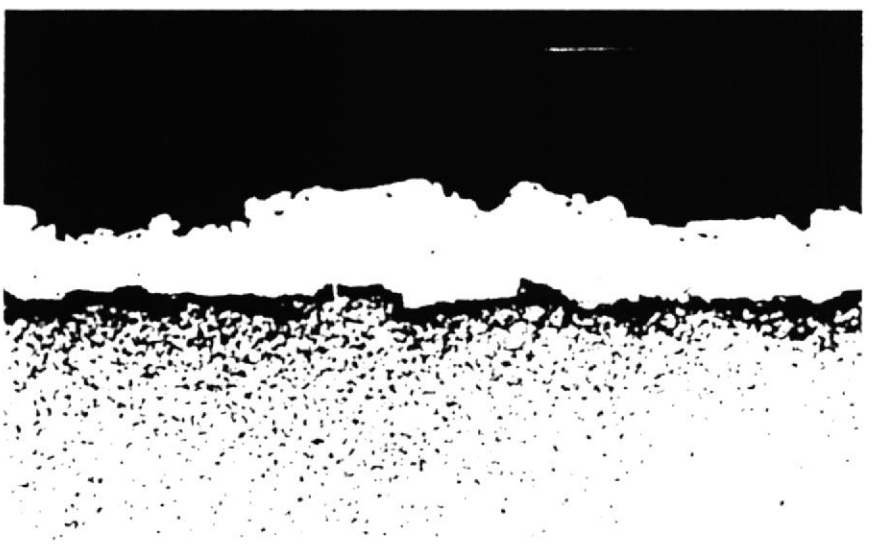


FIGURA 2.4. METALOGRAFIA DE LA PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO BD, AL INICIO DEL PROYECTO, 100 X

TABLA IV

VALORES DE ESPESORES INICIALES PARA PROBETAS METALIZADAS CON ALUMINIO

IDENTIFICACION	CP		VALORES DE ESPESORES (um)										X(um)
Metalizado con Aluminio	BD1	a	170	125	115	126	134	106	105	146	175	233	128,9
		b	106	102	100	86	105	126	117	131	159	110	
	BD2	a	209	233	183	172	139	139	120	152	190	165	177,6
		b	241	242	189	178	150	191	171	156	161	170	
	BD3	a	117	148	141	125	98	115	130	111	139	180	142,4
		b	204	155	147	156	155	182	159	135	156	95	
	BD4	a	143	132	168	114	142	138	147	164	116	120	145,1
		b	152	164	189	182	161	167	155	135	114	99	
	BD5	a	138	137	147	135	207	163	125	126	166	193	146,1
		b	112	104	125	151	154	142	124	125	174	173	
	BD6	a	98	112	136	111	98	145	98	152	193	164	150,3
		b	256	214	174	140	196	125	147	149	187	111	
	BD7	a	129	138	160	106	113	160	188	158	180	171	170,9
		b	133	145	211	266	179	154	252	172	158	245	
	BD8	a	80	118	112	93	81	163	117	121	162	155	162,2
		b	148	169	188	181	210	248	209	265	218	206	

Probetas metalizado con Aluminio/Zinc

Los especímenes fueron obtenidos individualmente, por lo que sus bordes fueron protegidos. Metalográficamente presenta un recubrimiento altamente rugoso, típico del proceso manual del metalizado por aspersión térmica, como se muestra en la figura 2.5.

Su composición es de aleación 15% aluminio y 85% de zinc. Los datos de espesores iniciales se muestran en la Tabla V.

Su característica es que usualmente su rendimiento es superior que el del recubrimiento de aluminio aplicado por aspersión térmica debido a la presencia del zinc, el cual ofrece protección catódica por lo que este recubrimiento no se lo sella.

FIGURA 2.5. METALOGRAFIA DE LA PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO/ZINC CD, AL INICIO DEL PROYECTO, 100 X

TABLA V

VALORES DE ESPESORES INICIALES PARA PROBETAS METALIZADAS CON ALUMINIO/ZINC

IDENTIFICACION		CP	VALORES DE ESPESORES (um)										X(um)
Metalizado con Aluminio/Zinc	CD1	a	82	140	138	113	114	128	110	104	129	118	128,3
		b	121	148	141	132	145	148	128	152	128	146	
	CD2	a	162	151	192	199	215	232	212	226	195	179	185,7
		b	196	234	205	153	234	162	144	173	128	122	
	CD3	a	121	121	149	130	132	170	120	135	98	102	136,1
		b	138	148	179	119	173	153	117	130	155	131	
	CD4	a	157	196	191	153	176	218	132	164	234	215	167,1
		b	102	112	172	157	217	161	153	165	130	136	
	CD5	a	148	152	203	165	202	272	219	265	214	218	179,7
		b	120	135	164	140	151	145	185	144	202	150	
	CD6	a	161	170	229	205	200	257	224	230	204	215	200,9
		b	194	258	246	204	247	187	186	168	115	118	
	CD7	a	304	229	270	210	302	243	184	207	158	133	157,8
		b	62	121	109	68	99	94	65	77	108	112	
	CD8	a	253	177	227	208	221	265	194	227	245	220	223,1
		b	243	235	297	246	249	218	188	202	171	175	

Probetas galvalume

Los especímenes fueron tomados de placas con recubrimiento, por lo que sus bordes no fueron protegidos. Metalográficamente presenta un recubrimiento uniforme, como se muestra en la figura 2.6.

Su composición es de 55% aluminio, 1.6% silicio y zinc al balance. Los datos de espesores iniciales se muestran en la Tabla VI.

Su característica es que ofrece protección catódica en ambientes agresivos. No ofrece protección catódica en ambientes no agresivos.

FIGURA 2.6. METALOGRAFIA DE LA PROBETA GALVALUME DD, AL INICIO DEL PROYECTO, 100 X

TABLA VI

VALORES DE ESPESORES INICIALES PARA PROBETAS

GALVALUME

IDENTIFICACION		CP	VALORES DE ESPESORES (um)										X(um)
Galvalume	DD1	a	17	21	19	19	17	21	21	19	21	22	18,9
		b	18	17	18	21	20	17	18	18	17	17	
	DD2	a	21	26	20	20	24	22	20	22	22	23	20,5
		b	19	22	19	19	19	16	18	21	17	20	
	DD3	a	21	22	23	23	23	21	23	20	20	23	20,7
		b	19	19	16	17	19	19	19	20	24	23	
	DD4	a	22	19	19	21	18	20	19	20	17	18	20,1
		b	19	21	19	21	21	21	25	19	20	22	
	DD5	a	21	21	24	21	23	20	25	21	24	19	20,5
		b	17	18	19	19	22	19	20	19	20	18	
	DD6	a	20	22	21	21	21	23	24	21	24	24	20,8
		b	19	20	21	16	18	20	21	20	19	20	
	DD7	a	19	18	18	19	21	17	19	19	19	17	21,2
		b	21	22	25	21	27	27	25	25	24	21	
	DD8	a	18	18	17	17	20	21	18	21	18	21	21,2
		b	25	22	19	25	23	26	22	25	23	25	
	DD9	a	21	22	19	16	18	17	22	18	20	18	20,3
		b	23	21	21	20	26	20	22	20	23	19	
	DD10	a	18	18	20	18	21	20	19	20	18	18	20,4
		b	21	23	22	23	22	23	23	21	22	18	
	DD11	a	21	18	18	17	20	17	18	20	16	16	19,2
		b	21	17	23	19	20	20	21	24	19	18	
	DD12	a	19	17	21	20	22	21	21	19	23	24	20,9
		b	24	20	20	23	18	21	24	21	21	18	
	DD13	a	25	20	21	24	23	19	22	21	24	18	20,1
		b	17	20	18	17	17	18	21	17	20	19	
	DD14	a	19	19	18	24	19	23	24	19	23	24	20,3
		b	19	18	19	18	18	22	19	19	20	21	

2.3. Cronograma de actividades.

La figura 2.7 presenta el cronograma de actividades a realizar, como son de instalación del panel, exposición, inspección y retirada durante los 42 meses de exposición.

Primeramente se instaló el panel de exposición de probetas. Se realizó evaluación fotográfica de las mismas a los 12, 24, 36 y 42 meses de exposición.

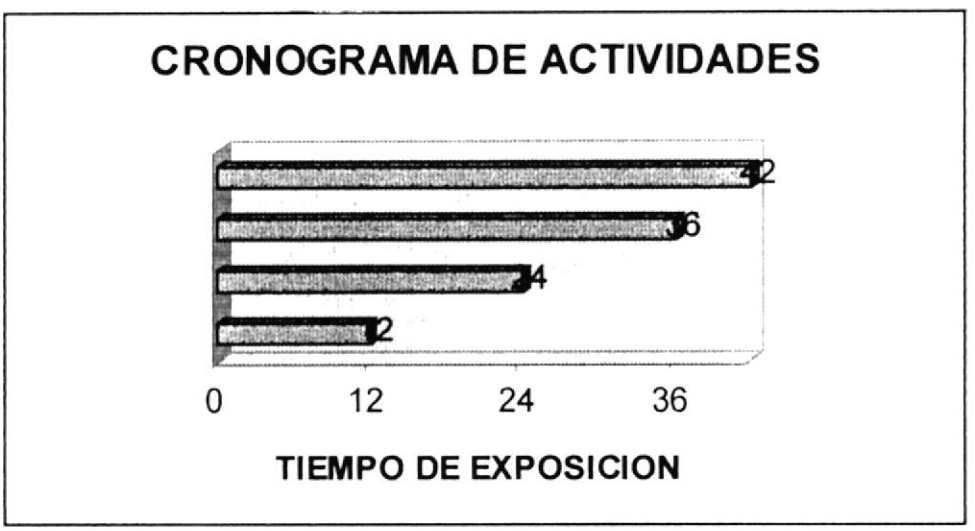


FIGURA 2.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se retiraron las probetas de todos los recubrimientos y se realizaron los análisis respectivos, como medición de espesores y pérdida de masa, a los 12, 24 y 42 meses como se detalla a continuación:

- **12 Meses:** AD1- AD4, BD1 –BD4, CD1 – CD4, DD1 – DD5 – DD6 – DD7
- **24 Meses:** AD2- AD5, BD2 –BD5, CD2 – CD5, DD2 – DD8 – DD9 – DD10
- **42 Meses:** AD3- AD6, BD3 –BD6, CD3 – CD6, DD3 – DD11 – DD12 – DD13

2.4. Probetas aluminizadas en caliente.

La Tabla VII presenta el listado de probetas aluminizadas en caliente expuestas, las Tablas VIII, IX, X y XI presentan las planillas de resultados y las Figuras desde la 2.8 a la 2.11 presentan las fotografías durante los 42 meses de exposición, respectivamente.

TABLA VII

IDENTIFICACION DE PROBETAS ALUMINIZADAS EN CALIENTE

REVESTIMIENTO	CON INCISION	SIN INCISION
ALUMINIZADO EN CALIENTE	AD1 AD2 AD3	AD4 AD5 AD6

2.4.1. Planillas de resultados.

TABLA VIII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

ALUMINIZADO EN CALIENTE

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: AD4
Con Incisión: AD1
EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996
PERIODO EXPOSICION: 12 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1997

1)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X NO

2)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

___ SI _X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X SI ___ NO
___

5) PROBETAS CON INCISION
5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

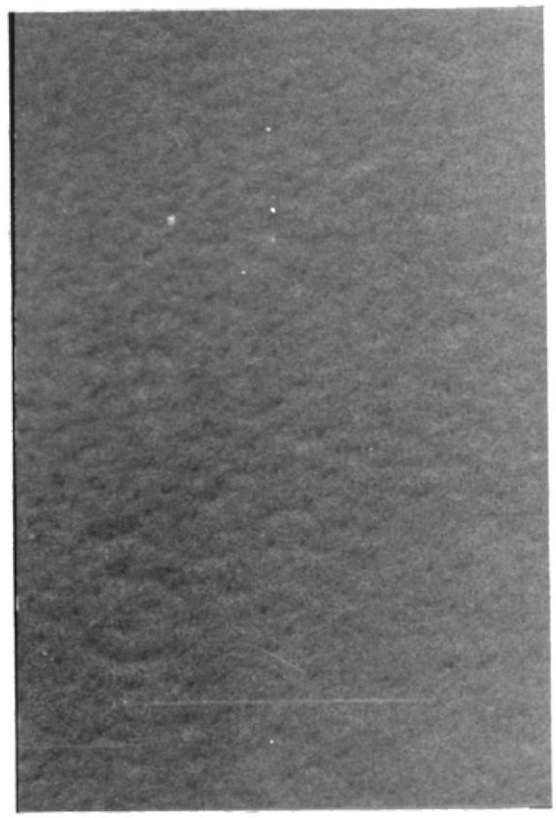
_X SI ___ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Existe mayor aparición de manchas de herrumbre pero no debidas al substrato, también se observan depósitos insolubles sobre la superficie de la probeta.
- Se observa poca corrosión a partir de los bordes. Se observa pérdida de recubrimiento en área adyacente a la incisión.
- En la incisión se aprecia bastante corrosión, casi de un 100%. Se aprecia corrosión en el metal base.



ESPOL
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
CIB - ESPOL

FIGURA 2.8. PROBETA TESTIGO AD7

ALUMINIZADO EN CALIENTE

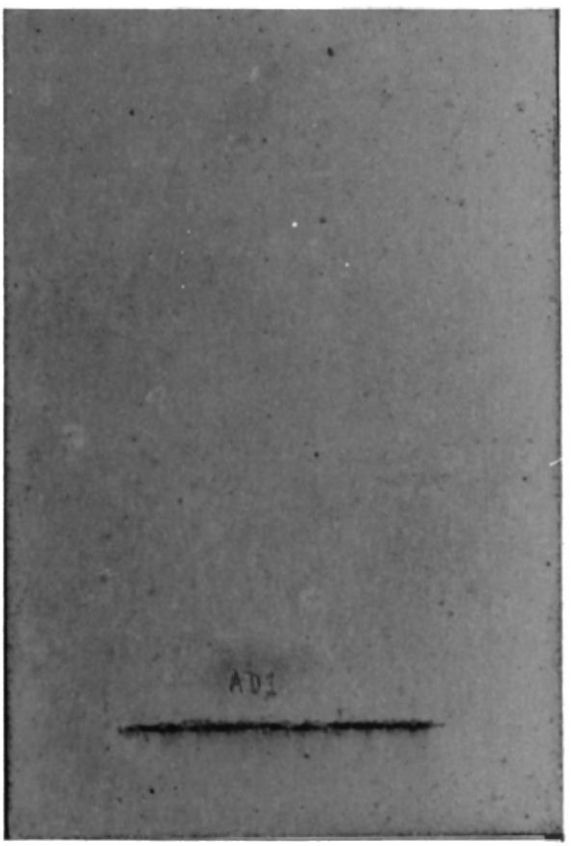


FIGURA 2.9. PROBETA ALUMINIZADA EN CALIENTE

AD1, 12 MESES

TABLA IX

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

ALUMINIZADO EN CALIENTE

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: AD5
Con Incisión: AD2

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 24 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1998

1)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

2)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

___ SI _X_ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X_ SI ___ NO

5) PROBETAS CON INCISION
5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

_X_ SI ___ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X_ SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Existe mayor aparición de manchas de herrumbre pero no debidas al substrato, también se observan depósitos insolubles sobre la superficie de la probeta.
- Se observa poca corrosión a partir de los bordes. Se observa pérdida de recubrimiento en área adyacente a la incisión.
- En la incisión se aprecia bastante corrosión, casi de un 100%. Se aprecia corrosión en el metal base.

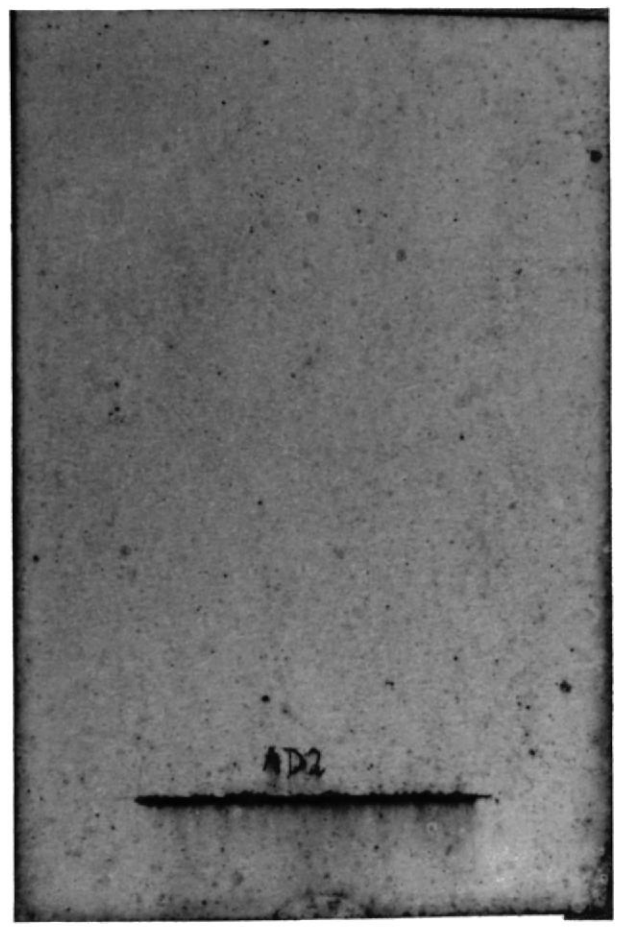


FIGURA 2.10. PROBETA ALUMINIZADA EN CALIENTE

AD2, 24 MESES

TABLA X

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

ALUMINIZADO EN CALIENTE

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: AD6
Con Incisión: AD3

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 36 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1999

1)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI _X NO

2)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI _X_ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI _X_ NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X_ SI __ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

_X_ SI __ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X_ SI __ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Aparición de productos de corrosión dispersos en toda la superficie de la probeta.
- Se observa poca corrosión a partir de los bordes. Se observa pérdida de recubrimiento en área adyacente a la incisión. Se ha perdido el brillo metálico casi por completo.
- En la incisión se aprecia bastante corrosión, casi de un 100%. Se aprecia corrosión en el metal base.

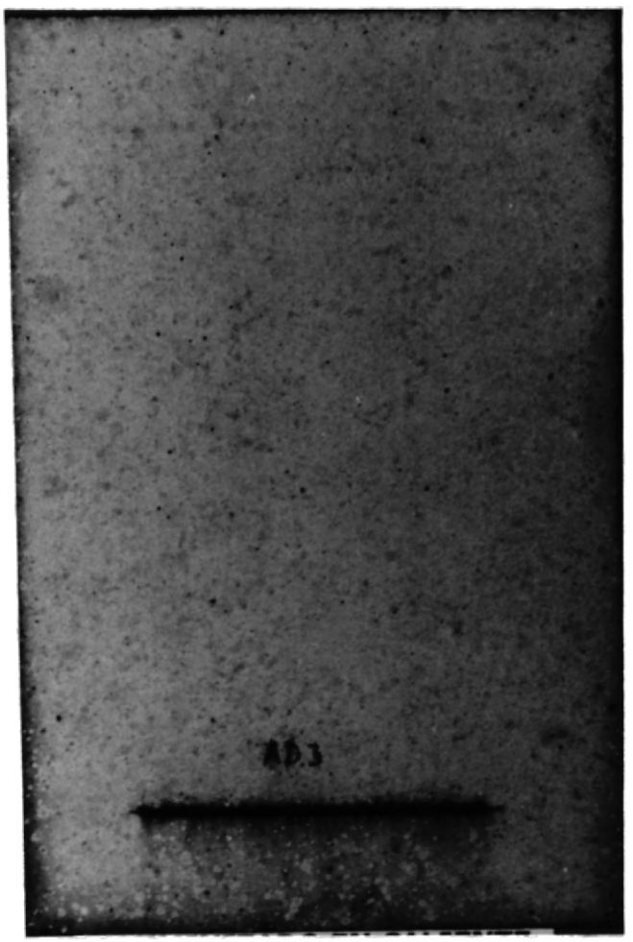


FIGURA 2.11. PROBETA ALUMINIZADA EN CALIENTE

AD3, 36 MESES

TABLA XI

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

ALUMINIZADO EN CALIENTE

IDENTIFICACION: **EVALUADOR:** Ing. Julián Peña
Sin Incisión: AD6
Con Incisión: AD3
ESTACION: Esmeraldas **PERIODO EXPOSICION:** 42 meses
Fecha Exposición: Ab.11,1996 **Fecha Retirada:** Oct.14,1999

1)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

2)FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

___ SI _X_ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X_ SI ___ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

_X_ SI ___ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X_ SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- La cantidad de productos de corrosión dispersos en la superficie no ha aumentado.
- La corrosión a partir de los bordes ha aumentado ligeramente. Se observa pérdida de recubrimiento en área adyacente a la incisión. El brillo metálico se ha perdido casi completamente.
- En la incisión se aprecia bastante corrosión, casi de un 100%.

2.4.2. Medición de espesores.

En la Tabla XII se muestran los datos de evaluación de medición de espesores para 12 y 24 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XII

MEDICION DE ESPESORES EN PROBETAS SIN INCISION

RECUBRIMIENTO	IDENTIFICACION	ESPESOR PROMEDIO (mils)
ALUMINIZADO EN CALIENTE	AD4	1.433
	AD5	1.466

2.4.3. Ensayos metalográficos.

Las figuras 2.12 y 2.13 presentan las metalografías en 100 aumentos hechas en el área de la incisión de las probetas, para 12 y 24 meses respectivamente.

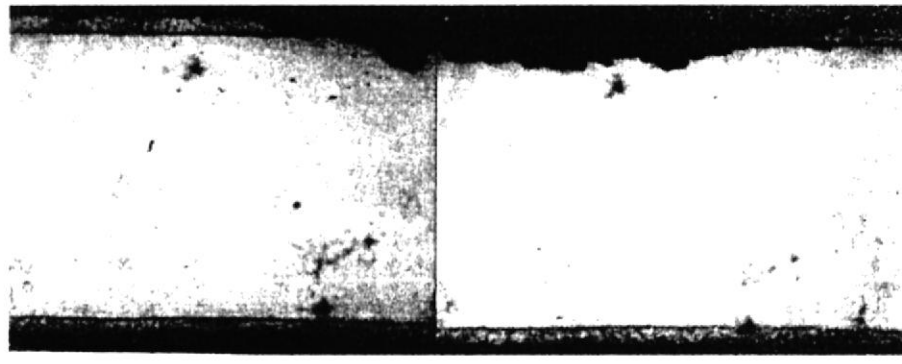


FIGURA 2.12. METALOGRAFÍA INCISIÓN, AD1, 100X

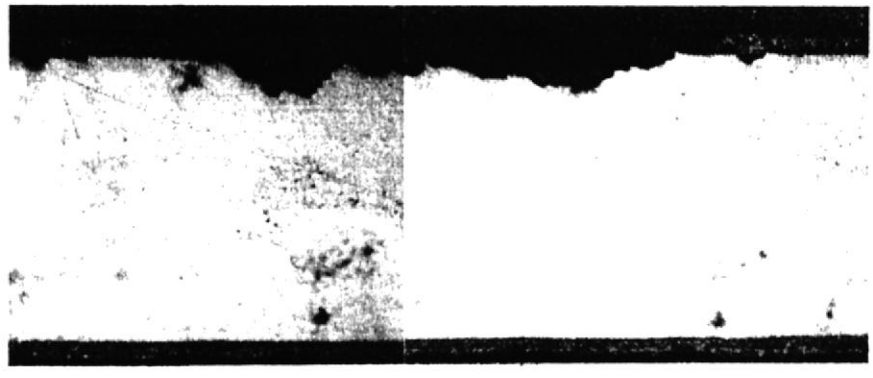


FIGURA 2.13. METALOGRAFÍA INCISIÓN, AD2, 100 X

2.5. Probetas metalizadas con aluminio.

La Tabla XIII presenta el listado de probetas metalizadas con aluminio, las Tablas XIV, XV, XVI y XVII presentan las planillas de resultados y las Figuras desde la 2.14 a la 2.18 presentan las fotografías durante los 42 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XIII

IDENTIFICACION DE PROBETAS METALIZADAS CON ALUMINIO

REVESTIMIENTO	CON INCISION	SIN INCISION
METALIZADO CON ALUMINIO	BD1 BD2 BD3	BD4 BD5 BD6

2.5.1. Planillas de resultados.

TABLA XIV

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: BD4
Con Incisión: BD1

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 12 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1997

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

X SI __ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Se observa mayor aparición de manchas de herrumbre en toda la superficie de la probeta y manchas debido a la suciedad.
- En la incisión se aprecia poca corrosión del revestimiento, alrededor de un 20%. No se aprecia corrosión del metal base en la incisión.

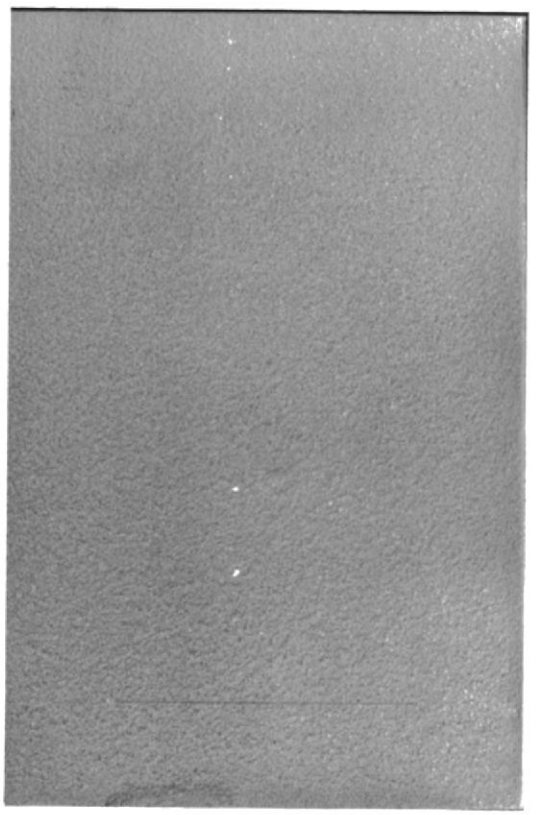


FIGURA 2.14. PROBETA TESTIGO BD7

METALIZADO CON ALUMINIO

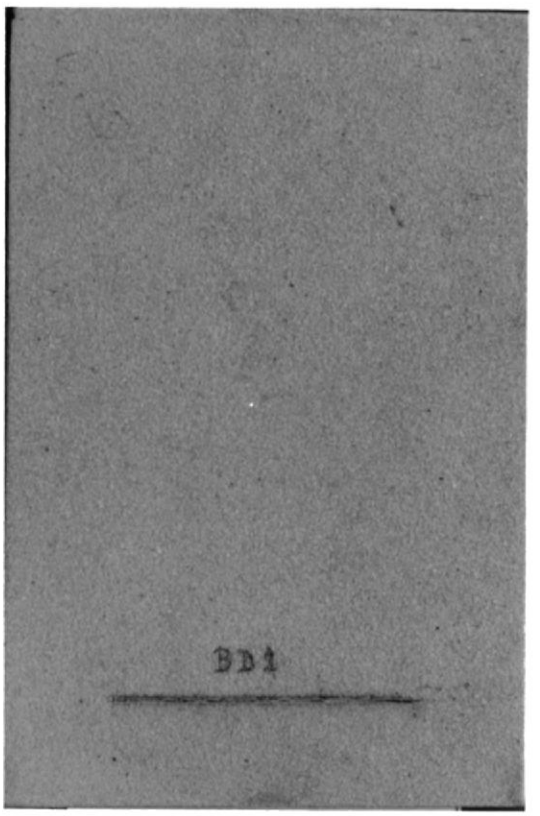


FIGURA 2.15. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO

BD1, 12 MESES

TABLA XV

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: BD5
Con Incisión: BD2

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 24 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1998

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

___ SI _X_ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X_ NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

___ SI _X_ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

___ SI _X_ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X_ SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Se observa gran aparición de manchas de herrumbre y manchas grises de suciedad en toda la probeta.
- En la incisión se aprecia poca corrosión del revestimiento, alrededor de un 25%, pero no se aprecia corrosión del metal base en la incisión.

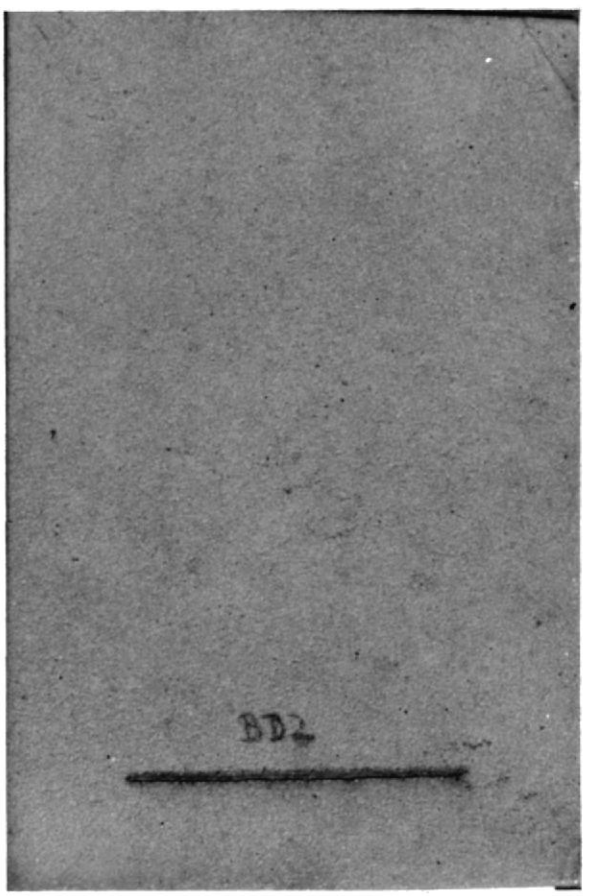


FIGURA 2.16. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO

BD2, 24 MESES

TABLA XVI

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: BD6
Con Incisión: BD3

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 36 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

___ SI ___X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

___ SI ___X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI ___X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

___ SI ___X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

___ SI ___X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

___X SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Se observa gran aparición de manchas de productos de corrosión y pocas manchas grises de suciedad en toda la probeta.
- A partir de la incisión no se aprecia corrosión del revestimiento, sino del acero alrededor de un 35%.

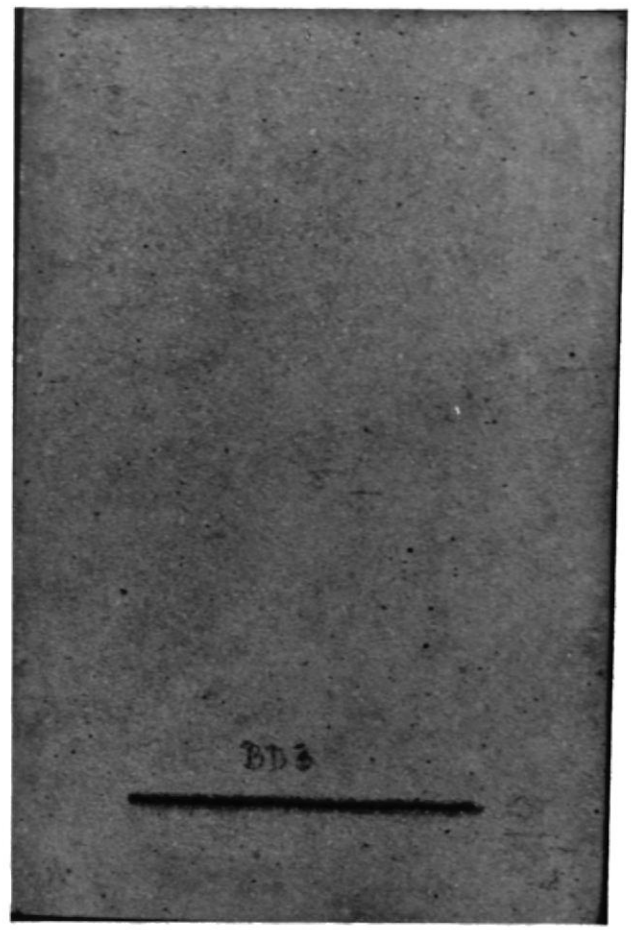


FIGURA 2.17. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO

BD3, 36 MESES

TABLA XVII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: BD6
Con Incisión: BD3
ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

PERIODO EXPOSICION: 42 meses
Fecha Retirada: Oct.14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI __X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI __X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI __X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI __X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI __X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

__X SI __ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Se observa mayor aparición de manchas de productos de corrosión y pocas manchas grises en la superficie expuesta.
- A partir de la incisión no se aprecia corrosión del revestimiento, sino del acero alrededor de un 40%.

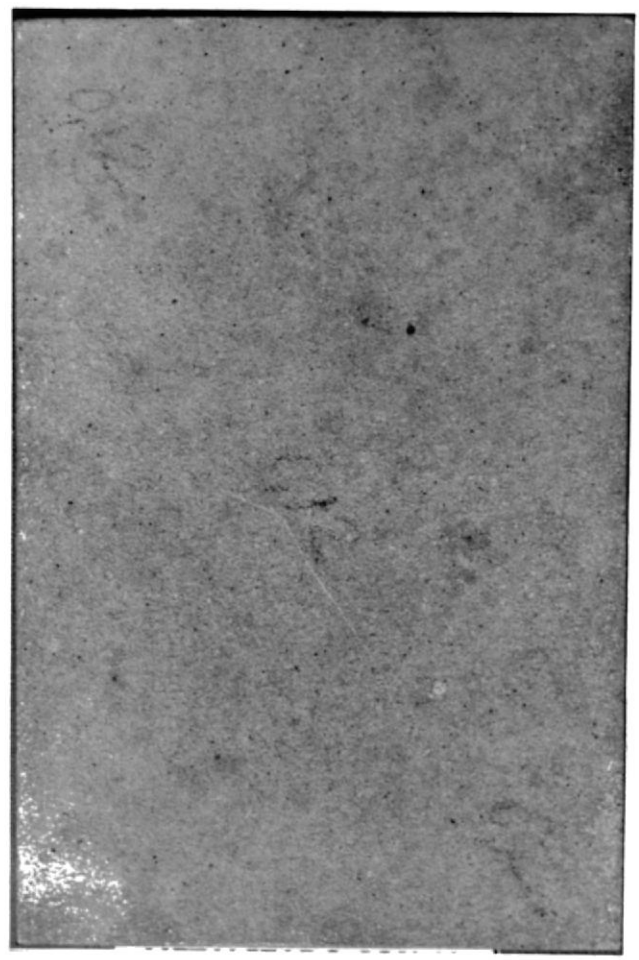


FIGURA 2.18. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO

BD6, 42 MESES

2.5.2. Medición de espesores.

En la Tabla XVIII se muestran los datos de evaluación de medición de espesores para 12 y 24 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XVIII

MEDICION DE ESPESORES EN PROBETAS SIN INCISION

RECUBRIMIENTO	IDENTIFICACION	ESPESOR PROMEDIO (mils)
METALIZADO CON ALUMINIO	BD4	5.788
	BD5	6.722

2.5.3. Ensayos metalográficos.

Las figuras 2.19 y 2.20 presentan las metalografías en 100 aumentos hechas en el área de la incisión de las probetas, para 12 y 24 meses respectivamente.

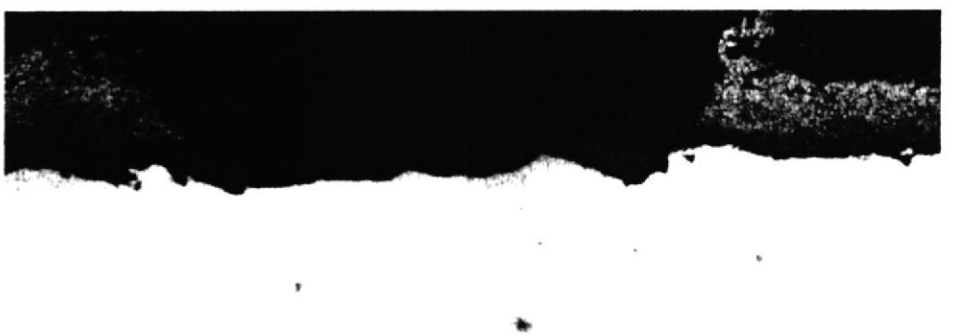


FIGURA 2.19. METALOGRAFÍA INCISIÓN, BD1, 100 X

FIGURA 2.20. METALOGRAFÍA INCISIÓN, BD2, 100 X

2.6. Probetas metalizadas con aluminio y zinc.

La Tabla XIX presenta el listado de probetas metalizadas con aluminio y zinc expuestas, las tablas XX, XXI, XXII y XXIII presentan las planillas de resultados y las Figuras desde la 2.21 a la 2.25 presentan las fotografías durante los 42 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XIX

IDENTIFICACION DE PROBETAS METALIZADAS CON ALUMINIO Y ZINC

REVESTIMIENTO	CON INCISION	SIN INCISION
METALIZADO CON ALUMINIO/ZINC	CD1 CD2 CD3	CD4 CD5 CD6

2.6.1. Planillas de resultados.

TABLA XX

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO Y ZINC

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: CD4
Con Incisión: CD1

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 12 meses
Fecha Retirada: Ab.14,1997

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI _X_ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI _X_ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

__ SI _X_ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Gran aparición de manchas de herrumbre en la superficie de la probeta.
- Se observa menor aparición de manchas grises de suciedad.
- En la incisión se aprecia poca corrosión, casi de un 20%, pero se debe al recubrimiento, no al metal base.

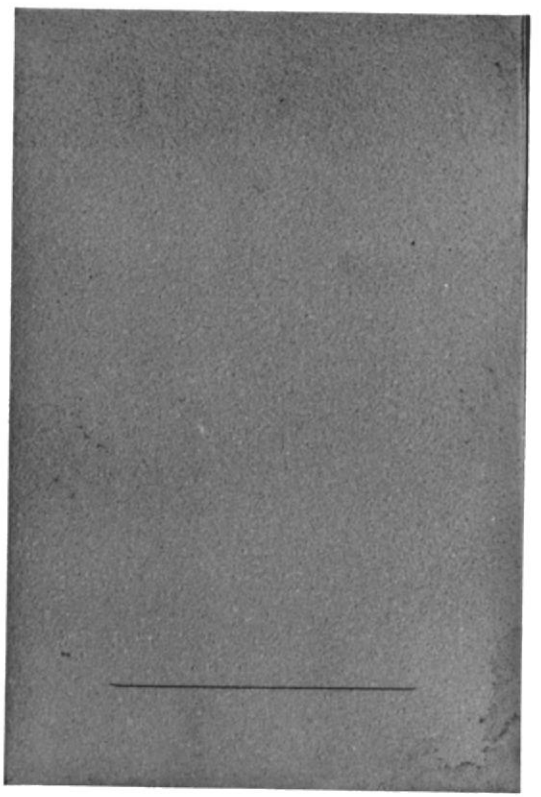


FIGURA 2.21. PROBETA TESTIGO CD7

METALIZADO CON ALUMINIO/ZINC

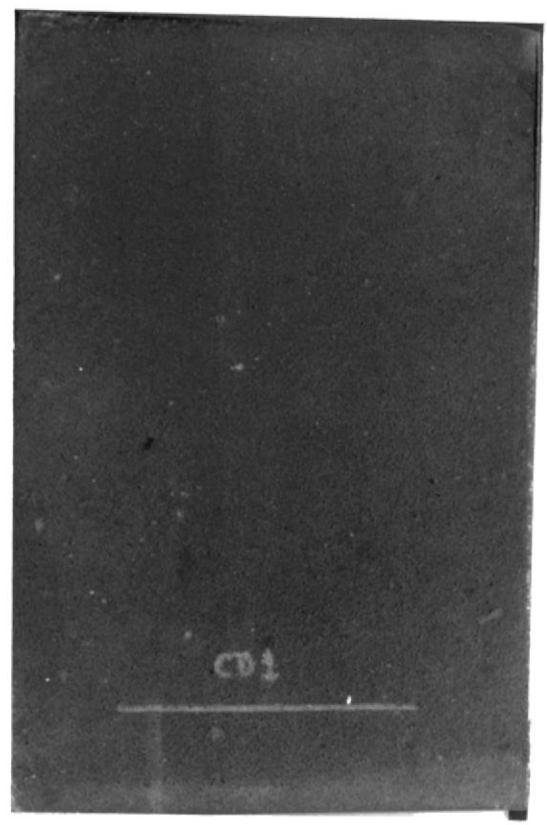


FIGURA 2.22. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO/ZINC

CD1, 12 MESES

TABLA XXI

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO Y ZINC

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: CD5
Con Incisión: CD2

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 24 meses:
Fecha Retirada: Ab.14,1998

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

__ SI X NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Gran aparición de manchas de herrumbre en la superficie de la probeta.
- Se observa menor aparición de manchas grises debidas a suciedad.
- En la incisión se aprecia mayor corrosión del recubrimiento, casi de un 30%.

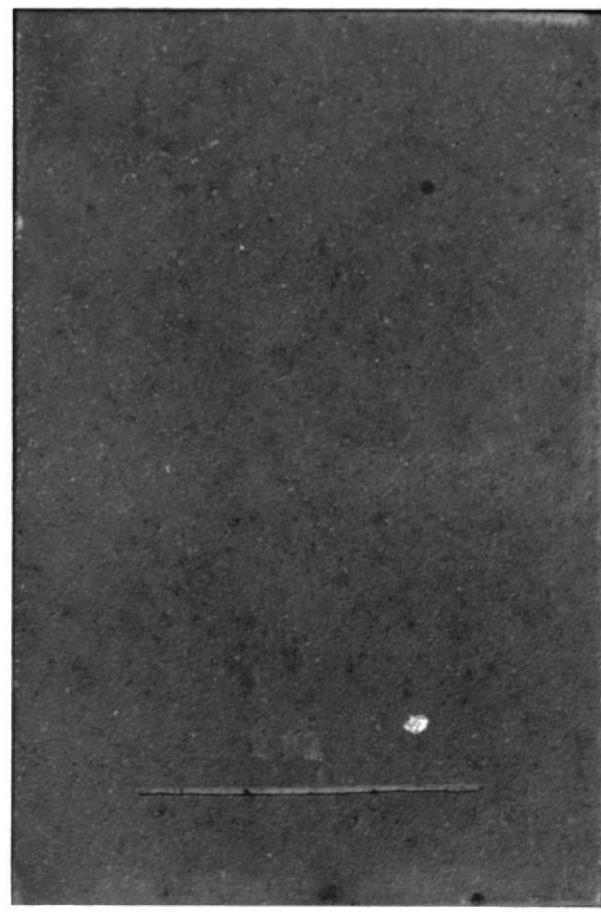


FIGURA 2.23. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO/ZINC

CD2, 24 MESES

TABLA XXII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO Y ZINC

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: CD6
Con Incisión: CD3

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 36 meses:
Fecha Retirada: Ab.14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

__ SI X NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Mayor aparición de manchas de productos de corrosión en la superficie de la probeta producidas por el substrato, que están saliendo a la superficie.
- Se observa poca aparición de manchas grises debidas a suciedad.
- En la incisión se protección catódica del revestimiento a metal base, sin embargo se aprecian ya síntomas de corrosión del substrato.

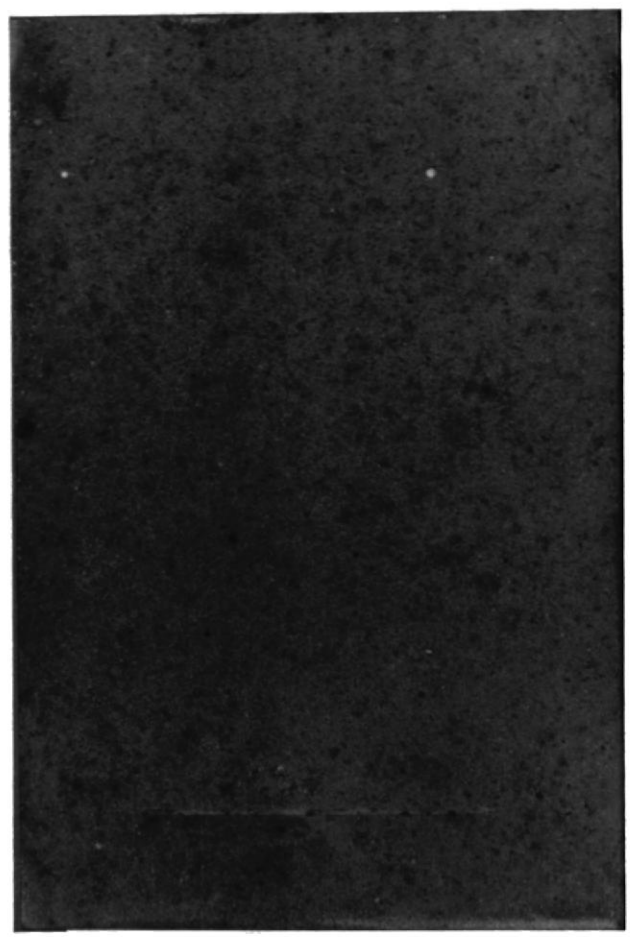


FIGURA 2.24. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO/ZINC

CD3, 36 MESES

TABLA XXIII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA

METALIZADO CON ALUMINIO Y ZINC

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: CD6
Con Incisión: CD3

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 42 meses:
Fecha Retirada: Oct. 14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

__ SI X NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

__ SI X NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__ SI X NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

__ SI X NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Se aprecia una mayor aparición de manchas de productos de corrosión en la superficie de la probeta producidas por el substrato, alrededor de un 40% del área total expuesta.
- Se observa poca aparición de manchas grises por suciedad.
- En la incisión se evidencia protección catódica del revestimiento al metal base.

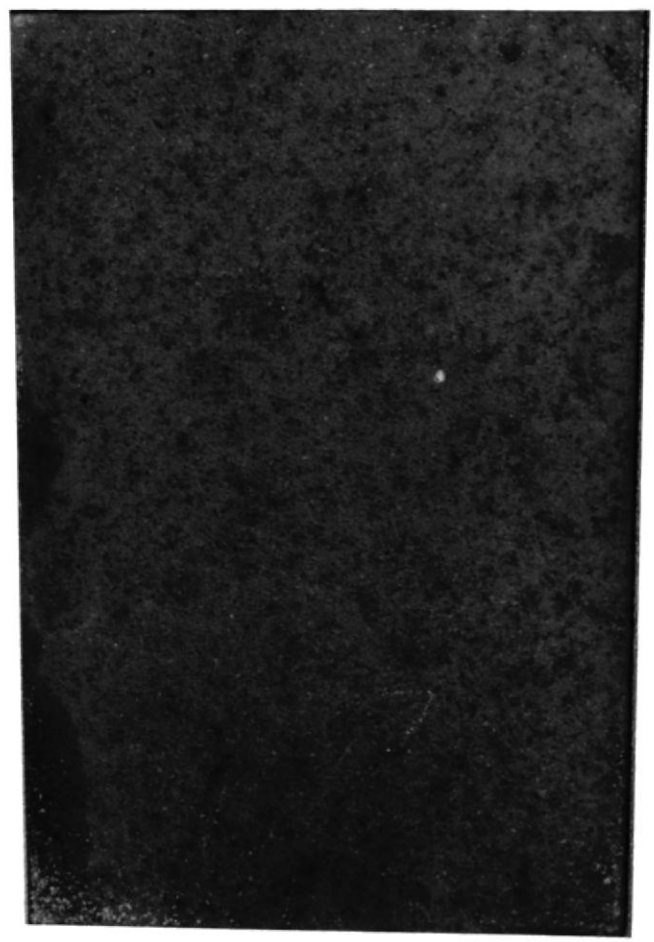


FIGURA 2.25. PROBETA METALIZADA CON ALUMINIO/ZINC

CD6, 42 MESES

2.6.2. Medición de espesores.

En la Tabla XXIV se muestran los datos de evaluación de medición de espesores para 12 y 24 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XXIV

MEDICION DE ESPESORES EN PROBEAS SIN INCISION

RECUBRIMIENTO	IDENTIFICACION	ESPESOR PROMEDIO (mils)
METALIZADO CON ALUMINIO/ZINC	CD4	9.266
	CD5	9.288

2.6.3. Ensayos metalográficos.

Las figuras 2.26 y 2.27 presentan las metalografías en 100 aumentos hechas en el área de la incisión de las probetas, para 12 y 24 meses respectivamente.

FIGURA 2.26. METALOGRAFÍA INCISIÓN, CD1, 100 X

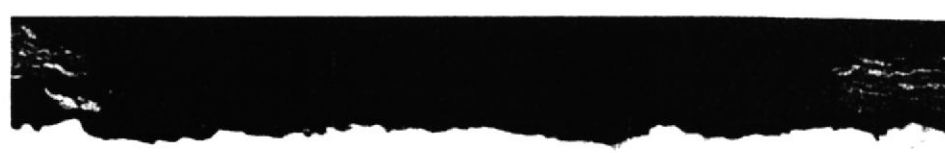


FIGURA 2.27. METALOGRAFÍA INCISIÓN, CD2, 100 X

2.7. Probetas galvalume.

La Tabla XXV presenta el listado de probetas galvalume expuestas, las Tablas XXVI, XXVII, XXVIII y XXIX presentan las planillas de resultados y las Figuras desde la 2.28 a la 2.32 presentan las fotografías durante los 42 meses de exposición, respectivamente.

TABLA XXV

IDENTIFICACION DE PROBETAS GALVALUME

REVESTIMIENTO	CON INCISION	SIN INCISION
GALVALUME	DD1	DD 5 DD 6 DD 7
	DD2	DD 8 DD 9 DD10
	DD3	DD11 DD12 DD13

2.7.1. Planillas de resultados.

TABLA XXVI

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA GALVALUME

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: DD5
Con Incisión: DD1
EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996
PERIODO EXPOSICION: 12 meses:
Fecha Retirada: Ab.14,1997

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

X SI ___ NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

X SI ___ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

X SI ___ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

X SI ___ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

X SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Mayor aparición de manchas de herrumbre en la superficie de la probeta, debido a suciedad. También se aprecian depósitos insolubles sobre la superficie de la probeta.
- Se observa poca corrosión a partir de los bordes.
- En la incisión hay bastante corrosión, casi de un 100%, debida al metal base. Se observa también pérdida de recubrimiento en el área adyacente a la incisión.

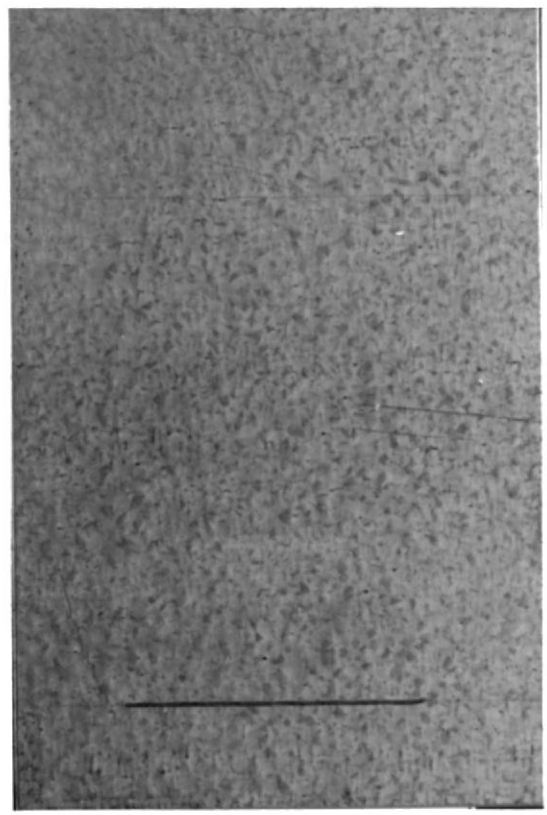


FIGURA 2.28. PROBETA TESTIGO DD4

GALVALUME

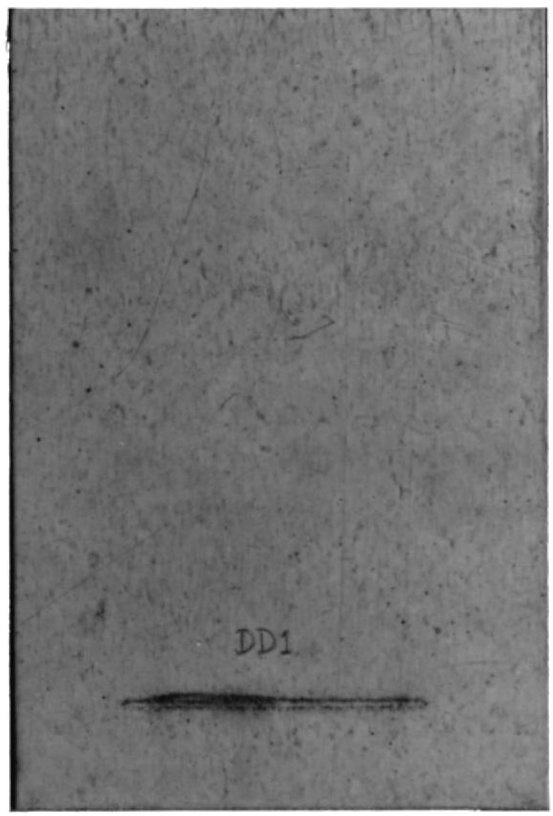


FIGURA 2.29. PROBETA GALVALUME

DD1, 12 MESES

TABLA XXVII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA GALVALUME

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: DD8
Con Incisión: DD2
EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996
PERIODO EXPOSICION: 24 meses:
Fecha Retirada: Ab.14,1998

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

_X SI __ NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

_X SI __ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI _X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X SI __ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

_X SI __ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X SI __ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Mayor aparición de manchas de herrumbre y de manchas grises debido a suciedad.
- También se aprecian depósitos insolubles sobre la superficie de la probeta. Se observa poca corrosión a partir de los bordes.
- En la incisión hay bastante corrosión, casi de un 100%, debida al metal base. Se observa pérdida de recubrimiento en el área adyacente a la incisión.

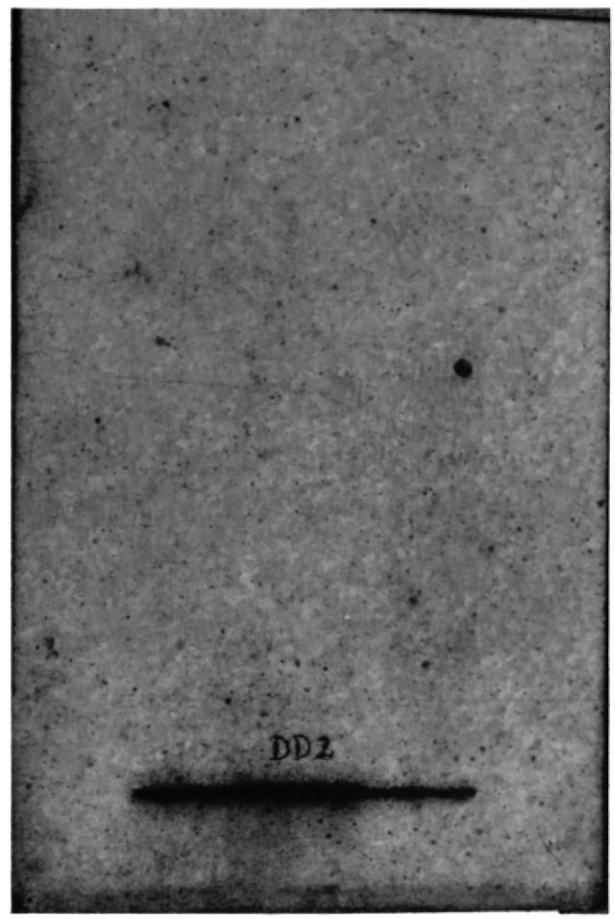


FIGURA 2.30. PROBETA GALVALUME

DD2, 24 MESES

TABLA XXVIII

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA GALVALUME

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: DD11
Con Incisión: DD3
ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

PERIODO EXPOSICION: 36 meses:
Fecha Retirada: Ab.14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

_X SI ___ NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

_X SI ___ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

___ SI _X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X SI ___ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

_X SI ___ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X SI ___ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Mayor aparición de productos de corrosión y menor de manchas grises debido a suciedad. El brillo metálico ha desaparecido casi por completo.
- En la probeta sin incisión se observa mayor corrosión a partir de los bordes. En la incisión hay bastante corrosión, casi de un 100%, debida al metal base.
- Se observa pérdida de recubrimiento en el área adyacente a la incisión.

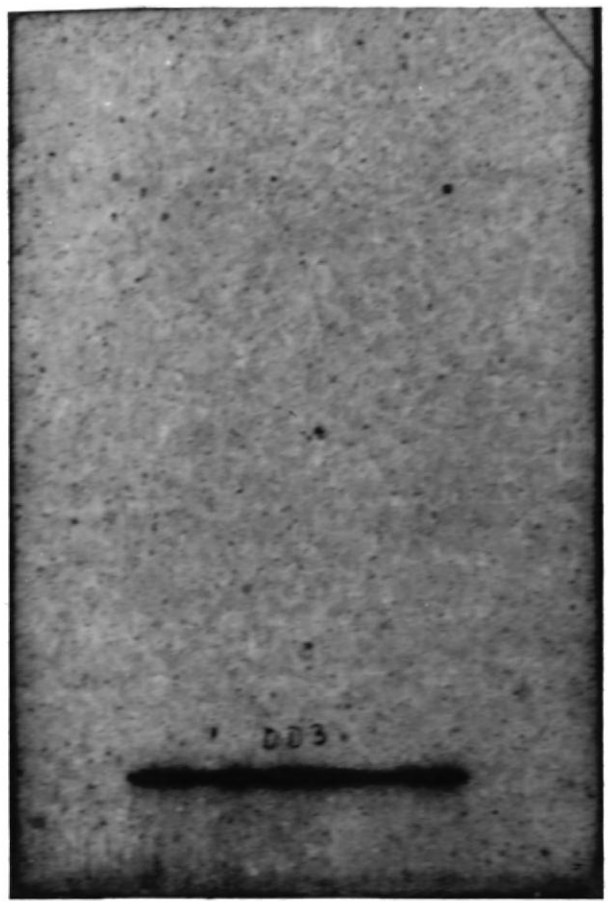


FIGURA 2.31. PROBETA GALVALUME

DD3, 36 MESES

TABLA XXIX

PLANILLA DE EVALUACION DE RESULTADOS PARA GALVALUME

IDENTIFICACION:
Sin Incisión: DD11
Con Incisión: DD3

EVALUADOR: Ing. Julián Peña

ESTACION: Esmeraldas
Fecha Exposición: Ab.11,1996

PERIODO EXPOSICION: 42 meses:
Fecha Retirada: Oct. 14,1999

1) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL REVESTIMIENTO

_X SI __ NO

2) FORMACION DE PRODUCTOS DE CORROSION DEL ACERO DE SUBSTRATO

_X SI __ NO

3) DESCASCARAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

__ SI _X NO

4) CORROSION EN LOS BORDES

_X SI __ NO

5) PROBETAS CON INCISION

5.1) CORROSION A PARTIR DE INCISION

__X SI __ NO

5.2) CORROSION DEL ACERO EN LA INCISION

_X SI __ NO

6) OTRAS OBSERVACIONES

- Mayor aparición de productos de corrosión y en menor proporción manchas grises por suciedad. El brillo metálico ha desaparecido.
- En la probeta sin incisión hay mayor corrosión a partir de los bordes.
- En la incisión existe corrosión en un 100%, debida al metal base.
- Se observa pérdida de recubrimiento en el área adyacente a la incisión.

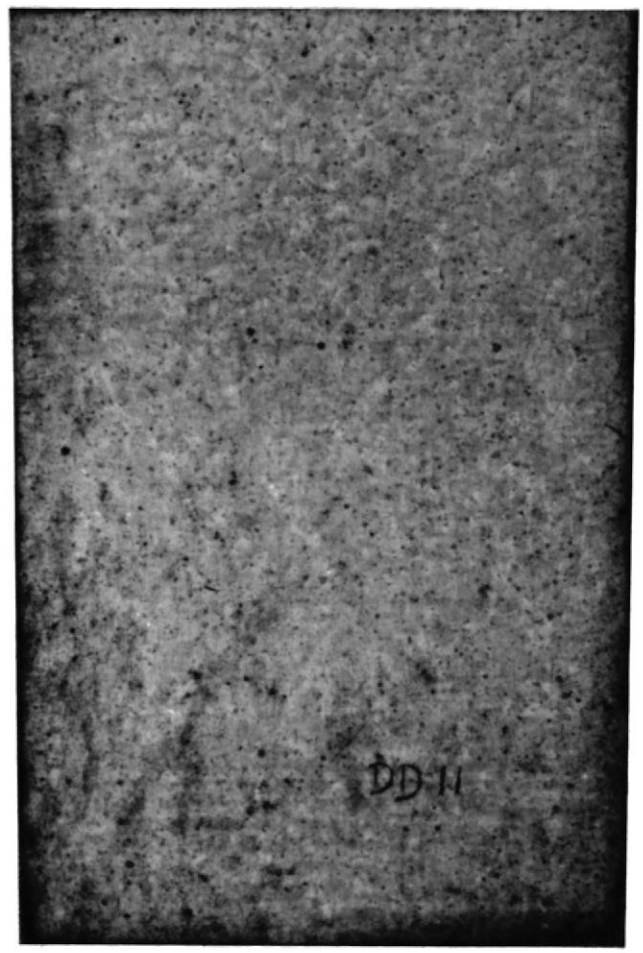


FIGURA 2.32. PROBETA GALVALUME

DD11, 42 MESES

2.7.2. Medición de espesores.

En la Tabla XXX se muestran los datos de evaluación de medición de espesores para 12 meses de exposición.

TABLA XXX

MEDICION DE ESPESORES EN PROBETAS SIN INCISION

RECUBRIMIENTO	IDENTIFICACION	ESPESOR PROMEDIO (mils)
GALVALUME	DD8	0.855
	DD9	0.788
	DD10	0.788

2.7.3. Velocidad de corrosión.

En la Tabla XXXI se presentan los resultados de pérdida de peso durante 12, 24 y 42 meses de exposición.

TABLA XXXI

PESOS PROBETAS GALVALUME

PERIODO	PROBETA	PESO INICIAL Wo (gr)	PESO FINAL Wf (gr)	ΔW (gr)
12 meses	DD5	114.4215	113.8494	0.5721
	DD6	112.8485	112.2372	0.6113
	DD7	112.9982	111.9751	1.0231
24 meses	DD8	112.9187	112.2037	0.7150
	DD9	112.4070	111.7042	0.7028
	DD10	112.3420	111.5778	0.7642
42 meses	DD11	112.2891	111.5642	0.7249
	DD12	112.3347	111.7008	0.6339
	DD13	112.6913	112.0220	0.6693

2.7.4. Ensayos metalográficos.

Las figuras 2.33 y 2.34 presentan las metalografías en 100 aumentos hechas en el área de la incisión de las probetas, para 12 y 24 meses respectivamente.

FIGURA 2.33. METALOGRAFÍA NCISIÓN, DD1, 100 X

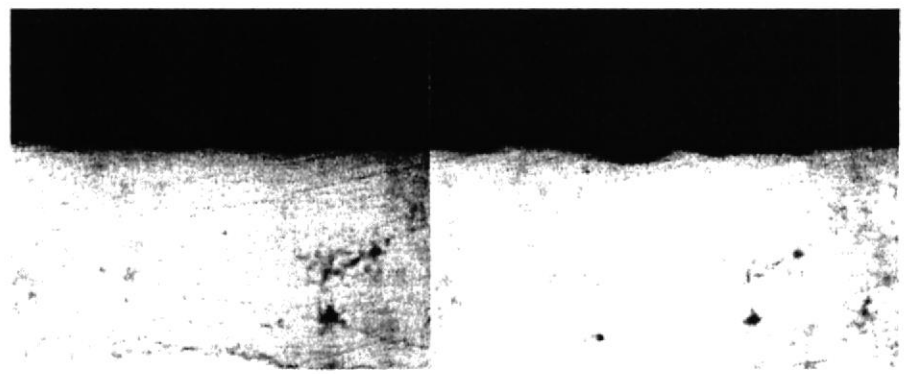


FIGURA 2.34. METALOGRAFÍA INCISIÓN, DD2, 100 X

CAPITULO 3

3. EVALUACION DEL RECUBRIMIENTO A BASE DE ALUMINIO.

En este capítulo se presenta la evaluación de la inspección visual durante los períodos de exposición de las probetas de 6, 12, 18, 24, 36 y 42 meses, de tal forma de describir la decoloración que han sufrido los recubrimientos, el avance de la corrosión en la zona de incisión y a partir de los bordes, así como también su comportamiento.

3.1. Aluminizado en caliente.

6 Meses.-

En la probeta se aprecia la aparición de pequeños puntos grises en toda la superficie de la misma. Existe presencia de productos de corrosión sólo a partir de la incisión en un 35%.

12 Meses.-

Los productos de corrosión a partir de la incisión parecen no haber aumentado mucho, pero no se observan en la demás superficie de la probeta. La cantidad de puntos grises aumentó en forma dispersa, sin embargo, no ha perdido el brillo metálico.

18 Meses.-

Se aprecia la aparición de puntos aislados muy dispersos de formación de productos de corrosión en toda la superficie de la probeta. Los puntos grises han aumentado, pero no de forma concentrada. La probeta ha perdido un poco de brillo metálico. Se aprecia la presencia de productos de corrosión a partir de los bordes.

24 Meses.-

Es evidente la presencia de productos de corrosión a partir de la incisión en un 100%. También han aumentado los productos de corrosión a partir de los bordes significativamente; así mismo, ha aumentado un poco su aparición en toda la superficie de la probeta como los puntos grises. Se aprecia menos brillo metálico en la probeta.

36 Meses.-

El brillo metálico se ha perdido casi totalmente. Ha aumentado la presencia de productos de corrosión, tanto a partir de los bordes como en la incisión. Así mismo ha aumentado un poco la aparición de puntos de corrosión y de puntos grises en toda la superficie de la probeta.

42 Meses.-

Se mantiene la aparición de productos de corrosión en forma dispersa en toda la superficie. Se aprecia mayor corrosión a partir de los bordes. Existe pérdida del recubrimiento en área adyacente a la incisión. En la incisión existen productos de corrosión en un 100%. El brillo metálico casi ha desaparecido por completo.

Análisis Metalográfico.-

Como se puede apreciar en la figura 2.12, en la zona de incisión comienza el avance de corrosión en el metal base a los 12 meses de exposición.

En la figura 2.13, a los 24 meses de exposición, es más evidente este avance de corrosión a partir de la incisión, se aprecia en la metalografía mayor área corroída.

3.2. Metalizado con aluminio.

6 Meses.-

Se observa la aparición de pequeños puntos grises y blancos en la probeta. La presencia de productos de corrosión sólo se aprecia a partir de la incisión en un 10%.

12 Meses.-

La presencia de productos de corrosión debido al acero a partir de la incisión aumentó muy poco. Así mismo, los puntos grises y blancos han aumentado y se han dispersado en toda la superficie de la probeta.

18 Meses.-

Ha aumentado un poco la aparición de puntos grises. Existe presencia de puntos de corrosión en la superficie de la probeta, pero de forma muy dispersa; y a partir de la incisión, aumentó hasta un 20% la presencia de estos productos de corrosión.

24 Meses.-

Se aprecia aumento de productos de corrosión en la incisión en un 25%. Ha aumentado de forma dispersa la cantidad de puntos

grises y blancos, de igual forma ha aumentado la cantidad de puntos de corrosión en toda la superficie de la probeta.

36 Meses.-

La presencia de productos de corrosión a partir de la incisión debida al acero, ha aumentado en un 50%. De igual manera ha aumentado la cantidad de puntos grises y blancos, y la cantidad de puntos de corrosión en la superficie de la probeta.

42 Meses.-

Ha aumentado la cantidad de puntos de corrosión en toda la superficie. A partir de la incisión no se aprecia corrosión del revestimiento, sino del acero alrededor de un 40%. La superficie expuesta ha perdido un poco su brillo metálico.

Análisis Metalográfico.-

En la figura 2.19 se observa que en la zona de incisión ya se evidencia el avance de corrosión en el metal base a los 12 meses de exposición. Así mismo, en la figura 2.20, a los 24 meses de exposición este avance aumenta muy poco con relación a los 12 meses, presentando una mayor profundidad de la corrosión en la incisión.

3.3. Metalizado con aluminio y zinc.

6 Meses.-

No se observa presencia de productos de corrosión a partir de la incisión. Se aprecia la aparición de puntos blancos en forma dispersa en toda la superficie de la probeta.

12 Meses.-

Ha aumentado la aparición de puntos blancos y grises en forma dispersa. Sin embargo, no se observa aparición de productos de corrosión a partir de la incisión, pero si en toda la superficie de la probeta pero de forma muy dispersa.

18 Meses.-

Se aprecia el aumento de la cantidad de puntos de corrosión en toda la superficie de la probeta. La cantidad de puntos grises y blancos no ha aumentado de manera significativa. En la incisión se aprecia ya la protección catódica del revestimiento al metal base.

24 Meses.-

Ha aumentado la cantidad de puntos de corrosión y puntos grises en forma significativa. También se aprecia la aparición de unos

puntos blancos, pero solo de forma muy dispersa. En la incisión se aprecia que aumenta la protección catódica.

36 Meses.-

Se observa que la protección catódica del revestimiento al metal base a partir de la incisión aumenta, sin embargo se aprecian ya síntomas de corrosión del substrato. La cantidad de puntos de corrosión producidas por el substrato ha aumentado significativamente y que están saliendo a la superficie. Al contrario de esto, la cantidad de puntos grises y blancos no ha aumentado.

42 Meses.-

Existe mayor aparición de manchas de productos de corrosión en la superficie expuesta, producidas por el substrato. En cambio hay poca aparición de puntos grises y blancos. En la incisión se observa la protección catódica del revestimiento al metal base.

Análisis Metalográfico.-

En la figura 2.26 se observa que el avance de corrosión en el metal base a partir de la incisión es mucho más profundo a los 12 meses de exposición que a los 24 meses, como se aprecia en la figura 2.27, en donde este avance es más bien uniforme.

3.4. Galvalume.

6 Meses.-

Se nota el brillo metálico en toda la superficie de la probeta. A partir de la incisión se observa aparición de productos de corrosión en un 30%. Hay aparición de puntos de corrosión en forma muy dispersa.

12 Meses.-

Los puntos de corrosión han aumentado y se han dispersado en toda la superficie de la probeta. Los productos de corrosión en la incisión también aumentaron en un 40%.

18 Meses.-

Ha perdido un poco el brillo metálico en toda la superficie de la probeta. Los productos de corrosión a partir de la incisión aumentaron en un 60%, así mismo los puntos de corrosión han aumentado de manera concentrada.

24 Meses.-

La presencia de productos de corrosión a partir de la incisión y a partir de los bordes llega al 100%. Han aumentado los puntos de corrosión en toda la superficie de la probeta considerablemente.

36 Meses.-

Se aprecia la pérdida casi total de brillo metálico en la probeta. Ha aumentado mucho la presencia de productos de corrosión a partir de la incisión y en toda la superficie de la probeta en un 100%. Se observa que a partir de la incisión la presencia de productos de corrosión ha aumentado hasta un 100%.

42 Meses.-

Los productos de corrosión en la superficie expuesta han aumentado, y en menor proporción los puntos grises. El brillo metálico ha desaparecido. Se observa corrosión a partir de los bordes, y a partir de la incisión la corrosión está en un 100%. Existe pérdida del recubrimiento en el área adyacente a la incisión.

Análisis Metalográfico.-

La figura 2.33 muestra que el avance de corrosión en el metal base es más profundo a los 12 meses de exposición que a los 24 meses.

En la figura 2.34, a los 24 meses de exposición, se puede observar que el avance de corrosión se presenta más leve y uniforme.

3.5. Análisis comparativo entre estos recubrimientos.

La observación y comparación visual de los cuatro revestimientos hasta los 42 meses de exposición se presenta de la siguiente forma:

1) **El Aluminizado en Caliente** a pesar de haber perdido casi totalmente su brillo metálico, al igual que el **Galvalume**, se puede decir que se ha comportado como un recubrimiento resistente. Así mismo, la aparición y aumento de los puntos de productos de corrosión y puntos grises a partir de los bordes y en toda la probeta en este último año sobretodo, nos dan un indicativo de que la protección del recubrimiento se va perdiendo. Su comportamiento es similar al **Galvalume**.

2) **El Metalizado con aluminio** es mejor revestimiento que el **aluminizado en caliente**, se lo podría calificar como un recubrimiento muy resistente, ya que no se ha decolorado mayormente y no presenta evidencia de corrosión del revestimiento, pero si en la incisión. Su comportamiento en la superficie de la probeta se parece al del **metalizado con aluminio/Zinc**, con la diferencia en la incisión, donde el

ESPOL 1946 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CIB - ESPOL

metalizado con aluminio muestra corrosión del acero y el otro muestra una protección catódica al metal base.

3) **El Metalizado con aluminio/Zinc** es el revestimiento más resistente del grupo, y el que mejor se ha comportado en el estudio. Es muy similar al **metalizado con aluminio** en cuanto a su comportamiento. En este recubrimiento se sigue dando la protección catódica con respecto al metal base.

4) **El Galvalume** también ha perdido su brillo metálico casi por completo, al igual que el **aluminizado en caliente**, se puede decir que es un recubrimiento muy resistente; sin embargo hay que apreciar que en el último año ha aumentado considerablemente la aparición de productos de corrosión a partir de los bordes, por lo que la protección catódica va disminuyendo.

La comparación metalográfica entre los cuatro revestimientos se presenta de la siguiente forma:

1) La metalografía del recubrimiento de **Aluminizado en caliente** presenta poco avance de corrosión en la zona de incisión y de

forma dispersa con respecto a los otros recubrimientos, mientras que la metalografía del recubrimiento de **Galvalume** nos indica que en este recubrimiento el avance de la corrosión es más bien uniforme y leve.

2) En el recubrimiento **Metalizado con aluminio**, la metalografía presenta un avance significativo de la corrosión en la zona de incisión en forma dispersa, el mayor de los cuatro recubrimientos. En cambio en la metalografía del recubrimiento de **Metalizado con aluminio/zinc**, la corrosión se presenta en forma leve.

Cálculo de la Velocidad de Corrosión.-

La Tabla XXXII presenta los resultados del análisis de la velocidad de corrosión media ($\bar{r}$) para las probetas galvalume sin incisión.

La figura 3.1 de la velocidad de corrosión media, muestra que la velocidad de corrosión disminuye con el tiempo, lo que no sucede con los valores de pérdida de peso obtenidos en la Tabla XXXI, en la cual se puede verificar que los resultados obtenidos de variación de peso aumentan con respecto al tiempo, lo que sería más coherente que los valores obtenidos de velocidad de corrosión.

TABLA XXXII

VELOCIDAD DE CORROSION PROBETAS GALVALUME

IDENTIFICACION	r (mg / cm². año)	$\bar{r}$ (mg / cm². año)
DD5	0.001907	0.001972
DD6	0.002037	
DD7	0.003410	
DD8	0.001191	0.001211
DD9	0.001171	
DD10	0.001273	
DD11	0.000690	0.000643
DD12	0.000603	
DD13	0.000637	

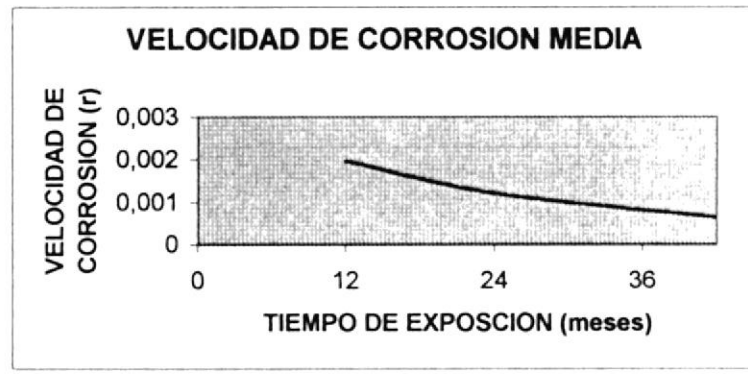


FIGURA 3.1. CURVA DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

La comparación de espesores entre los cuatro revestimientos se presenta de la siguiente forma:

1. Con los resultados obtenidos de medición de espesores y después de compararlos con los datos iniciales, se puede decir que entre el recubrimiento de **Aluminizado en caliente** y el de **Galvalume**, son los recubrimientos que han tenido pérdidas de masa no muy significativas, que se reflejan en la medición final de espesores.

2. En cuanto a los recubrimientos de **Metalizado con aluminio** y **Metalizado con aluminio/zinc**, se puede decir en cambio que ambos recubrimientos han tenido una gran pérdida de masa al medir sus espesores finales y compararlos con los datos iniciales.

3.6. Análisis comparativo respecto a otros países.

A continuación se presentan cronológicamente los resultados del comportamiento de las probetas evaluadas, expuestas en diferentes medios en toda la Red Iberoamericana [5,6]; obtenidos mediante los documentos del Proyecto PATINA G4/2 y G4/3, del Instituto de Pesquisas Tecnológicas en Brasil.

Aluminizado en caliente.-

- **Cuzco, Perú.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Leve presencia de corrosión en los bordes. Leve presencia de corrosión tanto del acero como del revestimiento en toda la extensión de la incisión de algunas probetas. Otras probetas presentan corrosión en apenas algunos lugares de la incisión. Su comportamiento es similar al de las probetas de Ecuador a los 6 meses de exposición.

  12 Meses.-

  Leve presencia de corrosión en los bordes. Leve presencia de corrosión, tanto del acero como del revestimiento, en toda la extensión de la incisión. Con similitud a probetas de Ecuador.

- **São Paulo, Brasil.- Atmósfera urbana.**

  6 Meses.-

  Pérdida de brillo metálico del revestimiento y leve presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en el lugar de la incisión. Similar comportamiento con las probetas de Ecuador, pero a excepción del brillo metálico que no se ha perdido.

12 Meses.-

Presencia de corrosión en los bordes. Parece ser que hay un avance en relación al observado a los 6 meses. A lo largo de la incisión se observan grandes cantidades de productos de corrosión del acero. Estos datos no concuerdan con los resultados de Ecuador, donde la corrosión no ha aumentado mucho, ni en la incisión, ni a partir de los bordes.

24 Meses.-

El revestimiento presentó pérdida de brillo metálico. Se observó leve corrosión rojiza en los bordes sin avance. Se observó corrosión rojiza en un 100% de la incisión. Similar comportamiento con las probetas de Ecuador.

- **La Paz, Bolivia.- Atmósfera urbana.**

6 Meses.-

Leve presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión. Similar a Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de corrosión en los bordes. Presencia de productos de corrosión del propio acero en el lugar de la incisión. Estos

resultados son diferentes a los de Ecuador, donde la corrosión no ha avanzado significativamente.

18 Meses.-

Los productos de corrosión color marrón en los bordes y en toda la extensión de la incisión, sin avance. Similar a Ecuador.

- **Bahía Solano, Colombia.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión de intensidad variada en los bordes de las probetas. Presencia de corrosión del acero en el lugar de la incisión. Similar a Ecuador sólo en la corrosión a partir de la incisión.

- **Cojimar, Cuba.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  En los cinco primeros meses no se observó alteración del revestimiento. Pero después del sexto mes se verificó abundante presencia de productos de corrosión del revestimiento. El comportamiento no es parecido al de las probetas de Ecuador, donde sólo se evidenció corrosión a partir de la incisión.

12 Meses.-

Presencia de productos de color marrón en los bordes, en la incisión y en las regiones intermedias entre ellas. Presencia de puntos como productos de corrosión blancos en toda la superficie expuesta. Este recubrimiento es el que ha presentado corrosión con mayor intensidad. Un poco similar al comportamiento de Ecuador.

18 Meses.-

Pérdida de brillo del revestimiento. Presencia de productos de corrosión de color marrón en los bordes, en la incisión y en las regiones intermedias entre los bordes y la incisión. Presencia de productos de corrosión en toda la superficie expuesta. De todos los cuatro recubrimientos de aluminio y sus aleaciones, el aluminio aplicado por inmersión en caliente fue el que presentó corrosión con mayor intensidad. Similar comportamiento con respecto a Ecuador.

- **Colón, Panamá.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión en los bordes y en toda la extensión de la incisión después de la primera semana de exposición.

Algunas probetas presentan productos de corrosión del revestimiento y del acero. Los datos son diferentes con lo que ocurrió en Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de corrosión en los bordes y en toda la extensión de la incisión, y presencia de puntos. No hay presencia de productos de corrosión del revestimiento, pero todas exhiben presencia de corrosión del acero. Similar a Ecuador.

- **La Voz, Venezuela.- Atmósfera especial.**

  6 Meses.-

  En los primeros dos meses leve presencia de corrosión del revestimiento en los bordes y de corrosión del revestimiento y del acero en el lugar de la incisión. Después de seis meses la corrosión del revestimiento en el lugar de la incisión se intensificó. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  Presencia de corrosión localizada del revestimiento en los bordes. Presencia de corrosión intensa en el lugar de la incisión (del revestimiento y del acero). Similar a Ecuador.

- **Arenal, Costa Rica.- Atmósfera especial.**

  6 Meses.-

  Ausencia de productos de corrosión sobre el revestimiento, y cuando se presenta es apenas en pequeñas cantidades. Presencia de corrosión en los bordes y en el lugar de la incisión. Con similitud a Ecuador en lo que respecta a la corrosión en la incisión.

  12 Meses.-

  No se observan alteraciones significativas en los resultados presentados después de seis meses de exposición. Similar a Ecuador.

- **Limón, Costa Rica.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión en el lugar de la incisión y principalmente en los bordes. A partir de estas dos regiones se observa descascaramiento del revestimiento, principalmente en la parte inferior de las probetas. Este comportamiento es muy diferente al analizado en Ecuador, sólo se asemejan en lo que se refiere a la corrosión a partir de la incisión.

12 Meses.-

Se intensifica la presencia de corrosión en el lugar de la incisión y principalmente en los bordes. A partir de estas dos regiones se observa descascaramiento del revestimiento, principalmente en la parte inferior de la probeta. Este comportamiento es muy diferente al de Ecuador.

- **Cuernavaca, México.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión (del acero). Similar a Ecuador

  12 Meses.-

  Se intensifica la presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión. Similar a Ecuador.

- **El Pardo, España.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Después de dos meses de exposición no se observó alteración. Después de seis meses se verificó inicio de presencia de corrosión del acero en apenas algunos lugares de la incisión.

12 Meses.-

Presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en apenas algunos lugares de la incisión. Similar a Ecuador.

18 Meses.-

Se observa corrosión en toda la extensión, en los bordes sin avance. Se observa corrosión en la incisión en un 30%. Similar a las probetas de Ecuador.

Metalizado con aluminio.-

- **Cuzco, Perú.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Leve presencia de productos de corrosión en los bordes superiores de algunas probetas. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión. Similar comportamiento con Ecuador.

  12 Meses.-

  Leve presencia de corrosión en los bordes superiores. Corrosión en el lugar de la incisión. Similar con respecto a las probetas de Ecuador.

- **São Paulo, Brasil.- Atmósfera urbana.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en lregión de la incisión. Similar a Ecuador

  12 Meses.-

  Situación similar a la observada a los seis meses de ensayo. No se observa corrosión del acero.

  24 Meses.-

  Se observa corrosión en un 100% de la incisión. La corrosión en la incisión en Ecuador no es de tal magnitud, sino de un 25%.

- **La Paz, Bolivia.- Atmósfera urbana.**

  6 Meses.-

  Oscurecimiento de las probetas. No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión. Similar a Ecuador sólo en lo que se refiere a la incisión.

  12 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en toda la extensión de la incisión.

18 Meses.-

No se observa corrosión en bordes, en la incisión se observan manchas negras. Similar comportamiento con Ecuador.

- **Bahía Solano, Colombia.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Presencia de puntos de corrosión de color marrón en los bordes. En el lugar de la incisión hay presencia de corrosión del acero. Sin embargo, el recubrimiento se presenta en buenas condiciones. Similar a Ecuador, pero la diferencia es de la corrosión en la incisión que es del recubrimiento.

- **Cojimar, Cuba.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  Buen estado del revestimiento. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  Presencia de productos de corrosión de color blanco en el lugar de la incisión y en forma puntual en algunas regiones de la superficie expuesta. Se puede considerar que el recubrimiento se encuentra en buen estado de conservación. Similar comportamiento con respecto a Ecuador-

18 Meses.-

Corrosión blanca en la incisión, indicando protección catódica. Dentro del revestimiento de aluminio y sus aleaciones, es el que está presentando el mejor desempeño. Se asemeja a Ecuador.

- **Colón, Panamá.- Atmósfera marina.**

6 Meses.-

No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión después de la primera semana de exposición. Presencia de algunos puntos de color negro en la superficie expuesta. Similar a Ecuador.

12 Meses.-

No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión (del acero). No se concuerda con la corrosión en la incisión, que en Ecuador es del recubrimiento.

- **La Voz, Venezuela.- Atmósfera especial**

6 Meses.-

En los primeros dos meses se observó corrosión del acero en el lugar de la incisión. Después de seis meses, la corrosión del

acero en el lugar de la incisión no obtuvo gran progreso. En relación a los bordes, después de seis meses se observó ataque localizado y de pequeña intensidad en los bordes. Difiere totalmente de los resultados obtenidos en Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de corrosión localizada del revestimiento en los bordes y en el lugar de la incisión. En este último, ataque del acero.

- **Arenal, Costa Rica.- Atmósfera especial.**

  6 Meses.-

  Ausencia de productos de corrosión sobre el revestimiento, y cuando se presenta es apenas en una pequeña cantidad. Presencia de leve corrosión en el lugar de la incisión. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  No se observan alteraciones significativas de los resultados presentados después de seis meses de exposición. Similar comportamiento con las probetas de Ecuador.

- **Limón, Costa Rica.- Atmósfera costera**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión en el lugar de la incisión. Presencia de leve corrosión en los bordes inferiores de algunas probetas. No se observa descascaramiento del revestimiento. Difiere con Ecuador en la corrosión a partir de los bordes.

  12 Meses.-

  Intensificación de situación presentada después de seis meses de exposición.

- **Cuernavaca, México.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión (del acero). La corrosión evidenciada en Ecuador es del recubrimiento.

  12 Meses.-

  Presencia de corrosión en los bordes de algunas probetas. Presencia de corrosión en toda la extensión de la incisión. Similar a Ecuador.

- **El Pardo, España.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Después de dos meses de exposición no hay alteración. Después de seis meses de exposición se verificó la presencia de corrosión en apenas algunos lugares de la incisión. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en apenas algunos lugares de la incisión.

  24 Meses.-

  Presencia de óxidos en algunas regiones en los bordes y corrosión en la incisión en un 75%. Similar a Ecuador en lo que se refiere a la corrosión en la incisión.

Metalizado con aluminio/zinc.-

- **Cuzco, Perú.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes, apenas en unas dos probetas analizadas. Se observa corrosión muy incipiente en el borde superior. Leve corrosión en el lugar de la incisión.

12 Meses.-

Aspecto similar al observado después de seis meses de ensayo en lo que se refiere a corrosión en los bordes. Mientras que el algunas probetas presentan leve corrosión en el lugar de la incisión. No se concuerda con la corrosión en los bordes de las probetas analizadas en Ecuador.

- **São Paulo, Brasil.- Atmósfera urbana.**

6 Meses.-

Se notó oscurecimiento del revestimiento y no hay presencia de corrosión en los bordes. Presencia de corrosión del acero en la región de la incisión. En esta región se observó la mezcla de productos de corrosión blancos (recubrimiento metálico). Similar con excepción del oscurecimiento en Ecuador.

12 Meses.-

Situación similar a la observada después de los seis meses de ensayo. Similar a Ecuador.

24 Meses.-

Oscurecimiento del revestimiento. Corrosión en un 100% de la incisión.

- **La Paz, Bolivia.- Atmósfera urbana.**

  6 Meses.-

  Oscurecimiento de dos probetas. No hay presencia de corrosión en los bordes y en la región de la incisión. Comportamiento diferente al ocurrido en Ecuador.

  12 Meses.-

  Presencia de productos de corrosión del zinc. Presencia de corrosión leve en los bordes. Comportamiento diferente con Ecuador.

  18 Meses.-

  No se observa corrosión en los bordes. Se observa cambio de coloración en la incisión. Comportamiento diferente con las probetas analizadas en Ecuador.

- **Bahía Solano, Colombia.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Presencia de puntos de corrosión de color blanco esparcidos en las superficies expuestas. Los bordes presentan productos de corrosión blancos, y algunos del acero. La misma situación fue observada en el lugar de la incisión. Difiere de Ecuador.

- **Cojimar, Cuba.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  Buen estado del recubrimiento. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  Presencia de productos de corrosión de color blanco en el lugar de la incisión o en forma puntual en algunas regiones de la superfiice expuesta. Se puede considerar que el recubrimiento se encuentra en buen estado de conservación. Igual que el comportamiento en Ecuador.

  18 Meses.-

  Corrosión blanca en la incisión, indicando protección catódica. Presencia de productos de corrosión en forma puntual y aislada. Similar al comportamiento en Ecuador.

- **Colón, Panamá.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Pérdida de brillo metálico. No hay presencia de corrosión en los bordes. La superficie expuesta presenta puntos de productos blancos y amarillos. En el lugar de la incisión continúan productos blancos y amarillos.

12 Meses.-

No hay presencia de corrosión en los bordes. La superficie expuesta presenta algunos puntos de productos blancos y amarillos. En el lugar de la incisión continúan productos blancos y amarillos. Comportamiento similar al de Ecuador, con la excepción del color de los productos es gris y no amarillo.

- **La Voz, Venezuela.- Atmósfera especial.**

6 Meses.-

En los dos primeros meses no se observaron alteraciones. Después de los seis meses apenas se observaron manchas blancas en la superficie expuesta. Similar a Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de corrosión del revestimiento en los bordes superior e inferior. Presencia de corrosión en el lugar de la incisión (recubrimiento y del acero).

- **Arenal, Costa Rica.- Atmósfera especial.**

6 Meses.-

Las probetas tienen distribución diferente de puntos de productos de corrosión de color blanco sobre la superficie

expuesta. No hay presencia de corrosión en los bordes ni en el lugar de la incisión. Similar comportamiento con Ecuador.

12 Meses.-

No se observan alteraciones significativas de los resultados presentados después de seis meses de exposición. Mientras que se observa aumento de productos de corrosión del recubrimiento. Similar a Ecuador.

- **Limón, Costa Rica.- Atmósfera costera.**

  12 Meses.-

  Las probetas presentan una distribución diferente de puntos de productos de corrosión de color blanco sobre la superficie expuesta. No hay presencia de corrosión en los bordes y en el lugar de la incisión. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  No se observan alteraciones significativas de los resultados presentados después de seis meses de exposición. Mientras que se observa aumento de productos de corrosión del recubrimiento. Similar a Ecuador.

- **Cuernavaca, México.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión.

  12 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión.

- **El Pardo, España.- Atmósfera rural.**

  12 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión.

  24 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión.

Galvalume.-

- **Cuzco, Perú.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes de ninguna probeta expuesta. Leve corrosión en la incisión. Similar comportamiento con las probetas analizadas en Ecuador.

12 Meses.-

Aspecto similar al observado después de seis meses de ensayo, en lo que se refiere a corrosión en los bordes. Mientras que las probetas ensayadas presentan leve corrosión en el lugar de la incisión. Similar a Ecuador.

- **São Paulo, Brasil.- Atmósfera urbana.**

6 Meses.-

Pérdida de brillo metálico del recubrimiento y presencia leve de corrosión del acero en el lugar de la incisión. Similar a Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de corrosión en los bordes por ser el avance a partir de las mismas. Grandes cantidades de productos de corrosión del acero a lo largo de la incisión por ser el avance a partir de la misma. Similar comportamiento con Ecuador.

24 Meses.-

En algunas probetas aparecen puntos concentrados en algunas regiones. Corrosión del acero en los bordes sin avance. Corrosión en un 100% de la incisión, con formación de productos voluminosos del acero.

- **La Paz, Bolivia.- Atmósfera urbana.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes ni en la región de la incisión. El comportamiento en Ecuador es muy diferente.

  12 Meses.-

  Presencia de corrosión en los bordes de algunas probetas. Presencia de corrosión en la incisión. Similar a Ecuador.

  18 Meses.-

  Corrosión en un 100% de los bordes, sin avance.

- **Bahía Solano, Colombia.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  Presencia de manchas de color café y ceniza en los bordes, y a veces de color marrón en la superficie. En el lugar de la incisión está completamente corroído (del acero). Similar a Ecuador.

- **Cojimar, Cuba.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  Buen estado del recubrimiento. Difiere un poco del comportamiento de las probetas en Ecuador.

12 Meses.-

Presencia de productos de corrosión de aspecto de puntos finos de color blanco en los bordes y en la incisión. En algunas regiones también se observan productos de color marrón (corrosión del acero). Similar un poco con respecto a Ecuador.

18 Meses.-

Presencia de productos de corrosión de color blanco en la incisión, indicando que está ocurriendo protección catódica. Presencia de grandes manchas blancas a lo largo de todo el borde (productos de corrosión en forma de punto blanco fino). En algunas regiones de los bordes aparecen productos de color marrón. Comportamiento diferente en Ecuador.

- **Colón, Panamá.- Atmósfera marina.**

  6 Meses.-

  No hay presencia de corrosión en los bordes. La superficie expuesta presentaba puntos de productos blancos y amarillos (corrosión del acero) y algunos puntos negros. En el lugar de la incisión continúan los productos de corrosión del acero. En Ecuador los datos son completamente diferente.

12 Meses.-

Pérdida de brillo del revestimiento. Presencia de leve corrosión en los bordes. Presencia de puntos de productos negros, blancos y de corrosión del acero. En el lugar de la incisión hay productos de corrosión del acero. Similar a Ecuador.

- **La Voz, Venezuela.- Atmósfera especial.**

6 Meses.-

En los dos primeros meses se observó corrosión leve del recubrimiento en el lugar de la incisión y en los bordes. Después de seis meses se verificó presencia de corrosión del acero y del recubrimiento en los bordes, y del recubrimiento en la superficie expuesta. Presencia de grandes cantidades de productos blancos en el lugar de la incisión. Con respecto a Ecuador difiere en lo que respecta a los productos blancos.

12 Meses.-

Corrosión del revestimiento en los bordes laterales e inferior, debido a acumulación de agua y agentes contaminantes. Presencia de corrosión del revestimiento en la superficie expuesta. Presencia de grandes cantidades de productos blancos en el lugar de la incisión.

- **Arenal, Costa Rica.- Atmósfera especial.**

  6 Meses.-

  Ausencia de productos de corrosión sobre el recubrimiento, y cuando se presenta, es apenas en pequeñas cantidades. Presencia de leve corrosión en los bordes. Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  No se observan alteraciones significativas de los resultados presentados después de seis meses de exposición. Mientras que los lugares de la incisión presentan corrosión. En Ecuador la corrosión a partir de los bordes y de la incisión ha aumentado.

- **Limón, Costa Rica.- Atmósfera costera.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión en el lugar de la incisión y con mayor intensidad en los bordes (inferiores). Similar a Ecuador.

  12 Meses.-

  Intensificación de la situación presentada después de seis meses de exposición. Similar a Ecuador.

- **Cuernavaca, México.- Atmósfera rural.**

  6 Meses.-

  Presencia de corrosión de varias intensidades en los bordes y en la incisión. Similar al comportamiento en Ecuador.

  12 Meses.-

  Presencia de corrosión de variada intensidad en los bordes y de mayor intensidad en la incisión, cuando se compara con las observaciones hechas después de seis meses de exposición.

- **El Pardo, España.- Atmósfera rural.**

  12 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión. En Ecuador los datos obtenidos son totalmente diferentes.

  24 Meses.-

  No hay presencia de corrosión ni en los bordes ni en la incisión. En Ecuador los datos obtenidos son totalmente diferentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El medio atmosférico en donde se desarrolló el estudio es bastante agresivo, debido a su carácter industrial.

2. El recubrimiento de Metalizado con aluminio/zinc es el recubrimiento más resistente, seguido del Metalizado con aluminio, y en los cuales se evidenció en la zona de incisión mejor comportamiento de protección catódica del recubrimiento respecto al metal base.

3. El recubrimiento de Aluminizado en caliente es el recubrimiento que más rápido perdió su brillo metálico, y en el que se evidenció de manera significativa la corrosión a partir de los bordes y a partir de la incisión.

4. El recubrimiento de Galvalume tuvo un buen comportamiento, a pesar de que perdió un poco su brillo metálico.

5. Analizar diversos medios atmosféricos en un mismo país en cualquier estudio posterior, para que se pueda comparar la velocidad de corrosión en todos los medios utilizados para el ensayo.

6. No se recomienda la utilización del recubrimiento de Aluminizado en caliente, debido a que se evidenció un mal comportamiento de protección catódica durante todo el estudio.

7. Se recomienda utilizar el recubrimiento de galvalume, el de metalizado con aluminio/zinc y el de metalizado con aluminio como recubrimientos protectores debido a su resistencia y buen comportamiento.

8. Se recomienda realizar este tipo de estudio no sólo con especímenes con incisión, sino también roscados para analizar su comportamiento bajo esfuerzos.

BIBLIOGRAFÍA

1 ASM INTERNATIONAL, Metals Handbook, Volume 5, Surface Cleaning, Finishing and Coating, Ninth Edition.

2 ASM INTERNATIONAL, Metals Handbook, Volume 13, Corrosion, Ninth Edition.

3 AVALLONE EUGENE / BAUMEISTER III THEODORE, Manual del Ingeniero Mecánico (MARKS), Novena Edición, Tomo I, Editorial Mc. Graw Hill.

4 DOCUMENTO PATINA G4-1, Revisión CYTED, España, 1.996

5 DOCUMENTO PATINA G4/2, Revisión CYTED, España, 1.997

6 DOCUMENTO PATINA G4/3, Revisión CYTED, España, 1.998

7 MENGER CHARLES G., Corrosion Prevention by Protective Coatings, Second Edition.

8 JONES DENNY A., Principles and Prevention of Corrosion.

APENDICES

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

APENDICE A

PROJETO PATINA

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DE METAIS NA ATMOSFERA

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

PRIMEIRO RELATÓRIO PARCIAL

CONTENDO RESULTADOS DE INSPEÇÃO

APÓS SEIS MESES E DOZE MESES DE EXPOSIÇÃO

GRUPO QUATRO :
REVESTIMENTOS À BASE DE ALUMÍNIO

Coordenador:
Marcelo Marrocos

1. INTRODUÇÃO

Dentro do Programa Ibero-americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), desenvolve-se um projeto denominado PATINA no qual catorze países fazem parte. O tema deste projeto é a proteção anticorrosiva de metais expostos a atmosfera. E, dentro do projeto PATINA, ha seis subgrupos de trabalho divididos de acordo com os diferentes tipos de materiais estudados. Tais materiais estão a seguir apresentados

- aço carbono e aço zincado com pintura convencional (subgrupo um).
- aço carbono e aço zincado com pintura de nova tecnologia (subgrupo dois).
- revestimentos à base de zinco (subgrupo três).
- revestimentos à base de aluminio (subgrupo quatro).
- revestimentos sobre aluminio (subgrupo cinco).
- pintura para banda continua (subgrupo seis).

O subgrupo quatro, que verifica o desempenho de revestimentos à base de aluminio e suas ligas, é composto por onze paises que possuem estações atmosféricas de ensaios em diferentes ambientes localizadas nas seguintes cidades

- Cuzco (Peru) - atmosfera rural
- São Paulo (Brasil) - atmosfera urbana
- La Paz (Bolivia) - atmosfera urbana
- Esmeralda (Equador) - atmosfera industrial
- Baia Solano (Colômbia) - atmosfera marinha
- Cojimar (Cuba) - atmosfera costeira
- Colon (Panama) - atmosfera marinha
- La Voz (Venezuela) - atmosfera especial
- Arenal (Costa Rica) - atmosfera especial
- Limon (Costa Rica) - atmosfera costeira
- Cuernavaca (México) - atmosfera rural
- El Pardo (Espanha) - atmosfera rural

A atmosfera de La Voz é considerada especial por apresentar alta perda de material devido a salinidade e abrasão por ventos e a estação de Arenal por ficar nas proximidades de um vulcão ativo.

Os revestimentos de alumínio e suas ligas foram aplicados sobre o aço através dos seguintes processos:

- alumínio aplicado por imersão a quente;
- alumínio aplicado por aspersão térmica e selado;
- liga alumínio-zinco aplicada por aspersão térmica;
- Galvalume aplicado por imersão a quente.

Os corpos-de-prova de aço revestidos com alumínio e suas ligas foram expostos para a avaliação do comportamento dos mesmos nas diferentes atmosferas no que se refere à sua corrosividade.

No presente relatório, estão apresentados os resultados da avaliação dos corpos-de-prova de aço carbono revestidos com alumínio e suas ligas após seis meses e doze meses de exposição em diferentes atmosferas de exposição.

RESULTADOS DA INSPEÇÃO

Alumínio aplicado por imersão a quente

Local de exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)
Cuzco (Peru) Atmosfera rural	Leve ocorrência de corrosão nas bordas. Leve ocorrência de corrosão (tanto do aço como do revestimento) em toda extensão da incisão de alguns corpos-de-prova e outros corpos-de-prova apresentando corrosão em apenas alguns locais da incisão	Leve ocorrência de corrosão nas bordas. Intensificação da ocorrência de corrosão nos locais de incisões
São Paulo (Brasil) Atmosfera urbana	Perda de brilho metálico do revestimento e leve ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço no local da incisão. Um dos corpos-de-prova apresentava incisão com largura menor do que a dos demais sendo que neste a corrosão não ocorreu em toda a extensão da incisão	Ocorrência de corrosão nas bordas, porem sem avanço em relação ao observado após seis meses. Ao longo da incisão, observou-se grande quantidade de produtos de corrosão do aço, porem sem avanço da corrosão
La Paz (Bolivia) Atmosfera urbana	Leve ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão	Ocorrência de corrosão nas bordas. Presença de produtos de corrosão do próprio aço no local da incisão
Esmeralda (Equador) Atmosfera industrial	Ocorrência de corrosão acentuada nas bordas de alguns corpos-de-prova e menos-acentuada em outros. Presença de produtos de corrosão do revestimento e, por vezes, do aço nas superfícies expostas. Ocorrência de corrosão acentuada em toda extensão da incisão	Observação de corrosão nas bordas. Presença de grande quantidade de produtos de corrosão do revestimento e menor do aço nas superfícies expostas. Ocorrência de corrosão acentuada em toda extensão da incisão
Baia Solano (Colombia) Atmosfera marinha*	Ocorrência de corrosão de intensidade variável nas bordas dos corpos-de-prova. Ocorrência de corrosão do aço nos locais de incisão	Planilhas de avaliação não-preenchidas
Cojimar (Cuba) Atmosfera costeira*	Nos cinco primeiros meses, não se observou alteração do revestimento. No entanto, após o sexto mês, verificou-se presença abundante de produtos de corrosão do revestimento	Presença de produtos de cor marrom nas bordas, incisões e nas regiões intermediárias entre elas. Presença de pontos com produtos de corrosão brancos em toda a superfície exposta. Dentre os quatro revestimentos de alumínio e suas ligas, o de alumínio aplicado por imersão a quente foi o que apresentou corrosão com maior intensidade

Continuação

Local de exposição	Resultado	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)*
Colon (Panamá) Atmosfera marinha	Ocorrência de corrosão nas bordas e em toda extensão da incisão após a primeira semana de exposição. Alguns corpos-de-prova apresentavam produtos de corrosão do revestimento e outros, pites, mas todos exibiam ocorrência de corrosão do aço	Ocorrência de corrosão nas bordas e presença de pites. Não havia presença de produtos de corrosão do revestimento
La Voz (Venezuela) Atmosfera especial**	Nos primeiros dois meses, leve ocorrência de corrosão-erosão do revestimento nas bordas e de corrosão do revestimento e do aço no local da incisão. Após seis meses, a corrosão de revestimento no local da incisão intensificou-se	Ocorrência de corrosão localizada do revestimento nas bordas. Ocorrência de corrosão interna no local da incisão
Arenal (Costa Rica) Atmosfera especial	Ausência de produtos de corrosão sobre o revestimento ou quando presentes, apenas em pequena quantidade. Ocorrência de corrosão nas bordas e local de incisão	Não se observaram alterações significativas nos resultados apresentados após seis meses de exposição
Limon (Costa Rica) Atmosfera costeira	Ocorrência de corrosão no local da incisão e principalmente nas bordas. A partir destas duas regiões observa-se destacamento do revestimento principalmente na parte inferior dos corpos-de-prova	Intensificação da situação apresentada após seis meses de exposição
Cuernavaca (Mexico) Atmosfera rural	Ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão (do aço)	Intensificação da ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão
El Pardo (Espanha) Atmosfera rural**	Após dois meses de exposição, não se observou alteração. Após seis meses, verificou-se início da ocorrência de corrosão do aço em apenas alguns locais da incisão	Ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço em apenas alguns locais da incisão

*Oito meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses.

**Cinco meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses.

2.2 Alumínio aplicado por aspersão térmica e selado

Local de exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)
Cuzco (Peru) Atmosfera rural	Leve ocorrência de corrosão nas bordas superiores de alguns corpos-de-prova sendo que outros não mostravam tal ocorrência. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão de alguns corpos-de-prova e outros corpos-de-prova apresentando corrosão em apenas alguns locais da incisão	Leve ocorrência de corrosão nas bordas superiores e de outras bordas de alguns corpos-de-prova sendo que outros continuavam a não exibir tal ocorrência. Intensificação notável da ocorrência de corrosão nos locais de incisões
São Paulo (Brasil) Atmosfera urbana	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço na região de incisão. Num dos corpos-de-prova, a incisão estava com largura menor do que a dos demais e muito superficial, pois não expunha o aço do substrato	Situação semelhante a observada após seis meses de ensaio. No corpo-de-prova com incisão de largura menor, não se observou corrosão do aço
La Paz (Bolívia) Atmosfera urbana	Escurecimento dos corpos-de-prova. Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço em toda extensão da incisão
Esmeralda (Equador) Atmosfera industrial	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Presença de pequena quantidade de produtos de corrosão do revestimento e, por vezes, do aço nas superfícies expostas. Ocorrência de corrosão maior em toda extensão da incisão	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Presença de pequena quantidade de produtos de corrosão do revestimento, no entanto, observa-se corrosão do aço ate com maior intensidade que a do revestimento nas superfícies expostas. Ocorrência de corrosão maior em toda extensão da incisão
Baia Solano (Colombia) Atmosfera marinha*	Presença de pontos de cor marrom nas bordas. Local de incisão com ocorrência de corrosão do aço. No entanto, o revestimento apresenta-se em boas condições	Planilhas de avaliação não-preenchidas
Cojimar (Cuba) Atmosfera costeira*	Bom estado do revestimento	Presença de produtos de corrosão de cor branca nos locais de incisão e na forma pontual em algumas regiões da superfície exposta. Em geral, pode-se considerar que o revestimento encontra-se em bom estado de conservação

continuação

Local de Exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)*
Colon (Panamá) Atmosfera marinha	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão após a primeira semana de exposição. Presença de alguns pontos de cor preta na superfície exposta	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão (do aço)
La Vez (Venezuela) Atmosfera especial	Nos primeiros dois meses, observou-se corrosão do aço no local da incisão. Após seis meses, a corrosão do aço no local da incisão não obteve grande progresso. Em relação às bordas, após seis meses, observou-se ataque localizado e de pequena intensidade nas bordas.	Ocorrência de corrosão localizada de revestimento nas bordas e local da incisão. Neste último ataque do aço
Arenal (Costa Rica) Atmosfera especial	Ausência de produtos de corrosão sobre o revestimento ou quando presentes apenas em pequena quantidade. Ocorrência de leve corrosão no local de incisão	Não se observaram alterações significativas nos resultados apresentados após seis meses de exposição
Limon (Costa Rica) Atmosfera costeira	Ocorrência de corrosão no local de incisão. Ocorrência de leve corrosão em bordas inferiores de alguns corpos-de-prova. Não se observa destacamento de revestimento	Intensificação da situação apresentada após seis meses de exposição
Cuernavaca (México) Atmosfera rural	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão (do aço)	Ocorrência de corrosão nas bordas de alguns corpos-de-prova. Ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão
El Pardo (Espanha) Atmosfera rural**	Após dois meses de exposição, não se alteração. Após seis meses, verificou-se início da ocorrência de corrosão em apenas alguns locais da incisão	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço em apenas alguns locais da incisão

* *oito meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

** *cinco meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

2.3 Alumínio-Zinco aplicado por aspersão térmica*

Local de exposição*	Resultados*	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)*
Cuzco (Peru) Atmosfera rural	Não-ocorrência de corrosão nas bordas, apenas em um dos corpos-de-prova ensaiado observou-se corrosão muito incipiente na borda superior. Não-ocorrência de corrosão nos locais das incisões	Aspecto semelhante ao observado após seis meses de ensaio no que se refere a corrosão nas bordas. No entanto, alguns corpos-de-prova apresentaram leve corrosão nos locais das incisões
São Paulo (Brasil) Atmosfera urbana	Notou-se escurecimento do revestimento e não-ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço na região da incisão. Nesta região, observou-se a mistura de produtos de corrosão branca (revestimento metálico). Num dos corpos-de-prova, a incisão estava com largura menor do que a dos demais e muito superficial, pois não expunha o aço do substrato	Situação semelhante a observada após seis meses de ensaio. No corpo-de-prova com incisão de largura menor, não se observou corrosão do aço
La Paz (Bolívia) Atmosfera urbana	Escurecimento dos corpos-de-prova. Não-ocorrência de corrosão nas bordas e nem na região de incisão	Presença de produtos de corrosão de zinco. Ocorrência de leve corrosão nas bordas
Esmeralda (Equador) Atmosfera industrial	Não-ocorrência de corrosão do aço nas bordas a não ser numa borda superior. Presença de pequena quantidade de produtos de corrosão do revestimento e, por vezes, do aço nas superfícies expostas. No entanto, nos locais de incisão, não se observa ocorrência de corrosão	Situação semelhante a observada após seis meses de ensaio
Bata Solano (Colombia) Atmosfera marinha*	Presença de pontos de produtos de corrosão brancos espalhados nas superfícies ensaiadas. As bordas apresentavam produtos de corrosão brancos e, por vezes, do aço. A mesma situação foi observada nos locais de incisão	Planilhas de avaliação não-preenchidas
Cormar (Cuba)* Atmosfera costeira	Bom estado do revestimento	Presença de produtos de corrosão de cor branca nos locais de incisão e na forma pontual em algumas regiões da superfície exposta. Em geral, pode-se considerar que o revestimento encontra-se em bom estado de conservação assim como o alumínio obtido por imersão a quente

(continuação)

Local de exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)
Colon (Panamá) Atmosfera marinha	Perda de brilho inicial. Não-ocorrencia de corrosão nas bordas. A superficie exposta apresentava pontos de produtos brancos e amarelos. Local da incisão continha produtos brancos e amarelos	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. A superficie exposta apresentava pites além dos pontos de produtos brancos e amarelos. Local da incisão continha produtos brancos e amarelos
La Voz (Venezuela) Atmosfera especial	Nos dois primeiros meses, não se observaram alterações. Após seis meses, observaram-se apenas manchas brancas na superficie exposta	Ocorrência de corrosão do revestimento nas bordas superior e inferior. Ocorrência de corrosão no local da incisão (revestimento e do aço)
Arenal (Costa Rica) Atmosfera especial	Corpos-de-prova com distribuição diferente de pontos de produtos de corrosão de cor branca sobre a superficie exposta. Não-ocorrência de corrosão nas bordas e nem nos locais de incisão	Não se observaram alterações significativas nos resultados apresentados após seis meses de exposição. No entanto, observa-se aumento dos produtos de corrosão do revestimento
Limon (Costa Rica) Atmosfera costeira	Corpos-de-prova com distribuição diferente de pontos de produtos de corrosão de cor branca sobre a superficie exposta. Não-ocorrência de corrosão nas bordas e nem nos locais de incisão	Não se observaram alterações significativas nos resultados apresentados após seis meses de exposição. No entanto observa-se aumento dos produtos de corrosão do revestimento
Cuernavaca (México) Atmosfera rural	Não-ocorrência de corrosão nem nas bordas e nem na incisão	Não-ocorrência de corrosão nem nas bordas e nem na incisão
El Pardo (Espanha) Atmosfera rural**	Nada declarado	Não-ocorrencia de corrosão nem nas bordas e nem na incisão

** oito meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

*** cinco meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

2.4 Galvalume aplicado por imersão a quente

Local de Exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)
Cuzco (Peru) Atmosfera rural	Não-ocorrência de corrosão nas bordas de nenhum dos corpos-de-prova ensaiados. Não-ocorrência de corrosão nos locais das incisões	Aspecto semelhante ao observado após seis meses de ensaio no que se refere à corrosão nas bordas. No entanto, os corpos-de-prova ensaiados apresentaram leve corrosão nos locais das incisões
São Paulo (Brasil) Atmosfera urbana	Perda de brilho metálico do revestimento e leve ocorrência de corrosão nas bordas. Ocorrência de corrosão do aço no local da incisão	Ocorrência de corrosão nas bordas porém sem avanço a partir das mesmas. Grande quantidade de produtos de corrosão do aço ao longo da incisão, porém sem avanço a partir da mesma
La Paz (Bolívia) Atmosfera urbana	Não-ocorrência de corrosão nas bordas e nem na região de incisão	Ocorrência de corrosão nas bordas de alguns corpos-de-prova. Ocorrência de corrosão na incisão
Esmeralda (Equador) Atmosfera industrial	Não-ocorrência de corrosão do aço nas bordas. Presença de pequena quantidade de produtos de corrosão do revestimento e, por vezes, do aço nas superfícies expostas. Nos locais de incisão observa-se ocorrência de corrosão acentuada	Não-ocorrência de corrosão do aço nas bordas. Presença de maior quantidade de produtos de corrosão do revestimento e também do aço nas superfícies expostas. Nos locais de incisão, observa-se ocorrência de corrosão acentuada
Bata Solano (Colômbia) Atmosfera marinha*	Presença de manchas de cor preta e cinza nas bordas e, por vezes, marrom nas superfícies. Local da incisão completamente corroída (do aço)	Planilhas de avaliação não-preenchidas
Cormar (Cuba) Atmosfera costeira*	Bom estado do revestimento	Presença de produtos de corrosão (aspecto de pó fino) de cor branca nas bordas e incisões. Em algumas regiões também se observam produtos de cor marrom (corrosão do aço)
Colon (Panamá) Atmosfera marinha	Não-ocorrência de corrosão nas bordas. A superfície exposta apresentava pontos de produtos brancos e amarelos (corrosão do aço) e alguns pontos pretos. Local da incisão continha produtos de corrosão do aço	Perda de brilho do revestimento. Ocorrência de leve corrosão nas bordas. Presença de pontos de produtos negros, brancos e de corrosão do aço. Presença de pites. Local da incisão com produtos de corrosão do aço

Local de Exposição	Resultados	
	Seis meses (aproximadamente)	Doze meses (aproximadamente)
La Vega (Venezuela) Atmosfera especial	Nos dois primeiros meses observou-se leve corrosão do revestimento no local da incisão e bordas. Após seis meses verificou-se ocorrência de corrosão do aço e do revestimento nas bordas e do revestimento na superfície exposta. Presença de grande quantidade de produtos brancos no local da incisão	Intensificação da ocorrência de corrosão do aço nas bordas laterais e inferior devido ao acúmulo de água e de agentes contaminantes. Intensificação da corrosão do revestimento na superfície exposta
Arenal (Costa Rica) Atmosfera especial	Ausência de produtos de corrosão sobre o revestimento ou quando presentes apenas em pequena quantidade. Ocorrência de leve corrosão nas bordas	Não se observaram alterações significativas nos resultados apresentados após seis meses de exposição. No entanto, os locais de incisão apresentaram corrosão
Limon (Costa Rica) Atmosfera costeira	Ocorrência de corrosão no local de incisão e com maior intensidade nas bordas (inferiores)	Intensificação da situação apresentada após seis meses de exposição
Cuernavaca (México) Atmosfera rural	Ocorrência de corrosão de baixa intensidade nas bordas e na incisão	Ocorrência de corrosão de baixa intensidade nas bordas e maior na incisão quando comparada com a observação feita após seis meses de exposição
El Pardo (Espanha) Atmosfera rural**	Nada declarado	Não-ocorrência de corrosão nem nas bordas e nem na incisão

* *oito meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

** *cinco meses de exposição aproximadamente, ao invés de seis meses*

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS (Conclusiones)

3.1 Alumínio por imersão a quente

O revestimento de alumínio obtido por imersão a quente foi o que apresentou o pior desempenho em todas as atmosferas de exposição.

Na atmosfera rural, o revestimento citado não apresentou corrosão, porem, nas bordas e nos locais de incisão, foi verificada leve ocorrência de corrosão do aço, indicando que a proteção galvânica oferecida pelo alumínio não era eficiente.

Em relação a exposição dos corpos-de-prova em atmosfera urbana, podem ser feitas as seguintes observações:

- o revestimento de alumínio obtido por imersão a quente também não apresentou corrosão, porém, nas bordas e nos locais de incisão, observou-se ocorrência de corrosão do aço com intensidade maior que a observada em atmosferas rurais;
- embora o revestimento em questão apresente pequeno ataque, não oferece proteção galvânica ao aço nas bordas e locais de incisões;
- o corpo-de-prova exposto em São Paulo (atmosfera urbana), que apresentava incisão com largura menor que a dos demais, sofreu corrosão do aço com menor intensidade, levando a concluir que o revestimento conferiu proteção galvânica ao aço, porém, seu alcance foi curto. Assim, em locais onde a falha de revestimento era estreita, o mesmo conferira proteção ao aço.

Em relação a exposição dos corpos-de-prova em atmosfera industrial, o revestimento de alumínio obtido por imersão a quente não oferece proteção galvânica ao aço, sendo que foi observada corrosão tanto no aço como no alumínio nas superfícies expostas.

Na atmosfera marinha e costeira, tanto o revestimento como o aço apresentaram corrosão. Na cidade de Colon, após apenas uma semana de exposição dos corpos-de-prova, observou-se corrosão nas bordas e nos locais de incisão. Já na cidade de Cojimar, o revestimento apresentou bom desempenho nos cinco primeiros meses, no entanto, após o sexto mês, observou-se grande quantidade de produtos de corrosão do revestimento.

Em relação à exposição dos corpos-de-prova em atmosfera especial, observou-se ocorrência de corrosão-erosão do revestimento nas bordas dos corpos-de-prova expostos em La Voz (Venezuela) e corrosão tanto do aço como do revestimento nos locais de incisão dos corpos-de-prova expostos em La Voz e Arenal (Costa Rica).

3.2 Alumínio aplicado por aspersão térmica e selado

O revestimento de alumínio aplicado por aspersão térmica apresentou melhor desempenho que o aplicado por imersão a quente em todas as atmosferas de exposição. Cabe lembrar que os corpos-de-prova de alumínio aplicado por aspersão térmica não apresentavam bordas vivas, pois foram preparados após o corte, ao contrário do corpos-de-prova de alumínio aplicado por imersão a quente, nos quais os cortes eram feitos após aplicação do revestimento.

Em atmosfera rural, alguns corpos-de-prova permaneceram sem ataque nas bordas mesmo após um ano de exposição, com exceção dé alguns corpos-de-prova expostos em Cuernavaca (México). Por outro lado, nos locais de incisão, a corrosão aumentava de intensidade com o tempo de exposição.

Comportamento semelhante foi observado nos corpos-de-prova expostos em atmosfera urbana, ou seja, não-ocorrência de corrosão nas bordas, apenas nos locais de incisão. Assim, mesmo em atmosferas urbanas, o revestimento de alumínio aplicado por aspersão térmica apresentou bons resultados.

Em relação a atmosfera industrial, também não foi verificada ocorrência de corrosão nas bordas. Nas superfícies expostas de alguns corpos-de-prova, o aço apresentou intensidade maior de corrosão que o próprio revestimento, indicando que a ação de sacrifício do revestimento não ocorreu.

Na atmosfera marinha e costeira, foi observada ocorrência de corrosão nas bordas em algumas cidades. Na cidade de Colon (Panamá), embora não se tenha verificado corrosão nas bordas mesmo após um ano de exposição, observou-se ocorrência de corrosão em toda extensão da incisão após a primeira semana de exposição.

Em relação à exposição dos corpos-de-prova em atmosfera especial, observou-se ocorrência de corrosão tanto no local de incisão quanto nas bordas dos corpos-de-prova expostos em La Voz (Venezuela) e no local de incisão em corpos-de-prova de Arenal (Costa Rica).

B.3 Alumínio-zinco aplicado por aspersão térmica

Neste caso, os corpos-de-prova também não apresentavam cantos vivos, pois foram preparados após o corte.

Em atmosfera rural, após seis meses de exposição, não foi observada corrosão nos locais de incisão. Em relação as bordas, observou-se corrosão muito leve em apenas um corpo-de-prova exposto em Cuzco (Peru), durante o período de exposição de seis meses. Após um ano de exposição, a situação permanecia sem grandes alterações.

Em atmosfera urbana, observou-se escurecimento do revestimento tanto em São Paulo (Brasil) como em La Paz (Bolívia) e não-ocorrência de corrosão nas bordas após seis meses de exposição, porém verificou-se leve ocorrência de corrosão do aço na região de incisão do corpo-de-prova de São Paulo. Após um ano de exposição, foi observada corrosão nas bordas dos corpos-se-prova de La Paz.

Em atmosfera industrial, as superfícies expostas exibiam pequena quantidade de produtos de corrosão do aço e do revestimento. No entanto, nos locais de incisão e nas bordas, quase não se verificou problemas de corrosão, mesmo após um ano de exposição, indicando boa ação de sacrifício do revestimento.

Com relação à atmosfera marinha e costeira, alguns corpos-de-prova exibiam produtos de corrosão do revestimento e do próprio aço em regiões expostas, além das regiões de bordas e locais de incisão. Por outro lado, corpos-de-prova expostos em Cojimar (Cuba) e em Limon

(Costa Rica) apresentaram bom desempenho sendo que, neste último, não ocorreu corrosão nem nas bordas e nem no local de incisão, apesar de haver produtos de corrosão do revestimento sobre a superfície exposta.

Na atmosfera especial, após seis meses de exposição, não se observou corrosão nem nas bordas e nem nos locais de incisão apenas pontos e manchas de coloração sobre a superfície exposta. Após um ano de exposição, em La Voz (Venezuela), observou-se ocorrência de corrosão nas bordas e locais de incisão.

3.4 Galvalume aplicado por imersão a quente

Em atmosfera rural, após seis meses de exposição, foram observados corpos-de-prova sem corrosão nas bordas e nem nos locais de incisão e outros com leve corrosão nestes locais. Após um ano de exposição, a corrosão intensificou-se, porem, corpos-de-prova expostos em El Pardo (Espanha) não apresentaram corrosão nem nas bordas e nem na incisão.

Em atmosfera urbana, após seis meses de exposição, corpos-de-prova expostos em São Paulo (Brasil) apresentaram corrosão nas bordas e nos locais de incisão sendo que os expostos em La Paz (Bolívia) encontravam-se em boas condições. Após um ano de exposição, todos os corpos-de-prova apresentavam corrosão nas bordas e nos locais de incisão.

Com relação à atmosfera industrial, não foi observada ocorrência de corrosão nas bordas e sim em locais de incisão e também nas superfícies expostas. Com o tempo, tal ocorrência aumentou de intensidade.

Na atmosfera marinha e costeira, após seis meses de exposição, observou-se corrosão acentuada do aço nos locais de incisão, no entanto, em Cojimar (Cuba), o revestimento encontrava-se em bom estado. Após um ano de exposição, todos os corpos-de-prova apresentavam corrosão nas bordas e locais de incisão e presença de pites em corpos-de-prova expostos em Colon (Panamá).

Em atmosfera especial, os corpos-de-prova de La Voz (Venezuela) apresentaram corrosão do aço e do revestimento nas bordas e do revestimento nos locais de incisão e na superfície exposta, com seis meses de exposição. Nos corpos-de-prova de Arenal (Costa Rica), observou-se leve ocorrência de corrosão nas bordas. Após um ano, a corrosão sofreu intensificação com corrosão na incisão dos corpos-de-prova de Arenal.

4. CONCLUSÃO

O revestimento que apresentou melhor desempenho, de maneira geral, foi o de alumínio-zinco aplicado por aspersão térmica.

létaux et alliages — Méthodes d'élimination des produits e corrosion sur les éprouvettes d'essai de corrosion

Objet et domaine d'application

La présente norme internationale spécifie des méthodes limination des produits de corrosion qui se sont formés sur éprouvettes en métal ou en alliage au cours de leur exposi- en milieu corrosif pour un essai de corrosion.

Les méthodes spécifiées sont conçues pour éliminer les duits de corrosion sans affecter le métal sous-jacent. Elles nettent une détermination précise de la perte de masse du al ou de l'alliage pendant son exposition en milieu corrosif.

Ces méthodes peuvent, dans certains cas, être appli- s aux revêtements métalliques mais il convient de tenir pte des effets qu'elles peuvent avoir sur le métal de base.

Modes opératoires

Les méthodes d'élimination des produits de corrosion se ent en trois catégories générales : méthodes chimiques, odes électrolytiques et méthodes mécaniques.

La méthode idéale est celle qui n'élimine que les pro- de corrosion et laisse intact le métal sous-jacent. Pour miner la perte de masse de ce métal due à l'élimination des uits de corrosion, on nettoie des éprouvettes de contrôle uble non corrodées par la même méthode que celle qu'on pour l'éprouvette d'essai. On pèse l'éprouvette de con- avant et après nettoyage (pesée à la cinquième décimale icative) et on utilise la valeur de perte de masse résultant ttoyage pour corriger la perte de masse par corrosion.

La méthode indiquée au paragraphe 2.1.1 peut ne pas able dans le cas de nettoyage d'éprouvettes fortement fées. La mise en œuvre de nettoyages en double d'éprou- dont les surfaces sont corrodées entraînera souvent des de masse continues, même en l'absence de produits de ion. La raison en est qu'une surface corrodée, notam- s'il s'agit d'un alliage multiphase, est souvent plus sensi- nettoyage qu'une surface neuve, usinée ou polie. Il est able dans ce cas de déterminer la perte de masse due au age par la méthode ci-après.

2.1.2.1 Nettoyer les éprouvettes plusieurs fois. Déterminer la perte de masse après chaque nettoyage par pesée de l'éprouvette (à la cinquième décimale significative).

2.1.2.2 Tracer la courbe de la perte de masse en fonction du nombre de cycles de nettoyage égaux (voir la figure). O obtient deux segments de droite AB et BC. Le dernier correspond à la corrosion du métal après élimination des produits de corrosion. La perte de masse vraie due à la corrosion correspond au point D qui s'obtient par extrapolation au temps zéro du segment de droite BC. Si la méthode de nettoyage ne corrode pas le métal, le segment de droite BC est horizontal, et la perte de masse vraie est représentée par le point B puisque D a la valeur de B.

2.1.2.3 Pour réduire l'incertitude associée à la corrosion du métal par la méthode de nettoyage, choisir la procédure donnant le segment BC ayant la pente la plus faible (presque horizontale)

2.1.3 Il peut être nécessaire de traiter la surface plusieurs fois pour en éliminer les produits de corrosion. L'élimination est souvent confirmée par examen au microscope à faible puissance (par exemple, X 7 à X 30). Cet examen est particulièrement utile si la surface présente des piqûres ou peuvent s'être accumulés les produits de corrosion. Un traitement répété peut également être requis pour satisfaire aux exigences de 2.1.2.1.

2.1.4 Toutes les solutions de nettoyage doivent être préparées à base d'eau distillée[1] et de produits chimiques de qualité analytique reconnue.

2.1.5 Tous les nettoyages doivent être suivis d'un rinçage soigneux de l'éprouvette à l'eau distillée avec séchage immédiat.

2.2 Les méthodes chimiques impliquent de plonger l'éprouvette de corrosion dans une solution chimique particulière conçue pour éliminer les produits de corrosion en affectant le moins possible le métal sous jacent. Plusieurs méthodes sont proposées dans l'annexe.

AVERTISSEMENT — Les méthodes peuvent présenter des risques pour le personnel. Elles ne doivent pas être employées par un personnel inexpérimenté ou sans surveillance.

---

[1] Chaque fois que la présente spécification exige l'emploi d'eau distillée, on peut utiliser de l'eau déionisée de conductivité inférieure à 20 µS/cm.

Le nettoyage chimique est souvent précédé d'un léger
ıe de l'éprouvette destiné à éliminer les produits de cor-
âches ou en masse.

Des sorties périodiques des éprouvettes de la solution
ıe pour les brosser légèrement facilitent souvent l'élimi-
ıdes produits de corrosion adhérant fortement.

Le nettoyage chimique est souvent suivi d'un léger
ıe destiné à éliminer les produits détachés.

n nettoyage électrolytique permet également d'éliminer
luits de corrosion. Plusieurs méthodes utiles adaptées
ouvettes de corrosion en fer, en fonte ou en acier sont
ies dans l'annexe.

oyage électrolytique doit être précédé d'un léger bros-
stiné à éliminer les produits de corrosion lâches ou en
Un brossage doit également suivre le nettoyage élec-
ıe pour éliminer les boues ou dépôts détachés. Il empê-
lement la redéposition de métal provenant des produits
osion réductibles, qui réduiraient la perte de masse
ıte.

armi les méthodes mécaniques, on peut citer le grat-
raclage, le brossage, les méthodes aux ultrasons, les
nécaniques et les projections (de grenailles, d'eau sous
, etc.). Ces méthodes sont souvent utilisées pour enle-
oroduits de corrosion très incrustés. Un grattage à la
nétallique et au mortier d'eau distillée et d'abrasif doux
également d'éliminer les produits de corrosion.

oyage mécanique vigoureux peut attaquer le métal
ent, aussi convient-il de procéder avec soin. Ces
ıs ne sont à utiliser que lorsque les autres n'arrivent pas
à éliminer convenablement les produits de corrosion. Comme pour les autres méthodes, il est recommandé de corriger la perte de métal due au nettoyage. Les forces mécaniques développées par le nettoyage doivent être maintenues aussi constantes que possible.

3 Procès-verbal

Le procès-verbal doit contenir les indications suivantes :

a) la référence à la présente Norme internationale;

b) la méthode utilisée pour éliminer les produits de corrosion après essai;

c) pour les méthodes chimiques : la composition et la concentration des produits chimiques utilisés, la température de la solution et la durée du nettoyage;

d) pour les méthodes électrolytiques : la composition et la concentration des produits chimiques utilisés, la température de la solution, le matériau de l'anode et la densité de courant, la durée du nettoyage;

e) pour les méthodes mécaniques : la méthode particulière employée (brosse métallique, grattoir en bois, etc.), les abrasifs employés le cas échéant, et la durée du nettoyage;

f) si plusieurs méthodes ont été employées, les détails relatifs à chacune et leur ordre d'emploi;

g) les résultats des nettoyages de contrôle (voir 2.1.1) ou des nettoyages répétés (voir 2.1.2) destinés à évaluer la perte de masse de métal disparue sur le métal sous jacent pendant le nettoyage.

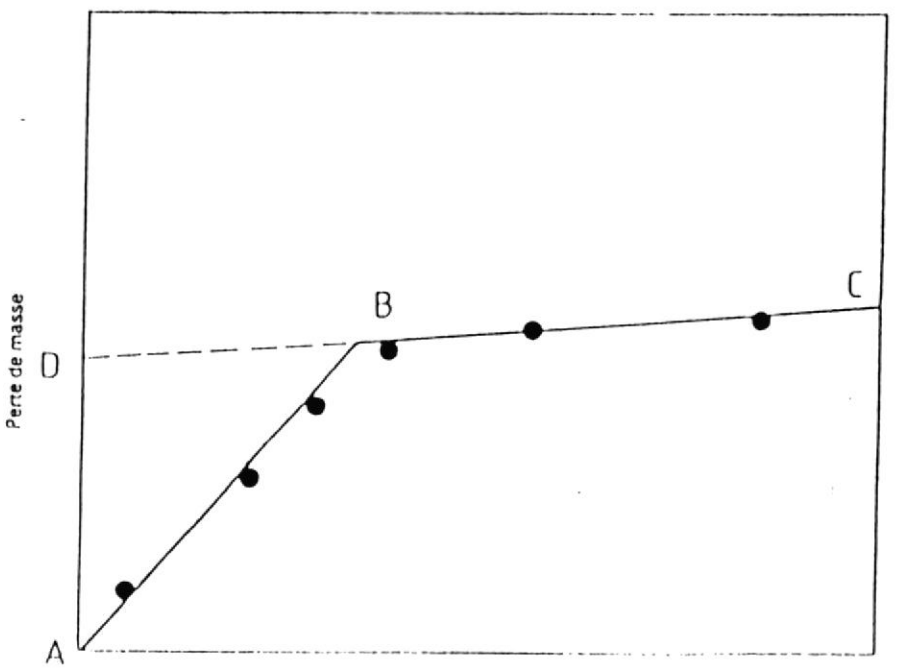


Figure — Perte de masse des éprouvettes corrodées résultant de plusieurs cycles de nettoyage répétés

Annexe

Méthodes de nettoyage chimique et électrolytique destinées à éliminer les produits de corrosion

(Cette annexe ne fait pas partie intégrante de la norme.)

A.0 Introduction

Un certain nombre d'ouvrages bibliographiques ont été consultés pendant la mise au point de la présente Norme internationale pour déterminer les méthodes à employer pour le nettoyage chimique et électrolytique. La présente annexe résume les résultats de cette étude.

A.1 Modes opératoires

Les tableaux 1 et 2 résument les diverses méthodes chimiques et électrolytiques utilisables pour éliminer les produits de corrosion. Le choix d'une méthode donnée pour un produit donné dépend de nombreux facteurs parmi lesquels l'expérience acquise. La présente Norme internationale doit être consultée à titre de référence pour mettre en œuvre les procédures indiquées dans ces tableaux.

Quelle que soit la méthode employée, il est suggéré de maintenir verticales les surfaces à nettoyer des produits de corrosion. Cette position réduit au minimum la rétention des gaz dégagés par la méthode de nettoyage sur les éprouvettes horizontales, rétention qui pourrait affecter l'uniformité du processus de nettoyage.

Tableau 1 — Méthodes chimiques de nettoyage destinées à éliminer les produits de corrosion

Désignation	Matériau	Produits chimiques	Durée	Température	Observations
C.1.1	Aluminium et alliages d'aluminium	50 ml d'acide phosphorique (H_3PO_4, ρ = 1,69 g/ml) 20 g de trioxyde de chrome (CrO_3) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 à 10 min	90 °C Ébullition	Si une pellicule de produit de corrosion subsiste, continuer avec la méthode à l'acide nitrique ci-dessous.
C.1.2		Acide nitrique (HNO_3, 1,42 g/ml)	1 à 5 min	20 à 25 °C	Éliminer les dépôts étrangers et les masses de produits de corrosion pour éviter les réactions qui pourraient résulter d'un décapage excessif du métal sous-jacent.
C.2.1	Cuivre et alliages de cuivre	500 ml d'acide chlorhydrique (HCl, ρ = 1,19 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	Une désaération de la solution à l'azote purifié réduira l'attaque du métal sous-jacent.
C.2.2		4,9 g de cyanure de sodium (NaCN) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	Éliminer les produits de corrosion à base de sulfate de cuivre(II) qui auraient pu ne pas être éliminés par le traitement à l'acide chlorhydrique ci-dessus.
C.2.3		100 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ρ = 1,84 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	Éliminer les produits de corrosion en masse avant traitement pour éviter la redéposition de cuivre à la surface de l'éprouvette.
C.2.4		120 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ρ = 1,84g/ml) 30 g de dichromate de potassium ($Na_2Cr_2O_7$, $2H_2O$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 à 10 s	20 à 25 °C	Éliminer la redéposition de cuivre résultant du traitement à l'acide sulfurique.
C.2.5		54 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ρ = 1,84 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	30 à 60 min	40 à 50 °C	Désaérer la solution à l'azote. Brosser les éprouvettes puis les replonger pendant 3 à 4 s.
C.3.1	Fer et acier	1 000 ml d'acide chlorhydrique (HCl, ρ = 1,19 g/ml) 20 g de trioxyde d'antimoine (Sb_2O_3) 50 g de chlorure stanneux ($SnCl_2$)	1 à 25 min	20 à 25 °C	Agiter vigoureusement la solution ou brosser l'éprouvette. Des durées plus longues sont nécessaires dans certains cas.
C.3.2		50 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) 200 g de zinc en granulés ou en copeaux Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	30 à 40 min	80 à 90 °C	Prendre des précautions pour manipuler la poussière de zinc qui peut s'enflammer spontanément au contact de l'air.
C.3.3		200 g d'hydroxyde de sodium 20 g de zinc en granulés ou en copeaux Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	30 à 40 min	80 à 90 °C	Prendre des précautions pour manipuler la poussière de zinc qui peut s'enflammer spontanément au contact de l'air.
C.3.4		200 g de citrate de diammonium ($[NH_4]_2HC_6H_5O_7$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	20 min	75 à 90 °C	
C.3.5		500 ml d'acide chlorhydrique (HCl, ρ = 1,19 g/ml) 3,5 g d'hexaméthylène tétramine Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	10 min	20 à 25 °C	Des durées plus longues sont nécessaires dans certains cas.
C.4.1	Plomb et alliages de plomb	10 ml d'acide acétique (CH_3COOH) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	Ébullition	
C.4.2		50 g d'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	10 min	60 à 70 °C	
C.4.3		250 g d'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	60 à 70 °C	

Tableau 1 (*suite*)

Désignation	Matériau	Produits chimiques	Durée	Température	Observations
C.5.1	Magnésium et alliages de magnésium	100 g de trioxyde de chrome (CrO_3) 10 g de chromate d'argent (Ag_2CrO_4) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 min	Ébullition	Le sel d'argent précipite le chrome.
C.5.2		200 g de trioxyde de chrome (CrO_3) 10 g de nitrate d'argent ($AgNO_3$) 20 g de nitrate de baryum ($Ba(NO_3)_2$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 min	20 à 25 °C	Le sel de baryum précipite le sulfate.
C.6.1	Nickel et alliages de nickel	150 ml d'acide chlorhydrique (HCl, ρ = 1,19 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	
		100 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4 = 1,84 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	
C.7.1	Aciers inoxydables	100 ml d'acide nitrique (HNO_3, ρ = 1,42 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	20 min	60 °C	
C.7.2		150 g de citrate de diammonium ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	10 à 60 min	70 °C	
C.7.3		100 g d'acide citrique ($C_6H_8O_7$) 50 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ρ = 1,84 g/ml) 2 g d'inhibiteur (diorthotolylthiourée ou éthyliodure de quinoléine ou β-naphtolquinoléine) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	60 °C	
C.7.4		200 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) 30 g de permanganate de potassium ($KMnO_4$) 100 g de citrate de diammonium ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	Ébullition	
C.7.5		100 ml d'acide nitrique (HNO_3, ρ = 1,42 g/ml) 20 ml d'acide fluorhydrique (HF, ρ = 0,987 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 à 20 min	20 à 25 °C	
C.7.6		200 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) 50 g de poudre de zinc Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	20 min	Ébullition	Prendre des précautions pour manipuler la poussière de zinc qui peut s'enflammer spontanément au contact de l'air
C.8.1	Étain et alliages d'étain	150 g de phosphate de trisodium (Na_3PO_4, $12H_2O$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	10 min	Ébullition	
C.8.2		50 ml d'acide chlorhydrique (HCl, ρ = 1,19 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	10 min	20 °C	
C.9.1	Zinc et alliages de zinc	150 ml d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH; ρ = 0,90 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml puis 50 g de trioxyde de chrome (CrO_3) 10 g de nitrate d'argent ($AgNO_3$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min 15 à 20 s	20 à 25 °C Ébullition	Le nitrate d'argent doit être mis en solution dans l'eau et ajouté à l'acide chromique bouillant pour éviter une cristallisation excessive du chromate d'argent. L'acide chromique doit être exempt de sulfate pour ne pas attaquer le zinc sous-jacent.

Tableau 1 (*fin*)

Désignation	Matériau	Produits chimiques	Durée	Température	Observations
C.9.2		100 g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	2 à 5 min	70 °C	
C.9.3		200 g de trioxyde de chrome (CrO_3) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 min	80 °C	Éviter la contamination par le chlorure de l'acide chromique au contact des produits de corrosion formés en milieu salin, qui attaqueraient le zinc.
C.9.4		85 ml d'acide iodhydrique (HI, ϱ = 1,5 g/ml) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	15 s	20 à 25 °C	Peut enlever un peu de zinc sous-jacent. Employer une éprouvette de contrôle (voir 2.1.4).
C.9.5		100 g de persulfate d'ammonium ($(NH_4)_2S_2O_8$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	20 à 25 °C	Particulièrement recommandé pour l'acier galvanisé.
C.9.6		100 g d'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	2 à 5 min	70 °C	

Tableau 2 — Méthodes électrolytiques de nettoyage destinées à éliminer les produits de corrosion

Désignation	Matériau	Produits chimiques	Durée	Température	Observations
E.1.1	Fer, fonte et acier	75 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) 25 g de sulfate de sodium (Na_2SO_4) 75 g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	20 à 30 min	20 à 25 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 100 à 200 A/m². Utiliser une anode de carbone, de platine ou d'acier inoxydable.
E.1.2		28 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ϱ = 1,84 g/ml) 0,5 g d'inhibiteur (diorthotolylthiourée ou éthyliodure de quinoléine ou β-naphtolquinoléine) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	3 min	75 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 2 000 A/m². Utiliser une anode de carbone, de platine ou de plomb.
E.1.3		100 g de citrate de diammonium ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	20 à 25 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 100 A/m². Utiliser une anode de carbone ou de platine.
E.2.1	Plomb et alliages de plomb	28 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4, ϱ = 1,84 g/ml) 0,5 g d'inhibiteur (diorthotolylthiourée ou éthyliodure de quinoléine ou β-naphtolquinoléine) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	3 min	75 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 2 000 A/m². Utiliser une anode de carbone, de platine ou de plomb.
E.3.1	Cuivre et alliages de cuivre	7,5 g de chlorure de potassium (KCl) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 3 min	20 à 25 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 100 A/m². Utiliser une anode de carbone ou de platine.
E.4.1	Zinc et cadmium	50 g d'hydrogénophosphate de disodium (Na_2HPO_4) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	5 min	70 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 110 A/m². Mettre l'éprouvette sous tension avant de la plonger dans la solution. Utiliser une anode de carbone, de platine ou d'acier inoxydable.
E.4.2		100 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) Eau distillée pour compléter à 1 000 ml	1 à 2 min	20 à 25 °C	Traitement cathodique avec densité de courant de 100 A/m². Mettre l'éprouvette sous tension avant de la plonger dans la solution. Utiliser une anode de carbone, de platine ou d'acier inoxydable.